

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO ORGANIZACIONAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

DIEGO FALEIROS LOPES

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO
GRAÚDO POR ESTÉRIL ESCALPADO DE MINERAÇÃO DESTINADO A
FABRICAÇÃO DE CONCRETO

CATALÃO / GO
JUNHO 6 2018

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFQ

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFQ) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFQ), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: **Diego Faleiros Lopes**

Título do trabalho: **ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO GRAUADO POR ESTÉRIL ESCALPADO DE MINERAÇÃO DESTINADO A FABRICAÇÃO DE CONCRETO**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:



Assinatura do (a) orientador

Prof. Dr. Carlos Silva
Mat. SIAPE 1424442
Coordenador LAMP/Min
Engenharia de Minas / FENG
Universidade Federal de Goiás

Data: 21 / 11 / 18

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente
- Submissão de artigo em revista científica
- Publicação como capítulo de livro
- Publicação da dissertação/tese em livro

²A assinatura deve ser escaneada.

DIEGO FALEIROS LOPES

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO
GRAÚDO POR ESTÉRIL ESCALPADO DE MINERAÇÃO DESTINADO A
FABRICAÇÃO DE CONCRETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional da Universidade Federal de Goiás ó Regional Catalão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão Organizacional na linha de pesquisa Inovação, Desenvolvimento e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Silva

CATALÃO / GO

JUNHO ó 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Faleiros Lopes, Diego

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO GRAÚDO POR ESTÉRIL ESCALPADO DE MINERAÇÃO DESTINADO A FABRICAÇÃO DE CONCRETO [manuscrito] / Diego Faleiros Lopes. - 2018. CXXXII, 132 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Carlos Silva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (profissional), Catalão, 2018.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Concreto. 2. Mineração. 3. Agregado Graúdo. 4. Estéril Escalpado. I. Carlos Silva, André, orient. II. Título.

CDU 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO MESTRADO PROFISSIONAL NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM GESTÃO ORGANIZACIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

No dia vinte e sete (27) de junho de 2018, às 09:00 horas, na sala 215 do Bloco Multifuncional (Universidade Federal de Goiás/Regional Catalão), **DIEGO FALEIROS LOPES**, discente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional (52001016061P6) da Universidade Federal de Goiás, expôs, em sessão pública, o exame de defesa da dissertação intitulada **ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO GRAÚDO POR ESTÉRIL ESCALPADO DE MINERAÇÃO DESTINADO A FABRICAÇÃO DE CONCRETO**, para a Comissão de Avaliação composta pelos membros: **Dr. André Carlos Silva** (Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Presidente da Comissão), **Dra. Luanna Lopes Lobato** (Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Interno), **Dr. Ed Carlo Rosa Paiva** (Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Externo), **Dr. Geraldo Sadoyama Leal** (Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Suplente Interno) e **Dr. Diego Valentim Crescente Cara** (Universidade Federal de Goiás, Membro Convidado Suplente Externo). O trabalho da Comissão de Avaliação foi conduzido pelo (a) docente Presidente que, inicialmente, após apresentar os membros integrantes da Comissão, concedeu 30 minutos ao (à) discente candidato (a) para que este (a) expusesse o trabalho. Após a exposição, o (a) docente Presidente concedeu a palavra a cada membro convidado da Comissão para que estes arguissem o (a) discente candidato (a). Após o encerramento das arguições, a Comissão de Avaliação do trabalho de defesa avaliou a dissertação e o desempenho do (a) discente candidato (a) na exposição, considerando a trajetória deste (a) no curso de Mestrado Profissional. Como resultado da avaliação, a Comissão de Avaliação deliberou pela:

Aprovação do trabalho de defesa

A Comissão de Avaliação declara o (a) discente candidato (a) **APROVADO NO EXAME DE DEFESA PÚBLICA**. A Comissão de Avaliação pode sugerir alterações de forma e/ou conteúdo consideradas aceitáveis. As correções, quando identificadas, devem ser realizadas no prazo máximo de 30 dias contados a partir do recebimento da Ata de Defesa. As alterações deverão ser indicadas no Anexo ao presente documento e/ou podem constar na versão lida pelo membro da Comissão de Avaliação para a sessão de defesa do trabalho de dissertação. Neste caso, a versão lida corrigida deverá ser entregue ao (à) discente candidato (a) no final da sessão.

Reprovação do trabalho de defesa

De acordo com a Resolução – CEPEC Nº 1109 é previsto a reprovação quando a Comissão de Avaliação determina que o trabalho apresentado não satisfaz as condições mínimas para ser considerado um trabalho de conclusão de mestrado válido, conforme pareceres circunstanciados em anexo.

A Comissão de Avaliação:

Para uso da Coordenação/Secretaria do PPGGO	
<p></p> <p>Dr. André Carlos Silva Membro Presidente Universidade Federal de Goiás - UFG</p>	<p>Prof. Dr. Wagner Rosalem Coordenador do Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás Coord. do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional-RC/UFG SIAPE: 1563237 - Port. 0321</p>
<p></p> <p>Dra. Luanna Lopes Lobato Membro Convidado Interno Universidade Federal de Goiás - UFG</p>	<p>Prof. Dr. Geraldo Sadoyama Leal Vice-Coordenador do Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás</p>
<p></p> <p>Dr. Ed Carlo Rosa Paiva Membro Convidado Externo Universidade Federal de Goiás - UFG</p>	<p>Observações:</p>
<p>Dr. Geraldo Sadoyama Leal Membro Convidado Suplente Interno Universidade Federal de Goiás - UFG</p>	
<p>Dr. Diego Valentim Crescente Cara Membro Convidado Suplente Externo Universidade Federal de Goiás - UFG</p>	
<p></p> <p>Diego Faleiros Lopes Discente Candidato (a) Matrícula: 2016100754</p>	<p>Visto Secretária: </p> <p>EX. Defesa nº 09/2018 Catalão, 27/06/2018</p>

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo aprendizado, pela oportunidade de chegar até aqui com saúde e determinação para aproveitar as oportunidades oferecidas.

À minha família, minha fortaleza, principalmente aos meus pais Divino Faleiros do Souto e Marilza Mesquita Lopes do Souto, pelo amor, apoio, paciência e compreensão nos momentos difíceis que enfrentei. A minha irmã Lara Cristina Faleiros Lopes que sempre está ao meu lado me dando forças.

À minha noiva, Eng. MSc. Mariana Rezende de Barros, por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis, dando-me forças para continuar, pela paciência, compreensão, apoio e carinho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Carlos Silva, pelo ensinamento, oportunidade e apoio, bem como a confiança e amizade.

À equipe do Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin), por todo apoio. Aos Engenheiro de Minas Douglas Yusuf, a Prof. MSc Monise Ramos e a Profª MSc Débora Nascimento Sousa, que contribuíram grandemente na realização dos ensaios em laboratório.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Goiás (FAPEG) pela concessão de bolsas que facilitaram e contribuíram grandemente com o desenvolvimento da pesquisa e apoio tão importante durante esse período de constantes despesas.

À Rocha Tecnologia e Projetos, na pessoa de Alfredo dos Santos, que disponibilizou equipamentos para a realização dos ensaios.

À CMOC *International* Brasil, Niobrás ó nas pessoas de Danilo César, Lenildo Ferreira e Leone Silva pela doação do material necessário a realização dos ensaios deste trabalho.

A todos que de alguma forma colaboraram para elaboração deste trabalho.

RESUMO

Embora a construção civil no Brasil enfrente uma rigorosa recessão econômica desde 2014, ainda há alta demanda por matérias-primas para a fabricação de concreto, como brita e areia. O preço destes materiais tem aumentado nos últimos anos, principalmente porque são considerados produtos básicos para a indústria da construção, uma vez que 70 a 80% do volume de concreto é composto por agregados brita e areia. Em 2014, 740 milhões de toneladas de cascalho e areia foram consumidas no Brasil em construção civil, enquanto em 2015 o consumo foi reduzido em 519 milhões de toneladas. Para alcançar a sustentabilidade é importante adotar matérias-primas inovadoras, com alta qualidade, baixo preço e reduzir impactos ambientais em sua cadeia produtiva. A mineração, no seu processo de beneficiamento mineral, é responsável por gerar grandes quantidades de resíduos sem utilidade e sem valor econômico, causando, muitas vezes, impactos ambientais. A *CMOC International*, situada no sudeste goiano, é responsável por produzir um volume aproximado de 2800 t/dia de estéril escalpado, materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina. Sendo assim, o objetivo foi realizar testes de caracterização, de acordo com a ABNT NBR 7211/2009 do material estéril escalpado, proveniente da usina de processamento de minério de nióbio, assim pôde-se estudar o desempenho mecânico e estatístico de concretos moldados com substituição parcial e total de agregado graúdo por estéril escalpado e buscar novos caminhos de aproveitamento de resíduos em substituição de matérias-primas utilizadas na fabricação de concreto. Com isso, tem-se a diminuição de passivos ambientais, incentivando a comercialização de um novo produto através de uma análise econômica. As amostras foram classificadas por meios de ensaios de caracterização físicas e químicas, segundo a agência reguladora brasileira ABNT, para em seguida realizar a moldagem de concretos nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% de substituição para a avaliação da trabalhabilidade, resistência mecânica à compressão e tração, absorção por imersão, índice de vazios, massa específica, reação álcali-agregado. Os concretos obtiveram resultados promissores nos testes, alcançando o objetivo proposto nesta pesquisa, pois o material apresentou características de um agregado graúdo e resultados favoráveis no concreto tanto no seu estado fresco como endurecido.

Palavras-chave: Concreto; Mineração; Agregado Graúdo; Estéril escalpado.

ABSTRACT

Although construction in Brazil faces an economic recession since 2014, there is still a high demand for raw materials for construction, such as gravel and sand. The price of materials has increased in recent years, especially when basic products are used for the agriculture industry, since 70 to 80% of the volume of concrete is composed of aggregates of gravel and sand. In 2014, 740 million tons of gravel and sand were consumed in Brazil in construction, while in 2015 the consumption was reduced by 519 million tons. To achieve sustainability it is very important to adopt innovative raw materials, with high quality, low price and environmental impact in your production chain. Mining, in its process of mineral processing, is responsible for generating large quantities of waste without utility and economic value, are highly productive and cause environmental impacts. CMOIC International, located in southeastern Goiás, is responsible for producing an approximate volume of 2800 t / day of scalp sterile, excavated materials, generated by the activities of extraction (or tilling) without undercutting of the mine. Thus, the objective was to conduct characterization tests, according to ABNT NBR 7211/2009 of the scaled sterile material of the niobium ore processing industry, and of the aggregate by sterile scalpel and to search for new replacement paths for materials in the production of concrete, with this the amount of environmental resources and the commercialization of a new product through an economic analysis. The classes were classified by means of different types of concrete data molding during the abatement phase, 25, 50, 75 and 100% substitution for the evaluation of productivity, compression and traction, immersion absorption, voids index, mass specific, alkali-aggregate verification. The concretes obtained promising results in the tests, reaching them with the intention, because the material presented characteristics of a large product and the positive results were not as found in the fresh state as hardened.

Keywords: Concrete; Mining; Added Large; Sterile scalp.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivo Geral.....	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	21
4.1. Lavra	21
4.1.1. Tratamento de Minérios	22
4.2. Mineração.....	23
4.2.1. Rejeitos da Mineração	23
4.2.2. CMOC International Brasil.....	24
4.2.2.1. Método de obtenção do material	24
4.3. Concreto	25
4.3.1. Componentes do Concreto.....	25
4.3.1.1. Cimento Portland	25
4.3.1.2. Agregados.....	26
4.3.1.2.1. Agregado Miúdo	27
4.3.1.2.2. Agregado Graúdo	27
4.3.1.2.2.1. Classificação e Características dos Agregados.....	29
4.3.1.2.2.2. Custo	30
4.3.1.3. Água.....	31
4.3.1.4. Adições.....	31
4.3.2. Propriedades do concreto no estado fresco.....	32
4.3.5.1. Temperatura.....	32
4.3.5.2. Perda de abatimento.....	32
4.3.5.3. Trabalhabilidade	33
4.3.5.4. Segregação e Exsudação	34
4.3.3. Propriedades do concreto no estado endurecido.....	34
4.3.3.1. Resistência mecânica a compressão	34
4.3.3.2. Resistência mecânica a compressão diametral (tração).....	35
4.3.3.3. Durabilidade	37
4.3.3.4. Reação Álcali-Agregado	37
4.4. Materiais Alternativos para Construção Civil.....	38
4.5. Estudo de dosagem do concreto	42

4.6. Microestrutura do Concreto	46
5. METODOLOGIA	48
5.1. Planejamento Experimental dos Ensaios	48
5.2. Laboratórios de Realização dos Ensaios	49
5.3. Identificação das amostras	49
5.4. Caracterização das amostras	51
5.4.1. Determinação da composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica (NBR 248/2003).....	53
5.4.2. Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.....	56
5.4.3. Determinação da massa unitária	58
5.4.4. Índice de forma de agregado graúdo pelo Método do Paquímetro	59
5.4.5. Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	60
5.4.6. Determinação do material fino passante na peneira 75 µm por lavagem.....	63
5.4.7. Ensaios realizados pelo Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer e Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil ó Universidade Federal de Uberlândia.....	64
5.6. Moldagem e cura dos corpos de prova	67
5.6.1. Métodos de ensaio	68
5.7. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS).....	70
5.8. Avaliação Técnica e Econômica da Utilização do Estéril na Fabricação do Concreto.	71
5.9. Análise estatística da resistência mecânica a compressão e tração diametral ó ANOVA.....	72
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
6.1. Ensaios de caracterização física do estéril escalpado realizados pelo LaMPPMin.....	72
6.1.1. Composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica.....	72
6.1.2. Massa específica	73
6.1.3. Massa unitária	74
6.1.4. Índice de absorção de água.....	75
6.1.5. Índice de forma do agregado graúdo pelo método do paquímetro	76
6.1.6. Material fino passante em 75 µm por lavagem.....	77
6.1.7. Teor de argila em torrões e materiais friáveis.....	79
6.2. Ensaios de caracterização mecânica realizados no Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer	80
6.2.1. Forma dos fragmentos da rocha britada	80
6.2.2. Resistência ao choque	80
6.2.3. Ensaio de Abrasão ó Los Angeles	81
6.2.4. Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio.....	82

6.3. Caracterização dos componentes do concreto.....	82
6.3.1. Caracterização física dos materiais	82
6.4. Traço e dosagem do concreto.....	83
6.5. Concreto no estado fresco	84
6.6. Absorção, índice de vazios e massa específica	85
6.6.1. Absorção de água por imersão.....	85
6.6.2. Índice de vazios.....	87
6.6.3. Massa Especifica.....	89
6.7. Concreto no Estado Endurecido	90
6.7.1. Resistência mecânica à compressão	90
6.7.2. Resistência mecânica à tração por compressão diametral.....	93
6.7.3. Reação álcali-agregado.....	95
6.8. Interpretação das análises microscópicas.....	97
6.8.1. Caracterização química do concreto com estéril escalpado por MEV.....	97
6.8.2. Caracterização química do concreto com estéril escalpado por EDS	98
6.9. Análise estatística dos resultados de resistência mecânica a compressão e tração diametral ó ANOVA.....	100
6.10. Análise econômica do estéril escalpado	102
7. CONCLUSÕES	106
REFERÊNCIAS	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Clínquer para a fabricação do cimento Portland. Fonte: Adaptado de Design e Decor (2015).....	26
Figura 2 - Tipos de agregados: (a) areia natural e (b) areia artificial. Fonte: ANEPAC, 2017.	27
Figura 3 - Extração de agregado graúdo (a) e suas dimensões (b). Fonte: INDERP, 2016.	28
Figura 4 - Ensaio de tração por compressão diametral. Adaptado de Pinheiro et al (2004).	36
Figura 5 - Arranjo esquemático do ensaio. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).	36
Figura 6 - Evolução de publicações nos periódicos pesquisados, considerando artigos nacionais e internacionais publicados e selecionados até a data limite de outubro de 2017....	40
Figura 7 - Curva de Abrams de um cimento CP 32. Adaptado de Ambrozewicz (2012).....	43
Figura 8 - Curvas de Walz para determinação da relação água/cimento (a/c). Fonte: Assunção (2002).	44
Figura 9 - Seção polida de um corpo de prova. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).	47
Figura 10 - Zona de transição da matriz da pasta de cimento. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).	47
Figura 11 - Fluxograma operacional dos processos realizados neste trabalho.	48
Figura 12 - Amostras de estéril escalpado ensaiadas nos testes de caracterização: (a) carbonatada; (b) silicatada; (c) oxidada e (d) expurgo.	50
Figura 13 - Etapas de quarteamento das amostras para realização dos ensaios (a) amostra do material estudado; (b) quarteamento; (c) recolhimento da amostra que foi ensaiada; (d) separação em triplicada.	52
Figura 14 - Sequência esquemática do ensaio: (a) secagem em estufa; (b) material submerso em água; (c) retirada do excesso de água com um pano absorvente e (d) pesagem do material em balança hidrostática.	56
Figura 15 - Determinação da massa unitária com recipiente de volume conhecido juntamente com a haste de adensamento e concha para auxílio do enchimento.	58
Figura 16 - Uso de paquímetro digital para medição dos grãos.	60
Figura 17 - Lavagem do material com a torneira aberta mantendo o fluxo de água de lavagem sobre as peneiras.	62
Figura 18 - Etapas de realização do ensaio de determinação de material fino. Fonte: Adaptado de Itambé (2011).	64
Figura 19 - Betoneira de 150 L utilizada para a fabricação dos concretos.	66

Figura 20 - Ilustração com a representação esquemática do molde tronco cônico e obtenção do abatimento do concreto. Fonte: Adaptado de NBR NM 67 (ABNT, 1998).....	67
Figura 21 - Tanque para cura dos corpos de prova.....	68
Figura 22 - Ensaio de um corpo de prova (a) à compressão e (b) à tração por compressão diametral.....	69
Figura 23 - Distribuição granulométrica das seguintes amostras: (a) Carbonatada; (b) Silicatada; (c) Oxidada; (d) Expurgo.....	73
Figura 24 - Resultados médios de determinação da massa específica (g/cm ³).	74
Figura 25 - Resultados médios da massa unitária das amostras (kg/m ³).	75
Figura 26 - Resultados médios dos ensaios de determinação de absorção de água (%).	76
Figura 27 - Resultados médios dos ensaios de índice e forma dos agregados graúdos pelo método do paquímetro.....	77
Figura 28 - Resultados médios dos ensaios de determinação de material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem (%).	78
Figura 29 - Amostragem visual das 4 etapas de lavagem da amostra.	78
Figura 30 - Resultados médios dos ensaios de determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (%).	79
Figura 31 - Curvas de distribuição granulométrica (a) Brita Natural (b) Estéril Escalpado....	82
Figura 32 - Resultados dos ensaios de Absorção de Água.....	86
Figura 33 - Porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.	87
Figura 34 - Resultados dos ensaios de Índice de Vazios.	88
Figura 35 - Porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.	89
Figura 36 - Resultados dos ensaios de Massa Específica.....	89
Figura 37 - Resultados de porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.	90
Figura 38 - Resultados médios de resistência mecânica à compressão.	91
Figura 39 - Porcentagem de ganho de resistência a compressão em relação ao concreto convencional.....	93
Figura 40 - Resultados médios de resistência mecânica à tração por compressão diametral.	94
Figura 41 - Gráfico da evolução da expansão média percentual das barras com estéril escalpado.	97
Figura 42 - Comparação entre as imagens de MEV realizadas nos concretos contendo estéril escalpado.	98
Figura 43 - Análise química através de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS).	99

Figura 44 - (A) Resultados da análise de medias da resistência a compressão, (B) Resultados da análise de média dos dias de cura.....	102
Figura 45 - (A) Resultados da análise de medias da resistência a tração, (B) Resultados da análise de média dos dias de cura.	102
Figura 46 - Diagrama esquemático de um circuito fechado de britagem de agregados.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões de Agregados Graúdos	29
Tabela 2 - Periódicos encontrados, número de artigos publicados e selecionados após leitura do título e resumo.	39
Tabela 3 - Principais materiais alternativos utilizados como substituição do agregado graúdo no concreto	40
Tabela 4 - Porcentagem máxima de substituição do agregado graúdo por materiais alternativos	41
Tabela 5 - Consumo de água aproximado (l/m ³)	44
Tabela 6 - Volume compactado seco de agregado graúdo (V _b).....	45
Tabela 7 - Nomenclatura de identificação dos tipos de amostras.....	50
Tabela 8 - Especificação comercial de britas quanto a sua granulometria	51
Tabela 9 - Especificação comercial das amostras ensaiadas	51
Tabela 10 - Ensaio de caracterização de agregados graúdos	53
Tabela 11 - Limites da composição granulométrica de agregados graúdos.....	54
Tabela 12 - Conjunto de peneiras da série normal e intermediária com suas devidas aberturas nominais em milímetros.	55
Tabela 13 - Quantidade mínima de material para ensaio	59
Tabela 14 - Massas mínimas de material nas peneiras	61
Tabela 15 - Peneiras para remoção dos resíduos	61
Tabela 16 - Massas mínimas de material a ser utilizado no ensaio	63
Tabela 17 - Tipos de concretos produzidos variando o percentual de substituição da brita. ...	65
Tabela 18 - Porcentagem e forma dos grãos	80
Tabela 19 - Resultados dos ensaios de determinação da perda ao choque no aparelho Treton.	81
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de índice de desgaste por abrasão òLos Angelesö	81
Tabela 21 - Resultados da massa específica, dimensão máxima característica, módulo de finura e massa unitária dos agregados.....	83
Tabela 22 - Valores do traço inicial e do consumo de componentes dos concretos.....	84
Tabela 23 - Dados relacionados ao abatimento do tronco de cone, umidade relativa do ar e temperatura ambiente.	84
Tabela 24 - Resultados de massa específica, absorção de água e índice de vazios.	85
Tabela 25 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão dos concretos produzidos.	91

Tabela 26 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos concretos produzidos.....	93
Tabela 27 - Valores de resistência a tração por compressão diametral e a compressão, e razão tração/compressão aos 28 dias de cura.....	95
Tabela 28 - Leituras das dimensões das barras.....	96
Tabela 29 - Variação dimensional das barras de argamassa (%)	96
Tabela 30 - Análise estatística Anova dos concretos produzidos com estéril escalpado submetidos a ensaios de resistência mecânica a compressão.....	100
Tabela 31 - Análise estatística Anova dos concretos produzidos com estéril escalpado submetidos a ensaios de resistência mecânica a tração por compressão diametral.	101
Tabela 32 - Custo de Aquisição e Operação mensal do Equipamento	104
Tabela 33 - Custo Mensal com Energia Elétrica	104
Tabela 34 - Custo Mensal com Mão de Obra.....	104
Tabela 35 - Custo Mensal Total com CAPEX e OPEX.....	104
Tabela 36 - Valores de aquisição, operação e lucro mensa.....	105

1. INTRODUÇÃO

Devido ao cenário de desenvolvimento visando o progresso em que se encontra os setores das engenharias, é sempre fundamental a busca por tecnologias inovadoras e matérias-primas alternativas. Dentro da construção civil em particular, é grande a necessidade de aplicação de novas tecnologias que tornem mais eficientes e modernos seus processos, com a necessidade de se construir com maior rapidez, eficiência e economia. Dessa maneira podem-se tornar viáveis as aplicações destas voltadas para o desenvolvimento de materiais e métodos utilizados no dia a dia.

A construção civil tem o concreto como principal material, devido à sua trabalhabilidade, durabilidade e resistência ao longo do tempo, podendo assumir qualquer tipo de forma inerente à necessidade de cada local de aplicação. Segundo Benetti (2007), o concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e o segundo mais consumido no mundo ficando atrás apenas da água, sendo relevante que se procure métodos e materiais que tornem o seu uso mais eficaz, econômico e seguro.

Nos últimos anos, este setor vem mostrando um acréscimo em suas atividades construtivas e produtivas, devido ao aumento da população e a necessidade de obras de infraestrutura cada vez mais modernas e eficientes. Os agregados são materiais naturais ou artificiais, sendo requisitados pela sua resistência, não possuindo forma e volume definidos, e com dimensões variadas (LA SERNA e REZENDE, 2009).

Agregados são formados por grãos limpos de minerais duros, livres de produtos químicos, sem a presença de argila e outros materiais finos que podem causar danos ao concreto tanto no seu estado fresco como endurecido. Os mesmos são classificados em duas categorias distintas, agregado graúdo (brita) e miúdo (areia), sendo responsáveis por representar 70 a 80% do volume total do concreto (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2016).

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção ó ANEPAC (2016), o setor de agregados para indústria da construção civil apresentou em 2014 uma produção de aproximadamente 740 milhões de toneladas de brita e areia, e em 2015 cerca de 519 milhões de toneladas. Para o ano de 2016 houve uma perspectiva de que a produção total de agregados para construção civil das pedreiras caísse 5% em relação ao ano anterior. A estimativa da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC) é de que o valor atingisse cerca de 493 milhões de toneladas, puxado pelo baixo investimento em obras de infraestrutura. Já para o

triênio (2017-2019) espera-se um acréscimo de 10% na produção de agregados, atingindo cerca de 543 milhões de toneladas em 2019.

Outro setor que vem ganhando visibilidade é a mineração. Com isso o mercado tornou-se extremamente competitivo em questões relacionadas a diminuição de custos e melhorias em seus processos, buscando o aproveitamento de materiais que até então eram descartados na fase de beneficiamento, podendo esses se tornarem uma solução interessante para o uso no desenvolvimento de novas tecnologias e novos produtos (MENDES, 2016).

A adoção de gestão ambiental é fundamental para uma empresa por diversos motivos, além de associar sua imagem ao da preservação ambiental, melhorando no mercado as imagens das marcas de seus produtos. Empresas que adotam este sistema conseguem reduzir seus custos, evitando desperdícios e reutilizando materiais que antes eram descartados. A utilização da gestão ambiental melhora suas relações comerciais com outras empresas que também seguem estes princípios (MEYER, 2000).

Devido a esses cenários, com a grande quantidade de extração e consumo de agregados e de iniciativas sustentáveis na produção dos recursos minerais nota-se a importância de algumas ações como o uso de materiais inovadores com especificações técnicas adequadas que tornem mais eficientes e modernos os processos de fabricação, com a necessidade de se construir com mais eficiência e economia, visando o bem-estar do meio ambiente (CARLETE, CASTRO e SILVA, 2015).

O processo de beneficiamento mineral gera grandes quantidades de resíduos estocados em barragens ou pilhas, podendo causar impactos ambientais em suas áreas utilizadas para esse fim. De acordo com informações coletadas para realização desta pesquisa, a CMOIC *International*, situada no sudeste goiano, é responsável por produzir um volume aproximado a 2800 t/dia de estéril escalpado que são materiais gerados durante a extração (ou lavra) da mina.

Dessa forma, diante do quantitativo de produto depositado, podendo causar impacto ambientais, surge a necessidade de pesquisas na área para destinação e utilização visando uma finalidade voltada para o bem comum social ou alguma atividade sem danos ambientais.

Sendo assim, este estudo busca viabilizar a utilização do estéril escalpado gerado a partir da lavra de nióbio na produção de concreto, visando sua utilização como agregado graúdo (brita), conforme as especificações da norma NBR 7211/2009. Assim busca-se novos caminhos de aproveitamento de resíduos em substituição de matérias-primas utilizadas na

fabricação de concreto, levando, à redução de passivos ambientais e incentivando a comercialização de um novo produto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Comprovar a potencialidade de uso do estéril escalpado da lavra de nióbio como agregado graúdo na fabricação de concreto, propondo uma nova rota para reaproveitamento e comercialização do material.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar características físicas e químicas do estéril escalpado por meio de ensaios de caracterização de acordo com a NBR 7211/2009 ó Agregados para Concreto;
- Analisar as propriedades mecânicas do concreto fresco e endurecido produzidos com substituição parcial e total do agregado graúdo pelo estéril escalpado nas porcentagens de 25, 50, 75 e 100% em massa;
- Avaliar a trabalhabilidade do concreto fresco pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump test*);
- Avaliar a resistência à compressão e tração por compressão diametral do concreto endurecido (após 7, 14, 28 e 56 dias de cura);
- Avaliar a massa específica do concreto endurecido nas diferentes porcentagens de substituição do agregado graúdo;
- Avaliar a porosidade do concreto endurecido por meio da análise da absorção de água por imersão e do seu índice de vazios;
- Avaliar estatisticamente os valores de resistência a compressão e tração por compressão diametral dos concretos com adição de estéril escalpado;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica, propondo uma nova rota de britagem para o material em estudo.

3. JUSTIFICATIVA

O estéril escalpado, material gerado pelas atividades de lavra no decapeamento da mina, que não possui valor econômico e geralmente é disposto em pilhas a céu aberto. Tal material rochoso se apresenta como uma opção de material com características correspondentes a de um agregado graúdo (comumente chamado de brita) utilizado na construção civil. Esse estéril escalpado é considerado uma opção que pode apresentar vantagens na substituição do agregado graúdo convencional na fabricação de concretos.

A substituição dos materiais convencionais por resíduos de mineração, por exemplo, pode resultar em economia na aquisição da matéria-prima. A adoção de rejeitos e resíduos oriundos da exploração mineral acarreta benefícios de ordem econômica, social e ambiental.

Este estudo teve em vista ações de reciclagem, tecnologia de materiais, desenvolvimento de produtos e estabelecimento de metodologias construtivas e processos executivos, sendo estes aplicáveis à indústria da construção civil.

4. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

4.1. Lavra

O setor da mineração tem como objetivo explorar recursos existentes na natureza e transformar o material extraído de jazidas por meio de operações de lavra (a céu aberto ou subterrânea) na mina. Esta atividade consiste na extração ou exploração de minérios, onde o produto da mina, o minério lavrado, o ROM ("*run-of-mine*"), vem a ser a alimentação da usina de tratamento onde esse bem mineral é colocado em condições de ser utilizado pela indústria por meio das operações de beneficiamento de minérios (LUZ e LINS, 2010).

De acordo com Curi (2017), a lavra integra todo o conjunto de operações unitárias de aproveitamento da jazida. Representa a quarta fase da mineração, onde as anteriores são a prospecção, a exploração e o desenvolvimento, e, por fim, é chamada de exploração. O método de lavra deve definir os diversos ciclos de trabalho e a sequência espacial da evolução da lavra para, em função do tempo, viabilizar o melhor aproveitamento possível da jazida em causa.

Segundo Ferreira (2013), a lavra a céu aberto é considerada uma escavação ampla da superfície do terreno, podendo ser em pequenas raspagens manuais da superfície ou até gigantescas escavações que alcançam centenas de metros de profundidade, tendo como objetivo extrair materiais metálicos e não metálicos em qualquer tipo de rocha. É considerada também lavra a céu aberto quando não há necessidade de acesso humano ao meio subterrâneo para realizá-la. Curi (2017) cita os principais métodos de lavra a céu aberto que são aqueles de exploração a seco, ou seja, a lavra por bancadas (*open pit mining*), a lavra em tiras ou fatias (*strip mining ou open cast mining*) e a lavra de pedreiras (*quarry mining ou dimensioned stones mining*).

O método de lavra por bancadas é mais usado em minas onde o corpo de minério esteja recoberto por um capeamento espesso. As bancadas são desenvolvidas consecutivamente, de cima para baixo, até se atingirem os limites finais dos corpos mineralizados mais profundos. O minério é recuperado e o estéril é removido e disposto em pilhas nas imediações da cava. A lavra por bancadas é utilizada principalmente em depósitos de minérios metálicos (CURI, 2017).

4.1.1. Tratamento de Minérios

A exploração dos recursos minerais é uma prática que sempre foi exercida pelo homem, sendo uma atividade econômica da indústria extrativa mineral, ou como indústria de produtos minerais, e tem como atividade a extração, a elaboração e o beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural sólido, líquido e gasosos (ITCG, 2015).

Os minerais fazem parte dos recursos naturais de um país, ao lado das terras para agricultura, das águas (de superfície e subterrânea), biodiversidade, dentre outros. Como as matérias-primas minerais possíveis de serem utilizadas diretamente ou transformadas pela indústria encontram-se distribuídas de maneira escassa na crosta terrestre, cabe às empresas de mineração, com base nas informações geológicas básicas, realizarem a pesquisa mineral em áreas previamente selecionadas, em busca de depósitos de potencial interesse econômico (LUZ et al, 2010).

Qualquer atividade agrícola ou industrial, no campo da metalurgia, da indústria química, da construção civil ou do cultivo da terra, utiliza os minerais e seus derivados. Os metais e suas ligas, o cimento, a cerâmica, o vidro, são todos produzidos a partir de matérias-primas minerais. É cada vez maior a influência destes sobre a vida e desenvolvimento de um país. Com o aumento das populações, cada dia mais se necessita de maior quantidade de matéria-prima para atender às crescentes necessidades do ser humano (LUZ et al, 2010).

Luz et al (2010) enfatizam que a construção civil é um ramo da indústria que utiliza amplamente os minerais em suas atividades, tais como: agregados (brita e areia), minerais para cimento (calcário, areia, argila e gipsita), rochas e pedras ornamentais (granito, gnaisse, quartzito, mármore, ardósia), e argilas para cerâmica vermelha.

O tratamento de minério, também chamado de Beneficiamento mineral ou processamento mineral, tem como objetivo principal realizar processos industriais visando a fragmentação, a classificação e a concentração mineral, pois estes se encontram com baixos teores na natureza, além de geralmente possuir granulometria inadequada para sua utilização. Dado assim a necessidade destas operações (WILLS, 2006).

Para Luz e Lins (2010), é cada vez maior a influência dos minerais sobre a vida e desenvolvimento de um país. Com o aumento das populações, cada dia se necessita de maior quantidade de matéria-prima para atender às crescentes necessidades do ser humano.

É difícil imaginar o nível material alcançado por nossa civilização, sem o uso dos minerais. Com efeito, o consumo per capita de minerais e materiais nos países desenvolvidos

é 3 a 6 vezes superior àquele de países em desenvolvimento, como o Brasil, o que mostra o potencial de crescimento do consumo interno (LUZ e LINS, 2010).

4.2. Mineração

4.2.1. Rejeitos da Mineração

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, disposição de material estéril escalpados, ou seja, inativo ou não aproveitável, proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016).

As atividades interligadas à produção mineral são citadas também por Luz et al (2010), pois geram um volume bastante significativo de massa do minério que é rejeitada nos processos de lavra e beneficiamento ou, ainda, com o estéril escalpado, sem finalidade para setor de produção.

De acordo com Abraão (1987), os resíduos estéreis são materiais sem nenhum valor econômico, dispostos geralmente em pilhas ou utilizados como material para construção de barreiras de contenção. Ainda de acordo com o mesmo autor, os rejeitos são resultantes do processo de beneficiamento físico dos minérios e também eventual tratamento químico. Assim como os resíduos estéreis, os rejeitos não possuem valor econômico, pois esses últimos possuem grande quantidade de água. Após a extração da rocha e a separação do minério de interesse, a parte que não é aproveitada deve ser destinada a um local adequado, conhecido tecnicamente como depósito de estéril.

A crescente demanda mundial por bens minerais, aliada ao desenvolvimento econômico e tecnológico, condiciona, de forma sustentável e economicamente viável, o aproveitamento de minérios de baixo teor ou mesmo aqueles de difícil beneficiamento. Essa situação conduz a um aumento expressivo na quantidade de rejeitos produzidos, superando, em muito, aquela advinda dos próprios minérios (LUZ et al, 2010).

Em função do tipo de minério processado e dos tratamentos adotados podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas. Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares (ESPÓSITO, 2000).

Rejeitos, apesar de não possuírem valor econômico direto, tem sido alvo de grande interesse por parte das empresas do setor da mineração que tem procurado novas alternativas

de disposição desses materiais (ESPÓSITO, 2000). Com essa preocupação em dispor sistematicamente os rejeitos, visando minimizar impactos ambientais e melhorar os aspectos de segurança e economia faz com que as empresas, optem cada vez mais por procurar novas alternativas de consumo ou novas aplicações para seus resíduos estéreis.

4.2.2. CMOC *International Brasil*

A *CMOC International Brasil* é uma indústria que atua na mineração e no beneficiamento de nióbio e fosfatos, minerais essenciais para o progresso da indústria global e o crescimento da agricultura no Brasil.

A subsidiária da *CMOC International* é o braço internacional da *China Molybdenum*, é uma companhia chinesa com um diversificado portfólio de ativos que acredita e investe no crescimento sustentável dos negócios, por meio da sinergia entre os ativos, a excelência operacional, a inovação e a qualidade de seus produtos e relacionamentos.

Em 2014, a Anglo American, controladora da Copebrás e da Mineração Catalão, deu início ao Projeto BVFR, que permitiu o beneficiamento de minério não oxidado contido na rocha da mina de nióbio Boa Vista, em Catalão (GO). Já em 2016, a *CMOC International* adquiriu as operações de nióbio e fosfatos da Anglo American no Brasil. Operando como *CMOC International Brasil*, a companhia resgata a marca Copebrás para a operação de fosfatos e cria a marca Niobras para o negócio de nióbio.

Em 2017, a Niobras alcançou o recorde de 31,41 toneladas de nióbio produzidas em um dia, superando a meta diária de 25,5 toneladas. Em setembro, a operação de nióbio também registrou o maior volume de produção mensal já alcançado, com um total de 757 toneladas.

4.2.2.1. *Método de obtenção do material*

O método de lavra utilizado na mina, onde o material de estudo foi lavrado, é o método a céu aberto em bancadas com desmonte misto e transporte do minério em caminhões até a unidade de britagem, onde o material é fragmentado e passa por uma etapa denominada Escalpe.

Nessa etapa ocorre uma separação magnética de alto campo, assim todo material magnético é atraído por um campo magnético e enviado para uma planta de beneficiamento para concentração do nióbio, e o material não magnético é destinado a estocagem em pilhas a céu aberto, material esse que é utilizado na presente pesquisa.

4.3. Concreto

A combinação de materiais ligantes, agregados graúdos e miúdos, e alguns aditivos químicos e minerais dão origem ao concreto, podendo ser considerado como uma rocha artificial. De acordo com Vieira (2007), a mesma é tão antiga quanto à civilização, pois entre 9000 e 7000 a.C., a cal já era utilizada em uma mistura com pedra para a construção de pisos.

Os estudos de Malinowski e Garfinkel (1991), revelaram a existência de pisos construídos com material semelhante ao concreto atual, através de escavação na cidade de Jericó, na região da Galileia, atribuindo aos gregos e romanos o pioneirismo do uso da cal e da pozolana na obtenção do concreto.

O concreto surgiu da necessidade de associar a durabilidade da rocha com a resistência do aço, podendo ser moldado em diversas formas. Os materiais de construção feitos à base de cimento podem ser considerados os mais importantes produzidos pelo homem, pois lhe possibilitou construir as edificações e todas as principais obras de que necessitava para viver (MENDES, 2014).

4.3.1. Componentes do Concreto

O concreto é um material resultante da mistura proporcional de um aglomerante (cimento), agregados graúdos (brita ou pedra), agregado miúdo (areia) e água, podendo acrescentar algumas adições minerais ou químicas com o propósito de alcançar melhorias capazes de modificar suas principais propriedades (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

4.3.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland é composto de clínquer e adições, sendo o clínquer o principal componente que tem como matéria prima o calcário e a argila. Esse componente reage quimicamente na presença de água, tornando-se uma mistura pastosa e em seguida endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade (PIMENTA, 2012).

Após o processo de britagem e moagem da rocha calcária misturada com argila e, algumas vezes, minério de ferro, obtém-se a farinha ou cru, comumente chamado na indústria cimenteira, o qual é submetido a um calor intenso podendo atingir até 1450°C e é resfriado bruscamente, dando origem às pelotas de clínquer, como apresenta a Figura 1. A partir das pelotas o material é moído e transformado em pó junto ao gesso e outros aditivos (*cementitious*) que conferem as características dos diversificados tipos de cimento (MELO, 2012).



Figura 1 - Clínquer para a fabricação do cimento Portland. Fonte: Adaptado de Design e Decor (2015).

4.3.1.2. Agregados

A NBR 9935 (ABNT, 1987) define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia.

Almeida e Luz (2009) mencionam a possibilidade de obtenção dos agregados de forma natural, por meio da extração diretamente de fragmentos como areia e cascalho ou de forma artificial, em que os materiais passam por processo de fragmentação (britagem e/ou moagem) e classificação.

Para Serna e Rezende (2011), os agregados são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras de construção civil. Os mesmos autores também consideram que os agregados podem ser considerados naturais ou artificiais, sendo que os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza, como na extração de areia, cascalho e pedregulho. Já os artificiais são aqueles produzidos por algum processo ou mecanismo industrial, podendo resultar em pedras britadas, escórias de alto forno e argilas expandidas.

Para Borges (2007), são fundamentais que os agregados sejam compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos. Não devem possuir substâncias estranhas que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Segundo Bauer (2010), o estudo dos agregados deve ser considerado imprescindível em um curso de tecnologia do concreto, tendo em vista que de 70 a 80% do volume do concreto é constituído pelos agregados, bem como é o material menos homogêneo com que se lida na fabricação do concreto e das argamassas.

4.3.1.2.1. Agregado Miúdo

De acordo com Luz e Almeida (2012) os agregados miúdos consideram areias naturais, extraídas de leitos de rios (Figura 2 - a), ou as artificiais resultantes da britagem de rochas estáveis (Figura 2 ó b), ou até mesmo a mistura de ambas, que deverão, para efeito desta norma (NBR-7211), estar abaixo de 4,75 mm. Estas podem também ser classificadas em areia grossa (2 a 1,2 mm), areia média (1,2 a 0,42 mm) e areia fina (0,42 a 0,0075 mm).



(a)



(b)

Figura 2 - Tipos de agregados: (a) areia natural e (b) areia artificial. Fonte: ANEPAC, 2017.

4.3.1.2.2. Agregado Graúdo

Agregado graúdo é conhecido como brita ou pedra britada para construção civil sendo o produto do processo de cominuição de vários tipos de rochas. Brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento através de desmonte por explosivos, britagem e peneiramento (Figura 3), de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos como granito, gnaisse, basalto e calcário (QUARESMA, 2009).



(a)



(b)

Figura 3 - Extração de agregado graúdo (a) e suas dimensões (b). Fonte: INDERP, 2016.

Define-se agregado graúdo como aquele cujos grãos passam numa peneira com abertura de 100 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,8 mm, podendo ser classificadas como rachão, brita 0, 1, 2, 3, 4 e 5, pó de pedra, conforme mostra a Tabela 1, com suas faixas granulométricas.

Tabela 1 - Dimensões de Agregados Graúdos.

BRITAS	GRANULOMETRIA (mm)
Rachão	100 ó 150
5	76 ó 100
4	50 ó 76
3	25 ó 50
2	19 ó 25
1	9,5 ó 19
0	4,8 ó 9,5

Fonte: Adaptado de NBR 248 (ABNT, 2003).

O agregado graúdo é um material de uso amplo e diversificado na indústria da construção civil em aplicações como concreto, pavimentação, edificações, obras civis (ferrovias, túneis, barragens) e obras de infraestrutura (QUARESMA, 2009).

4.3.1.2.2.1. Classificação e Características dos Agregados

Luz e Almeida (2012) citam que a classificação dos agregados de uma maneira adequada para construção civil é assunto controvertido na literatura. A *American Society for Testing Material* (ASTM) e a *International Society for Rock Mechanics* (ISRM) propõem uma classificação baseada na análise petrográfica das rochas e na descrição tecnológica relacionada às propriedades físicas e mecânicas das rochas.

Segundo Collins e Smith (1993), a classificação de agregados deve levar em consideração as seguintes informações: a origem do material (agregados naturais ou artificiais), a classe ou nome petrográfico, além de idade da rocha, cor, granulometria.

A classificação dos agregados quanto a massa específica também é recorrente. Os agregados leves são aqueles com massa unitária menor que 1120 kg/m³, produzidos pela britagem de rochas ígneas vulcânicas, como pedra-pones, escoria ou tufo. Os agregados considerados normais, mais comumente na fabricação de concretos e argamassas possuem massa unitária entre 1300 kg/m³ e 1750 kg/m³ (areias e pedregulhos, britas) e os agregados pesados têm massa unitária superior a 2320 kg/m³, e são principalmente usados para blindagem de radiação nuclear como (barita, magnetita e hematita) (METHA e MONTEIRO, 2014).

A importância da granulometria dos agregados está relacionada diretamente com o módulo de finura e a dimensão das partículas de um material granular em várias faixas granulométricas (MENDES, 2016).

Luz e Almeida (2012) definem que a distribuição granulométrica do agregado tem uma relação significativa com a trabalhabilidade, sendo que agregados como britas e areias mais grossas produzem concreto não trabalhável e os agregados mais finos requerem uma grande quantidade de água e cimento. Metha e Monteiro (2014), afirmam que quando os agregados possuem granulometria contínua, produzem misturas de concretos mais trabalháveis e econômicas.

A forma e a textura dos agregados têm mais influência nas propriedades do concreto quando no estado fresco do que no concreto endurecido. Quando se compara as partículas lisas e arredondadas, com as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas, estas demandam mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis, aumentando, portanto, o custo do concreto (SELMO, 1994).

4.3.1.2.2.2. Custo

A mais simples consideração que deve ser levada em conta é a escolha dos materiais que fazem parte da mistura do concreto, sejam tecnicamente aceitáveis e ao mesmo tempo atrativos. Em outras palavras, quando o material está disponível por duas ou mais fontes de comercialização com uma significativa diferença de preço, comumente elege-se o fornecedor do material com o menor custo, a menos que tenha evidências técnicas de que o material não seja adequado para aquele tipo de obra que está sendo executado (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Ainda pelos mesmos autores, é interessante que ocorra reduções no custo final do concreto, porém não se deve comprometer suas características de desempenho essenciais. Essa redução acontece devido a escolha de materiais mais baratos e que sejam adequados, que em vários casos busca substituir esses componentes que fazem parte da mistura do concreto por uma porcentagem aceitável sem comprometer suas principais características.

Visando a economia mundial, Mehta e Monteiro (2014) entendem que todos devem considerar a economia indireta de custo, como uma ação fundamental de preservação de recursos e redução de poluentes, sendo estes os resíduos industriais, onde os mesmos serão utilizados devidamente, em vez de serem lançados e depositados inadequadamente no meio ambiente.

Essa forma de utilização de resíduo mineral contribui, ainda, para a preservação dos recursos naturais, reduzindo a degradação ambiental causada pela extração das matérias-primas convencionais. Por fim, o uso do agregado reciclado em pavimentos e obras civis apresenta-se como alternativa interessante para os administradores públicos aumentarem a oferta de vias necessárias ao desenvolvimento urbano (CARNEIRO et al, 2001).

4.3.1.3. Água

A qualidade da água é tão importante quanto a sua quantidade, principalmente para reação de hidratação, dessa forma é mais indicada à utilização de água potável, porém caso haja impurezas presentes nela, essas podem prejudicar a pega do cimento ou a resistência do concreto e contribuir para a corrosão das armaduras.

Do ponto de vista de resistência do concreto, águas ácidas, alcalinas, salgadas, salobras, coloridas ou com mau cheiro não precisam ser rejeitadas imediatamente. Este fato é importante, pois águas recicladas da mineração e de várias outras operações industriais podem ser utilizadas com segurança como água de amassamento do concreto (CABRAL, 2007).

4.3.1.4. Adições

Os materiais usados para melhorar a estrutura do concreto, diferente dos convencionais sendo cimentos, agregados e água são considerados adições. Esses materiais tem a finalidade de aprimorar algumas de suas propriedades e aumentar o seu desempenho, como acréscimo de resistência, com a adição da sílica ativa ou metacaulim, por exemplo, também com alteração na coloração do concreto com a adição de pigmentos, redução de trincas e fissuras no estado endurecido devido à adição de fibras de nylon ou de polipropileno, as fibras de aço para substituírem as armaduras e o isopor para enchimentos, dentre outros (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Segundo a NBR 11172 (ABNT, 1990), as adições são produtos de procedências minerais que, quando misturadas ao cimento, argamassas e concretos, tem a finalidade de alterar suas características. O uso de adições minerais traz grandes benefícios à sociedade, por dar um destino a esses resíduos anteriormente citados e, principalmente, por reduzir o consumo de energia e poluição do ar gerado pela produção do cimento, ao substituir grande parte desse produto na indústria da construção civil.

4.3.2. Propriedades do concreto no estado fresco

ScandiuZZi e Andriolo (1986) lembram que uma das maneiras de efetuar o controle de um concreto é sobre a mistura de concreto fresco, o que permite, através de alguns ensaios, manter a uniformidade da mistura durante sua produção.

Segundo Neville (1997), o uso do concreto fresco tem apenas uma breve importância e deve ser enfatizado que a resistência de um concreto, com determinadas proporções, é seriamente influenciada pelo grau de adensamento. Ainda além, Cabral (2007) ressalta que é necessário que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade sem sofrer segregação evitando a exudação.

As dosagens das misturas de concreto devem atender adequadamente os requisitos de economia, trabalhabilidade, resistência e durabilidade. Esses diferentes objetivos induzem a diferença no proporcionamento como, por exemplo, uma trabalhabilidade ótima (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986). Algumas das propriedades mais importantes do concreto fresco são: temperatura, perda de abatimento, trabalhabilidade e segregação e exsudação.

4.3.5.1. Temperatura

Moini et al (2012), refere-se a efeitos substancialmente adversos causados por produções de concreto em temperaturas muito altas ou muito baixas, tais como resistências mecânicas, trabalhabilidade e segregação.

Elevadas temperaturas do ambiente podem ocasionar alguns problemas durante a mistura, lançamento, adensamento e cura do concreto, além de afetarem suas propriedades mecânicas e também de manutenção. O efeito da temperatura nessas propriedades do concreto é um assunto que surge em várias pesquisas, tratando-se das propriedades do concreto fresco (CAMPOS NETO, 2015).

4.3.5.2. Perda de abatimento

Segundo os autores Mehta e Monteiro (2014), esta propriedade é definida como a perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo, sendo um fenômeno normal para todas as misturas de concreto, pois resulta do enrijecimento gradual e pega de uma pasta de cimento Portland hidratada que está associada à formação a produtos de hidratação, como a etringita e o silicato de cálcio hidratado.

A perda de fluidez ou perda de consistência dos concretos é influenciada por uma significativa quantidade de variáveis relacionadas a esse fenômeno. Alguns fatores devem ser considerados, como a temperatura ambiente no local, a temperatura da água e do cimento, além da umidade relativa do ar. A composição química do cimento e sua finura são condições que também podem influenciar os resultados (SANTOS, 2006).

4.3.5.3. Trabalhabilidade

Mehta e Monteiro (2014) citam a ASTM C 125 como a norma que define a trabalhabilidade do concreto, sendo a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco com perda mínima de homogeneidade. A norma NBR 6118 (ABNT, 2003), afirma que a trabalhabilidade de um concreto deverá ser compatível com as dimensões da peça a ser concretada, com a distribuição das armaduras e com os processos de lançamento e adensamento a serem usados (CABRAL, 2007).

Esta propriedade é a responsável por identificar a maior ou menor aptidão para manuseio e aplicação de um concreto, sem perdas de sua homogeneidade, apresentando melhora quando há diminuição do módulo de finura, mantendo a continuidade granulométrica, e piora quando o agregado apresenta grãos angulosos (CABRAL, 2007).

De acordo com Leite (2001), a trabalhabilidade é considerada uma das mais importantes propriedades do concreto no estado fresco, podendo exercer grande influência nas propriedades do concreto endurecido, como os custos de manutenção e aparência deficiente. Porém, esta não é uma propriedade intrínseca do concreto, sendo que para ter algum significado, deve-se possuir nexos com o tipo de construção e método de lançamento, adensamento e acabamento.

A trabalhabilidade sendo uma das propriedades do concreto fresco possui algumas características que a define, como a consistência e coesão. A consistência é uma medida da umidade da mistura do concreto, a qual é avaliada em termos de abatimento, ou seja, quanto mais úmida a mistura maior o abatimento (facilidade de escoar). Já a coesão é a medida da facilidade de adensamento e de acabamento e pela avaliação visual de resistência a segregação (resistência à exsudação e à segregação) (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Para verificação da característica de consistência de um concreto, utiliza-se, sob condições normativas, o cone de Abrams, ferramenta que permite mensurar a consistência ou fluidez de um concreto, a partir dos respectivos abatimentos do tronco de cone (NUNES, 2007).

Vários fatores podem interferir na trabalhabilidade das misturas do concreto, as quais são: consumo de água ou de cimento, granulometria do agregado ou por outras características físicas e aditivos e adições.

4.3.5.4. Segregação e Exsudação

De acordo com Geyer e Sá (2006), a segregação pode ser definida como sendo a separação dos constituintes da mistura do concreto fresco de uma maneira que sua distribuição não seja mais constante. Existem, basicamente, duas formas de segregação. A primeira, típica de concretos pobres e secos, onde os grãos dos agregados tendem a separar-se da argamassa (cimento, areia e água) durante as operações de lançamento com energia excessiva ou vibração intensa. A segunda, comum nas misturas muito plásticas, manifesta-se pela nítida separação da água da pasta da mistura, sendo também conhecida por exsudação.

Segundo Ambrozewics (2012), a ausência de segregação é essencial para que seja possível atingir a conveniente consistência da mistura, fato que é essencial para se atingir o potencial máximo de resistência.

A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água de amassamento tende a vir a superfície do concreto recentemente lançado antes da sua pega, quando a sedimentação não pode mais ocorrer. A exsudação é provocada pela impossibilidade dos constituintes sólidos fixarem toda a água da mistura e depende, em grande escala, das propriedades do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

4.3.3. Propriedades do concreto no estado endurecido

4.3.3.1. Resistência mecânica a compressão

A resistência a compressão é a propriedade mais importante do concreto sendo tomada como base para avaliar a sua qualidade, e por estar relacionada com sua estrutura interna, indicando uma estimativa do desempenho em termos mecânicos e, indiretamente, da durabilidade (CABRAL, 2007).

A NBR 5739 (ABNT, 1994) indica o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto moldados. As principais condições que afetam a resistência mecânica são a relação água/cimento, idade, índice e forma dos agregados, forma e dimensões dos corpos de prova, velocidade e duração de aplicação de carga.

A alteração da relação água/cimento influencia, diretamente, na resistência mecânica do concreto no estado endurecido. A diminuição da resistência mecânica do concreto pode ocorrer de acordo com o aumento da quantidade de água adicionada na mistura, podendo causar algumas microestruturas porosas em volta dos agregados ocasionando uma estrutura com maior porosidade (REMACHANDRAN e BEAUDOIN, 2000).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), as reações de hidratação do concreto permanecem em constante evolução por vários anos e merecem atenção especial na prática da construção pois a cura inadequada provoca a falta de resistência mecânica e durabilidade. Assim, concretos com idades avançadas possuem maior resistência mecânica, desde que em condições normais de operação (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A forma e a resistência dos agregados também afetam diretamente a resistência mecânica dos concretos. Sendo assim, é importante o emprego de agregados originários de materiais de qualidade comprovada, com forma, granulometria adequadas e também com boa resistência (DAY, 2006).

Neville (1997) explica que essa aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão, sendo dividida, em parte, ao intertravamento do agregado com a pasta de cimento hidratada, proporcionada pela aspereza da superfície das partículas do agregado. Uma superfície mais áspera resulta numa melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico.

Cabral (2007) acrescenta que quando a aderência do agregado a argamassa de cimento é adequada, o corpo de prova rompido deve apresentar partículas de agregado rompidas, contudo, se a quantidade de partículas rompidas for muito grande, pode ser resultante da baixa resistência física do agregado.

4.3.3.2. Resistência mecânica a compressão diametral (tração)

O experimento de compressão diametral pode ser determinado de maneira indireta de acordo com ensaio proposto pelo professor Fernando Luís Lobo Barboza Carneiro, ensaio conhecido no exterior como *ensaio brasileiro*, que foi desenvolvido para determinação da resistência à tração de corpos de prova cilíndricos de concreto de cimento Portland (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986).

O procedimento para realização do ensaio segue conforme o indicado na norma NBR 7222 (ABNT, 1994). O ensaio de tração indireta constitui-se então de um ensaio onde o corpo de prova é comprimido na direção transversal (Figura 4), de modo que este se deforme

longitudinalmente. Normalmente nota-se o surgimento de trincas verticais no corpo de prova para materiais rígidos.

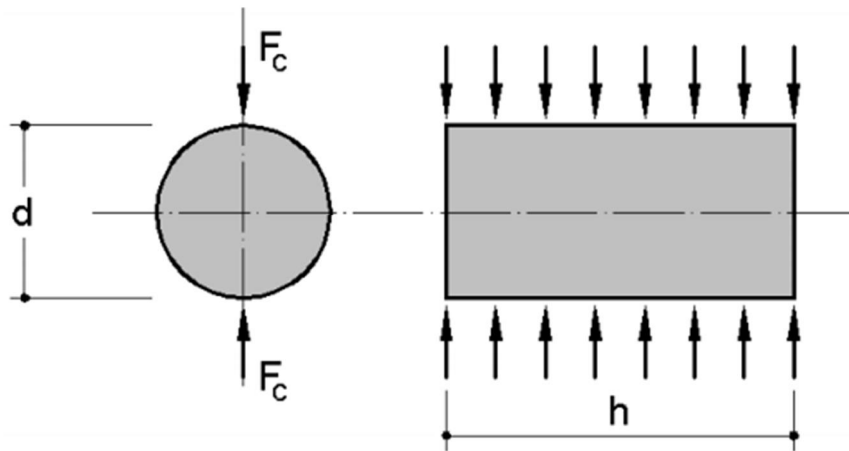


Figura 4 - Ensaio de tração por compressão diametral. Adaptado de Pinheiro et al (2004).

Pinheiro et al (2004) citam que para a realização do ensaio, um corpo-de-prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta do concreto (ruptura por fissuração) como apresenta a Figura 5.

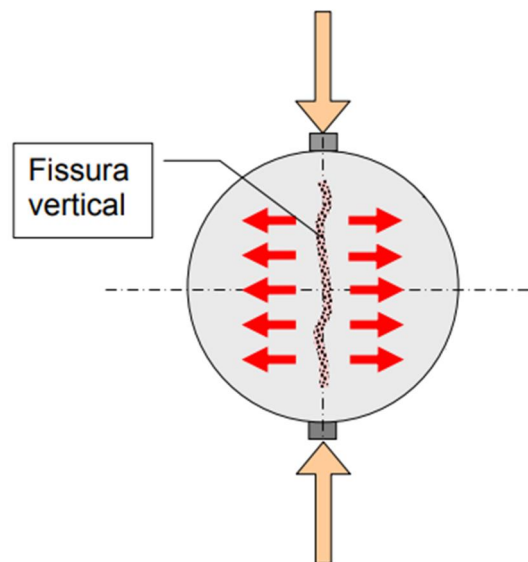


Figura 5 - Arranjo esquemático do ensaio. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) a relação entre os testes de resistência a compressão e a compressão diametral (tração) deverá corresponder a variação de 7 a 11%, para o mesmo elemento estrutural do concreto. Esses dois limites estão estreitamente relacionados, entretanto não há equivalência direta.

4.3.3.3. Durabilidade

A durabilidade é um dos critérios de avaliação da resistência do concreto e depende, fundamentalmente, das condições em que o mesmo está sujeito em serviço, possuindo uma vida útil e extensa. De acordo com *ACI Concrete Terminology* (2013), concretos tem sua durabilidade definida através da sua aptidão de resistir a ação de intempéries e agentes físicos e mecânicos. Logo, compreender as características do concreto e as condições a que está submetido é importante para buscar reduzir e até mesmo eliminar esses problemas.

A agressividade sofrida pelo concreto e sua relação com a qualidade do mesmo, impõe observações no fator água-cimento, resistência à compressão e mais severidade quanto ao controle de fissuração nos elementos, o que reflete a importância e a preocupação com a durabilidade nos casos de deterioração das estruturas de concreto de acordo com os requisitos de segurança, economia e funcionalidade, de um modo geral (LIBERATI et al, 2014).

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a água em suas diversas formas, como: água subterrânea, do mar, de rios e lagos, de neve e gelo, de chuva e de vapor sem dúvida são os mais abundantes fluidos da natureza e possuem íon e gases capazes de decompor muitos materiais sólidos. Mendes (2016) acrescenta que a água está presente em, praticamente, todos os mecanismos que envolvem a deterioração do concreto devido à sua habilidade de agir como solvente dos materiais da estrutura penetrando nos sólidos porosos aumentando ainda mais a taxa de deterioração.

Mehta e Gerwick (1982) agruparam as causas físicas da deterioração do concreto, em duas categorias, sendo por perda de massa devido a abrasão, erosão e cavitação e fissuração devido a gradientes normais de temperatura e umidade. As causas químicas foram compostas e divididas em três categorias: hidrólise de componentes da pasta por água mole, reações de troca catiônica entre fluidos agressivos e a pasta de cimento, e por fim, reações químicas como: ataque por sulfato, reação álcali-agregado e reação das armaduras no concreto.

Assim sendo, é de extrema importância o conhecimento do tipo de aplicação em que o concreto será utilizado. Com base nessa afirmação, considera-se a utilização, em determinados casos, de concretos especiais ou com formulações diferentes, buscando atender a demanda de serviço aumentando sua durabilidade (MENDES, 2016).

4.3.3.4. Reação Álcali-Agregado

A reação álcali-agregado (RAA) pode ser definida como uma reação química e um fenômeno patológico que ocorre internamente nas estruturas de concretos podendo causar a

redução da durabilidade das mesmas. Hasparyk (2005) cita que essa reação ocorre envolvendo os hidróxidos alcalinos originários dos cimentos e alguns minerais que são reativos que estão presentes nos agregados, formando novos produtos que na presença de umidade, altas temperaturas são capazes de expandir, originando fissurações e deslocamento das estruturas de concretos.

4.4. Materiais Alternativos para Construção Civil

Devido ao grande consumo de concreto no mundo, a busca por materiais alternativos descartados por outras atividades permite que diversos estudos sejam realizados na busca por materiais que possam substituir os atuais componentes do concreto de forma eficiente e sustentável, reduzindo custos e minimizando os impactos ambientais (MENDES, 2016).

Para Luz e Almeida (2012) o uso de agregados não convencionais ou alternativos se justifica, no caso da exaustão dos agregados convencionais, principalmente os de natureza aluvionar, ou quando a exploração deste está provocando impactos ambientais, ou quando aumenta as distâncias das pedreiras ou dos portos de areia para o mercado consumidor, contribuindo para aumentar os custos de transporte dos agregados, para as regiões metropolitanas do País.

No entanto, ao recorrer a tais materiais, esses não devem, de forma alguma, comprometer a qualidade dos trabalhos que estão sendo conduzidos. Para tal, torna-se necessário que esses agregados alternativos sejam previamente e cuidadosamente caracterizados do ponto de vista geotécnico, petrográfico e mineralógico, para não comprometer as exigências técnicas requeridas pela construção civil (TOURENQ et al., 2000).

O mapeamento sistemático é uma ferramenta importante que possibilita uma visão geral das novas tendências, e proporciona uma pesquisa sobre os principais materiais alternativos utilizados na substituição no concreto. Dessa forma, nesta breve pesquisa, o mapeamento seguiu o proposto pelos autores Petersen et al (2008), Costa et al (2014); Paula e Ilha (2016) e Mendes (2016).

A pesquisa foi realizada utilizando a base de dados *Science Direct*, considerando o ano de 2010 até o presente momento (outubro de 2017) e os descritores *Aggregate* e *Waste* como termos lógicos. Após a busca inicial, foram empregados os seguintes filtros: *concrete*, *compressive strength* e *coarse aggregate*. A Tabela 2, a seguir, estão apresentados os periódicos encontrados no mapeamento e a quantidade de artigos publicados.

Após a leitura dos 83 artigos encontrados nos periódicos a partir dos descritores escolhidos como filtros, foram selecionados 35 artigos, os quais continham em seus títulos e resumos apenas assuntos relacionados a pesquisas que envolviam concreto com substituição de agregados graúdos por materiais alternativos.

Os artigos que se referiam a substituição de agregados miúdos e cimento Portland foram descartados, pois o foco deste estudo foi apenas encontrar trabalhos relacionados a substituição de agregados graúdos convencionais por materiais alternativos.

Tabela 2 - Periódicos encontrados, número de artigos publicados e selecionados após leitura do título e resumo.

BASE DE DADOS - SCIENCE DIRECT		
PERÍODICOS	ARTIGOS	
	ENCONTRADOS	SELECIONADOS
Construction and Building Materials	56	24
Procedia Engineering	9	3
HBRC Journal	4	2
Cement and Concrete Composites	3	2
International Journal of Sustainable Built Environment	3	x
Case Studies in Construction Materials	1	1
Computational Materials Science	1	x
International Journal of Pavement Research and Technology	1	x
Journal of Building Engineering	1	x
Journal of King Saud University - Engineering Sciences	1	1
Measurement	1	x
Journal of Cleaner Production	1	1
Archives of Civil and Mechanical Engineering	1	1
Total	83	35

Na Figura 6, está apresentada a evolução da publicação de artigos dentro da data estipulada, de 2010 até outubro de 2017. Nota-se que o maior número de artigos publicados se encontra no período a partir de 2014, com isso, pode-se afirmar que o tema é recente e com grandes possibilidades de campos a serem explorados.

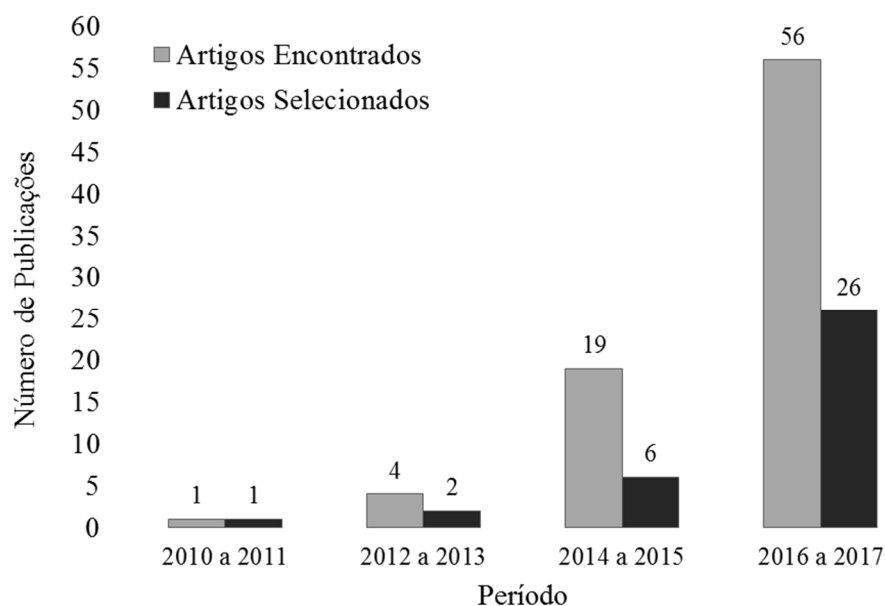


Figura 6 - Evolução de publicações nos periódicos pesquisados, considerando artigos nacionais e internacionais publicados e selecionados até a data limite de outubro de 2017.

Na Tabela 3, são apresentados os materiais alternativos que fazem parte das pesquisas, as quais foram selecionadas para fazer parte deste estudo. O material mais utilizado é o resíduo de construção, 37% dos artigos encontrados, que é produzido por obras e está condicionado à alguma característica do processo construtivo, e muitas vezes é constituído por materiais como tijolos, cerâmicas e concreto endurecido que não são utilizados e acabam sendo descartados como resíduo (GONÇALVES, 2001).

Tabela 3 - Principais materiais alternativos utilizados como substituição do agregado graúdo no concreto.

MATERIAIS ALTERNATIVOS	NÚMERO DE ARTIGOS
Resíduo de Mármore	2
Clínquer de Óleo de Palma (POC)	1
Fibras de Carbono	1
PET (polietileno tereftalato)	4
Resíduo Agrícola	1
Resíduo de Borracha	1
Resíduo de Cerâmica	4
Resíduo de Construção	13
Resíduo de Escória	4
Resíduo de Vidro	1
Resíduo do corte de Quartzito	1
Resíduo Orgânico	2

Fonte: Autoria Própria.

A partir da leitura das pesquisas selecionadas, pode-se afirmar que há uma tendência de altas porcentagens de substituição dos agregados graúdos por materiais alternativos devido ao grande volume que estes ocupam no concreto, cerca de 40%, de acordo com Mehta (2001).

Na Tabela 4, é apresentada a porcentagem máxima de substituição de agregado graúdo por material alternativo de acordo com cada autor relacionado a sua pesquisa, cerca de 54% dos artigos substituem 100% dos agregados por materiais alternativos.

Tabela 4 - Porcentagem máxima de substituição do agregado graúdo por materiais alternativos.

AUTORES	MATERIAIS ALTERNATIVOS	PORCENTAGEM MÁXIMA DE SUBSTITUIÇÃO (%)
Hamoon Fathi et al (2017)	Resíduo de Vidro	1,5
Borg, R. P. et al (2016)	PET (Polietileno tereftalato)	1,5
Apeksha Kanojia et al (2017)	Resíduo Orgânico	10
J.R. Correia et al (2014)	PET (Polietileno tereftalato)	15
Azad A. Mohammed (2017)	PET (Polietileno tereftalato)	15
Özalp, F. et al (2016)	Resíduo de Construção	20
C. Medina et al (2011)	Resíduo de Cerâmica	25
Güneyisi, E. et al (2016)	Resíduo de Borracha	25
Khuram Rashid et al (2017)	Resíduo de Cerâmica	30
Nihat Atmaca et al (2017)	Resíduo de Construção	40
Tanja Kalman Typo et al (2017)	Resíduo de Construção	50
Miren Etxeberri et al (2016)	Resíduo de Escória	50
F.López-Gayarre et al (2015)	Resíduo de Cerâmica	50
D. Kore Sudarshan et al (2017)	Resíduo de Mármore	75
Yasser Abdelghany Fawzy (2016)	Resíduo de Construção	75
Sanjeev Kumar et al (2016)	Resíduo de corte de Quartzo	75
D. Kore Sudarshan et al (2016)	Resíduo de Mármore	100
Ahmed S.Ouda et al (2014)	Resíduo de Escória	100
Shahiron Shahidan et al (2017)	Resíduo de Construção	100
Artur Koper et al (2017)	Resíduo de Construção	100
V. Subathra Devi et al (2014)	Resíduo de Escória	100
Sina Safinia et al (2016)	PET (Polietileno tereftalato)	100
Derrick J.Anderson et al (2016)	Resíduo de Cerâmica	100
Payam Shafigha et al (2014)	Resíduo Agrícola	100
Jesús Suárez González et al (2017)	Resíduo de Construção	100
Mohsen Ahmadi et al (2017)	Resíduo de Construção	100

Fuad Abutaha et al (2016)	Clínquer de Óleo de Palma (POC)	100
Ciarán J. L. et al (2016)	Resíduo Orgânico	100
Sérgio Roberto da Silva et al (2017)	Resíduo de Construção	100
Adem Ait Mohamed Amer et al (2016)	Resíduo de Construção	100
Ignasi Fernandez et al (2016)	Resíduo de Construção	100
A.Gonzalez-Corominas et al (2014)	Resíduo de Construção	100
Isabel Martínez-Lage et al (2012)	Resíduo de Construção	100
Elie Awwad et al (2012)	Fibras de Carbono	100
Palankar, N. et al (2016)	Resíduo de Escória	100

Fonte: Autoria Própria.

4.5. Estudo de dosagem do concreto

Assunção (2002), cita alguns métodos que buscam determinar o traço do concreto, os quais são:

- Método do Instituto de Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (ITERS);
- Método do Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT);
- Método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S A (IPT);
- Método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Segundo Mendes et al (2016), o método da ABCP é uma tradução do método da *American Concrete Institute* (ACI), buscando adequar-se aos padrões nacionais e aos materiais disponíveis no local. Este método permite a obtenção de um traço com base nos dados de caracterização dos materiais componentes do concreto, relacionando seu abatimento e a relação água/cimento.

A norma NBR 12655/2006 estabelece um cálculo de resistência à compressão do concreto que deve atender as condições de variabilidade medida pelo desvio padrão (σ_{fcj}), como é mostrado na Equação 1:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65\sigma_{fcj} \quad (1)$$

A Equação 1 consiste em definir resistência à compressão do concreto, onde f_{cj} é a resistência a compressão do concreto prevista para a idade de j dias, em MPa, na idade de normalmente 28 dias, f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto (MPa), e o desvio padrão (σ_{fcj}) é a relação ao controle de dosagem determinado. Pela NBR 12655/2006, define-se as condições de preparo do concreto citadas a seguir:

- Condição A ($f_{ck} = 4$ MPa): concreto dosado em massa, controle de qualidade rigoroso e assistência de tecnologia a obra;
- Condição B ($f_{ck} = 5,5$ MPa): concreto dosado em massa, agregados em volume, controle de qualidade e assistência de tecnologia a obra;
- Condição C ($f_{ck} = 7$ MPa): concreto dosado em massa, agregados em volume, sem controle.

Segundo Assunção (2002), a resistência à compressão é o principal parâmetro da resistência mecânica a ser considerado. O valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, como mostrado a Figura 7, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento com idade de 28 dias. Ainda por Assunção (2002), quando não se dispõe da Curva de Abrams e não houver restrições quanto à durabilidade, é possível utilizar-se das Curvas de Walz, mostradas na Figura 8.

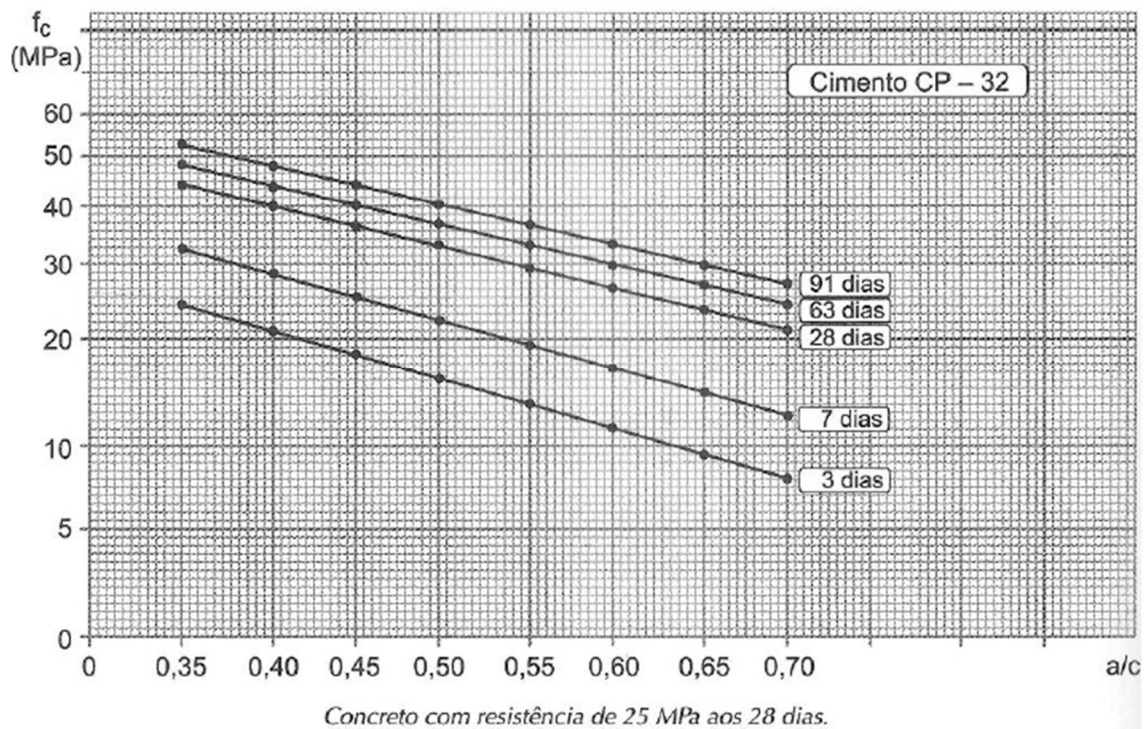


Figura 7 - Curva de Abrams de um cimento CP 32. Adaptado de Ambrozewicz (2012).

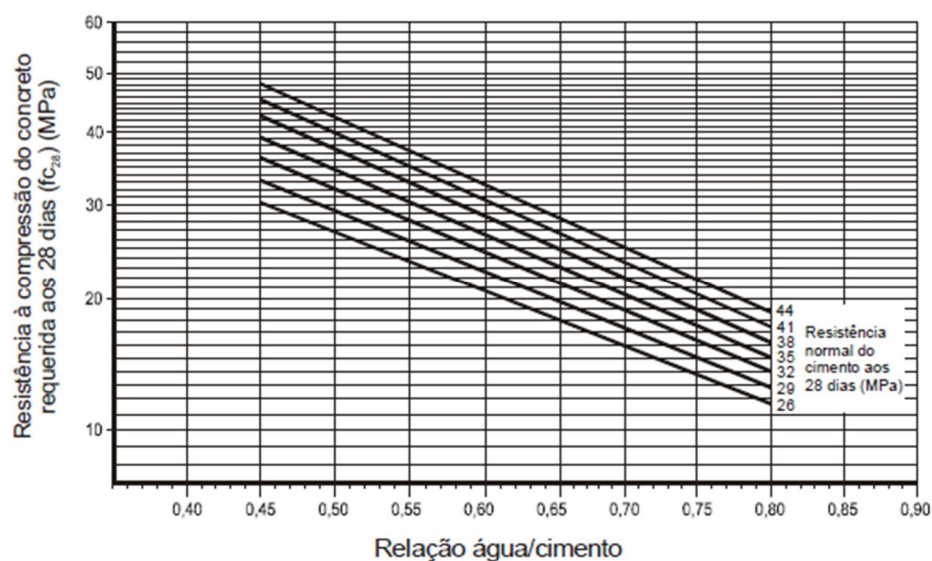


Figura 8 - Curvas de Walz para determinação da relação água/cimento (a/c). Fonte: Assunção (2002).

Rodrigues (1998), expressa o consumo de água, pela Tabela 5 onde os valores são encontrados pela função da dimensão máxima do agregado graúdo e a consistência do concreto.

Tabela 5 - Consumo de água aproximado (l/m^3).

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 ó 60	220	195	190	185	180
60 ó 80	225	200	195	190	185
80 ó 100	230	205	200	200	190

Fonte: Adaptado de Rodrigues (1998).

Com os valores de consumo de água por metro cúbico de concreto e a relação água/cimento definidos é possível quantificar o consumo de cimento de acordo com a Equação 2:

$$C_{28} = \frac{W_{28}}{a/c} \quad (2)$$

Onde,

C_{28} = consumo de cimento por metro cúbico de concreto (kg/m^3);

W_{28} = consumo de água por metro cúbico de concreto (l/m^3); (a/c) = relação água/cimento.

De acordo com Assunção (2002), o método de dosagem da ABCP permite que as misturas possuam uma determinada consistência, propiciando um menor volume de vazios

possíveis. O princípio é colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto. Na Tabela 6 são apresentados valores determinados experimentalmente pela ABCP em função do Diâmetro Máximo característico do agregado graúdo (máx.), e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 6 - Volume compactado seco de agregado graúdo (Vb)

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2,0	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3,0	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,8	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: Adaptado de Rodrigues (1998)

Ainda pelo mesmo autor, a estimativa de consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto pode ser dada pela Equação 3:

$$V_{ag} = \frac{V_b}{\gamma_{ag}} \quad (3)$$

Onde:

V_{ag} = consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto (kg/m³);

V_b = volume compactado seco do agregado graúdo por metro cúbico de concreto;

γ_{ag} = massa unitária compactada do agregado graúdo por metro cúbico de concreto (kg/m³).

Ainda por Assunção (2002), a quantidade de agregado miúdo para um metro cúbico de concreto pode ser dada pela Equação 4 e seu consumo pela Equação 5.

$$V_m = 1 - \left(\frac{V_c}{\gamma_c} + \frac{V_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{V_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

Onde:

V_m = volume de agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m³);

$\gamma_c, \gamma_{ag}, \gamma_a$ = massa específica do cimento, agregado graúdo e da água.

$$V_2 = \gamma_2 V_1 \quad (5)$$

Onde:

V_2 = consumo do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto (kg/m^3);

γ_2 = massa específica do agregado miúdo (areia) (kg/m^3).

A dosagem do concreto pode ser estipulada a partir do traço, o qual é representado de acordo com a Equação 6:

$$\frac{C}{C} : \frac{A}{A} : \frac{S}{S} : \frac{S}{S} \quad (6)$$

4.6. Microestrutura do Concreto

O concreto de cimento Portland é um material poroso, com uma estrutura bastante heterogênea e complexa. Atualmente, o desenvolvimento do concreto está intimamente ligado ao estudo de sua macro e microestrutura, sendo que seu entendimento permite uma melhor caracterização de cada constituinte e de seu relacionamento com os demais. A utilização da técnica de análise de imagens através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) se tornou uma interessante ferramenta para estudo de materiais cimentícios, como concretos e argamassas para caracteriza-las e relaciona-las com a performance final do concreto, principalmente nos aspectos de durabilidade e resistência mecânica (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Segundo Mendes (2016), através do polimento de um corpo de prova de concreto em escala macroscópica (Figura 9), considerada como a estrutura que pode ser visível a olho nu, é possível distinguir pelo menos duas principais fases: partículas de agregados com as mais distintas formas e dimensões e uma pasta de cimento hidratada composta por diferentes fases microscópicas.



Figura 9 - Seção polida de um corpo de prova. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

De acordo com Correia et al (2014), o arranjo dos agregados, poros grandes, pasta e defeitos podem ser estudados quando as imagens são obtidas em baixas ampliações. Em ampliações elevadas, é possível observar a morfologia das fases amorfas (C-S-H) e cristalinas (etringita), elemento conhecido por gerar tensões internas no concreto e ocasionar expansões; e poros muito pequenos (Figura 10). Por outro lado, a variação de contrastes na microestrutura permite a quantificação por análise de imagem dos diferentes constituintes microestruturais (porosidade, anidros, hidratos).

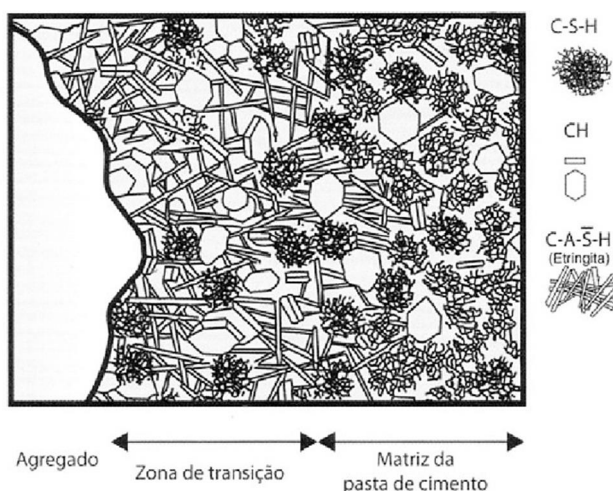


Figura 10 - Zona de transição da matriz da pasta de cimento. Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

Mendes (2014) afirma que a zona de transição (ZT) compreende a faixa entre o agregado graúdo e a pasta de cimento e, embora composta pelos mesmos elementos da pasta de cimento hidratada, sua microestrutura e propriedades são diferentes da matriz da pasta.

A ligação mais fraca do concreto se encontra na zona de transição, ocorrendo devido à alta porosidade, com a presença de grandes cristais de hidróxido de cálcio que possuem baixa aderência e formam estrutura pouco densa e microfissuras preferencialmente nesta região. Sendo assim, a resistência do concreto é restrita pela resistência desta zona (LI, 2011).

5. METODOLOGIA

5.1. Planejamento Experimental dos Ensaio

Para verificação da influência do estéril na resistência do concreto, a metodologia utilizada foi experimental. As resistências definidas foram para concretos de 20 MPa, pois tal valor de resistência característica (f_{ck}) corresponde à menor resistência à compressão permitida pela norma NBR 6118 (ABNT, 2007).

No experimento foram moldados 200 corpos de prova, com formatos cilíndricos (10 x 20 cm), sendo 40 corpos de prova para cada tipo de substituição do agregado graúdo por estéril escalpado (0; 25; 50; 75 e 100%). Desses 40 corpos de prova, 32 foram destinados a ensaios de resistência mecânicas (compressão e tração) e 8 para ensaios de absorção de água. Sendo assim, a Figura 11 exibe o fluxograma experimental realizados neste trabalho.

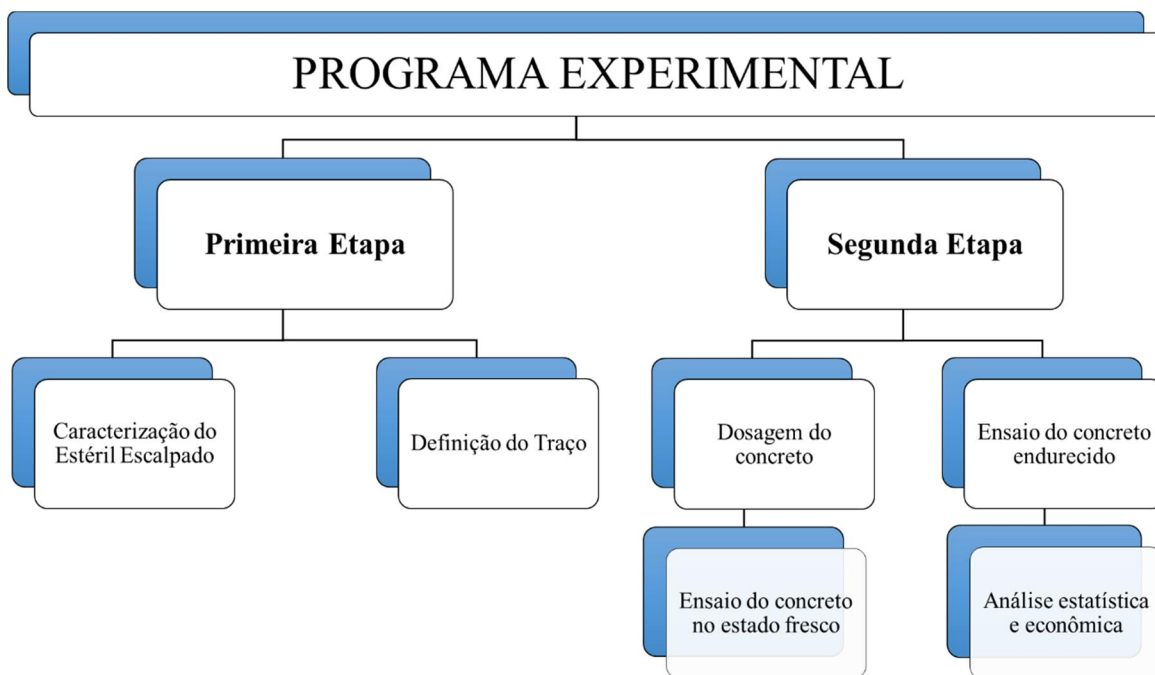


Figura 11 - Fluxograma operacional dos processos realizados neste trabalho.

5.2. Laboratórios de Realização dos Ensaios

Os ensaios desta pesquisa foram realizados em três laboratórios distintos:

- Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin) da Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão;
- Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer;
- Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil ó Universidade Federal de Uberlândia.
- Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) ó Universidade Federal de Goiás ó Goiânia.

A necessidade da utilização dos três laboratórios citados foi devido ao LaMPPMin (UFG ó RC) não possuir estrutura física para realização de alguns testes de caracterização referente a resistência mecânica dos agregados, sendo assim foram enviadas amostras para caracterização no Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer.

5.3. Identificação das amostras

O material utilizado na pesquisa possuía 4 características geológicas distintas devido as frentes de lavras serem retomadas em velocidades diferentes, não possuindo discriminação alguma de estocagem, ou seja, todo o material foi misturado no processo de formação da pilha. Inicialmente, os testes de caracterização foram realizados separadamente a fim de verificar se alguma amostra de formação da pilha inviabilizaria a amostra geral.

Foram enviadas ao LaMPPMin, 4 amostras de 100 kg com granulometrias distintas de cada material, constituinte da pilha de estéril escarpado, e coletadas conforme estabelecido pela NBR NM 26 (ABNT, 2001). Tal norma estabelece os procedimentos para amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concretos destinados a ensaios de laboratório. Na Figura 12 são apresentados os 4 tipos de amostras que compõe a pilha de estéril.

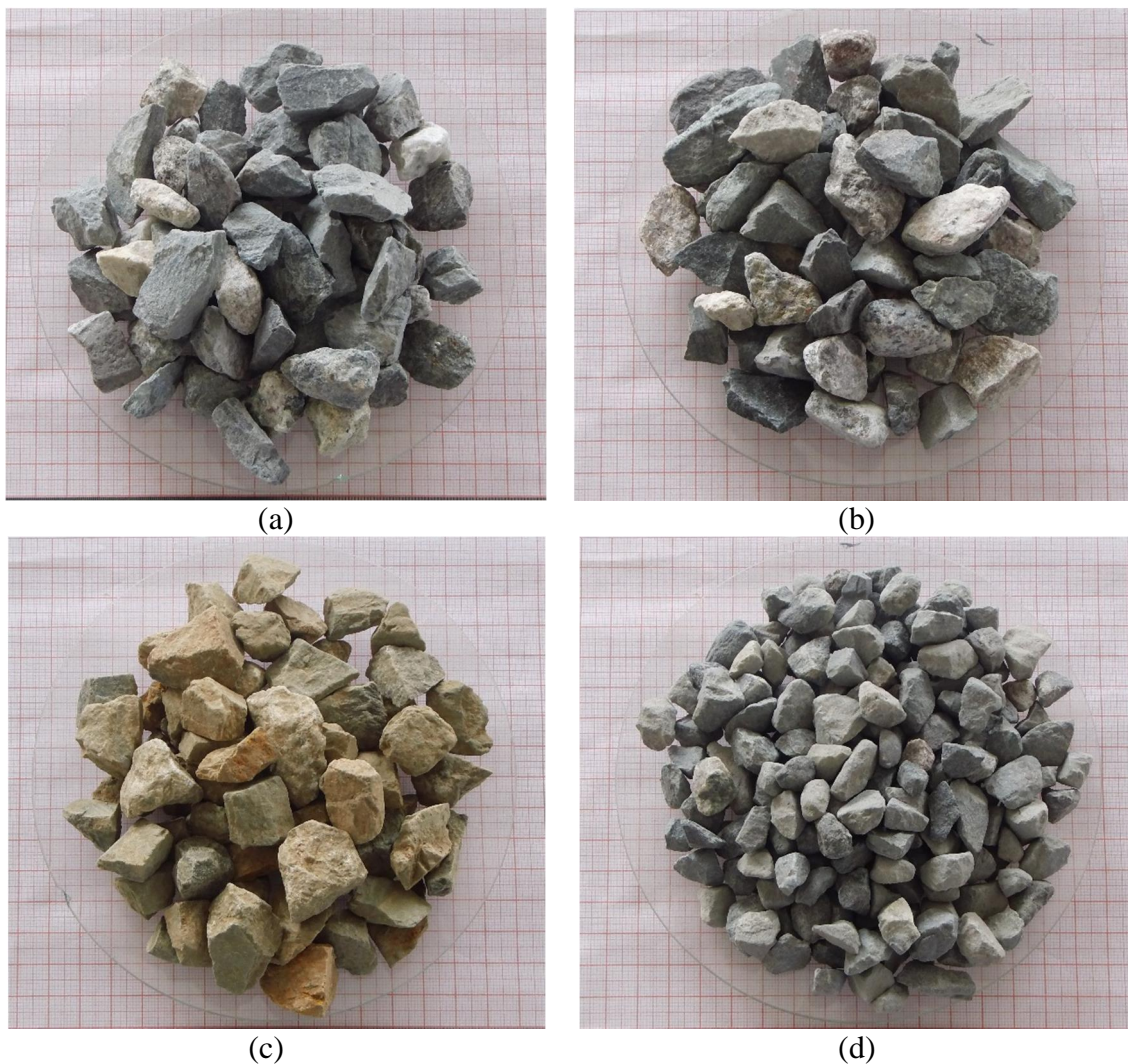


Figura 12 - Amostras de estéril escalpado ensaiadas nos testes de caracterização: (a) carbonatada; (b) silicatada; (c) oxidada e (d) expurgo.

Foram adotadas nomenclaturas distintas para descrever os tipos de materiais utilizados, seguindo a nomenclatura adotada pela Niobras, conforme a Tabela 7. As amostras foram peneiradas para obtenção de suas granulometrias e especificações comerciais e classificadas como mostrado na Tabela 8.

Tabela 7 - Nomenclatura de identificação dos tipos de amostras.

AMOSTRAS	ABREVIACÕES
Carbonatada	A
Silicatada	B
Oxidada	C
Expurgo	D

Tabela 8 - Especificação comercial de britas quanto a sua granulometria.

TAMANHO (mm)	BRITA 3	BRITA 2	BRITA 1	BRITA 0
Máximo	50	31,5	25	12,5
Mínimo	25	19	9,5	4,75

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

Após realizada a análise granulométrica, classificação e separação do material, as amostras foram selecionadas de acordo com sua granulometria, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Especificação comercial das amostras ensaiadas

AMOSTRAS	CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA			
	BRITA 0	BRITA 1	BRITA 2	BRITA 3
A				
B				
C				
D				

5.4. Caracterização das amostras

As amostras foram homogeneizadas e suas massas reduzidas por quarteamento de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001), que estabelece as condições exigíveis na redução da massa de amostras de agregado tomada em campo para ensaios em laboratório.

Para realização do procedimento de quarteamento foi necessária a homogeneização das amostras em uma superfície limpa e plana, formando um tronco de cone de diâmetro 4 a 8 vezes maior que sua altura com ajuda da pá, seguindo pela divisão em quatro partes iguais, sendo retiradas no sentido diagonal até chegar a quantidade necessária para ensaios conforme a Figura 13.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 13 - Etapas de quarteamento das amostras para realização dos ensaios (a) amostra do material estudado; (b) quarteamento; (c) recolhimento da amostra que foi ensaiada; (d) separação em triplicada.

É fundamental o conhecimento de certas características dos materiais, pois trata-se de uma nova alternativa de material com características de um agregado graúdo, devido a isso foi necessária a realização de ensaios proposto pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para garantir que esses materiais tivessem características adequadas para sua utilização na fabricação de concreto.

A NBR 7211 (ABNT, 2009) especifica critérios necessários e exigíveis para atender a produção dos agregados graúdos destinados a produção de concreto de cimento Portland. Na Tabela 10 são nomeados os ensaios destinados a classificação de agregados graúdos, de acordo com suas respectivas normas vigentes.

Tabela 10 - Ensaio de caracterização de agregados graúdos

NORMAS TÉCNICAS	ENSAIOS REALIZADOS
NBR 7211 (ABNT, 2009)	Distribuição granulométrica
	Forma dos grãos
	Massa específica
	Massa unitária
	Torrões de argila e matérias friáveis
	Material fino que passa através da peneira 0,075 mm por lavagem
	Determinação da forma dos fragmentos
	Determinação de resistência ao choque
	Ensaio de Abrasão Los Angeles
	Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e de magnésio
NBR 15577 ó Parte I e IV (ABNT, 2008)	Reações álcali-agregado

5.4.1. Determinação da composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica (NBR 248/2003).

A determinação da granulometria é um método de análise que tem em vista classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos, determinando a quantidade correspondentes de cada fração granulométrica, normalmente expressa em porcentagem acumuladas maior ou menor entre certas faixas de aberturas das peneiras, como mostrado na Tabela 11 (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Tabela 11 - Limites da composição granulométrica de agregados graúdos.

ABERTURAS DAS PENEIRAS (mm)	PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA				
	ZONA GRANULOMÉTRICA D/D*				
	4,75 / 12,5	9,5 / 25	19 / 31,5	25 / 50	37,5 / 75
75	ó	ó	ó	ó	0 ó 5
63	ó	ó	ó	ó	5 ó 30
50	ó	ó	ó	0 ó 5	75 -100
37,5	ó	ó	ó	5 ó 30	90 ó 100
31,5	ó	ó	0 ó 5	75 ó 100	95 ó 100
25	ó	0 ó 5	5 ó 25	90 ó 100	ó
19	ó	2 ó 15	65 ó 95	95 ó 100	ó
12,5	0 ó 5	40 ó 65	92 ó 100	ó	ó
9,5	2 ó 15	80 ó 100	95 ó 100	ó	ó
6,3	40 ó 65	92 ó 100	ó	ó	ó
4,75	80 ó 100	95 ó 100	ó	ó	ó
2,36	95 ó 100	ó	ó	ó	ó

*Zona granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo. Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2009).

A composição granulométrica é a característica de um agregado, pois há diversos motivos para ser conhecida, essa característica terá importância na hora da confecção da curva granulométrica, elaboração de dosagem de concretos e controle da homogeneidade dos lotes recebidos na obra, e uma grande importância na influência da trabalhabilidade de concretos e argamassas (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O procedimento para a determinação da distribuição granulométrica foi realizado inicialmente com a secagem da amostra em estufa com uma temperatura variando entre 100 e 110° C por um período de 24 horas, resfriando a amostra logo em seguida à temperatura ambiente e determinando suas massas. Na Tabela 12 foi montada a série de peneiras de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2009).

Tabela 12 - Conjunto de peneiras da série normal e intermediária com suas devidas aberturas nominais em milímetros.

SÉRIE	SÉRIE
NORMAL	INTERMEDIÁRIA
(mm)	(mm)
75,0	-
-	63,0
-	50,0
37,5	-
-	31,5
-	25,0
19,0	-
-	12,5
9,50	-
-	6,3
4,75	-
2,36	-
1,18	-
0,60	-
0,30	-
0,15	-

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2009).

A amostra a ser peneirada foi introduzida na peneira superior, evitando a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras, bem como a deformação da tela ou alterações nos resultados do peneiramento. Após a alimentação promoveu-se a agitação mecânica por um período mínimo de 10 a 15 minutos.

Após o peneiramento da amostra, cada peneira foi escovada com o auxílio de escova de cerdas macias dos dois lados para a retirada de todo material retido em cada peneira, logo em seguida foi realizada a pesagem do material e realizados os cálculos das porcentagens médias, retida e acumulada, em cada peneira.

A dimensão máxima característica ($D_{máx}$), foi determinada em milímetros, como sendo a abertura da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida

acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% e o módulo de finura (MF), foi determinado pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100 (NBR 7211/2009).

5.4.2. Determinação da massa específica aparente e absorção de água.

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, desconsiderando os poros permeáveis à água e é utilizada para classificação do agregado quanto à sua densidade. O procedimento para realização da massa específica iniciou-se com a preparação das amostras conforme procedimento das normas NBR NM 26 e 27 e feita a pesagem do mesmo registrando (P_1).

Logo em seguida o material foi seco em estufa (100 a 110°C) por um período de 24 horas e resfriado a temperatura ambiente. Após a secagem, cada amostra foi submergida separadamente em recipientes com água à temperatura ambiente por um período entre 20 e 28 horas. Na sequência, o excesso de água da superfície do material foi retirado com o auxílio de um tecido absorvente, e a pesagem do mesmo foi feita registrando (P_2), identificando a diferença no peso.

A massa da amostra saturada com superfície seca foi imediatamente colocada em um recipiente constituído de um cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm e submergido em água à temperatura de 23 ± 2 °C, e então foi realizada a pesagem submersa utilizando-se uma balança hidrostática e identificando o (P_3).

Após a pesagem da amostra submersa, secou-se a amostra em estufa a uma temperatura de (100 a 110°C) durante 24 horas. Após esse período realizou-se nova pesagem obtendo (P_4). A sequência esquemática do ensaio pode ser observada na Figura 14.

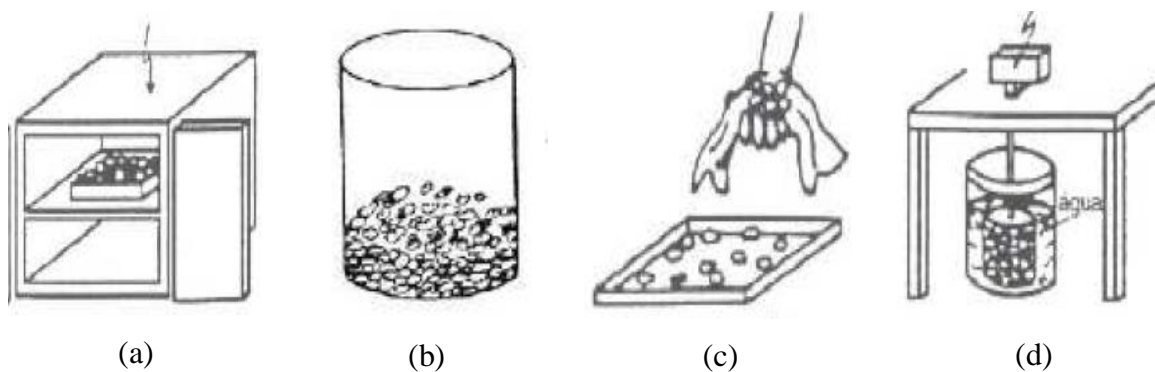


Figura 14 - Sequência esquemática do ensaio: (a) secagem em estufa; (b) material submergido em água; (c) retirada do excesso de água com um pano absorvente e (d) pesagem do material em balança hidrostática.

Tal ensaio visa à determinação da massa específica do agregado seco, por meio das Equações 7, 8, 9 e 10:

$$d = \frac{P_2}{P_1 + P_3} \quad (7)$$

Onde:

d é a massa específica do agregado seco (g/cm³);

P₁ é a massa ao ar, amostra seca (g);

P₂ é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

P₃ é a massa em água da amostra (g).

$$ds = \frac{P_2}{P_1 + P_3} \quad (8)$$

Onde:

ds é a massa específica do agregado saturado e superfície seca (g/cm³);

P₂ é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

P₃ é a massa em água da amostra (g).

$$da = \frac{P_1}{P_1 + P_3} \quad (9)$$

Onde:

da é a massa específica aparente (g/cm³);

P₁ é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g);

P₃ é a massa em água da amostra (g).

$$A = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \quad (10)$$

Onde:

A é a Porcentagem de absorção de água;

P₁ é a massa ao ar da amostra seca em estufa;

P₂ é a massa ao ar da amostra em condição saturada.

5.4.3. Determinação da massa unitária

A massa unitária de um agregado é a relação entre massa e volume do agregado sem compactação do mesmo, considerando-se assim os vazios existentes entre os grãos. Já a massa unitária compactada é a relação entre a massa e o volume compactado após compactação dos grãos, considerando-se também os vazios entre os mesmos.

Para se obter a massa unitária compactada conforme a NBR 45 (ABNT, 2006), primeiramente foi necessário determinar a massa do recipiente vazio de volume conhecido e o material foi seco em estufa (temperatura entre 100 e 110°C) por um período de 24 horas. Após a secagem o recipiente foi completado em três camadas de 1/3 da sua altura com o material e, em cada camada, aplicou-se 25 golpes verticais com haste metálica própria, distribuindo o material uniformemente.

Durante a aplicação dos golpes evitou-se atingir o fundo do recipiente quando compactando a primeira camada, e, nas demais camadas, evitou-se atingir as camadas inferiores, nivelando a superfície com a régua metálica, como apresenta a Figura 15. Por fim a massa do conjunto, recipiente e agregado foi determinada.



Figura 15 - Determinação da massa unitária com recipiente de volume conhecido juntamente com a haste de adensamento e concha para auxílio do enchimento.

E com o auxílio da Equação 11 determina-se a massa unitária:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (11)$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado (kg/m³);

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado (kg);

m_r é a massa do recipiente vazio (kg);

V = volume do recipiente, em m³.

5.4.4. Índice de forma de agregado graúdo pelo Método do Paquímetro.

De acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2006) o índice de forma de agregado graúdo pelo método do paquímetro estabelece o método para a determinação do índice de forma de agregados graúdos com dimensão máxima característica maior que 9,5 mm e permite avaliar a qualidade de um agregado graúdo em relação à forma dos grãos. O índice se baseia na medida da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos dos agregados.

O ensaio consiste na coleta do material conforme NBR NM 26 e NBR NM 27 e a quantidade de material a ser coletada em relação à dimensão máxima pode ser observada na Tabela 13.

Tabela 13 - Quantidade mínima de material para ensaio

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA (mm)	MASSA MÍNIMA DE MATERIAL (kg)
< 19 mm	5
× 19 mm e < 25 mm	10
× 25 mm e < 37,5 mm	15
× 37,5 mm	20

Fonte: Adaptado da NBR 7809 (ABNT, 2006).

Logo após a obtenção da quantidade de material determinado pela Tabela 7, o mesmo foi levado a uma estufa para realizar a secagem até a constância de peso. Em seguida, foi determinada a composição granulométrica do agregado de acordo com NBR NM 248, para a obtenção da quantidade de agregado retido em cada fração, desprezando frações com porcentagens inferiores a 5% e frações que passaram na peneira de 9,5 mm.

Com as frações restantes, ponderou-se a representatividade em massa, para selecionar no total 200 grãos. Para realizar a determinação do índice forma o maior comprimento e a menor distância possível entre dois planos paralelos dos grãos foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital, como mostrado na Figura 16 e com o auxílio da Equação 12 determinou-se o índice e forma.



Figura 16 - Uso de paquímetro digital para medição dos grãos.

$$F_i = \frac{N_i}{200} \cdot \frac{100}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (12)$$

Onde:

200 = número de grãos necessários para o ensaio;

N_i = número de grãos a serem medidos na fração i ;

F_i = é a porcentagem de massa retida individual da fração i ;

5.4.5. Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis

A NBR 7218 (ABNT, 2010) avalia a qualidade de um agregado, em relação à contaminação por torrões de argila nos grãos menos resistentes, que acarretarão prejuízo à resistência do próprio agregado e do concreto juntamente com sua aparência, uma vez que eles, no caso de concreto aparente, essa contaminação pode acarretar manchas na superfície. Esses torrões são detectados nos agregados por sua diferença de coloração e por serem frágeis, tendo baixa resistência sendo facilmente esmagados pela pressão dos dedos polegares e indicadores.

Para iniciar o ensaio a secagem do material foi realizada em estufa e a determinação da composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), o material foi

peneirado utilizando-se a seguinte série de peneiras: 38; 25; 19; 12,5; 9,5; 6,3 e 4,8 e 1,2 mm até que fosse possível obter as massas mínimas para cada fração, indicada na Tabela 14.

Tabela 14 - Massas mínimas de material nas peneiras.

MATERIAL RETIDO ENTRE AS PENEIRAS (mm)	MASSA MÍNIMA (g)
× 1,2 e < 4,8	200
× 4,8 e < 9,5	1000
× 9,5 e < 19	2000
× 19 e < 38	3000
× 38	5000

Fonte: Adaptação da NBR 7218 (ABNT, 1987).

Foi determinada a massa constante de cada peneira, logo em seguida espalhou-se a massa de cada intervalo granulométrico em uma bandeja apropriada, de maneira a formar uma fina camada, cobrindo a amostra com água deixando-a submersa por um período de 24 horas. Após esse período as partículas com aparência de torrões de argila (ou materiais friáveis) foram identificadas visualmente e pressionadas apenas entre os dedos de modo a quebrá-las.

Após essa etapa o material foi peneirado a úmido através das peneiras indicadas na Tabela 15. Para a remoção das partículas de argila e materiais friáveis, foi feita agitação manual e cuidadosa para que não houvesse perda da amostra com a torneira aberta mantendo o fluxo de água de lavagem sobre as peneiras, de acordo com a Figura 17.

Tabela 15 - Peneiras para remoção dos resíduos.

MATERIAL RETIDO ENTRE AS PENEIRAS (mm)	PENEIRA PARA REMOÇÃO DOS RESÍDUOS DOS TORRÕES (mm)
× 1,2 e < 4,8	0,6
× 4,8 e < 9,5	2,4
× 9,5 e < 19	4,8
× 19 e < 38	4,8
× 38	4,8

Fonte: Adaptação da NBR 7218 (ABNT, 1987).



(a)

(b)

Figura 17 - Lavagem do material com a torneira aberta mantendo o fluxo de água de lavagem sobre as peneiras.

Após a remoção das partículas de argila e materiais friáveis, as amostras de cada fração granulométrica foram levadas a estufa para a secagem até que as amostras atingissem o peso constante. O teor de argila e materiais friáveis é dado, segundo a Equação 13:

$$M_t = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

M_t é a quantidade de torrões de argilas e materiais friáveis (%);

M_i é a massa inicial da fração (g);

M_f é a massa após o peneiramento (g).

O teor parcial de argila em torrões e materiais friáveis é dado pela Equação 14, e o teor global de argila em torrões e grãos friáveis do material é dado pela Equação 15:

$$\text{Teor parcial} = \% \text{ material destorroado} \times \% \text{ retida individual} (\%) \quad (14)$$

$$\text{Teor global} = \text{teores parciais} \quad (15)$$

A NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece que os teores máximos de presença de torrões de argila e materiais friáveis no agregado devem ser inferiores a 3,0%.

5.4.6. Determinação do material fino passante na peneira 75 µm por lavagem.

A NBR NM 46 (ABNT, 2003) permitiu determinar, por lavagem, a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm presente nos agregados graúdos e miúdos. É recomendado que o teor de materiais pulverulento seja inferior a 1% de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

O excesso desse material de granulometria fina prejudica a aderência entre os grãos e a pasta de cimento e a argamassa, bem como aumenta o consumo de água devido à sua alta superfície específica, acarretando retração e diminuição da resistência mecânica tanto do concreto quanto da argamassa.

O ensaio consistiu em primeiramente reduzir a amostra de acordo com os procedimentos da NBR NM 27 e quantificar a massa mínima por dimensão máxima características dos agregados apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 - Massas mínimas de material a ser utilizado no ensaio.

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm)	MASSA MÍNIMA (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
× 37,5	5000

Fonte: Adaptação da NBR NM 46 (ABNT, 2003).

A amostra foi seca em estufa (100 a 110°C), em aproximadamente 24 horas e sua massa registrada. Após secagem a amostra foi colocada em um recipiente com água e agitada fortemente até que o material pulverulento ficasse em suspensão.

A água de lavagem foi então drenada e a amostra lavada, logo após foi submetida a peneiramento manual a úmido utilizando duas peneiras, uma de abertura de 0,075 e outra de 1,18 mm. O peneiramento foi repetido até que a água adicionada não carresse nenhuma partícula e a água mantinha-se translúcida. Após as lavagens o material foi seco em estufa e sua massa determinada, como pode-se observar no esquema da Figura 18.

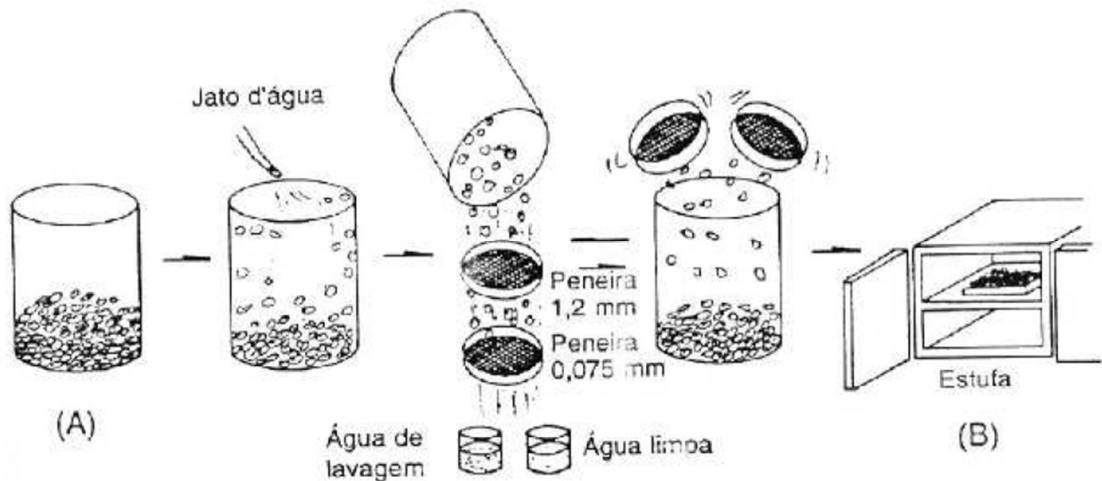


Figura 18 - Etapas de realização do ensaio de determinação de material fino. Fonte: Adaptado de Itambé (2011).

A determinação da porcentagem de finos passante na peneira de 0,075 mm se dá pela Equação 16.

$$M_f = \frac{M_i - M_f}{M_i} \cdot 100 \quad (16)$$

Onde:

M_f é a porcentagem de material mais fino que a peneira de 75 μ m por lavagem;

M_i é a massa original da amostra seca;

M_f é a massa da amostra seca após a lavagem.

5.4.7. Ensaio realizado pelo Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer e Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil ó Universidade Federal de Uberlândia.

Os seguintes ensaios foram realizados no Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer com a amostra geral de estéril escalpado classificada como brita 1. Foi selecionada uma amostra geral que contemplava todas as quatro amostras citadas anteriormente (item 5.3), uma vez que estas foram aprovadas nos testes realizados no LaMPPMin.

Este critério de seleção de envio ao laboratório Falcão Bauer foi devido a necessidade de verificação da resistência mecânica do estéril escalpado, para fins de complementação dos dados. Para a caracterização da amostra geral foram utilizadas as seguintes normas para realização dos testes visando avaliar a resistência mecânica do material.

- NBR 5564 (ABNT, 2011) ó Lastro Ferroviário ó Método e Requisitos de Ensaio ó Anexo A - Determinação da Forma dos Fragmentos da Pedra Britada.
- NBR 5564 (ABNT, 2011) ó Lastro Ferroviário ó Método e Requisitos de Ensaio ó Anexo E ó Determinação da Resistencia ao choque.
- NBR NM 51 (ABNT, 2001) ó Agregado Graúdo ó Ensaio de Abrasão Los Angeles.
- ME 89 (DNER, 1994) ó Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio.

Apenas um ensaio foi realizado pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil ó Universidade Federal de Uberlândia, os quais foram:

- NBR 15577-4 (ABNT, 2008) - Reatividade álcali-agregado ó Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para o uso de agregados em concreto;
- NBR 15577-4 (ABNT, 2008) - Reatividade álcali-agregado ó Parte 4: Determinação de expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.

Todas as metodologias utilizadas para realização dos testes e os resultados obtidos estão presentes nos anexos.

5.5. Método de Dosagem dos Concretos.

Com relação à composição da amostra utilizada para fabricação do concreto, esta pode ser considerada uma junção das amostras descritas anteriormente, no item 5.3, sendo uma amostra representativa do rejeito geral, que é produzido e estocado em pilhas de estéril escarpado.

Para a determinação dos traços, foi adotado o método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e foram produzidos cinco diferentes concretos, de acordo com a nomenclatura mostrada na Tabela 17 juntamente com a variação percentual de substituição da brita natural pelo estéril escarpado.

Tabela 17 - Tipos de concretos produzidos variando o percentual de substituição da brita.

TIPOS DE CONCRETOS E PERCENTUAL DE SUBSTITUIÇÃO (%) (ESTÉRIL/BRITA)	NOMENCLATURA
Concreto de Referência (0/100)	CR

Concreto com (25/75)	E25
Concreto com (50/50)	E50
Concreto com (75/25)	E75
Concreto com (100/0)	E100

A dosagem dos materiais foi realizada com auxílio de uma balança de precisão para determinar o peso de cada material, sendo cimento, areia, brita, estéril escalpado e água, atendendo os traços desenvolvidos. Logo em seguida os componentes foram adicionados parcialmente na betoneira, de 150 litros da marca Menegoti, na seguinte ordem: brita/estéril, areia, cimento, água. O amassamento dos concretos foi realizado durante cinco minutos até obter uma mistura homogênea, conforme mostrada na Figura 19.



Figura 19 - Betoneira de 150 L utilizada para a fabricação dos concretos.

Após o amassamento houve determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme especificado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), onde o molde do tronco cônico foi preenchido em três camadas adensadas com 25 golpes com a haste de compactação.

Por fim, a operação de retirada do molde foi realizada no período de até 10 segundos, com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimento de torção lateral. Após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova que corresponde à altura média do corpo de prova desmoldado, em milímetros (Figura 20).

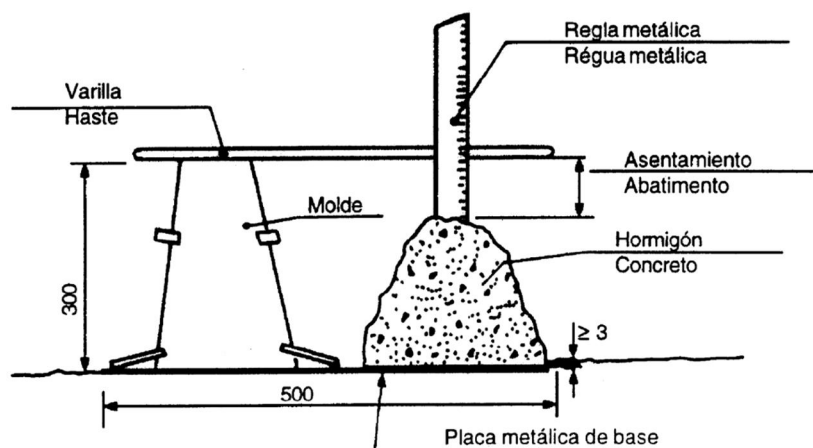


Figura 20 - Ilustração com a representação esquemática do molde tronco cônico e obtenção do abatimento do concreto. Fonte: Adaptado de NBR NM 67 (ABNT, 1998).

5.6. Moldagem e cura dos corpos de prova

Para execução dos ensaios foram moldados para cada tipo de concreto 40 corpos de prova cilíndricos, seguindo os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2008), utilizando os seguintes materiais: fôrmas de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, haste de adensamento e concha metálica para colocar o concreto na fôrma. As fôrmas foram previamente untadas com óleo diesel.

O adensamento do concreto foi feito de forma manual, em duas camadas aplicando 12 golpes por camada com a haste de adensamento. O excesso de material deixado na segunda camada foi retirado e realizado o acerto da sua superfície com o auxílio de uma colher de pedreiro.

Após 24 horas da moldagem os corpos de prova foram desenformados e submetidos à imersão em água saturada em cal em processo de cura úmida com controle de temperatura, etapa realizada em um tanque com água, de acordo com a Figura 21, seguindo o proposto pela norma NBR 9479 (ABNT, 2006) permanecendo sob essa condição de cura até 24 horas antes da execução dos ensaios de ruptura.



Figura 21 - Tanque para cura dos corpos de prova.

5.6.1. Métodos de ensaio.

Inicialmente, antes da realização dos ensaios mecânicos, os corpos de prova possuem superfícies irregulares após a remoção das fôrmas. Para que os corpos de prova apresentem superfícies lisas e paralelas foi realizada uma retificação de suas bases, que consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado.

De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003), esta etapa de retificação é executada por máquinas adaptadas para esse fim, garantindo sua integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

Os concretos endurecidos foram submetidos à ensaios de resistência mecânica dos corpos de prova nas idades de 7, 14, 28 e 56 dias. Os ensaios à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os ensaios de compressão diametral foram realizados para obtenção da resistência à tração dos corpos de prova seguindo o estabelecido pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011), conforme mostrado na Figura 22.



(a)



(b)

Figura 22 - Ensaio de um corpo de prova (a) à compressão e (b) à tração

o por compressão diametral.

Ambos os ensaios foram realizados na mesma prensa hidráulica manual, auxiliada por uma prensa I-3001-C 81, Contenco hidráulica manual digital, com precisão de 10 kg e capacidade de 100 toneladas.

Os pratos, superior e inferior, foram adaptados para prensa hidráulica para realização do ensaio de tração por compressão diametral. Sendo assim, foi confeccionada duas chapas de aço totalmente lisas, livre de ranhuras ou rugosidade, com 43 cm de comprimento, 23 cm de largura e 3 cm de espessura. As mesmas foram utilizadas nas partes inferiores e superiores dos corpos de prova, buscando manter um padrão no ensaio.

Os ensaios de absorção por imersão, índice de vazios e massa específica do concreto endurecido foram realizados conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 2005) aos 28 dias de cura de cada formulação utilizada pelo estudo.

Os corpos de prova seguiram em processo de cura à temperatura de 23 ± 2 °C, quando foram removidos do tanque e direcionados a uma estufa, da marca Odontobras, à temperatura de 105 ± 5 °C, onde permaneceram durante 72 horas. Após sua remoção da estufa e processo de equilíbrio térmico à temperatura ambiente por alguns minutos, o peso seco dos corpos de prova foi mensurado com o auxílio de uma balança eletrônica.

Logo após a aferição dos corpos de provas secos, proceder à imersão dos mesmo em água à temperatura de (23 ± 2) °C, durante 72 h e determinar a massa, decorridas 24 h, 48 h e 72 h de imersão. Após completar a saturação, foram feitas as pesagens dos corpos de provas em balança hidrostática, anotando a massa da amostra imersa em água.

A absorção foi obtida por meio das médias dos resultados entre as três amostras e definida pela equação 17:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (17)$$

Onde:

M_{sat} é a massa do corpo de prova saturado;

M_s é a massa do corpo de prova seco em estufa.

O índice de vazios é a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, sendo obtido por meio das médias dos resultados entre as três amostras e definida pela equação 18:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_i}{M_s - M_i} \cdot 100 \quad (18)$$

Onde:

M_{sat} é a massa do corpo de prova saturado;

M_s é a massa do corpo de prova seco em estufa;

M_i é massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

A massa específica é determinada pela equação 19:

$$\frac{M_s}{V} \cdot 100 \quad (19)$$

Onde:

M_{sat} é a massa do corpo de prova saturado;

M_s é a massa do corpo de prova seco em estufa;

M_i é massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

5.7. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS).

A caracterização microestrutural dos corpos de prova com material alternativo, foi realizada pelo Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (Labmic) na

Universidade Federal de Goiás por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Jeol, JSM ó 6610, equipado com EDS, Thermo scientific NSS Spectral Imaging.

As análises das imagens das diferentes amostras no microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado a um espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS) permitiu obter uma descrição das características do material, como a forma das partículas, existência de materiais contaminantes ou metais pesados em composição química.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS) foram essenciais para as análises do fenômeno expansão, pois permitiram identificar os compostos químicos gerados e outros minerais presentes, contribuindo desse modo para a obtenção de importantes parâmetros que proporcionaram uma interpretação de possíveis manifestações patológicas no concreto investigado.

5.8. Avaliação Técnica e Econômica da Utilização do Estéril na Fabricação do Concreto.

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, disposição de material estéril (ou inerte ou não aproveitável) proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento (IBRAM, 2016).

Para Borges (2008) o reaproveitamento dos resíduos existentes em barragens já desativadas pode apresentar grande viabilidade tanto econômica, quanto ambiental. Para tanto, a caracterização dos rejeitos se torna essencial, favorecendo, assim, a viabilização de seu reaproveitamento como subproduto na própria usina de beneficiamento ou em outro segmento industrial.

O propósito do proporcionamento dos concretos é obter uma mistura de concreto que satisfaça os requisitos de desempenho ao mínimo custo possível, ou seja, pressupõe escolher os materiais com base não só naqueles mais adequados, porém, que sejam também disponíveis a preços razoáveis (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Sendo assim foi dimensionada uma rota de britagem juntamente com os equipamentos necessários para a britagem do estéril escalpado. Os valores de custos de equipamentos e operação do maquinário foram obtidos com a empresa Metso.

A movimentação diária de estéril escalpado foi considerada aproximadamente 2800 toneladas/dia e a vida útil de exploração da mina e geração de estéril escalpado é de aproximadamente 20 anos, dados fornecidos pela CMOC *International* Brasil.

5.9. Análise estatística da resistência mecânica a compressão e tração diametral ó ANOVA.

Para ter-se uma maior confiança entre a variação da resistência à compressão encontrada no presente trabalho, foi feita uma análise estatística *ANOVA*, com um grau de confiabilidade de 95%, comparando primeiramente os cinco tipos de concreto produzidos, em seguida comparando dois a dois os concretos com 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição de agregado graúdo.

As hipóteses do teste foram:

- a) H_0 : Não há evidências sobre a influência da substituição da brita comercial pelo estéril escalpado nos concretos produzidos;
- b) H_1 : Há evidências sobre a influência da substituição da brita comercial pelo estéril escalpado nos concretos produzidos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Ensaios de caracterização física do estéril escalpado realizados pelo LaMPPMin.

6.1.1. Composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica.

De acordo com Metha e Monteiro (2014), a composição granulométrica é a distribuição das partículas de um material granular entre várias faixas granulométricas. O que pode ser observado na Figuras 23 que as curvas de distribuição granulométrica se encontram

de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003). Nota-se que todas as amostras se localizaram em faixas granulometrias grosseiras com pouca presença material fino.

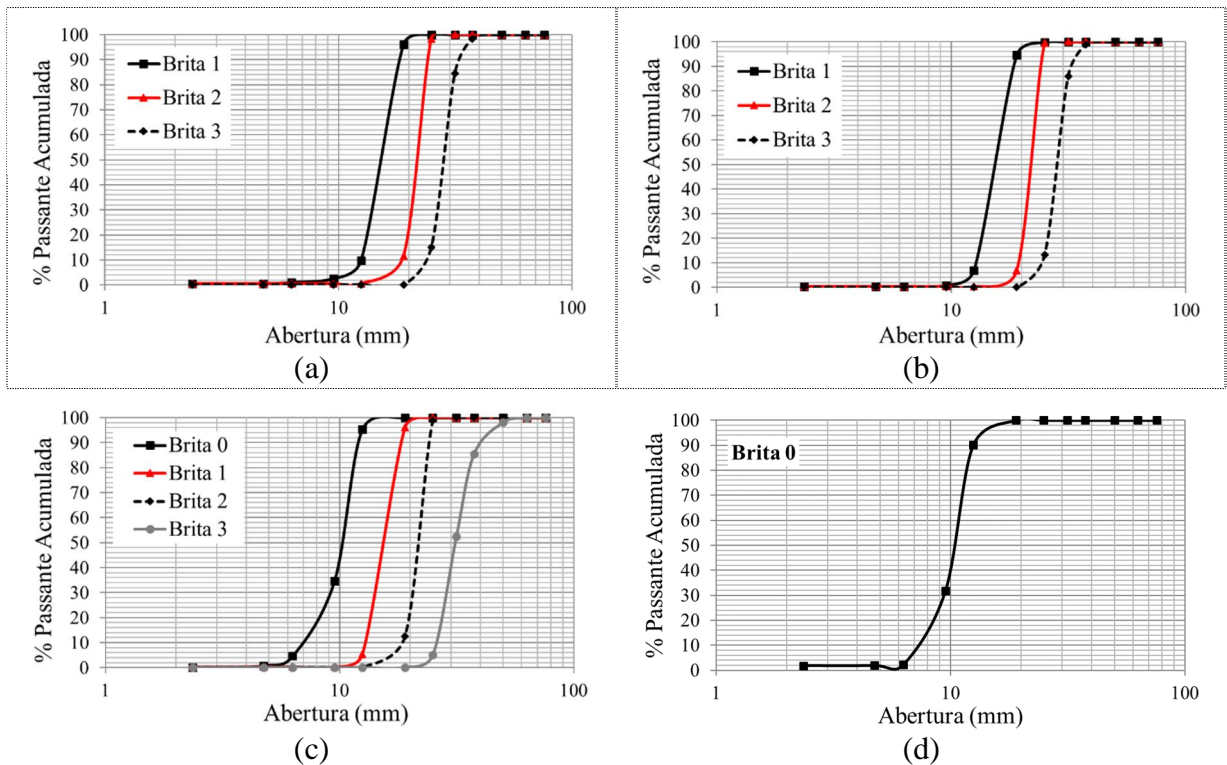


Figura 23 - Distribuição granulométrica das seguintes amostras: (a) Carbonatada; (b) Silicatada; (c) Oxidada; (d) Expurgo.

6.1.2. Massa específica.

Na Figura 24 são apresentadas as médias dos testes realizados em triplicata. Com os resultados obtidos neste teste percebe-se que todas as amostras testadas se enquadram na faixa de valores de rochas usualmente utilizadas na construção civil para fabricação de concretos e outros fins. Nota-se que independente da amostra e faixa granulométrica, a massa específica possui valores semelhantes.

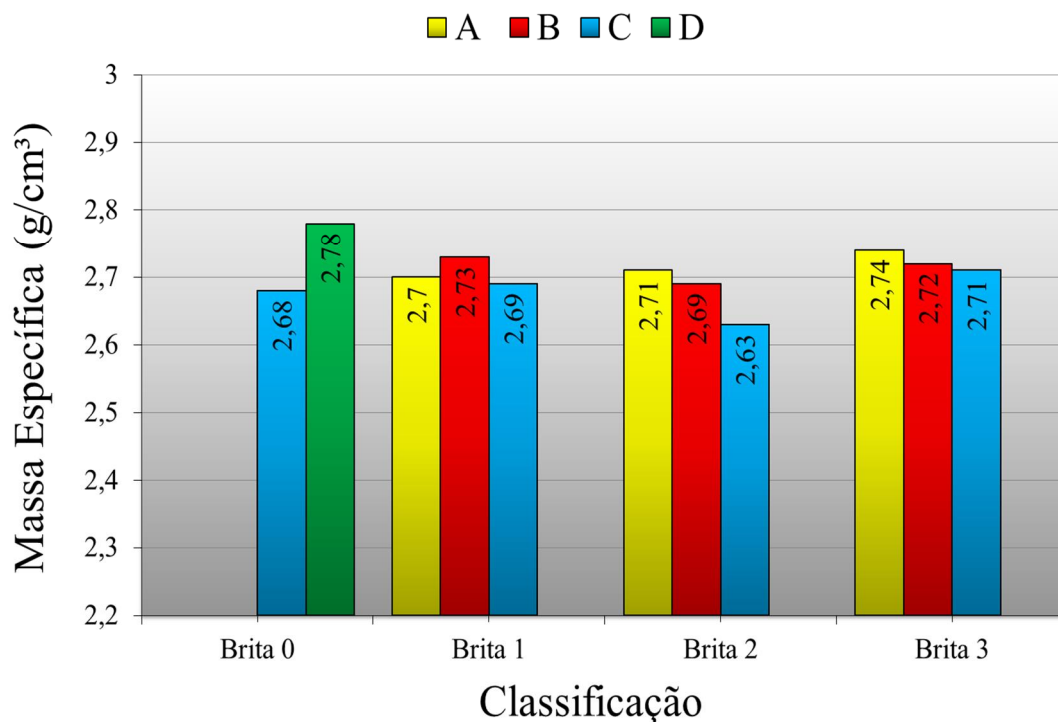


Figura 24 - Resultados médios de determinação da massa específica (g/cm³).

De acordo com Bauer (2015), a massa específica está relacionada à massa dos grãos do agregado em um determinado volume, sem considerar os poros e os espaços vazios formados entre eles. Segundo Mehta e Monteiro (2014) a massa específica de muitos agregados derivados de rochas frequentemente utilizadas na construção civil varia de 2,60 e 2,70 g/cm³, o que pode ser visto nos resultados a seguir.

6.1.3. Massa unitária.

Na Figura 25 são apresentadas as médias dos resultados das quatro amostras ensaiadas. A partir dos dados obtidos no ensaio de massa unitária, todas as amostras encontraram-se entres os limites de 1200 a 1800 kg/m³, sendo assim classificadas como agregados normais que são os mais utilizados e recomendados para a fabricação de concretos.

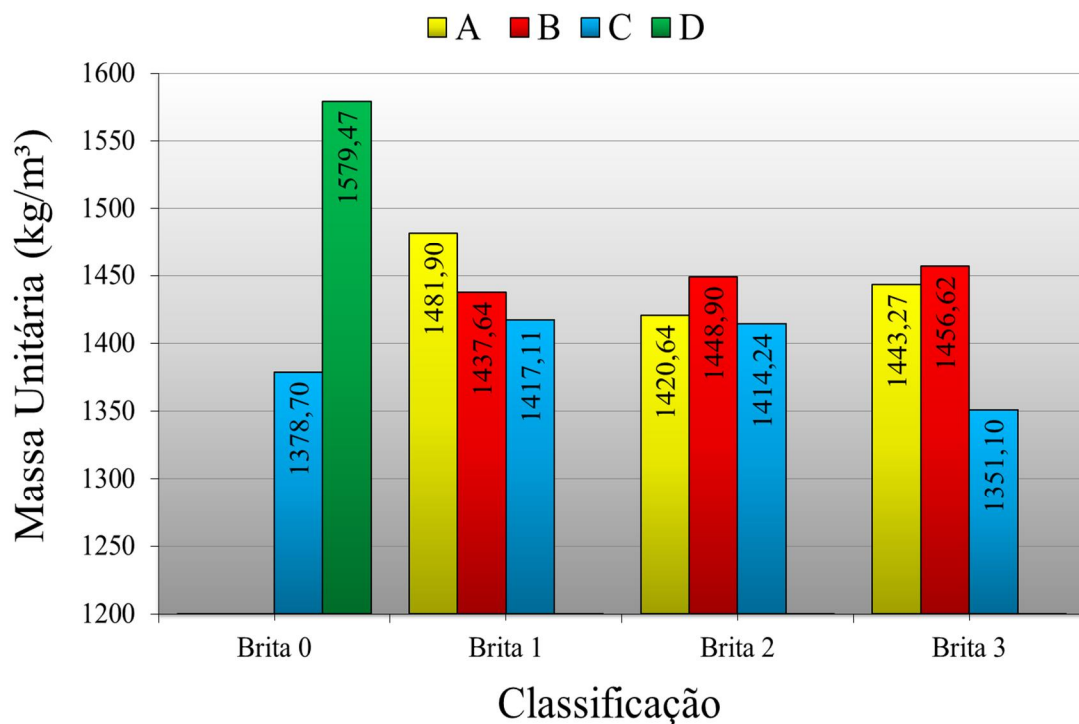


Figura 25 - Resultados médios da massa unitária das amostras (kg/m³).

De acordo com Metha e Monteiro (2014), além da massa específica, a massa unitária dos agregados graúdos (britas) também é necessária para a definição de dosagens de concretos. Os agregados considerados leves são aqueles com massa unitária menor que 1200 kg/m³. Os agregados normais possuem massa unitária entre 1200 e 1800 kg/m³ e os agregados pesados possuem massa unitária superior a 1800 kg/m³ (SMITH e COLLINS, 2001).

6.1.4. Índice de absorção de água.

Segundo Bauer (2014), a absorção de água nos grãos de agregados é devida aos poros existentes nas rochas. Os valores médios obtidos nos ensaios ficaram entre 0,89 e 2,82% e os índices médios de absorção de água estão representados na Figura 26, onde pode-se observar que a amostra Oxidada obteve o maior índice de absorção de água entre as quatro faixas granulométricas, pois os grãos apresentaram maior porosidade em relação as demais amostras.

Devido ao fato de que a amostra carbonatada referente a brita 3 possuir maiores dimensões, onde seus poros eram identificados visualmente, estas apresentaram uma absorção de água superior as demais. Porém, este não é um critério que inviabiliza a utilização desta como agregado graúdo.

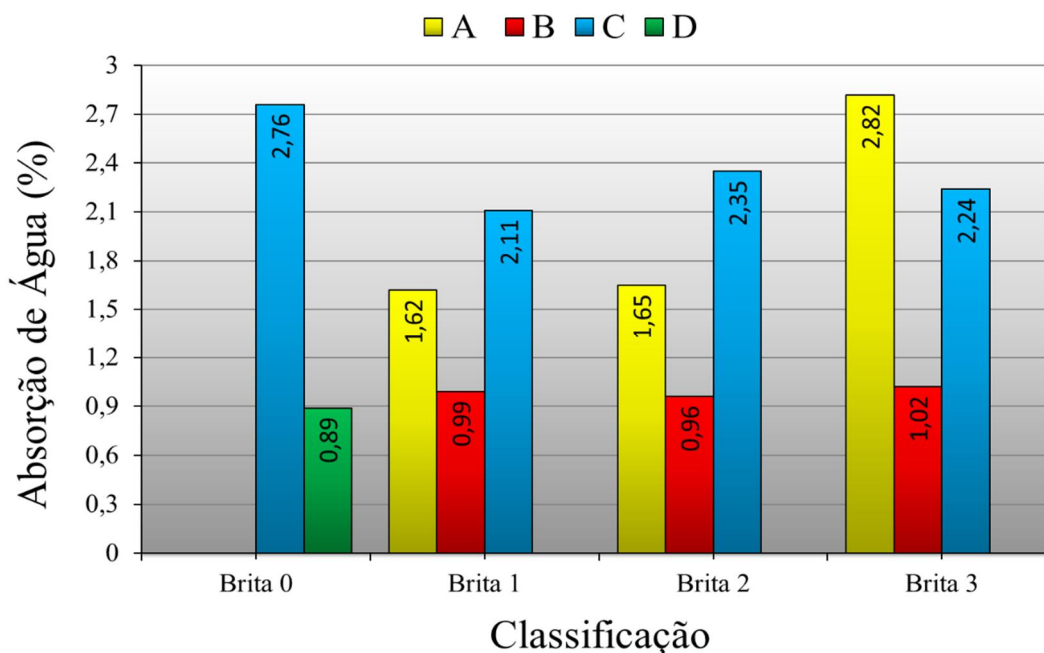


Figura 26 - Resultados médios dos ensaios de determinação de absorção de água (%).

Os autores Smith e Collis (2001), ressaltam que as relações de absorção são imprecisas, mas que em geral quanto menor a absorção de água pelo agregado, o mesmo tende a ser mais resistente às forças mecânicas e ao intemperismo.

6.1.5. Índice de forma do agregado graúdo pelo método do paquímetro.

Na Figura 27 estão apresentados os resultados médios do índice e forma dos grãos. Como podem ser observadas todas as amostras obtiveram valores abaixo do valor recomendado pela norma vigente, sendo assim todas as amostras podem ser utilizadas para fabricação de concretos no critério de índice e forma dos grãos.

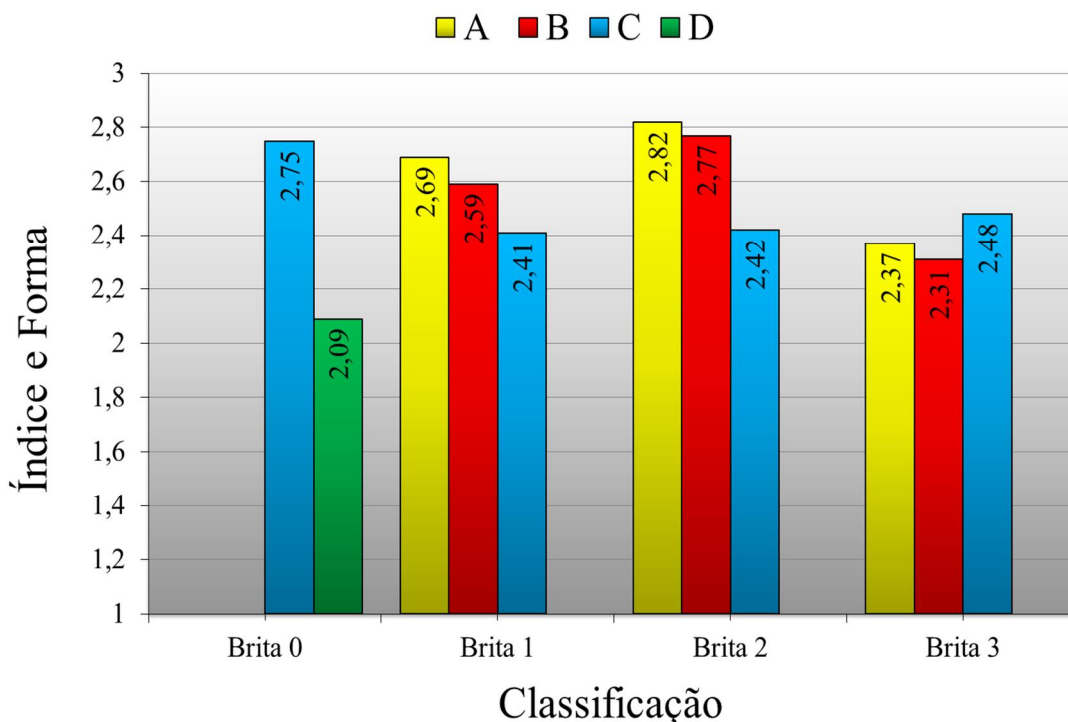


Figura 27 - Resultados médios dos ensaios de índice e forma dos agregados graúdos pelo método do paquímetro.

Os valores obtidos do índice de forma dos grãos das amostras testadas se mantiveram entre 2,09 a 2,82. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) tal índice não deve ser superior a 3,00 quando determinado pela NBR 7809 (ABNT, 2005). Pode-se observar que a amostra Expurgo obteve o menor valor entre as amostras, fato que pode ser justificado devido as uniformidades entre os grãos, mantendo um padrão entre eles.

6.1.6. Material fino passante em 75 µm por lavagem.

A NBR NM 46 (ABNT, 2003) define a quantidade máxima de material fino (passantes em 0,075 mm) presente nos agregados graúdos e que podem afetar adversamente algumas propriedades dos concretos e argamassas. As britas 1 e 2 da amostra Silicatada e a amostra de brita 0 do Expurgo como pode ser visto na Figura 28, ficaram acima de 1,00%, limite máximo de acordo a NBR 7211 (ABNT, 2009), o que reprovava as amostras para fabricação de concreto.

Porém, esta mesma norma determina que para agregados produzidos a partir de rochas com índice de absorção de água inferior a 1,0% determinado de acordo com a NBR NM 53 o limite de material fino pode ser alterado de 1,0 para 2,0%.

Observando a Figura 26, a porcentagem de absorção de água das amostras das britas 1 e 2 da Silicatada e brita 0 do Expurgo, apresentaram uma quantidade de absorção de água abaixo de 1,0%, o que leva a alteração do limite máximo admissível de finos de 1,0 para 2,0% e a aprovação das amostras para a fabricação de concretos e argamassas.

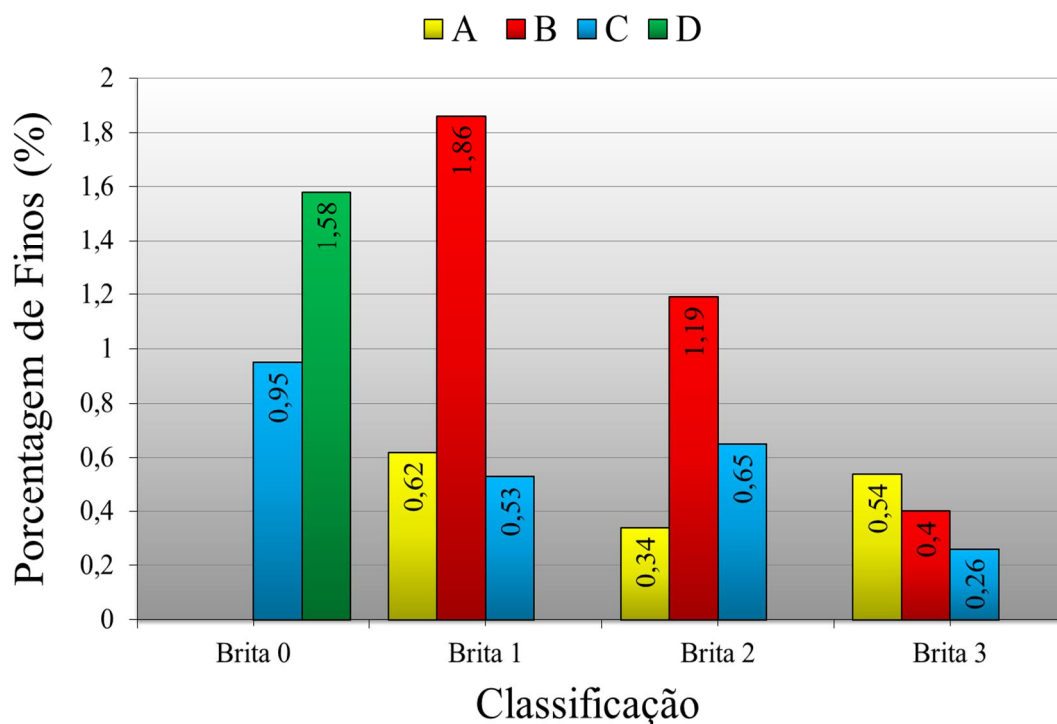


Figura 28 - Resultados médios dos ensaios de determinação de material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem (%).

O peneiramento foi repetido até que a água adicionada não carresse nenhuma partícula e a água mantivesse translúcida, como mostrado na Figura 29.

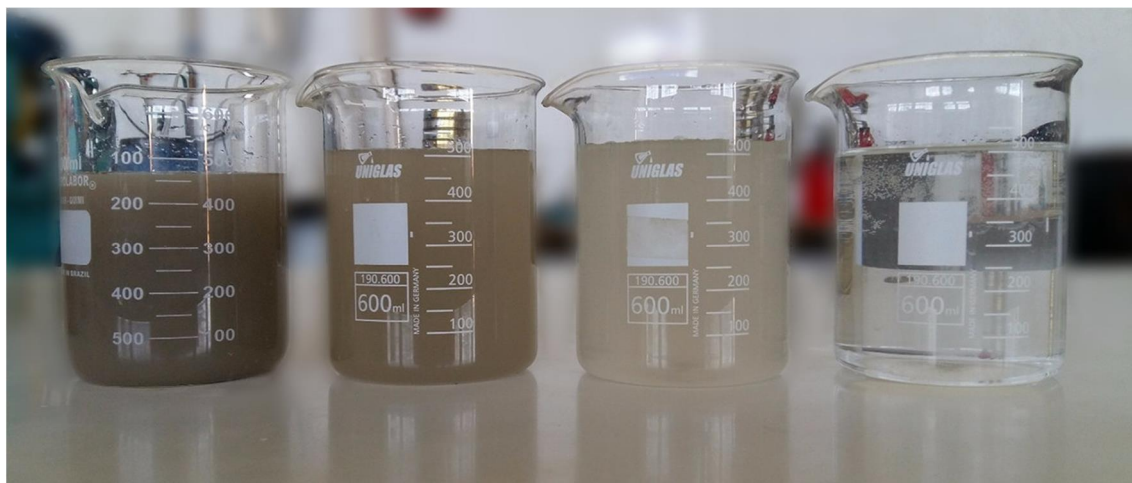


Figura 29 - Amostragem visual das 4 etapas de lavagem da amostra.

6.1.7. Teor de argila em torrões e materiais friáveis.

As médias dos torrões de argila e materiais friáveis presentes nas amostras ensaiadas são representadas na Figura 30. Os valores de torrões de argila e materiais friáveis nas amostras Carbonatada, Silicatada, Oxidada e Expurgo ficaram entre 0,35 a 0,71%. De acordo com o limite estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009), os valores de torrões de argila e materiais friáveis devem ser inferiores a 3,00%.

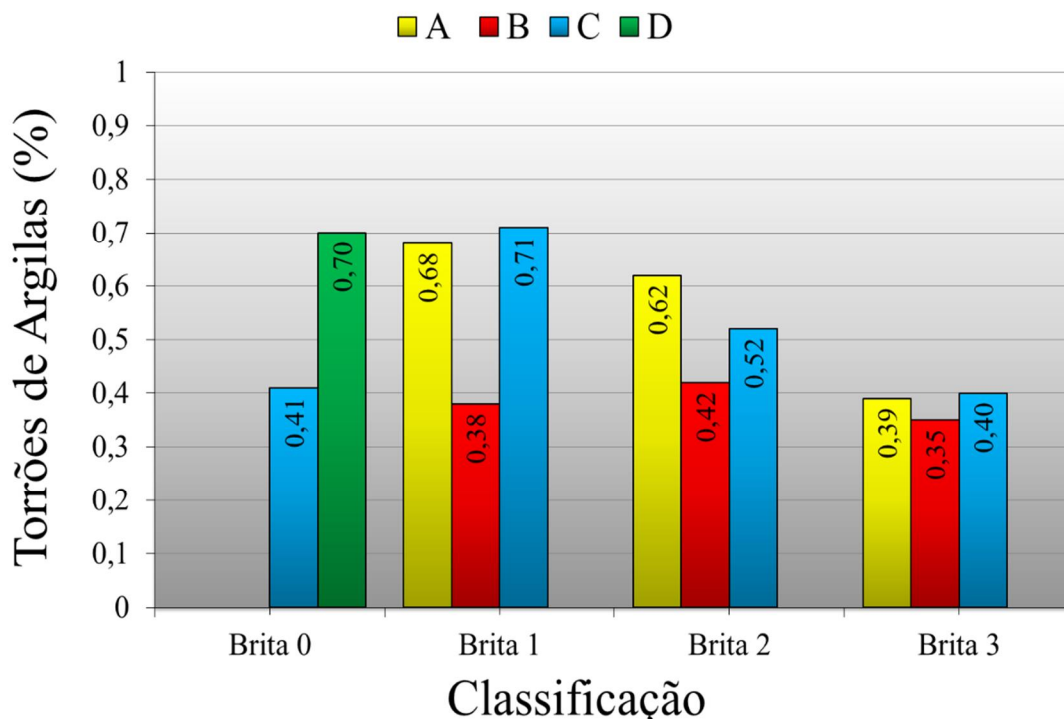


Figura 30 - Resultados médios dos ensaios de determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (%).

Os torrões de argila e materiais friáveis trazem prejuízos tanto à resistência do concreto e argamassa quanto a sua aparência, pois a argila pode estar presente no agregado sob a forma de películas superficiais que prejudicam a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, e no caso de concretos aparentes, poderão produzir manchas na superfície (MEIER, 2011).

6.2. Ensaio de caracterização mecânica realizados no Centro Tecnológico de Controle da Qualidade da Falcão Bauer.

6.2.1. Forma dos fragmentos da rocha britada.

As rochas ao serem britadas apresentaram diferentes formas, variando de acordo com suas características petrológicas e petrográficas. Sendo assim, para o ensaio de determinação da forma dos fragmentos da rocha britada foram utilizados 100 grãos da brita 1 da amostra geral de estéril escalpado para verificar suas dimensões. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Porcentagem e forma dos grãos.

FORMA DOS GRÃOS	PORCENTAGEM (%)
Cúbica	83
Alongada	7
Lamelar	10
Alongada-Lamelar	0
Total	100

De acordo com Luz e Almeida (2012) a forma dos agregados tem uma importância significativa para o concreto de cimento Portland. Quando os agregados apresentam elevada cubicidade, melhora a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco, pois essas partículas possuem maior área específica. Desta forma, espera-se que a amostra produza concretos com boa trabalhabilidade.

6.2.2. Resistência ao choque.

A determinação da perda de massa ao choque no aparelho Treton é realizada para classificar os agregados visando sua utilização em estradas vicinais, ou até mesmo em base e sub-base de pavimentos asfálticos. Os resultados obtidos devem obedecer aos limites estipulados pela NBR 5564 (ABNT, 2011), sendo de até 60% de perda de massa. Os resultados se encontram na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de determinação da perda ao choque no aparelho Treton.

CP Nº	Nº DE PARTÍCULAS	MASSA INICIAL (g)	MASSA FINAL (g)	DIFERENÇA (g)	PERDA AO CHOQUE NO APARELHO TRETON (%)
01	20	158,00	146,12	11,88	7,52
02	20	159,00	149,13	10,12	6,35
03	20	164,60	149,05	15,55	9,45
MÉDIA					7,77

O resultado médio da brita 1 de estéril escarpado, neste ensaio apresentou uma perda média de massa de 7,77%, que está na faixa inferior do limite definido pela norma designada para rochas naturais, que é de 60%. De acordo com o resultado alcançado no teste, nota-se que a amostra possui potencialidade para ser utilizada na fabricação de concretos e lastros de ferrovias.

6.2.3. Ensaio de Abrasão ãLos Angelesö.

O índice de desgaste por abrasão ãLos Angelesö foi determinado segundo a NBR NM 51 (ABNT, 2001). Segundo a norma a porcentagem de perda de massa deve ser inferior a 50% do material, limite estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Conforme mostrado na pesquisa feita no item 4.4, cerca 37% das pesquisas estão relacionados aos agregados reciclados de construção civil utilizados como agregados alternativos na fabricação de concreto. Hansen e Narud (1983) cita que os agregados reciclados de construção obtêm um valor de abrasão Los Angeles maior do que os agregados naturais, geralmente os agregados reciclados apresentam valores de perda de massa na ordem de 20 a 50% maior que os agregados naturais. A Tabela 20 mostra os valores de abrasão Los Angeles do estéril escarpado.

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de índice de desgaste por abrasão ãLos Angelesö.

NOME DO COMPONENTE	RESULTADO
Graduação	Graduação G
Número de Esferas	11
Abrasão (%)	19,54

A amostra de estéril escalpado analisada apresentou 19,54% perda em massa, valor abaixo do limite estabelecido pela NBR NM 51 (ABNT, 2001) e dos agregados reciclados de construção.

No estudo feito por Freitas Neto et al. (2006), os autores buscaram conhecer a característica da rocha basáltica considerada uma rocha predominantemente duras e compactas, bastante utilizadas em obras de construção civil e que se encontram em torno de 17% de perda de massa por abrasão, valor próximo ao definido pelo ensaio realizado nesta pesquisa e apresentando resistência superior aos agregados reciclados de construção civil.

6.2.4. Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio.

O ensaio realizado para determinação da perda de massa no ensaio de durabilidade, conforme DNER ME 089/1994, este ensaio tem como finalidade determinar a resistência a desintegração dos agregados sujeitos as intemperes, ataque de soluções saturadas de sulfato de sódio ou magnésio, com o objetivo de simular a desintegração ao longo prazo dos agregados.

Os resultados obtidos devem ser inferiores a 20% para a solução de sulfato de sódio e inferior a 30% para a solução de sulfato de magnésio. A amostra apresentou índice inferior aos limites estabelecidos, com os resultados de 0,17% para solução de sulfato de magnésio e 0,22% para solução de sulfato de sódio.

6.3. Caracterização dos componentes do concreto.

6.3.1. Caracterização física dos materiais.

Na Figura 31 são apresentadas a curva de distribuição granulométrica dos materiais brita 1 e estéril escalpado nas faixas granulométricas utilizadas no peneiramento.

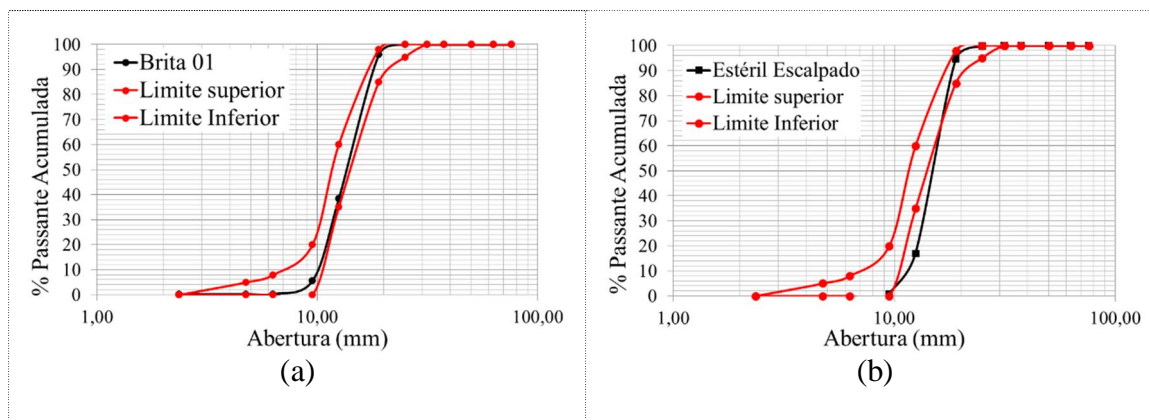


Figura 31 - Curvas de distribuição granulométrica (a) Brita Natural (b) Estéril Escalpado.

A análise simples das curvas granulométricas dos componentes do concreto mostra que o agregado graúdo natural (gnaisse), Figura 31 (a), apresentou uma distribuição granulométrica dentro dos limites superior e inferior estabelecidos pela NBR NM 249 (ABNT, 2003), podendo o agregado graúdo ser classificado como brita 1. O estéril escalpado também apresentou uma curva granulométrica constante, porém notou-se que uma pequena parte se encontra fora das faixas inferior e superior no ponto da peneira 12,5 mm, mesmo assim este resultado não impossibilita a utilização deste material mantendo-o dentro dos limites aceitáveis, Figura 43 (b). Os resultados obtidos da caracterização física da brita 1, estéril escalpado e areia foram de massa específica, dimensão máxima característica, módulo de finura e massa unitária (Tabela 21), o estéril se enquadra nos requisitos e nos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2009, e apresenta características semelhantes às dos agregados graúdos (brita) atualmente utilizados na indústria da construção civil brasileira para fabricação de concreto. Assim, o Estéril atendeu de forma satisfatória e adequada ao proposto de utilização.

Tabela 21 - Resultados da massa específica, dimensão máxima característica, módulo de finura e massa unitária dos agregados.

MATERIAIS	AREIA	BRITA	ESTERIL ESCALPADO
Descrição	Fina	Brita 1	Brita 1
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,69	2,73
Dimensão máxima (mm)	2,36	19,00	19,00
Módulo de finura	1,98	6,97	7,02
Massa unitária (kg/m ³)	-	1396,47	1437,64

De acordo com os resultados de massa unitária da brita 1 e do estéril escalpado, é possível afirmar que estes podem ser comumente usados para fabricação de concreto, como cita Mehta e Monteiro (2014), uma vez que agregados que possuem massa unitária entre 1300 a 1750 kg/m³ são usados para fabricação de concreto de peso normal.

6.4. Traço e dosagem do concreto.

Para a realização da dosagem do concreto, foi adotada uma resistência característica de 20 MPa, com um desvio padrão de $S_d = 5,5$ Mpa. O abatimento do tronco de cone adotado foi de 80 ± 20 mm. O traço inicial, obtido através dos cálculos proposto pela ABCP, de acordo com o item 4.5, para a dosagem do concreto está apresentado na Tabela 22 juntamente

com o consumo de cada componente. As variações estão relacionadas à quantidade de porcentagem de substituição do agregado graúdo por estéril.

Tabela 22 - Valores do traço inicial e do consumo de componentes dos concretos.

COMPONENTES	CONSUMO
Cimento Portland	440 kg/m ³
Agregado Miúdo	689 kg/m ³
Agregado Graúdo	1098 kg/m ³
Água	225 L/m ³
TRAÇO INICIAL	1 : 1,6 : 2,5 : 0,5

6.5. Concreto no estado fresco

Os dados de consistência do concreto no estado fresco (*slump test*) dos concretos 0, 25, 50, 75 e 100% de substituição, correspondem a 3 (três) medidas diferentes coletadas, e são apresentados na Tabela 23 juntamente com os valores da umidade relativa do ar e temperatura do laboratório durante a moldagem.

Tabela 23 - Dados relacionados ao abatimento do tronco de cone, umidade relativa do ar e temperatura ambiente.

DOSAGEM	RELAÇÃO A/C 0,5		
	ABATIMENTO (cm)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	TEMPERATURA (°C)
0%	7,5	44	29,4
25%	7,8	55	28,2
50%	8,7	66	27,1
75%	9,1	56	30,1
100%	8,6	53	27,9

Nota-se que não houve variação do abatimento entre os concretos variando o percentual de substituição da brita pelo estéril, mas percebe-se que com o aumento do percentual de substituição de brita por estéril no concreto, a um aumento no abatimento.

Fazendo uma análise comparativa entre os concretos que possuem a mesma relação a/c de 0,5 os resultados das aferições do abatimento dos concretos corresponderam ao esperado estando dentro dos limites previstos e apresentando condições trabalháveis facilitando a moldagem.

Outro fator importante foi que houve uma leve tendência de perda de água na superfície e no fundo das formas, após a moldagem dos corpos de provas. De acordo com Guimarães (2005) sempre haverá essa exsudação, porém, deve-se evitar seu excesso. Segundo Metha e Monteiro (2014) este é um fenômeno, cuja a manifestação externa é o surgimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado antes de sua pega, pode influenciar na sua resistência.

6.6. Absorção, índice de vazios e massa específica.

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados de massa específica, absorção de água e índice de vazios.

Nº DA MISTURA	COMPOSIÇÃO (%)	ABSORÇÃO MÉDIA (%)	ÍNDICE DE VAZIOS MÉDIOS (%)	MASSA ESPECÍFICA (kg/dm³)
1	0	7,95	20,59	2,452
2	25	8,25	20,80	2,503
3	50	8,27	21,17	2,562
4	75	8,30	21,51	2,592
5	100	8,49	22,21	2,619

6.6.1. Absorção de água por imersão.

Absorção de água por imersão segundo a norma NBR 9778 (ABNT, 2005) define como um processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um sólido poroso.

Nas Figuras 32 e 33 estão apresentados os dados de absorção de água dos concretos, aos 28 dias de idade de cura, e os percentuais comparativos entre o concreto convencional. Neste estudo podemos observar que há um aumento de absorção de água no concreto na medida que se aumenta o percentual de substituição de estéril escalpado. Esse fato pode ocorrer devido a característica do material, que apresenta alto teor de finos, como pode-se

observar resultados apresentados no item 6.1.5. Devido a essa presença de finos, pode ser considerado que a água tenha ficado a redor dos grãos e identificada como água de absorção do concreto.

Neville (1997) também explica tal fato, no qual existem outros fatores que influenciam a absorção de água do concreto, sendo que a secagem nas temperaturas usuais pode não remover toda água, e que na maioria concretos de boa qualidade tem absorção abaixo de 10% em massa. Os resultados obtidos e mostrados na Figura 32, apresentam todos os valores de absorção de água abaixo de 10% ficando entre os limites de 7,95 a 8,49%.

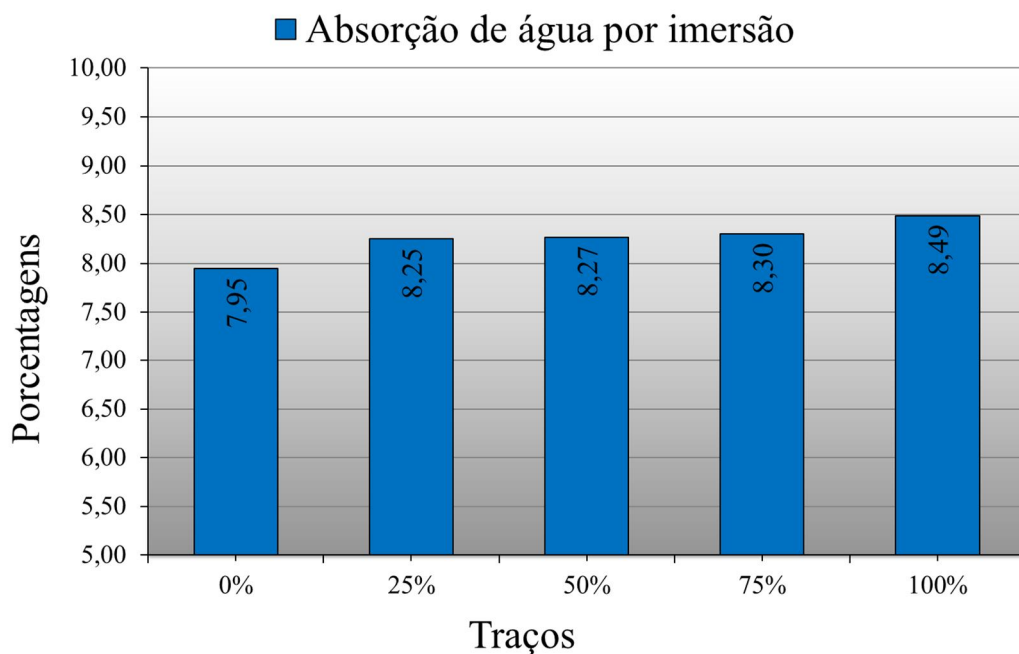


Figura 32 - Resultados dos ensaios de Absorção de Água.

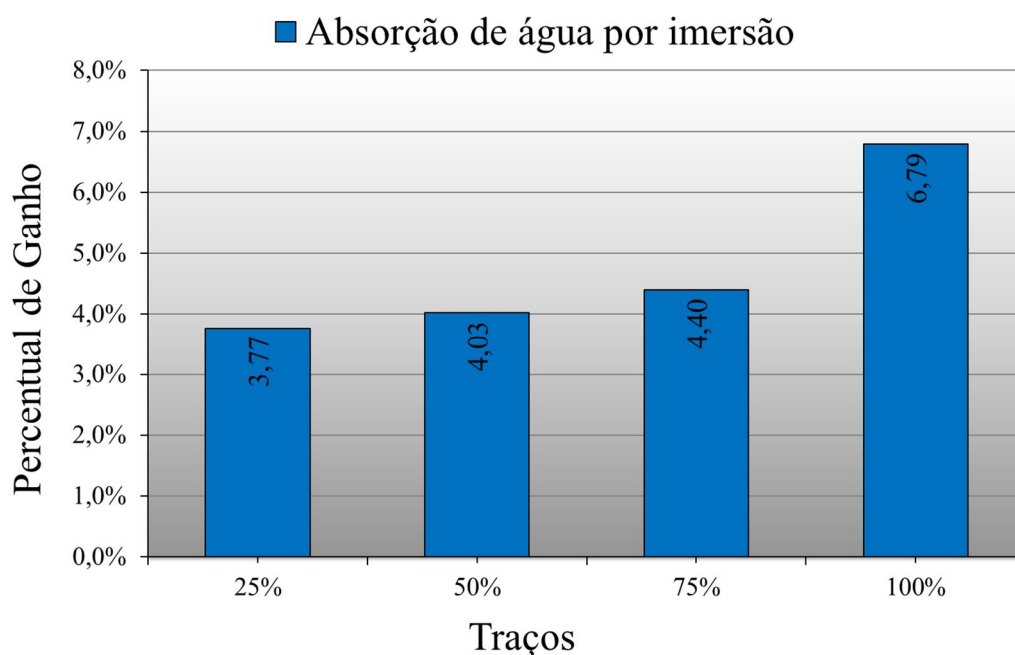


Figura 33 - Porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.

Na Figura 33 são apresentados os valores percentuais de ganho entre o concreto convencional de referência em relação aos concretos com substituição. Nota-se que também há um aumento de absorção de água dos concretos com estéril em relação ao concreto convencional atingindo taxas entre 3,77 a 6,79%, o aumento gradual da porcentagem de substituição de brita por estéril influenciou os resultados de absorção por imersão.

6.6.2. Índice de vazios.

Segundo Levy (2001) o índice de vazios pode ser relacionado a todos os poros existentes na estrutura do concreto e afetar diretamente as características de resistência mecânica do concreto no estado endurecido. O conhecimento desta estrutura de poros, pode ser um parâmetro de análise da durabilidade de um determinado concreto, sendo que é possível conhecer a forma pela qual os agentes agressivos se dispersarão ou penetrarão por meio do interior da massa de concreto. Tennis et al. (2004) em seu estudo classificam concretos com boas características de resistência mecânica e permeabilidade são aqueles com índice de vazios na ordem 20%.

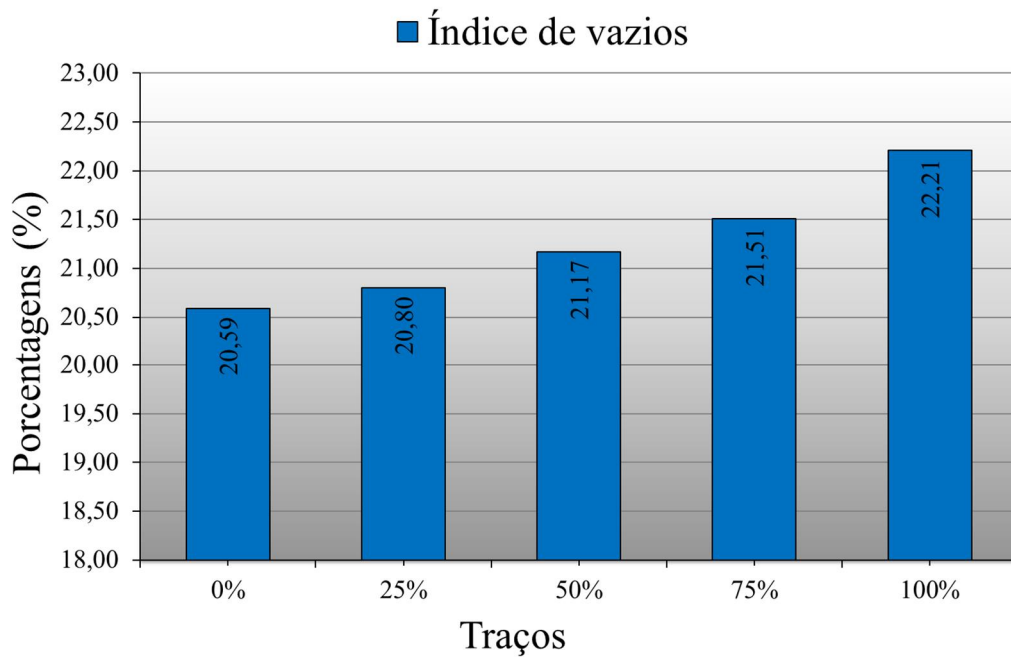


Figura 34 - Resultados dos ensaios de Índice de Vazios.

Os resultados obtidos de índice de vazios dos concretos, aos 28 dias de idade, como mostra a Figura 34, vemos que da mesma forma que havia revelado nos ensaios de absorção, houve um crescimento nos valores de índice de vazios na medida que se aumenta a quantidade de substituição de brita por estéril, apresentando resultado de índice de vazios entre 20,59% e 22,21%, enquadrando-os entre valor ideal de porosidade. Percebe-se também que há um ganho percentual de índice de vazios dos concretos com 25, 50, 75 e 100% entre o concreto de referência como mostra a Figura 35.

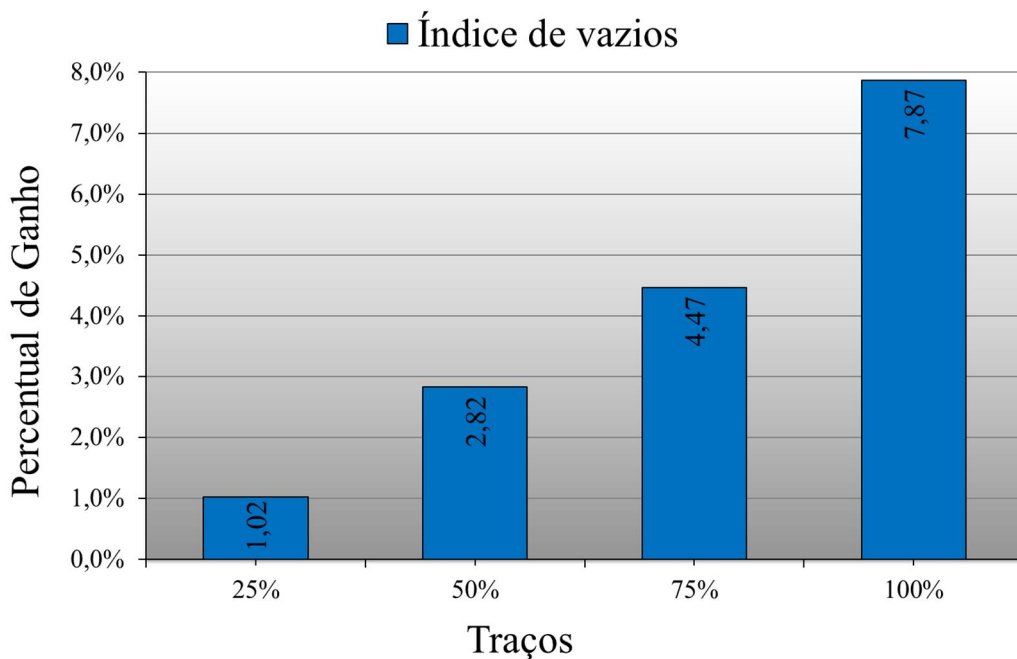


Figura 35 - Porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.

6.6.3. Massa Específica.

A massa específica do concreto no estado endurecido depende de muitos fatores como cita Holm e Bremner (2000), sendo a natureza dos agregados, sua granulometria entre outros. A massa específica ficará tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados usados para fabricação do concreto e também pela quantidade de agregado gráudo contiver.

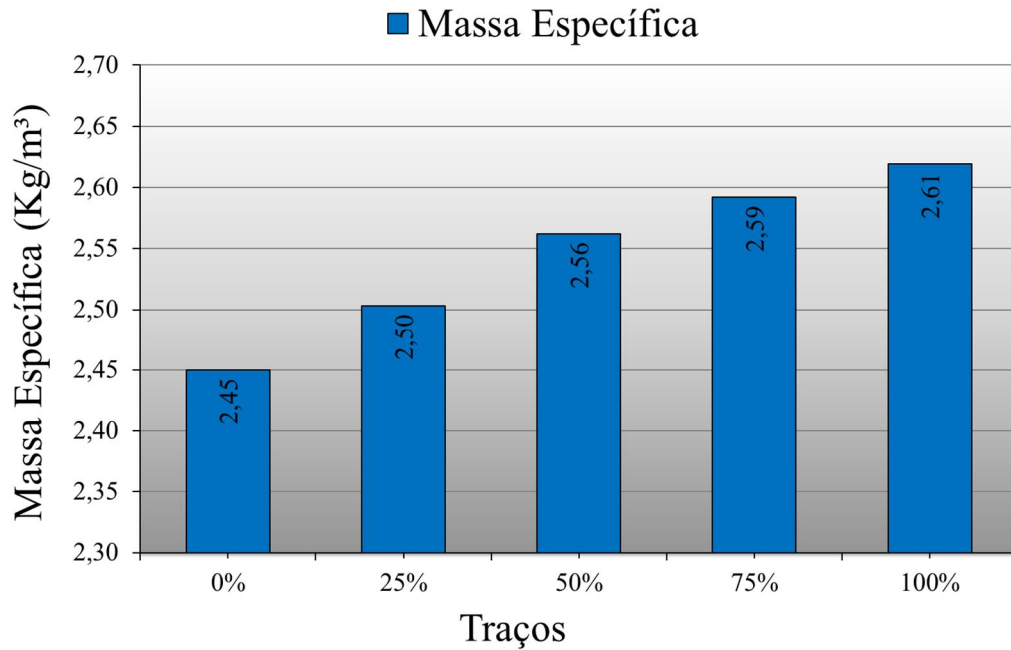


Figura 36 - Resultados dos ensaios de Massa Específica.

Os resultados dos ensaios de massa específica do concreto endurecido aos 28 dias de idade de cura estão apresentados na Figura 36. Pode-se observar que estes resultados obtiveram um acréscimo proporcional à medida em que a porcentagem de agregado gráudo convencional foi substituído por estéril.

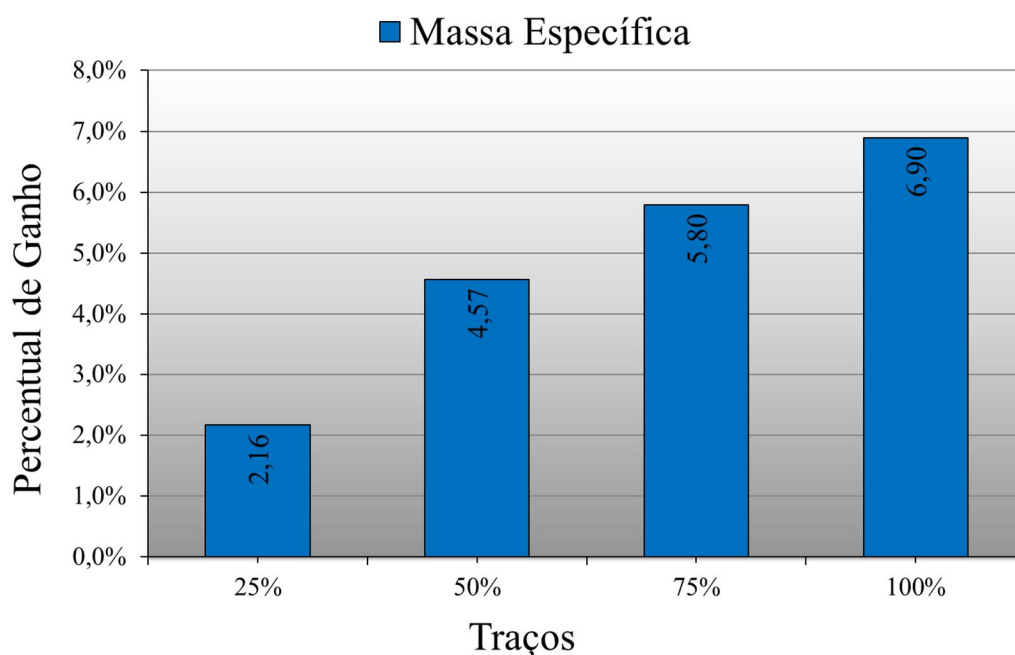


Figura 37 - Resultados de porcentagem de ganho em relação ao concreto convencional.

A taxa média de acréscimo da massa específica em relação ao concreto convencional pode ser visto na Figura 37, apresentando valores entre a faixa de 2,16 a 6,90%. Este fato, que já era esperado, foi comprovado devido a massa específica do estéril escalpado ser superior as massas específicas do agregado graúdo convencional, como foi citado no item 6.1.2., acarretando no aumento da massa específica do concreto.

6.7. Concreto no Estado Endurecido.

O item a seguir apresenta duas propriedades do concreto endurecido, sendo a resistência à compressão e a resistência a tração por compressão diametral, como já mencionado, sendo de interesse nesta pesquisa a resistência à compressão e a correlação com a tração por compressão diametral.

6.7.1. Resistência mecânica à compressão.

Na Tabela 25 são apresentados os resultados médios dos ensaios para determinação da resistência à compressão de todos os concretos produzidos. O ensaio de resistência a compressão foi realizado conforme proposto pela norma NBR 5739 (ABNT, 1994), em corpos de provas com dimensões de 10x20cm nas idades de 7, 14, 28 e 56 dias.

Tabela 25 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão dos concretos produzidos.

N° DA MISTURA	COMPOSIÇÃO		RESISTÊNCIA (MPa)			
			7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	56 DIAS
1	CR	Fck	18,64	20,58	25,18	25,16
		Sd	1,10	2,31	2,48	1,34
2	E25	Fck	19,79	21,70	25,62	26,08
		Sd	1,19	2,34	1,75	0,92
3	E50	Fck	19,96	21,38	25,80	25,22
		Sd	0,68	2,12	1,43	1,22
4	E75	Fck	20,74	22,43	26,02	26,01
		Sd	1,08	1,74	1,45	1,57
5	E100	Fck	20,17	22,40	25,39	25,60
		Sd	1,35	1,56	1,66	0,99

f_{ck} = resistência à compressão média; S_d = desvio padrão.

Pode-se notar que os valores de resistência à compressão nas porcentagens de substituição e ensaiados aos 7, 14, 28 e 56 dias de idades de cura apresentaram um comportamento, no que tange à evolução da resistência à compressão, na medida em que se aumenta o teor de substituição de brita por estéril escalpado, destaca-se o percentual de substituição de 75%, que expressou resultados superiores ao concreto de referência e aos concretos com outros percentuais de substituição aos 7, 14, 28 e 56 dias (Figura 38).

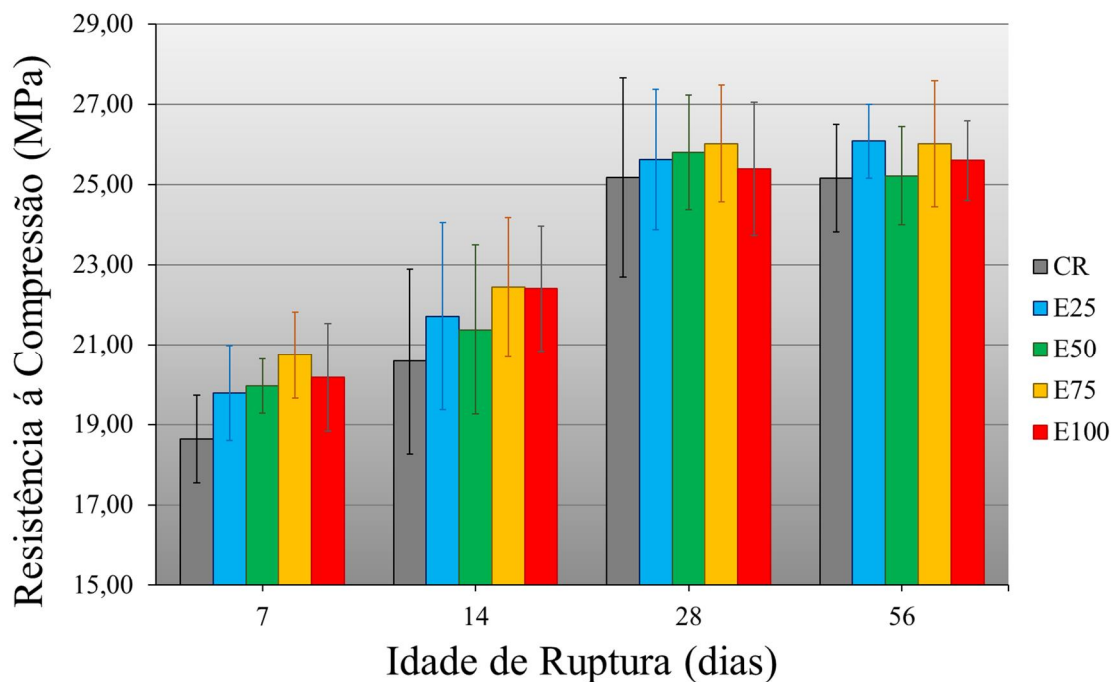


Figura 38 - Resultados médios de resistência mecânica à compressão.

Acredita-se que o ocorrido se deve ao fato que esse percentual de substituição proporciona um maior fechamento entre os grãos de agregados gráudo natural e estéril escarpado, devido a diferença no tamanho, causando um melhor empacotamento dos grãos como explica Dessuy e Soares (2017) em seu estudo realizado em concretos com resíduos de construção.

Em todas as idades de cura o concreto com 100% de substituição obteve um aumento de resistência, porém de maneira decrescente em relação ao concreto com 75%, ainda sim apresentando um desempenho positivo e se mostrando bastante similares. Portanto, a porcentagem que apresentou melhores resultados de resistência foi 75% de substituição analisando a resistência a compressão.

Em um estudo feito por Sudarshan D. Korel et al (2016), utilizou resíduo de mármore sendo usado em diversas proporções entre 20, 40, 60, 80 e 100% como substituto do agregado gráudo em peso em concreto. A resistência à compressão do concreto alcançada pelos autores, com os concretos contendo resíduos de mármore como agregado gráudos foram respectivamente superiores ao do concreto convencional, concluindo que, o agregado natural, nesta pesquisa, pôde ser substituído por resíduos de mármore.

Outro fator que pode ser observado é a alta resistência do concreto alcançadas nas primeiras idades variando entre 18,64 a 20,74 Mpa na idade de 7 dias para os cinco traços de concreto analisados, tal fato foi devido a forma e a textura do agregado, sendo propriedades que influência na resistência à compressão do concreto. Segundo Metha e Monteiro (2014), concretos elaborados com agregado gráudos de textura rugosa ou britados proporciona uma resistência maior nos concretos nas primeiras idades.

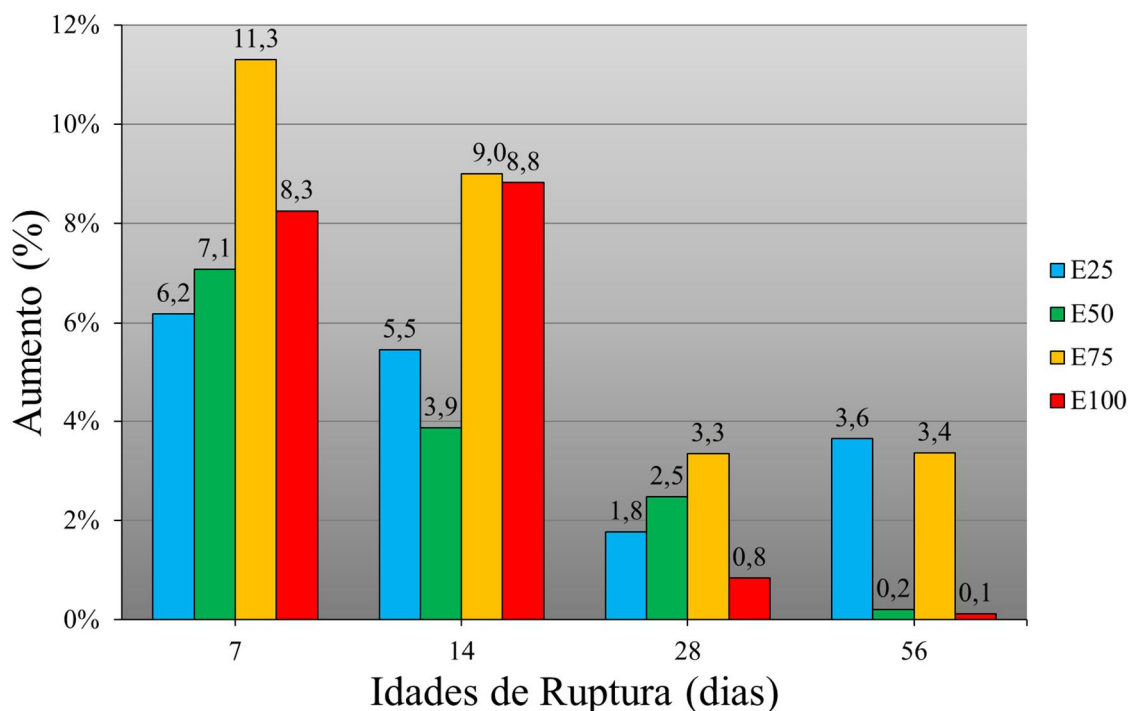


Figura 39 - Porcentagem de ganho de resistência a compressão em relação ao concreto convencional.

A análise da Figura 39 revela que os concretos tiveram um maior percentual de ganho na resistência à compressão nas primeiras idades de cura aos 7 e 14 dias em relação ao concreto convencional, nota-se que o maior percentual de ganho na resistência foi obtido com o concreto contendo 75% de substituição aos 7 dias de cura, apresentando um ganho médio de 11,30%.

6.7.2. Resistência mecânica à tração por compressão diametral.

Na Tabela 26 são apresentados os resultados médios dos ensaios para determinação da resistência à tração por compressão diametral de todos os concretos produzidos. O ensaio de resistência a compressão foi realizado conforme proposto pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

Tabela 26 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos concretos produzidos.

Nº DA MISTURA	COMPOSIÇÃO	RESISTÊNCIA (MPA)				
		7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	56 DIAS	
1	CR	Fck	2,17	2,33	2,85	2,99
		Sd	0,10	0,26	0,24	0,26
2	E25	Fck	2,20	2,37	3,01	3,15

		Sd	0,07	0,27	0,19	0,19
3	E50	Fck	2,19	2,35	3,00	3,06
		Sd	0,18	0,18	0,29	0,33
4	E75	Fck	2,26	2,41	3,07	3,14
		Sd	0,14	0,11	0,12	0,26
5	E100	Fck	2,28	2,39	3,02	3,02
		Sd	0,39	0,45	0,20	0,31

f_{ck} = resistência à compressão média; S_d = desvio padrão.

Para todos os traços contendo estéril escalpado, apresentados na Figura 40, nota-se que os ensaios de resistência a tração por compressão diametral, quando analisados em relação ao concreto de referência, apresentam resultados iguais ou superiores ao longo das idades de ruptura.

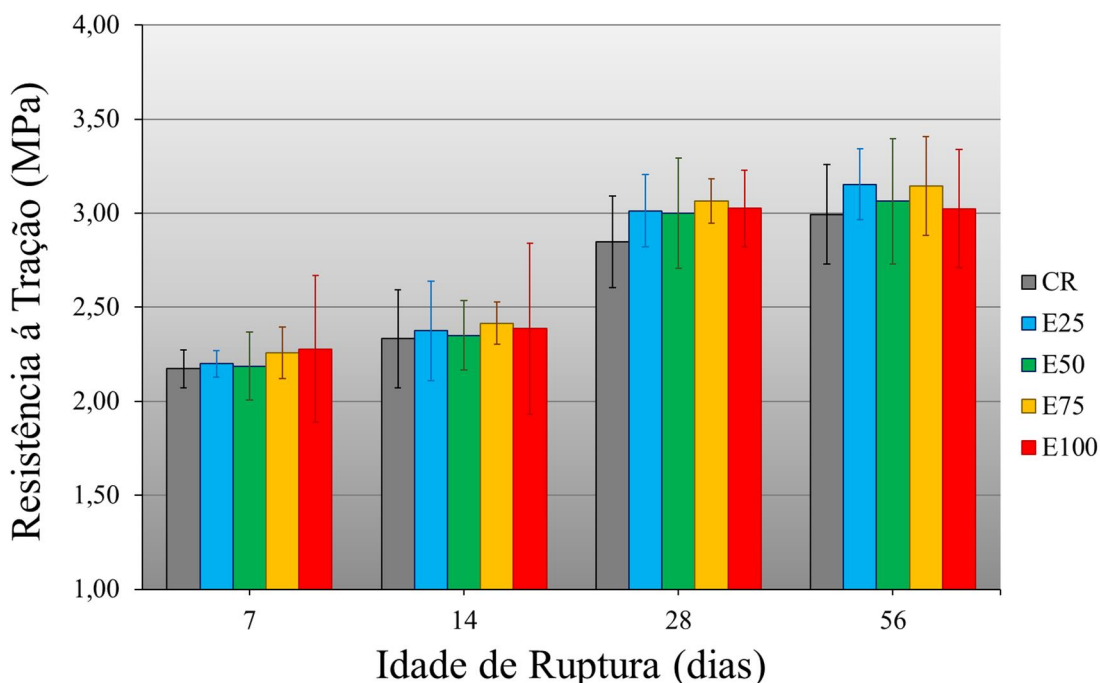


Figura 40 - Resultados médios de resistência mecânica à tração por compressão diametral.

Nos dias iniciais de cura (7 e 14 dias), os dados são iguais, isto é, ambas as substituições apresentam semelhanças comparados aos valores obtidos do concreto convencional. Aos 28 dias, a dosagem contendo 75% de substituição sobressai entre as demais e um ganho na resistência a tração por compressão diametral de 7,60% a mais em relação ao concreto convencional.

Nota-se que os concretos com o percentual de 25 e 75% de substituição, obtiveram resultados superiores aos outros traços contendo resíduo escalpado e também o melhor resultado em comparação com a dosagem referência na idade de 56 dias.

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a resistência a compressão e a resistência a tração são intensamente relacionadas, porque na medida em que a resistência a compressão do concreto aumenta, a resistência a tração também aumenta, porém em uma taxa decrescente. Em outras palavras, a razão da resistência a compressão pela resistência a tração depende do nível da resistência a compressão, ou seja, quanto mais alta a resistência a compressão menor a razão. Na Tabela 27 estão apresentados os resultados médios do limite de resistência dos concretos obtidos nos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral.

Tabela 27 - Valores de resistência a tração por compressão diametral e a compressão, e razão tração/compressão aos 28 dias de cura.

Nº DA MISTURA	COMPOSIÇÃO	RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS (MPA)		
		TRAÇÃO	COMPRESSÃO	% AOS 28 DIAS
1	CR	2,71	25,18	10,77
2	E25	3,01	25,62	11,76
3	E50	3,00	25,80	11,63
4	E75	3,07	26,02	11,78
5	E100	3,02	25,39	11,91

Para os concretos ensaiados aos 28 dias nota-se que a composição 0%, considerado como referência (CR) obteve uma relação entre as resistências de 10,77%, enquanto que para as outras composições contendo 25, 50,75 e 100% de substituição, obtiveram uma relação entre 11,63 a 11,91%. Da mesma maneira que se obteve um acréscimo na resistência nos ensaios de tração por compressão diametral, na medida que se aumentava a porcentagem de estéril escalpado no concreto, obteve-se também um aumento na relação entre a resistência a tração por compressão aos 28 dias.

Mehta e Monteiro (2014) e Neville (1997), ambos afirmam que vários fatores podem influenciar essa relação, tais como o método de avaliação do concreto, escolhas dos agregados, relação A/C entre outros. Os mesmos autores articulam que essa relação entre a resistência a compressão e a resistência a tração se encontram entre 7 a 15%, a partir desses dados é possível constatar os valores obtidos neste estudo se encontram dentro os limites estabelecidos pelos referidos autores.

6.7.3. Reação álcali-agregado.

Na Tabela 28 estão demonstrados os valores das leituras das barras nas idades estabelecidas pela NBR 1577 (ABNT, 2008) e na Tabela 29 a evolução percentual da expansão destas barras nas mesmas idades.

Tabela 28 - Leituras das dimensões das barras (cm).

DIAS	BARRAS (CM)		
	01	02	03
Inicial	303,265	302,091	303,075
03	304,283	302,105	303,091
07	304,297	302,148	303,098
14	304,319	302,157	303,105
16	304,321	302,174	303,109
21	304,366	302,189	303,122
24	304,513	302,216	303,148
28	304,517	302,280	303,162
30	304,528	302,296	303,184

Tabela 29 - Variação dimensional das barras de argamassa (%).

Nº BARRAS	DIAS							
	03	07	14	16	21	24	28	30
01	0,006	0,011	0,018	0,018	0,033	0,082	0,083	0,086
02	0,005	0,019	0,022	0,027	0,032	0,041	0,063	0,068
03	0,005	0,008	0,010	0,011	0,016	0,024	0,029	0,036
Média	0,005	0,012	0,016	0,019	0,027	0,049	0,058	0,063

As especificações da Norma Brasileira NBR 15577-1 (ABNT, 2008), no item 5.3 citam os seguintes valores para avaliação do grau de reatividade dos agregados quanto a expansão obtida no ensaio acelerado proposto pela NBR 15577-4 (ABNT, 2009):

- Valores de expansão $\times 0,19\%$ aos 30 dias de idade indicam que o agregado pode desenvolver expansão deletéria.
- Valores de expansão $< 0,19\%$ aos 30 dias indicam que o agregado analisado apresenta características favoráveis ao emprego em obras de construção civil com baixo risco de desenvolvimento da patologia referente à reação álcali-agregado.

Sendo assim, na Figura 41 está apresentada a curva da evolução das expansões das barras, com os valores médios.

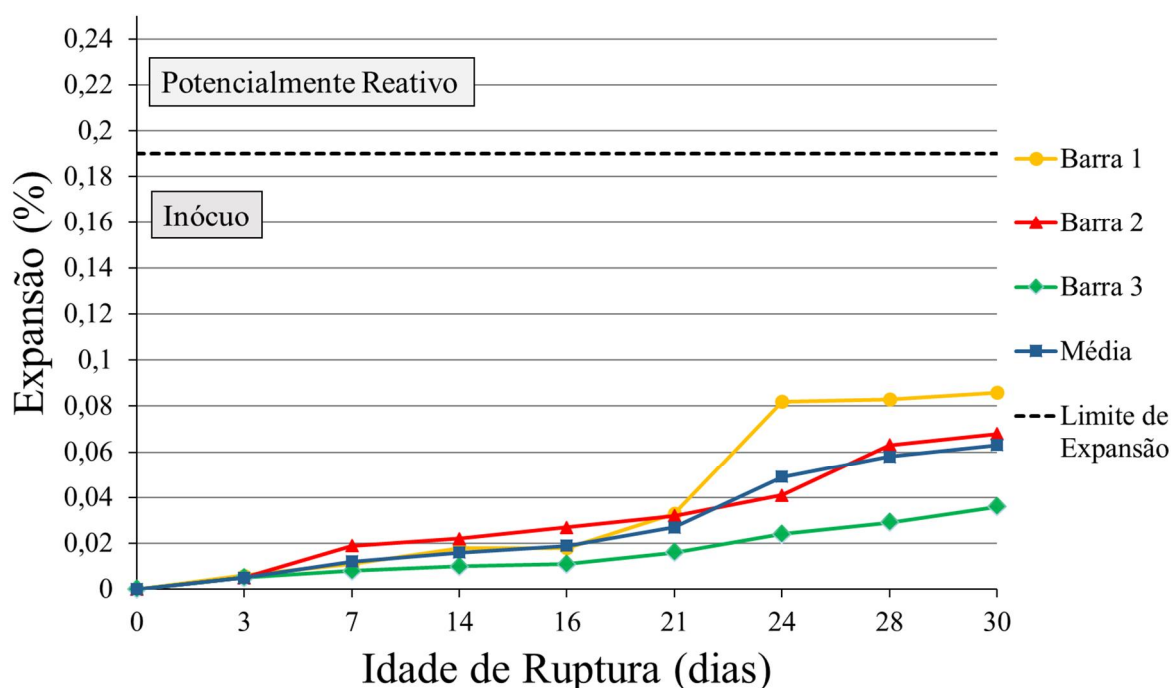


Figura 41 - Gráfico da evolução da expansão média percentual das barras com estéril escalpado.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 28, condiciona os seguintes resultados das leituras realizadas nas determinadas idades. Também pode-se observar na Figura 29, que não há um comportamento potencialmente reativo das barras confeccionada com amostra de estéril escalpado, percebe-se visualmente que desde as primeiras idades de leitura até o fim do ensaio com (30 dias), o agregado investigado se apresentou potencialmente inerte quanto à possibilidade de desenvolver expansões deletérias, quando na produção de argamassa/concreto mediante o emprego de Cimento Portland comum.

6.8. Interpretação das análises microscópicas.

A utilização do MEV juntamente com o EDS permitiu visualização de cristais e elementos e suas identificações, além de uma percepção quanto à porosidade, microfissuras e homogeneidade da matriz de cimento e da interface com o agregado.

6.8.1. Caracterização química do concreto com estéril escalpado por MEV.

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada nos corpos de prova rompidos com 75% de substituição por material estéril escalpado. Na Figura 42 (A) está mostrado claramente a presença de agregado, sua zona de transição e pasta de cimento. A zona de transição apresenta características constantes sem a presença de microfissuras e trincas e

tendo uma aderência uniforme entre o agregado e a pasta, bem como o volume de argamassa sendo suficiente para envolver os grãos; isso é típico de concretos compactados com um bom consumo de cimento.

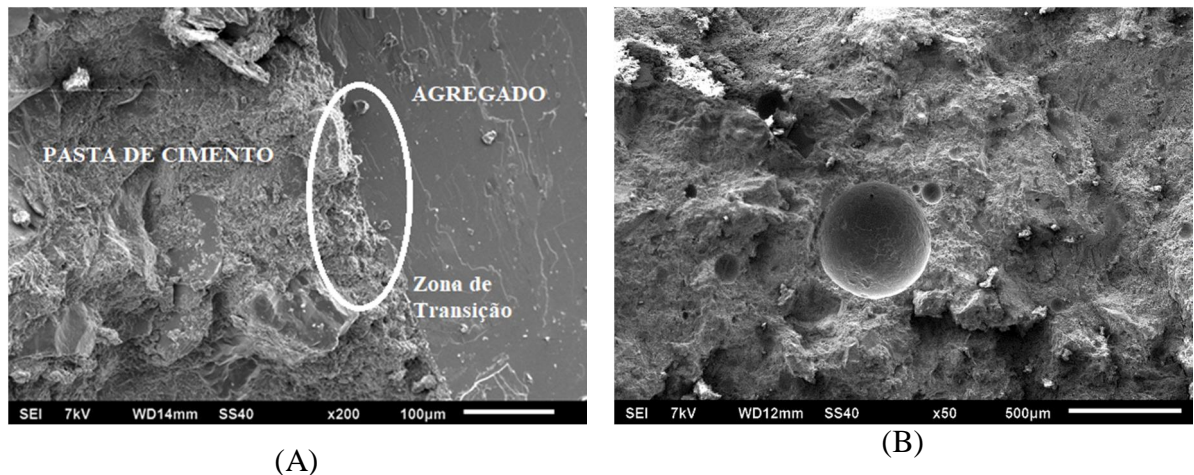


Figura 42 - Comparação entre as imagens de MEV realizadas nos concretos contendo estéril escalpado.

De acordo com a Figura 42 (B) pode-se observar que houve formação de poros causados pela presença de bolhas de ar incorporado, formadas durante o processo de exsudação. Essas bolhas, conhecidas como vazios são possíveis de serem vistas no concreto através do MEV e em casos onde suas dimensões são maiores, estas podem ser vistas a olho nu.

6.8.2. Caracterização química do concreto com estéril escalpado por EDS.

Apresenta-se na Figura 43, o concreto contendo estéril escalpado de rejeito não magnético submetido a análise de Espectrômetro de raios-x dispersivo em energia (EDS). Observando-se os seis gráficos de análise química dos pontos destacados na imagem de EDS sendo possível identificar a presença de vários elementos químicos.

Com finalidade de analisar os elementos presentes no concreto contendo estéril escalpado, foram feitas análises pontuais por EDS em seis lugares com tiros distintos, os resultados obtidos estão apresentados nas Figura 43.

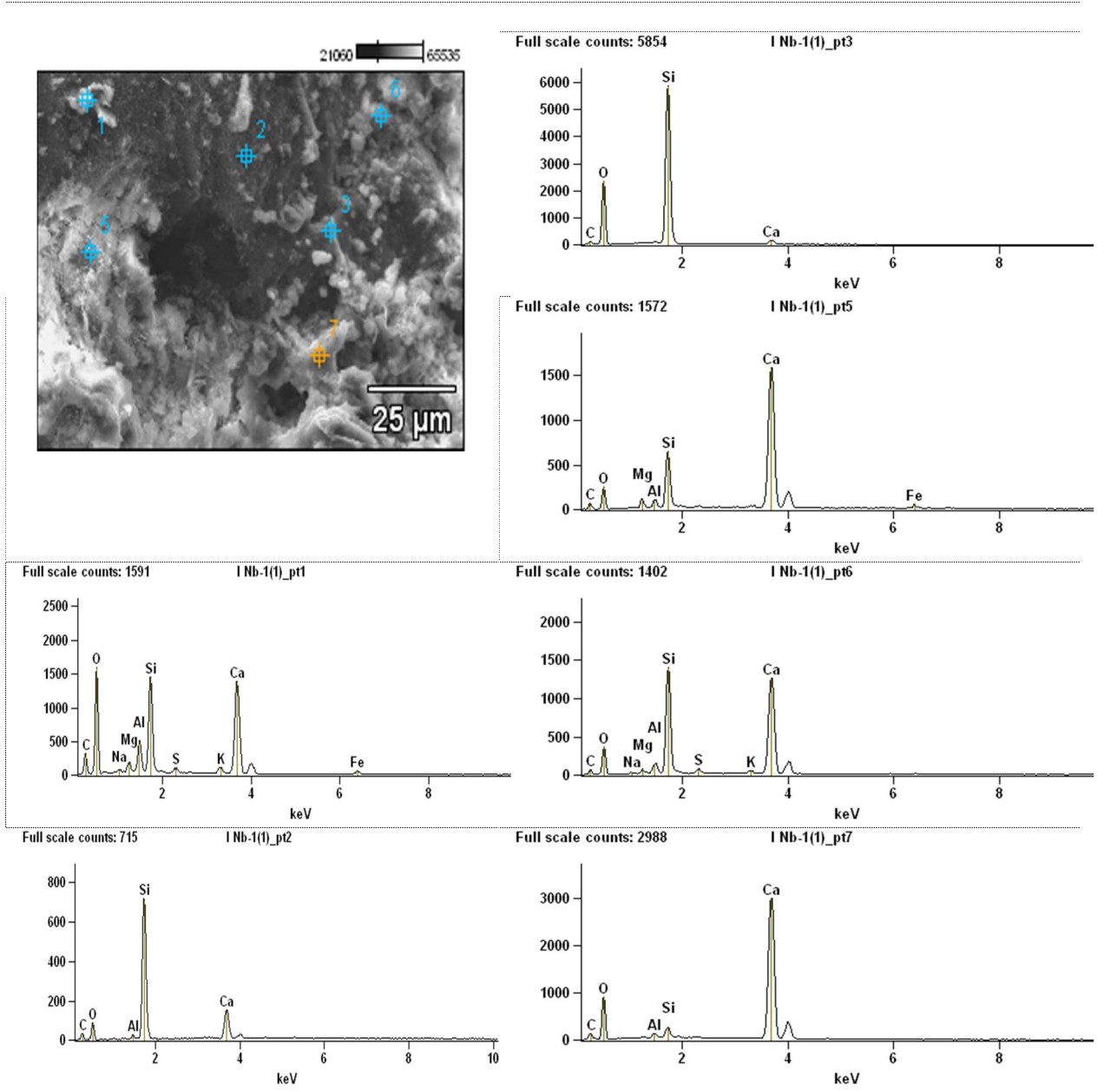


Figura 43 - Análise química através de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS).

Os resultados da análise de EDS demonstraram para o concreto contendo estéril escarpado, tanto no primeiro ponto como nos demais, há teores de cálcio e sílica, como já esperado, uma vez que cimento e areia são compostos por estes elementos. Mas, no entanto, há presença de magnésio, oxigênio, alumínio e potássio, elementos presentes na composição do estéril escarpado, presentes em ambos os pontos.

6.9. Análise estatística dos resultados de resistência mecânica a compressão e tração diametral ó ANOVA.

De acordo com as tabelas 30 e 31, as análises comparativas das amostras de todos os concretos produzidos (CR, E25, E50, E75 e E100) independente do ensaio realizado, mostra que a hipótese H_1 é rejeitada uma vez que $F < F_{\text{crítico}}$ e o valor p é maior que o intervalo de confiança adotado (0,05), indicando assim que não existe influência na substituição do agregado graúdo ou um desempenho significativo de ganho ou perda de resistência mecânica entre os tipos de concreto com a variação percentual. A análise das colunas que representam as diferentes idades dos concretos, mostra que a hipótese H_0 é rejeitada, visto que os valores de $F > F_{\text{crítico}}$ e $p < 0,05$, indicando que existe uma significância no desempenho da resistência à compressão do concreto conforme a idade de cura do concreto.

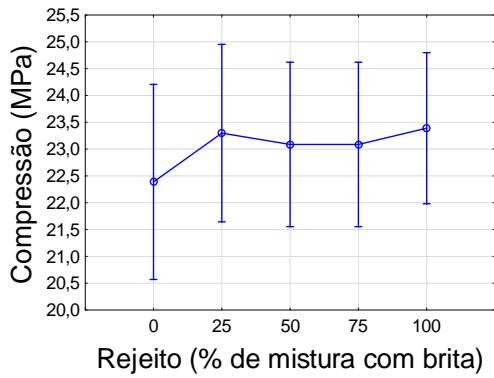
Tabela 30 - Análise estatística Anova dos concretos produzidos com estéril escalpado submetidos a ensaios de resistência mecânica a compressão.

CONCRETOS	FONTE DE VARIAÇÃO	F	$F_{\text{crítico}}$	Valor p
CR, E25, E50, E75 e E100	Amostra	1,705072	2,525215	0,160707
	Colunas	65,92039	2,758078	5,61E-19
CR e E25	Amostra	2,096069	4,259677	0,160617
	Colunas	25,59586	3,008787	1,18E-07
CR e E50	Amostra	1,357413	4,259677	0,255436
	Colunas	26,44758	3,008787	8,79E-08
CR e E75	Amostra	5,487411	4,259677	0,027779
	Colunas	24,37442	3,008787	1,84E-07
CR e E100	Amostra	2,857873	4,259677	0,103876
	Colunas	24,73951	3,008787	1,61E-07
E25 e E50	Amostra	0,148085	4,259677	0,703762
	Colunas	28,83674	3,008787	3,97E-08
E25 e E75	Amostra	0,824603	4,259677	0,372866
	Colunas	26,51774	3,008787	8,58E-08
E25 e E100	Amostra	0,168912	4,413873	0,685932
	Colunas	22,05687	3,554557	1,44E-05
E50 e E75	Amostra	1,884034	4,259677	0,182568
	Colunas	27,99257	3,008787	5,22E-08
E50 e E100	Amostra	0,355639	4,259677	0,556522
	Colunas	28,63878	3,008787	4,23E-08
E75 e E100	Amostra	0,645392	4,259677	0,42965
	Colunas	26,15062	3,008787	9,74E-08

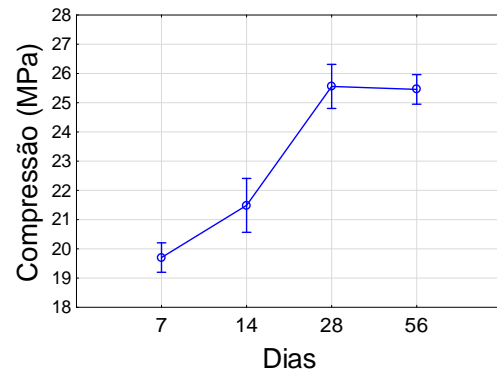
Tabela 31 - Análise estatística Anova dos concretos produzidos com estéril escalpado submetidos a ensaios de resistência mecânica a tração por compressão diametral.

CONCRETOS	FONTE DE VARIACÃO	F	F _{crítico}	Valor p
CR, E25, E50, E75 e E100	Amostra	0,652455	2,525215	0,627402
	Colunas	60,69078	2,758078	3,65E-18
CR e E25	Amostra	0,661033	2,499323	0,618734
	Colunas	60,51072	2,819234	3,66E-18
CR e E50	Amostra	0,555937	4,259677	0,463143
	Colunas	24,16374	3,008787	1,98E-07
CR e E75	Amostra	3,583214	4,259677	0,070487
	Colunas	35,57216	3,008787	5,39E-09
CR e E100	Amostra	0,765205	4,259677	0,390375
	Colunas	14,36725	3,008787	1,45E-05
E25 e E50	Amostra	0,187209	4,259677	0,669113
	Colunas	32,62574	3,008787	1,24E-08
E25 e E75	Amostra	0,307649	4,259677	0,584259
	Colunas	51,33228	3,008787	1,36E-10
E25 e E100	Amostra	0,004435	4,259677	0,947453
	Colunas	18,71014	3,008787	1,79E-06
E50 e E75	Amostra	0,835909	4,259677	0,369664
	Colunas	34,04607	3,008787	8,24E-09
E50 e E100	Amostra	0,065782	4,259677	0,799766
	Colunas	15,13152	3,008787	9,73E-06
E75 e E100	Amostra	0,186227	4,259677	0,669927
	Colunas	18,90476	3,008787	1,64E-06

As análises comparativas dos ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral das amostras dos concretos (CR e E25), (CR e E50), (CR e E100), (E25 e E50), (E25 e E75), (E25 e E100), (E50 e E75), (E50 e E100) e (E75 e E100) apresentaram resultados semelhantes aos citados anteriormente, nos quais a hipótese H_1 é rejeitada, devido os valores de $F < F_{crítico}$ e $p > 0,05$. Indicando que a variação percentual de substituição do agregado graúdo comercial pelo estéril escalpado não desempenha influência na resistência mecânica à compressão e tração por compressão diametral dos mesmos. Nos resultados da comparação entre as idades de cura (valores das colunas Tabelas 30 e 31), desses concretos, têm-se que existe uma significância no desempenho da resistência em relação as diferentes idades analisadas, já que $F > F_{crítico}$ e $p < 0,05$ Figura 44 (A e B) e 45 (A e B).

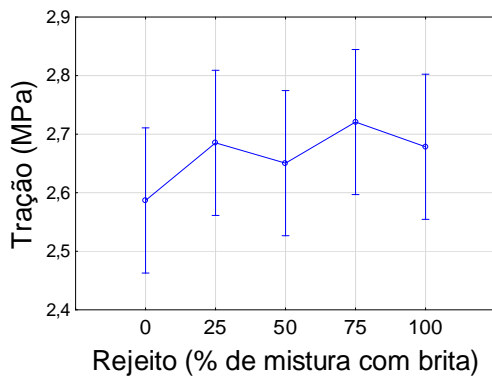


(A)

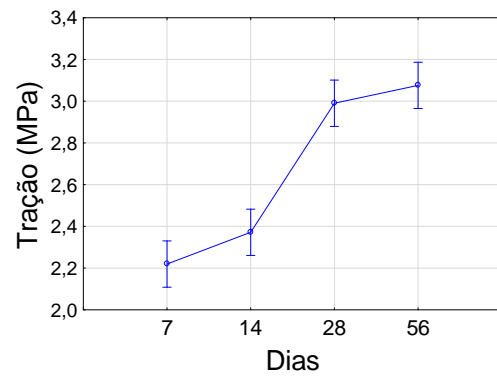


(B)

Figura 44 - (A) Resultados da análise de médias da resistência a compressão, (B) Resultados da análise de média dos dias de cura.



(A)



(B)

Figura 45 - (A) Resultados da análise de médias da resistência a tração, (B) Resultados da análise de média dos dias de cura.

Apenas para a análise comparativa da resistência à compressão para os concretos (0 e 75%) têm-se que a hipótese H_0 é rejeitada, evidenciando que existe influência significativa no desempenho mecânico de acordo com a variação percentual de substituição do agregado graúdo por estéril escalpado nas diferentes idades de cura estudadas nestes concretos, dado que $F > F_{\text{crítico}}$ e $p < 0,05$.

6.10. Análise econômica do estéril escalpado.

Primeiramente, foi realizado um dimensionamento de uma rota de britagem do estéril escalpado como é mostrado na Figura 46 e, logo em seguida, a escolha do equipamento que atenderia as demandas necessárias para a produção do agregado graúdo. Foi considerada uma britagem do material em circuito fechado e em seguida realizada a separação do material por peneiramento a úmido para remoção dos finos presentes nos grãos de agregados.

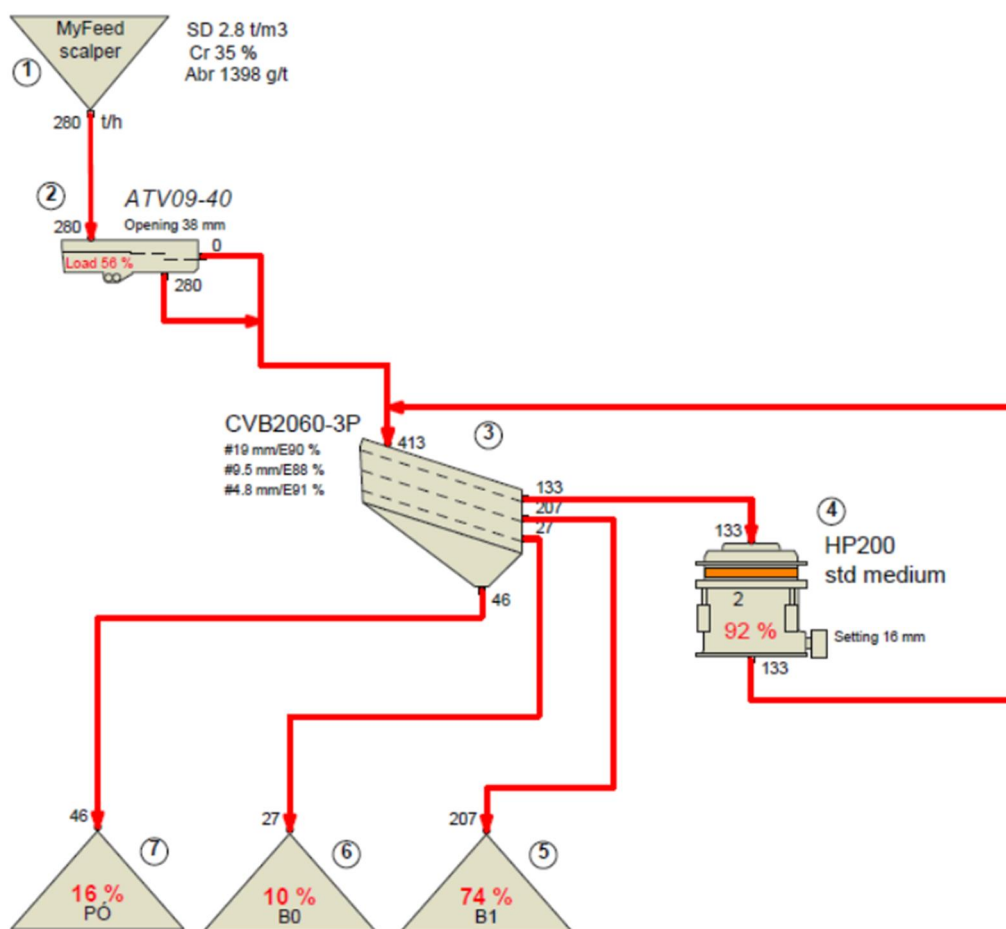


Figura 46 - Diagrama esquemático de um circuito fechado de britagem de agregados.

Uma simulação foi realizada juntamente com um representante da empresa METSO, com as características e informações do material que hoje se encontra estocado em forma de pilhas. A melhor opção de equipamento para fabricação do agregado graúdo brita 1, que atende as necessidades da empresa é uma planta de britagem e peneiramento móvel Lokotrack com sistema de abatimento de pó, realizado por meio de aspersão de água por bicos spray nas bicas de saída dos britadores, na peneira. O maquinário também possui a versatilidade de se manobrar para diversas partes da pilha de estéril escalpado e não requer montagem de obras civis pesadas. Foi desenvolvido um cenário para analisar os custos, e verificar se trará um retorno financeiro para empresa.

Na Tabela 32 está representada a quantificação dos equipamentos necessários para executar o processo de britagem e classificação, onde são geradas aproximadamente 84,000 toneladas mensais de estéril escalpado, juntamente com o custo de operação por tonelada processada considerando peças de reposição e manutenção que é de R\$ 5,00/t, gerando um

custo final de R\$ 420.000. Os valores para as formulações dos cálculos foram obtidos diretamente com os fabricantes.

Tabela 32 - Custo de Aquisição e Operação mensal do Equipamento.

EQUIPAMENTO	CUSTOS	
Britador Móvel	Aquisição	Operacional/Mensal
	R\$ 3.500.000,00	R\$ 420.000,00

Na Tabela 33, encontra-se os valores dos custos mensais com energia elétrica consumida pelo britador móvel. Já na Tabela 34, está disposto os custos mensais com operadores.

Tabela 33 - Custo Mensal com Energia Elétrica.

CUSTO KWH	POTÊNCIA TOTAL DO CONJUNTO MÓVEL (KW)	TEMPO MENSAL DE OPERAÇÃO (HORAS)	CUSTO TOTAL MENSAL
R\$ 0,71504	172,40	720	R\$ 88.756,49

Tabela 34 - Custo Mensal com Mão de Obra.

EQUIPAMENTO	QUANTIDADES	TURNOS	SALARIO	TOTAL MENSAL
Britador Móvel	2	3	R\$ 1.800,00	R\$ 10.800,00

Portanto têm-se gastos mensais de operações equivalentes a R\$ 519.556,49, como pode ser visto na Tabela 35, que representa os custos mensais totais e o custo de aquisição.

Tabela 35 - Custo Mensal Total com CAPEX e OPEX.

CAPEX	R\$ 3.500.000,00	
OPEX	Energia Elétrica	R\$ 88.756,49
	Custo Operacional	R\$ 420.000,00
	Mão de Obra	R\$ 10.800,00
	TOTAL	R\$ 519.556,49

Foi realizada uma análise da projeção do preço para a produção de agregado graúdo a partir do estéril escalpado. O valor comercial do agregado graúdo convencional (brita) hoje vendido diretamente das pedreiras é de R\$ 30,00 o metro cúbico, sem considerar o valor do

frete, de acordo com a empresa EBQ - Empresa Brasileira do Quartzo Ltda, responsável pela mineração de agregados no município de Goiandira ó GO.

A proposta inicial é que o estéril escalpado seja comercializado a um valor acessível, fornecendo-o a 50% do valor proposto no parágrafo anterior. Esse valor foi estipulado visando um produto acessível para conquistar consumidores deste segmento de mercado juntamente contribuindo para o aumento da receita da empresa. Na Tabela 36 está mostrado os valores de produção, receita e lucro mensal de acordo o novo valor citado.

Tabela 36 - Valores de aquisição, operação e lucro mensal.

PRODUÇÃO MENSAL (TON)	VALOR DA BRITA (R\$)	RECEITA MENSAL (R\$)	OPEX (R\$)	LUCRO MENSAL (R\$)
84000	15,00	1.260.000,00	519.556,49	740.443,51

A partir do valor proposto a receita mensal é de R\$ 1.260.000,00 e os gastos operacionais mensais (OPEX) são de R\$ 519.556,49, com isso o lucro mensal é de R\$ 740.443,51. Assim, a partir do lucro mensal considerou-se a utilização de 20% para saldar o investimento do maquinário (CAPEX). Dessa forma em cinco meses o valor de R\$ 3.500.000,00 será quitado e ainda irá possuir um lucro nesses primeiros meses de R\$ 40.443,51. Enfim, o lucro já no primeiro ano de produção será de R\$ 5.385.322,18, e a partir do segundo ano chegará a R\$ 8.885.322,18

7. CONCLUSÕES

O estéril escalpado provindo do setor da mineração, especificamente da empresa Niobrás (CMOC *International* Brasil), apresenta características semelhantes às características dos agregados graúdos (brita), e podem ser utilizados na indústria da construção civil brasileira para fabricação de concretos.

De início, para utilizar o material *in natura* para a fabricação de concreto ou utilização como foi inicialmente proposto não seria recomendável, uma vez que o material se encontra em granulometrias distintas e com alto índice de partículas finas. Essas características presentes no material estudado influenciam negativamente algumas propriedades do concreto, tais como: trabalhabilidade, resistência mecânica e aspectos visuais.

Os testes de caracterização confirmaram que as amostras testadas são aprovadas, desde que seja realizada uma rebritagem e um peneiramento a úmido para classificar e lavar o material, adequando-o às faixas granulométricas das brita 0 e 1. A remoção dos materiais pulverulentos é uma ação importante, pois o excesso deste pode gerar danos e prejudicar a aderência dos grãos de agregados com a pasta de cimento, diminuindo a resistência mecânica dos concretos.

O traço e o método de dosagem do concreto adotado neste trabalho tiveram o intuito de reproduzir os procedimentos de moldagem de concretos *õin locoö*, aliando as características de trabalhabilidade a resistência, de modo a obter um material com características semelhantes ao que é utilizando atualmente.

As trabalhabilidades verificadas nos ensaios dos concretos produzidos com estéril escalpado permitiram concluir que não houve uma significativa redução ou aumento do abatimento do tronco de cone em relação ao concreto convencional, ou seja o estéril escalpado não alterou as características do concreto no seu estado fresco em todas as dosagens realizadas nesta pesquisa.

O principal objetivo deste estudo foi analisar a resistência mecânica à compressão e à tração por compressão diametral dos concretos produzidos com brita comercial e estéril escalpado, provenientes da lavra e processamento de Nb, nos percentuais de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Os concretos produzidos com estéril escalpado, de modo geral apresentaram valores superiores de resistência à compressão e à tração em relação ao concreto convencional

nos ensaios de ruptura. A análise estatística realizada contribuiu para comprovar que o estéril escalpado pode ser utilizado, uma vez que não houve diferença significativa entre os resultados dos ensaios de resistência mecânica, indicando que o uso deste como agregado graúdo é viável pois ambos possuem propriedades semelhantes, e com isso mostra-se que o objetivo foi alcançado, ficando comprovado por estes dos ensaios.

O ensaio referente a expansões de barra realizadas em argamassas através do método acelerado mostrou que o material utilizado na pesquisa se apresentou potencialmente inócuo quanto à possibilidade de desenvolver expansões deletérias, ficando abaixo do limite de 0,19%, e chegando em média a 0,063% aos 30 dias, como indicado pela norma NBR 15577-1 (ABNT, 2008).

Em relação aos valores de aquisição de maquinários, manutenção dos mesmos e mão de obra é possível obter um retorno financeiro em cinco meses, e alcançar um lucro financeiro contribuindo para o aumento da receita da empresa com a comercialização do material que é considerado um resíduo sem utilidade e valor econômico, que vem causando impactos ambientais, como a degradação de matas nativas e áreas de pastagem, geração de partículas finas que são facilmente carregadas através de quilômetros de distância pelos ventos.

Com os resultados experimentais obtidos até o momento, pode-se concluir que o estéril escalpado oriundo da lavra e processamento de Nb, possui propriedades físicas e mecânicas interessantes para uso como agregado graúdo em concretos.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório**. São Paulo: Pini, 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Report ACI CT-13, ACI Concrete Terminology, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211/2009: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7218/2010: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7809/2016: Agregados graúdo ó Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 26/2001: Agregados ó Amostragem**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27/2001: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45/2006: Agregados ó Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46/2003: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 m, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 51/2001 ó Agregado Graúdo ó Ensaio de Abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 53/2003: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5564/2011 ó Lastro Ferroviário ó Método e Requisitos de Ensaio ó Anexo A - Determinação da Forma dos Fragmentos da Pedra Britada**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 5564/2011 ó Lastro Ferroviário ó Método e Requisitos de Ensaio ó Anexo B ó Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 5564/2011 ó Lastro Ferroviário ó Método e Requisitos de Ensaio ó Anexo E - Determinação da Resistência ao choque**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7215/2010 ó Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9935/2011 ó Agregados ó Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

ABRAÃO, P. C. **Sobre a disposição de rejeitos de mineração no Brasil.** Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos Industriais e de Mineração. Rio de Janeiro ó RJ, p. 1-9, 1987.

Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC). Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em: 12 jan 2017.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5 eds. ó reimpr. Rio de Janeiro: LTC, v.2, 2010.

BELTRÃO, F. **Agregados e argamassas ó Tecnologia da Construção.** Universidade Federal do Paraná, 2013.

BORGES, A. A., LUZ, J. A. M., FERREIRA, E. E. **Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito.** Ouro Preto: REM - Revista Escola de Minas, v. 61, n.1, p.29-34, 2008.

BORGES, P. R. **Utilização de Resíduo de Lã de Vidro em Fabricação de Concreto.** 129 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais) ó Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido.** 259 f. (Dissertação de mestrado) ó Curso de Mestrado em Engenharia Civil ó Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CAMPOS NETO, T. F. **Efeitos da temperatura do concreto fresco na sua trabalhabilidade.** 132 f. (Dissertação de Mestrado) ó Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil ó Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CARLETE, B. A; CASTRO, N. F.; SILVA, H. V. **Caracterização de agregados minerais provenientes de resíduos grosseiros de rochas ornamentais.** Jornada de Iniciação Científica ó CETEM, 2015.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. **Cap. VI - Uso do Agregado Reciclado em Camadas de Base e Sub-Base de Pavimentos.** In: Alex Pires Carneiro; Irineu Antônio Schadach Brum; José Clodoaldo da Silva Cassa. (Org.). Reciclagem de Entulho Para a Produção de Materiais de Construção. 1ed.Salvador - Ba: Edufba - CEF, 2001, v. 1, p. 188-227.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios; Britagem, Peneiramento e Moagem.** Volume 3. 2ª Edição. São Paulo: Signus Editora/Brasil Mineral, 2003.

COLLINS, L.; SMITH, M. R. **Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes.** The Geological Society publ., 1993.

CORREIA, J. C. G. **Classificação e Peneiramento**. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2010.

CORREIA, S. L., MATOS, B. W., SANTOS, G., DEZANET, A., STRINGARI, D., SCHACKOW, A., SEGADÃES, A. M. **Uso de Análise de Imagens Obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura para a Caracterização de Materiais de Construção Contendo Rejeitos de Tijolos**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT, Brasil, p. 478-485, 2014.

CURI, A. **Lavra de Minas**. 1 ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DAY, K. W. **Concrete mix design, quality control and specification**. Third Edition. New York: Taylor & Francis, 2006.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - **DNER ME 89/1994 ó Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio**.

ESPÓSITO, T. D. J. **Metodologia Probabilística e Observacional Aplicada a Barragem de Rejeito Construídas por Aterro Hidráulico**. 363 f. Tese de Doutorado (Departamento em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2000.

FERREIRA, L. A. **Escavação e Exploração de Minas a Céu Aberto**. 134 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) ó Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2013.

FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Britagem e Moagem**. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2010.

FREITAS NETO, O.; SIMÕES, A. G. O.; BEGGIATO, L. D.; JESUS, A. C.; JAMAL, F. G. **Caracterização Geotécnica do Basalto da Formação Serra Geral para Utilização na Construção Civil**. In: ANAIS COBRAMSEG/SBMR/GEOJOVEM, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, 2006. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-neto-oliveira.pdf>> Acesso em: 23/05/2018.

GEYER, A. L. B., SÁ, R. R. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco**. Boletim Informativo 2 ó Tecnologia em Concreto Modernidade a serviço do Cliente, Ano 2, n. 2, 2006.

HANSEN, T. C.; NARUD, H. **Strenght of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate**, Concrete Internacional, Vol. 5, N. 1, 1983.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregados e caracterização avançada do gel exsudado**. Porto Alegre / RS. 326 f. (Tese de Doutorado) ó Escola de Engenharia da universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Instituto Brasileiro de Mineração; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.

ITAMBÉ. **Apostila de ensaios de concretos e agregados** - 3ª Edição. Curitiba, Paraná, 2011. INDERP ó Pedra e areia. Disponível em: <<http://inderp.com.br/produtos/>> Acesso em: 30 de abril de 2017.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre / RS. 290 f. (Tese de Doutorado) ó Escola de Engenharia da universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LI, Z. **Advanced concrete technology**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

LIBERATI, E. A. P., LEONEL, E. D., NOGUEIRA, C. G. **Influence of the reinforcement corrosion on the bending moment capacity of reinforced concrete beams: a structural reliability approach**. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 7, p. 379-413, 2014.

LOPES, M. **Técnico em Mineração ó Cominuição de minérios: Etapas de britagem e moagem**. Disponível em: < <http://tecnicoemineracao.com.br/etapas-da-cominuicao-de-minerios-britagem-e-moagem>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2ª Edição, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2012.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Introdução ao Tratamento de Minérios**. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. Tratamento de minérios. 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2010.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5ª Edição, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 2ª ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2014.

MEHTA, P. K. **Reducing the Environmental Impact of Concrete: Concrete can be durable and environmentally friendly**. Concrete International Journal, v. 23, n. 10, p. 61 ó 66, 2001.

MEIER, D. **Análise da Qualidade do Agregado Miúdo Fornecido em Curitiba e Região Metropolitana**. 73 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ecoville, Curitiba, Paraná, 2011.

MENDES, M. V. A. **Análise Técnica da Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Rejeito Magnético na Produção de Concreto**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Organizacional) ó Universidade Federal de Goiás, Catalão, Goiás, 2016.

METSO. **Manual de Britagem Metso**. 6ª Edição. 2005. 501p.

MEYER, M. M. **Gestão Ambiental No Setor Mineral: Um Estudo de Caso.** 175 f. Dissertação (Mestrado) ó Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - SC, 2000.

MOINI, M. R., LAKIZADEH, A., MOHAQEIQI, M. **Effect of mixture temperature on slump flow prediction of conventional concretes using artificial neural networks.** Australian Journal of Civil Engineering, Vol. 10, No. 1, 87-98, 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. Ed. São Paulo: Pini, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 1 ed. Revisado por Paulon, V. A. São Paulo, Globo, 2005, 307 p.

PINHEIRO, L. M., MUZARDO, C. D., SANTOS, S. P. **Capítulo 2 ó Estruturas de Concreto.** Departamento de Engenharia de Estruturas, USP, 2004.

Portland Cement Association (PCA). Disponível em: < <http://www.cement.org/cement-concrete-basics/concrete-materials/aggregates> >. Acesso em: 15 abr. 2017.

QUARESMA, L. F. **Agregados para construção civil. Relatório Técnico Perfil de areia para construção civil.** Ministério de Minas e Energia, 2009.

SANTOS, D. R. **Propriedades do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de resíduos da etapa de produção de alvenarias.** 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) ó Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

SELMO, S. M. S. **Agregados. In: Concreto ó Estrutura, Propriedades e Materiais.** Capítulo 7, p. 239-272, P. K. Mehta e P. J. M. Monteiro (Editores), São Paulo, 1994.

SERNA, H. A. L.; REZENDE, M. M. **Agregados para Construção Civil. Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil.** São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração.** Revista Espaço da Sophia, n. 8 ó ano I, 2007.

SMITH, M. R.; COLLIS. **Aggregates for use in filter media.** In: Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purpose ó, p. 291-298, Published by the Geological Society, 3th Edition, London, 2001.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Previous Concrete Pavements, EB302,** Portland Cement Association, Skokie, LLinos, 36p., 2004.

TOURENQ, C.; DUPONT, P.; PRIMEL, L. **Non-conventional aggregates.** In: Aggregates, Louis Primel, e Claude Tourenq (editors), 2010.

WILLS, B. A. **Mineral Processing Technology: An Introduction to Practical Aspects of ore Treatment and Mineral Recovery.** Amsterdam: Elsevier, 2006.

ANEXOS

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº SOL/LS-002425/16

ENSAIOS EM AGREGADO

INTERESSADO: ANGLO AMERICAN NIOBIO BRASIL LTDA
AC RODOVIA GO 503 - KM 11,5 S/N

REF.: (PJ100-016586)

OBRA: ENSAIO 236.916
AC RODOVIA GO 503 - KM 11,5 - ZONA RURAL - 75715000 - OUVIDOR - GO

1. IDENTIFICAÇÃO DA(S) AMOSTRA(S)

Amostra coletada pelo interessado e entregue no laboratório central da L.A. Falcão Bauer no dia 07/11/2016, conforme identificações abaixo:

<i>Identificação Interna</i>	<i>Fornecedor</i>	<i>Nota Fiscal</i>	<i>Identificação Tátil Visual</i>
5385	-	012916	Brita 1

2. METODOLOGIA(S) UTILIZADA(S)

ABNT NBR 5564:2011 – Lastro Ferroviário – Método e Requisitos de Ensaio – Determinação da Resistência ao choque - Anexo E.
ABNT NBR 5564:2011 - Via Férrea - Lastro Ferroviário - Requisitos e Métodos de Ensaio - Anexo A - Determinação da Forma dos Fragmentos da Pedra Britada
ABNT NBR 5564:2011 - Via Férrea - Lastro Ferroviário - Requisitos e Métodos de Ensaio - Anexo B - Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água
ABNT NBR NM 51:2001 - Agregado Graúdo - Ensaio de Abrasão Los Angeles
DNER ME 89:1994 -Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

3. RESULTADO(S) OBTIDO(S)

3.1 Abrasão Los Angeles

Amostra	5385
---------	------

Abrasão "Los Angeles"

Nome do Componente	Resultado
Graduação	Graduação G
Número de Esferas	11
Abrasão (%)	19.54

3.2 Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de Sulfato de Sódio e Magnésio

Amostra	5385
---------	------

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

Durabilidade - Magnésio

CICLOS DE IMERSÃO de acordo com DNER EM 038/1997 item 7.1.6				Características da Solução	
Nº	Início	Fim	Temp. Média da Solução (°C)	Volume de Água:	1 L
1	5-DEZ-2016 00:00	6-DEZ-2016 00:00	21.0	Massa do Sal:	400 g
2	6-DEZ-2016 00:00	7-DEZ-2016 00:00	21.0	Temp. da Solução:	21.0 °C
3	7-DEZ-2016 00:00	8-DEZ-2016 00:00	21.0	Dens. da Solução:	1.300 g/cm³
4	8-DEZ-2016 00:00	9-DEZ-2016 00:00	21.0	Temp. Ambiente:	21.0 °C
5	9-DEZ-2016 00:00	12-DEZ-2016 00:00	21.0	Conclusão da Mistura:	2-DEZ-2016 00:00
				Fim do Repouso:	5-DEZ-2016 15:43

Características Granulométricas da Amostra								
Abertura das Peneiras (mm)		Quantidade Mínimo de Preparação de Amostra (g)	Composição Granulométrica Inicial (%)	Massa das Frações de Ensaio (g)		Perdas		
Passando	Retido			Inicial	Final	Massa (g)	Relativa (%)	Corrigida (%)
63.5	50	1500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	38	1500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	25.4	1005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25.4	19.1	495	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.1	12.7	670	25.80	675.74	672.47	3.27	0.48	0.12
12.7	9.5	330	14.70	334.30	334.11	0.19	0.06	0.01
9.5	4.8	300	20.90	305.28	304.72	0.56	0.18	0.04
4.8	2.4	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.4	1.2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.6	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	0.3	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total			61.40					0.17
Especificação DER ET-DE-P00/003								< 30%

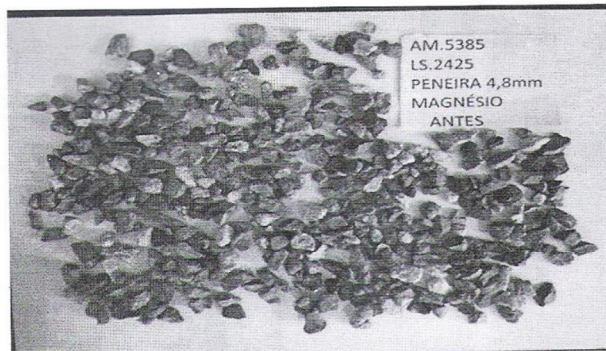
Exame Qualitativo	
Nº de fragmentos afetadas por fendilhamento	0
Nº de fragmentos afetadas por desintegração	0
Nº de fragmentos afetadas por esmagamento	0
Nº de fragmentos afetadas por queima	0
Nº de fragmentos afetadas por laminagem	0
Nº total de fragmentos afetados retidos na peneira 19 mm	0

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauri - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquino, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauri - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



Falcão Bauer

Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

Relatório de Ensaio nº SOL/LS-002425/16

Página: 7 / 15

Durabilidade - Sódio

CICLOS DE IMERSÃO de acordo com DNER EM 038/1997 item 7.1.6			
Nº	Início	Fim	Temp. Média da Solução (°C)
1	5-DEZ-2016 00:00	6-DEZ-2016 00:00	21.0
2	6-DEZ-2016 00:00	7-DEZ-2016 00:00	21.0
3	7-DEZ-2016 00:00	8-DEZ-2001 06:00	21.0
4	8-DEZ-2016 00:00	9-DEZ-2016 00:00	21.0
5	9-DEZ-2016 00:00	12-DEZ-2016 00:00	21.0

Características da Solução

Volume de Água:	1 L
Massa do Sal:	400 g
Temp. da Solução:	21.0 °C
Dens. da Solução:	1.162 g/cm³
Temp. Ambiente:	21.0 °C
Conclusão da Mistura:	2-DEZ-2016 00:00
Fim do Repouso:	5-DEZ-2016 00:00

Características Granulométricas da Amostra

Abertura das Peneiras (mm)		Quantidade Mínimo de Preparação de Amostra (g)	Composição Granulométrica Inicial (%)	Massa das Frações de Ensaio (g)		Perdas		
Passando	Retido			Inicial	Final	Massa (g)	Relativa (%)	Corrigida (%)
63.5	50	1500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	38	1500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	25.4	1005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25.4	19.1	495	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.1	12.7	670	25.80	673.82	673.21	0.61	0.09	0.02
12.7	9.5	330	14.70	335.30	331.26	4.04	1.20	0.18
9.5	4.8	300	20.90	305.27	305.03	0.24	0.08	0.02
4.8	2.4	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.4	1.2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	0.6	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	0.3	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total			61.40			0.22		
Especificação DER ET-DE-P00/003								< 20%

Exame Qualitativo

Nº de fragmentos afetadas por fendilhamento	0
Nº de fragmentos afetadas por desintegração	0
Nº de fragmentos afetadas por esmagamento	0
Nº de fragmentos afetadas por queima	0
Nº de fragmentos afetadas por laminagem	0
Nº total de fragmentos afetados retidos na peneira 19 mm	0

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensalada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

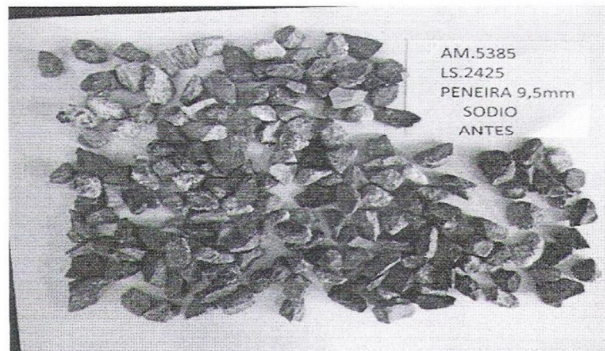


Falcão Bauer

Centro Tecnológico de Controle da Qualidade

Relatório de Ensaio nº SOL/LS-002425/16

Página: 8 / 15



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

3.4 Determinação da Forma do Material

Amostra	5385
---------	------

ÍNDICE DE FORMA						
DETERMINAÇÃO	MEDIDA			RELAÇÕES		CLASSIFICAÇÃO FORMA
	a = comprimento	b = largura	c = espessura	b/a	c/b	
1	14.82	10.86	8.20	0.73	0.76	cubica
2	12.03	10.61	6.68	0.88	0.63	cubica
3	17.03	7.65	5.57	0.45	0.73	alongada
4	12.35	7.78	5.73	0.63	0.74	cubica
5	16.58	8.60	5.31	0.52	0.62	cubica
6	18.02	7.71	6.31	0.43	0.82	alongada
7	15.35	9.72	5.87	0.63	0.60	cubica
8	12.71	10.52	8.28	0.83	0.79	cubica
9	14.04	8.69	6.37	0.62	0.73	cubica
10	14.34	12.46	7.46	0.87	0.60	cubica
11	10.07	8.10	7.48	0.80	0.92	cubica
12	19.84	17.66	7.30	0.89	0.41	lamelar
13	16.01	10.90	7.17	0.68	0.66	cubica
14	14.50	10.68	8.18	0.74	0.77	cubica
15	15.83	10.27	5.91	0.65	0.58	cubica
16	13.01	9.74	6.31	0.75	0.65	cubica
17	8.97	6.86	4.33	0.76	0.63	cubica
18	12.97	11.31	4.05	0.87	0.36	lamelar
19	16.65	9.21	8.59	0.55	0.93	cubica
20	10.98	10.60	7.90	0.97	0.75	cubica
21	14.08	8.76	8.69	0.62	0.99	cubica
22	12.93	9.18	7.84	0.71	0.85	cubica
23	12.41	9.73	8.16	0.78	0.84	cubica
24	15.09	9.78	7.36	0.65	0.75	cubica
25	13.11	9.28	8.93	0.71	0.96	cubica
26	12.07	9.65	6.14	0.80	0.64	cubica
27	18.89	15.65	13.38	0.83	0.85	cubica
28	16.07	15.25	7.42	0.95	0.49	lamelar
29	33.36	16.98	12.28	0.51	0.72	cubica

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) encalada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

30	28.18	14.32	10.77	0.51	0.75	cubica
31	26.11	18.73	10.66	0.72	0.57	cubica
32	30.66	18.94	14.19	0.62	0.75	cubica
33	28.03	20.40	10.61	0.73	0.52	cubica
34	24.70	14.79	9.47	0.60	0.64	cubica
35	27.93	17.27	14.36	0.62	0.83	cubica
36	22.40	15.72	8.72	0.70	0.55	cubica
37	15.43	14.09	4.62	0.91	0.33	lamelar
38	28.68	20.69	11.46	0.72	0.55	cubica
39	22.33	18.13	8.54	0.81	0.47	lamelar
40	21.43	14.56	6.81	0.68	0.47	lamelar
41	14.99	12.06	10.64	0.80	0.88	cubica
42	22.23	15.44	11.21	0.69	0.73	cubica
43	15.23	9.62	6.71	0.63	0.70	cubica
44	13.71	11.66	7.51	0.85	0.64	cubica
45	15.03	9.77	6.43	0.65	0.66	cubica
46	18.33	7.79	5.07	0.42	0.65	alongada
47	18.09	9.65	5.69	0.53	0.59	cubica
48	22.98	20.02	14.70	0.87	0.73	cubica
49	12.92	9.58	4.52	0.74	0.47	lamelar
50	10.65	8.91	3.80	0.84	0.43	lamelar
51	19.97	18.50	12.66	0.93	0.68	cubica
52	21.52	17.96	15.17	0.83	0.84	cubica
53	24.66	10.27	7.88	0.42	0.77	alongada
54	21.16	11.34	9.98	0.54	0.88	cubica
55	21.49	10.86	8.77	0.51	0.81	cubica
56	15.81	9.68	0.91	0.61	0.09	lamelar
57	12.92	9.70	8.23	0.75	0.85	cubica
58	38.31	18.75	16.37	0.49	0.87	alongada
59	24.68	18.71	12.79	0.76	0.68	cubica
60	25.08	15.86	10.96	0.63	0.69	cubica
61	19.10	18.03	13.96	0.94	0.77	cubica
62	18.42	15.82	9.13	0.86	0.58	cubica
63	17.18	11.62	6.72	0.68	0.58	cubica
64	18.19	10.43	5.99	0.57	0.57	cubica

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

65	27.51	25.40	17.44	0.92	0.69	cubica
66	30.48	15.35	11.26	0.50	0.73	cubica
67	28.56	18.22	13.42	0.64	0.74	cubica
68	19.72	11.14	9.23	0.56	0.83	cubica
69	20.40	12.77	9.64	0.63	0.75	cubica
70	25.84	21.10	15.63	0.82	0.74	cubica
71	18.98	11.21	9.17	0.59	0.82	cubica
72	29.23	17.15	12.24	0.59	0.71	cubica
73	29.25	17.11	13.46	0.58	0.79	cubica
74	25.22	14.37	11.60	0.57	0.81	cubica
75	18.98	16.41	11.09	0.86	0.68	cubica
76	22.84	17.48	15.11	0.77	0.86	cubica
77	29.01	19.83	13.20	0.68	0.67	cubica
78	27.88	11.60	10.13	0.42	0.87	alongada
79	11.54	11.09	9.05	0.96	0.82	cubica
80	25.21	19.98	12.46	0.79	0.62	cubica
81	21.95	14.97	10.36	0.68	0.69	cubica
82	32.31	19.26	14.20	0.60	0.74	cubica
83	19.13	11.72	11.05	0.61	0.94	cubica
84	26.31	21.71	13.59	0.83	0.63	cubica
85	28.93	14.79	12.45	0.51	0.84	cubica
86	23.88	20.05	14.42	0.84	0.72	cubica
87	22.44	15.41	10.43	0.69	0.68	cubica
88	22.36	18.55	8.91	0.83	0.48	lamelar
89	22.42	17.59	15.34	0.78	0.87	cubica
90	24.69	7.57	14.42	0.31	1.90	alongada
91	31.28	21.38	15.17	0.68	0.71	cubica
92	30.01	22.51	18.56	0.75	0.82	cubica
93	28.36	17.08	15.04	0.60	0.88	cubica
94	16.73	15.23	12.81	0.91	0.84	cubica
95	36.98	22.54	18.16	0.61	0.81	cubica
96	20.72	13.35	7.48	0.64	0.56	cubica
97	17.51	12.08	8.54	0.69	0.71	cubica
98	24.35	19.63	12.98	0.81	0.66	cubica
99	27.53	16.51	15.65	0.60	0.95	cubica

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensalada(s).
A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
Filiais: SP: Bauri - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

100	28.35	16.02	12.26	0.57	0.77	cubica
-----	-------	-------	-------	------	------	--------

FORMA DO CORPO DE PROVA	QUANTIDADE	PORCENTAGEM
Cúbica	83	83 %
Alongada	7	7 %
Lamelar	10	10 %
Alongada-Lamelar	0	0 %

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE FORMA		
01	$b/a \geq 0.5$ e $c/b \geq 0.5$	Cúbica
02	$b/a < 0.5$ e $c/b \geq 0.5$	Alongada
03	$b/a \geq 0.5$ e $c/b < 0.5$	Lamelar
04	$b/a < 0.5$ e $c/b < 0.5$	Alongada-Lamelar

3.5 Determinação da Massa Específica Aparente, da Absorção de Água e da Porosidade do Material

Amostra	5385
----------------	-------------

Determinação da Massa Específica Aparente, da Absorção de Água e da Porosidade do Material

Nome do Componente	Resultado
Média - Massa Espec. Apar. Seca (g/cm ³)	2.674
Média - Absorção de Água (%)	1.6
Média - Porosidade Aparente (%)	4.3

3.6 Determinação da Perda ao Choque no Aparelho Treton

Amostra	5385
----------------	-------------

CP nº	Nº de Partículas	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença (g)	Perda ao choque no aparelho Treton (%)
01	20	158.00	146.12	11.88	7.52
02	20	159.25	149.13	10.12	6.35
03	20	164.60	149.05	15.55	9.45
Média					7.77

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).
 A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170
 Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro
 www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br

4. OBSERVAÇÕES

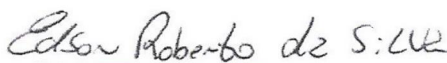
Não há observações adicionais.

5. DATA DO(S) ENSAIO(S)

Os ensaios foram realizados no período de 17/11/2016 a 29/12/2016.

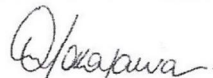
São Paulo, 29 de dezembro de 2016.

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade



EDSON ROBERTO DA SILVA
Técnico em Edificações I
CREA N° 5063849870

L.A. FALCÃO BAUER LTDA
Centro Tecnológico de Controle da Qualidade



ANDERSON HIDEO YOKOYAMA
Engenheiro Civil I
CREA N° 5069164450

Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

SÃO PAULO: Rua Aquinos, 111 - S.P. - CEP 05036-070 - FONE (11) 3611-0833 - FAX (11) 3611-0170

Filiais: SP: Bauru - Campinas - Santos - São José dos Campos - RJ: Macaé - Rio de Janeiro

www.falcaobauer.com.br - bauer@falcaobauer.com.br



RESULTADO DE ENSAIO 001.04.2018

SOLICITANTE:

DIEGO F. LOPES

Universidade Federal de Goiás . Regional Catalão-GO

Laboratório LaMPPMin

NATUREZA DO TRABALHO:

Realização de ensaio para a determinação da Reatividade Álcali-Agregado em amostra de agregado.

MATERIAL PARA ENSAIO:

Foi entregue no laboratório pelo interessado, 01 (uma) amostra de agregado britado, contendo aproximadamente 3,0 kg, identificado como amostra nº E01.

1 É INTRODUÇÃO

O material foi devidamente preparado para o enquadramento na graduação exigida e submetido ao ensaio de determinação da reatividade álcali-agregado pelo método acelerado para a verificação da expansão em barras de argamassa quando imersas em solução de hidróxido de sódio por um período de 30 dias, em conformidade com especificações da norma brasileira ABNT NBR 15577-4:2009.

Utilizou-se para a realização deste ensaio cimento tipo CP I . Cimento Portland Comum - em conformidade com os requisitos da norma ABNT NBR5732:1991.

Na Tabela 1 estão demonstrados os valores das leituras das barras nas idades desejadas e na Tabela 2 a evolução percentual da expansão destas barras nas mesmas idades.

Observa-se ainda a curva da evolução das expansões das barras, com o valor médio, representados no gráfico da Figura 1.

No Anexo A estão as figuras representando as diferentes etapas do trabalhado.

2 É RESULTADOS



Data de início do ensaio: 12/03/2018

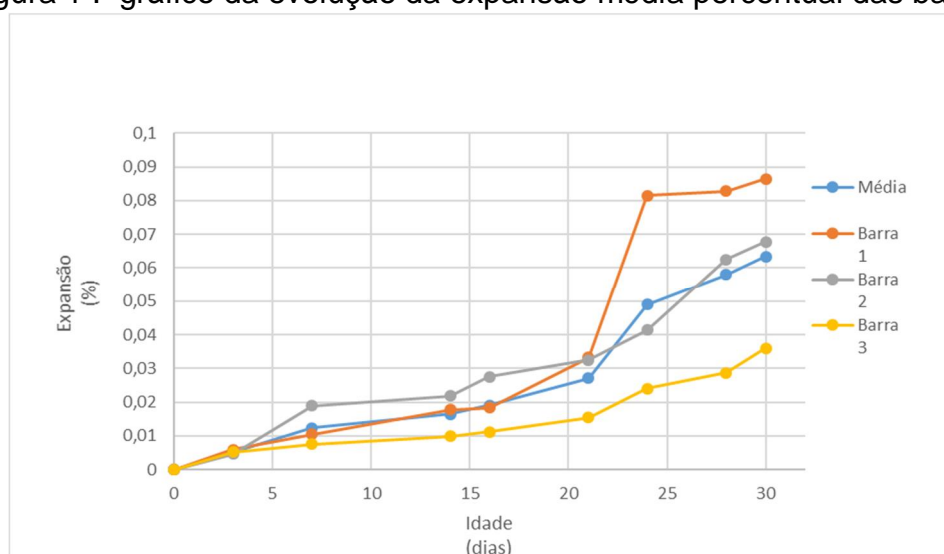
Tabela 1 . Leituras das dimensões das barras

Barra número		01	02	03
Leituras (dias)	Inicial	304,265	302,091	303,075
	03	304,283	302,105	303,091
	07	304,297	302,148	303,098
	14	304,319	302,157	303,105
	16	304,321	302,174	303,109
	21	304,366	302,189	303,122
	24	304,513	302,216	303,148
	28	304,517	302,280	303,162
30	304,528	302,296	303,184	

Tabela 2 . Evolução da expansão percentual das barras

Barra N°	Variação dimensional das barras de argamassa (%)								Resultados
	03 dias	07 dias	14 dias	16 dias	21 dias	24 dias	28 dias	30 dias	
01	0,006	0,011	0,018	0,018	0,033	0,082	0,083	0,086	Potencialmente inócuo
02	0,005	0,019	0,022	0,027	0,032	0,041	0,063	0,068	
03	0,005	0,008	0,010	0,011	0,016	0,024	0,029	0,036	
Média	0,005	0,012	0,016	0,019	0,027	0,049	0,058	0,063	

Figura 1 . gráfico da evolução da expansão média percentual das barras



Observações:



- 1) A Norma Brasileira ABNT NBR 15577-1:2008, no item 5.3 especifica os seguintes valores para avaliação do grau de reatividade dos agregados:
- “ Valores de expansão $\geq 0,19\%$ aos 30 dias de idade indicam que o agregado pode desenvolver expansão deletéria.
 - “ Valores de expansão $< 0,19\%$ aos 30 dias indicam que o agregado analisado apresenta características favoráveis ao emprego em obras de construção civil com baixo risco de desenvolvimento da patologia referente à reação álcali-agregado.
- 2) O agregado investigado se apresentou potencialmente inócuo quanto à possibilidade de desenvolver expansões deletérias, quando na produção de argamassa/concreto mediante o emprego de Cimento Portland Comum.

Wanderly Geraldo Silva

Laboratório de Materiais de Construção Civil

FECIV-UFU

Uberlândia, 13 de abril de 2018.

Anexo A

Ilustrações das diferentes etapas da realização do ensaio.



Figura 2 . Fôrma para moldagem das barras



Figura 3 . Preparação da argamassa



Figura 4 . Moldagem das barras



Figura 5 . Barras moldadas



Figura 6 . Aparato para medição das barras



Figura 7 . Medida inicial da barra



Figura 8 . Aspecto final da barra 1



Figura 9 . Aspecto final da barra 2



Figura 10 . Aspecto final da barra 3