

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LARISSA SANTINI PEREIRA**

**INFLUÊNCIA DO USO DOS RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO COMO FÍLER  
NO DESEMPENHO DO CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2016**

LARISSA SANTINI PEREIRA

**INFLUÊNCIA DO USO DOS RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO COMO FÍLER  
NO DESEMPENHO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho.



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **INFLUÊNCIA DO USO DOS RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO COMO FÍLER NO DESEMPENHO DO CONCRETO**

**LARISSA SANTINI PEREIRA**

No dia 22 de novembro de 2016, às 14h50min, na sala P203 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 31-TCC/2016.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. JANAÍNA SARTORI BONINI (PPGTP/UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus por ter me guiado e iluminado até aqui, me dando forças nos momentos de dificuldade para não desistir.

Aos meus pais, minha base de tudo, por terem acreditado em mim e me apoiado na decisão de cursar Engenharia Civil e, principalmente, por não terem medido esforços para que esse sonho se realizasse. Também à minha irmã pelo apoio e pelas palavras de incentivo. Muito obrigada, eu amo vocês.

Aos meus amigos, que sempre estiveram do meu lado quando eu precisei, servindo como meu apoio e nunca me deixando sozinha. Obrigada por serem minha segunda família e por acreditarem em mim.

Ao meu orientador, José Ilo Pereira Filho, por todo o conhecimento transmitido, ajuda, incentivo e também pelos conselhos dados.

Às professoras da comissão examinadora, Caroline Angulski da Luz e Janaína Sartori Bonini, não só pela disponibilidade e aceitação em participar da banca, mas também pela ajuda fornecida e pelas contribuições feitas.

À Claudia e Jesiane, pela ajuda e orientação na realização dos ensaios de laboratório.

Aos demais professores do curso que eu tive oportunidade de conhecer nesses cinco anos de caminhada, por todo o conhecimento repassado, meus mais sinceros agradecimentos.

"Se você continuar a seguir os mesmos padrões, quais são as chances de vir a alcançar as coisas que você quer e tornar-se na pessoa que espera ser?"

Autor Desconhecido

## RESUMO

A maioria dos processos industriais geram grandes quantidades de resíduos, que sem uma destinação correta acabam acarretando prejuízos ao meio ambiente. A construção civil pode ser apontada como o setor mais indicado para a utilização desses resíduos, não só pelo volume de recursos e matéria-prima consumidos, mas também pela demanda constante de materiais alternativos que atendam a requisitos como menor custo, maior facilidade de execução e durabilidade. Entre os diversos materiais utilizados na construção civil que geram resíduos estão as rochas ornamentais, como os mármore, os granitos, ardósias, arenitos, basaltos, gnaisse e quartzitos. O granito, particularmente, quando submetido ao processo de beneficiamento, acaba gerando cortes excedentes. Segundo Gonçalves *et al* (2002), são geradas aproximadamente cerca de 165000 toneladas de resíduos de corte de granito (RCG) por ano no Brasil. Assim sendo, como o concreto é um material que permite a incorporação desses resíduos em sua confecção, este trabalho foi desenvolvido visando fornecer uma destinação alternativa aos RCG gerados pela indústria de beneficiamento de granito na cidade de Pato Branco – Paraná e região. Deste modo, utilizou-se os RCG como adição no concreto, visando avaliar a sua influência nas propriedades desse material. Para isso, foram produzidos concretos com teores de fíler de 0%, 5% e 10% em relação à massa cimentícia, sendo que foi estudado o efeito dessa adição na resistência à compressão axial, no módulo de elasticidade e na porosidade dos concretos. Fazendo uma análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que a adição do fíler de granito aos concretos é viável tecnicamente, sendo que o teor de 10% foi o que mostrou melhor desempenho.

**Palavras chave:** Resíduo de corte de granito. Fíler de granito. Desempenho do concreto.

## ABSTRACT

Most industrial processes produce large amounts of waste, and when they don't have a proper destination they may entail great loss to the environment. The civil construction may be pointed as the most indicated sector to the application of these residues, not only because of the amount of resources and raw material consumed, but also because of the constant alternative material demand that meet requirements like low cost, more facility in the execution and durability. The ornamental rocks like marble, granite, sandstone, basalt, gneiss and quartzite are among the several materials used in the civil construction which produce residues. The granite, particularly, when it's submitted to the beneficiation process, it ends up producing spare cuts. According to Gonçalves *et al* (2002), about 165.000 tons of granite cut residues are produced – GCR (RCG) – a year in Brazil. Therefore, as the concrete is a material that allows the incorporation of these residues in its production, this work has been developed aiming to provide an alternative destination for the GCR produced by the granite beneficiation industry in the city of Pato Branco – Paraná and surrounding areas. Thus, the GCR were used in addition to the concrete aiming to assess its influence in the properties of this material. For this, concretes were produced with filler contents with a 0%, 5% and 10% in relation to cement mass, and the effect of this addition in the axial compression resistance was studied, in the modulus of elasticity and porosity of concretes. Making an analysis of the obtained results, it is possible to conclude that the addition of the granite filler to the concretes is technically viable, given that the content with 10% was the one which presented the best performance.

**Key-words:** Granite cut residue. Granite filler. Concrete performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos aditivos em função da redução de água, da dosagem típica e do incremento de resistência à compressão de concretos.....	21
Figura 2 – Fatores básicos do processo de dosagem.....	22
Figura 3 – Influência da temperatura no abatimento de concretos com agregados de diferentes dimensões máximas.....	24
Figura 4 – A dependência entre a resistência e a relação água/cimento.....	27
Figura 5 – Influência da porosidade na resistência relativa de diversos materiais.....	28
Figura 6 – Beneficiamento do Granito.....	32
Figura 7 – Diagrama das etapas de trabalho.....	33
Figura 8 – Curva granulométrica do agregado miúdo.....	37
Figura 9 – Resíduos de corte de granito (RCG) .....	39
Figura 10 – Britador de mandíbulas.....	39
Figura 11 – Peneiramento do RCG moído.....	40
Figura 12 – Moinho de bolas com temporizador.....	40
Figura 13 – Fíler de granito.....	41
Figura 14 – Aparelho de permeabilidade Blaine.....	42
Figura 15 – Difratograma de uma amostra de fíler de granito.....	44
Figura 16 – Corpos de prova moldados.....	46
Figura 17 – Ensaio de compressão axial.....	48
Figura 18 – Ensaio de Módulo de Elasticidade.....	49
Figura 19 - Abatimento do tronco de cone para 5% de fíler adicionado.....	50
Figura 20 - Abatimento do tronco de cone para 10% de fíler adicionado.....	51
Figura 21 – Resistência à Compressão x Idade.....	52
Figura 22 – Resistência à Compressão x Teor de Fíler.....	53
Figura 23 – Perda de massa dos corpos de prova.....	56



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa específica do cimento (CP V-ARI).....	34
Tabela 2 – Massa específica do agregado miúdo.....	35
Tabela 3 – Granulometria agregado miúdo.....	36
Tabela 4 – Módulo de Finura do agregado miúdo.....	36
Tabela 5 – Porcentagem de material pulverulento no agregado miúdo.....	37
Tabela 6 – Granulometria agregado graúdo.....	38
Tabela 7 – Massa específica do agregado graúdo.....	38
Tabela 8 – Massa específica do fíler de granito.....	42
Tabela 9 – Superfície específica do fíler de granito.....	43
Tabela 10 – Quantidades de material em kg.....	45
Tabela 11 – Quantidade de fíler utilizada em gramas.....	46
Tabela 12 – Abatimentos dos concretos executados.....	50
Tabela 13 – Ensaio de resistência à compressão.....	52
Tabela 14 – Ensaio de Módulo de Elasticidade.....	54
Tabela 15 – Cálculo do Módulo de Elasticidade.....	54
Tabela 16 – Taxa de perda de massa dos corpos de prova.....	55
Tabela 17 – Absorção total dos corpos de prova.....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 CONCRETO ESTRUTURAL.....	14
2.1.1 Breve histórico.....	15
2.1.2 Características.....	15
2.1.3 Materiais Constituintes.....	16
2.1.4 Dosagem de concretos de cimento Portland.....	21
2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	23
2.2.1 Estado Fresco.....	23
2.2.2 Estado Endurecido.....	25
2.3 RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO.....	30
2.3.1 Definição de resíduos e suas classificações.....	30
2.3.2 Geração e utilização dos resíduos.....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	34
3.1.1 Cimento.....	34
3.1.2 Água.....	34
3.1.3 Agregado Miúdo.....	34
3.1.4 Agregado Graúdo.....	37
3.1.5 Adições.....	39
3.2 METODOLOGIA DE ENSAIOS.....	44
3.2.1 Determinação do traço do concreto.....	44
3.2.2 Moldagem e cura dos corpos de prova de concreto.....	45
3.2.3 Avaliação do desempenho do concreto no estado fresco.....	47
3.2.4 Avaliação do desempenho do concreto no estado endurecido.....	47
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>50</b>
4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	50
4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	51
4.2.1 Resistência à compressão.....	51
4.2.2 Módulo de Elasticidade.....	53
4.2.3 Porosidade.....	55

<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, segundo a norma ABNT NBR 6118 (2014, p. 3), o termo “concreto estrutural” serve para se referir a todas as formas de aplicação do concreto como material estrutural. Portanto, pode-se dizer que o concreto estrutural é amplamente empregado na construção civil devido às várias vantagens que ele oferece, como a capacidade de adaptar-se a quase todos os locais e situações, garantindo assim a vida útil das edificações através do seu desempenho e durabilidade.

Ao mesmo tempo, o concreto é um dos materiais que mais facilmente se adapta ao conceito de sustentabilidade, pois permite a incorporação de resíduos originados de diversos processos industriais em sua produção. Nesse contexto, pode-se dizer o desafio atual, em termos de sustentabilidade, se resume justamente nisso: no aproveitamento racional dos resíduos gerados pelas indústrias das atividades econômicas.

A construção civil pode ser apontada como o setor mais indicado para a utilização desses resíduos, não só pelo volume de recursos e matéria-prima consumidos, mas também pela demanda constante de materiais alternativos que atendam a requisitos como menor custo, maior facilidade de execução e durabilidade.

Entre os diversos materiais utilizados na construção civil que geram resíduos, estão as rochas ornamentais, que após sua extração são beneficiadas em marmorarias. Suas principais aplicações são no revestimento de pisos e paredes, soleiras, tampos de pia, entre outras. O beneficiamento dessas rochas compreende as etapas de desdobramento, polimento e corte.

O desdobramento é a serragem dos blocos de rocha em chapas pelo meio de equipamentos chamados teares. O polimento, que é realizado em seguida nas chapas brutas, utiliza-se de equipamentos denominados politrizes. O corte nada mais é do que o acabamento final das chapas polidas, transformando-as em objetos (SILVA, 2011, p. 2).

Entre as principais rochas ornamentais exploradas pela indústria da construção civil estão os mármore, os granitos, ardósias, arenitos, basaltos, gnaisses e quartzitos. O granito, particularmente, quando submetido à moagem, gera agregados de ótima qualidade: “são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água e não reagem com os álcalis do concreto de cimento Portland.” (SANTOS et al, 2012, p. 129).

Aliando essas propriedades do granito à necessidade de utilização de resíduos, como anteriormente ponderado, surgiu a ideia de utilizar os resíduos de corte de granito (RCG) na produção de concreto. Ele pode ser utilizado de diversas formas: como agregado miúdo, agregado graúdo ou como fíler.

O fíler, para Neville (2016, p. 91), é um material moído muito fino, com a granulometria muito próxima à do cimento Portland que causa efeitos benéficos às propriedades do concreto por meio das suas propriedades físicas. Geralmente, a resistência é a propriedade mais estimada do concreto. Todavia, em muitas circunstâncias práticas, a porosidade deve ser igualmente considerada.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o desempenho do concreto produzido com fíler oriundo da moagem dos rejeitos do corte de granito.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a influência do fíler de granito na resistência à compressão do concreto;
- b) Avaliar a influência do fíler de granito no módulo de elasticidade do concreto;
- c) Avaliar a influência do fíler de granito na porosidade do concreto;
- d) Definir o teor ótimo de adição do fíler de RCG ao concreto;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil, apesar de possuir relevância no cenário econômico do país, é um setor que causa grande impacto ambiental. Isso se deve à alta demanda de matéria-prima e energia desse setor que, quando acompanhado de uma má gerência dos processos produtivos, acarreta um aumento na geração de resíduos.

Segundo um panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), os municípios brasileiros coletaram, em 2014, cerca

de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) – um aumento de 4,1% em relação a 2013.

Porém, deve-se lembrar que a quantidade total dos resíduos gerados é maior, visto que os municípios coletam apenas os que são depositados nos logradouros públicos (ABRELPE, 2014). Ou seja, ainda há muitos pontos de descarte que são clandestinos, questão essa que merece atenção especial.

Assim sendo, a reciclagem é, sem dúvida, uma medida que deve ser realizada com afinco pelos municípios. Os resíduos de corte de granito (RCG) não fogem a essa regra, já que o volume desses resíduos descartados em aterros pelas marmorarias é considerável. Estima-se que no Brasil, são geradas cerca de 165000 toneladas de RCG por ano (GONÇALVES et al., 2002)

Tendo isso em vista e sabendo que o setor da construção civil é também um grande consumidor dos produtos de beneficiamento de rochas naturais, já foram realizados diversos estudos que visam o aproveitamento dos resíduos gerados por esse beneficiamento na produção de argamassas, tijolos e peças cerâmicas.

Também foram realizados estudos acerca da utilização desses resíduos na confecção de concreto, já que nesse material podem ser empregados diversos minerais em diferentes graduações. Entre essas rochas que podem ser utilizadas no concreto, pode-se citar o basalto, calcário e granito, além de outras.

Em relação ao calcário, no Paraná, as principais jazidas exploradas para este fim, encontram-se na região metropolitana de Curitiba, nos municípios de Rio Branco do Sul e Campo Largo (MINEROPAR, 2001). Ou seja, na região do sudoeste do Paraná, não há jazidas desse mineral que é utilizado como fíler na produção de cimento, o que acaba encarecendo essa atividade, devido à necessidade de transporte dessa matéria-prima.

Por conta desse fato e, também, da necessidade de reciclagem dos resíduos gerados pela construção civil, este trabalho foi desenvolvido visando fornecer uma destinação alternativa aos RCG gerados pela indústria de beneficiamento de mármore e granito na cidade de Pato Branco e região. Assim sendo, utilizou-se os RCG como adição no concreto.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 CONCRETO ESTRUTURAL**

### 2.1.1 Breve histórico

O concreto, com certeza, foi um marco na história da engenharia civil. Tão importante quanto, a incorporação do aço ao concreto também foi determinante para a evolução de obras de infraestruturas e estruturas de edifícios.

Desde o princípio da história da humanidade, o homem vem utilizando os mais diversos materiais disponíveis na natureza afim de satisfazer suas necessidades básicas de sobrevivência. Acredita-se o primeiro material a ser manuseado intencionalmente pelo homem foi a argila. Posteriormente, outros materiais aglomerantes como a cal e o gesso, também passaram a ser manipulados.

A combinação dos vários materiais disponíveis e o aprimoramento das técnicas, juntamente com a experimentação, fez com que romanos e gregos tivessem um importante papel na história do concreto. De acordo com Neville (2016, p. 1), eles “ [...] utilizavam calcário calcinado e, mais tarde, aprenderam a adicionar areia e pedra fragmentada ou fragmentos de tijolos ou telhas ao calcário e à água. ”, o que pode ser considerado o primeiro concreto da história.

A produção do concreto tal como conhecemos hoje, só foi possível após o surgimento do cimento Portland, obtido por Joseph Aspdin. Em 1824, Aspdin obteve uma patente do Governo Britânico que o permitia produzir esse cimento, que era preparado através da queima de argila e calcário moídos finamente e calcinados a temperaturas elevadas até a descarbonização dos carbonatos. Então, após a queima, o material resultante da mistura era moído novamente, obtendo-se assim o cimento que foi denominado Portland, por conta da sua semelhança com a pedra calcária da ilha de Portland (ISAIA, 2011, p. 12).

De acordo com Isaia (2011, p. 13), por volta de 1880 o gesso começou a ser moído juntamente com o clínquer (calcário e argila). Essa combinação resultou no retardamento do tempo de pega, o que foi considerado um avanço importante, já que permitia um tempo maior de produção para a argamassa e o concreto.

### 2.1.2 Características

O concreto estrutural é, inegavelmente, indispensável para a realização das mais diversas construções atuais. Isso se deve principalmente pela ampla possibilidade da sua

aplicação, que é decorrente da sua constituição e, conseqüentemente, das suas propriedades e características.

Entre uma de suas características, podemos citar a disponibilidade da matéria-prima empregada na sua confecção, que são basicamente materiais abundantes na natureza. Além disso, todos eles possuem custo relativamente baixo (ISAIA, 2011, p. 30)

Outra característica importante é a facilidade de execução de elementos estruturais que ele oferece por conta da sua capacidade de moldagem, que permite ao concreto tomar as mais variadas formas e tamanhos. Isso se deve a sua consistência plástica, que faz com que ele possa fluir nas fôrmas. (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 5)

Ainda, segundo Isaia (2011, p. 31), pode-se mencionar a questão da durabilidade e do desempenho. Uma estrutura constituída por um concreto bem dosado e executado apresentará resistência aos agentes agressivos, desde que tenha espessura adequada ao previsto em norma e, conseqüente, em projeto.

Por fim, de acordo com o autor, podemos acrescentar que além de tudo o concreto é também sustentável. Isso porque os materiais empregados na sua constituição geralmente procedem de depósitos locais, demandando pouca energia para o transporte. Sua característica sustentável também se deve a possibilidade que ele oferece de incorporar em sua composição resíduos e subprodutos das mais diversas atividades econômicas e, ao mesmo tempo, por ele mesmo ser um produto reciclável.

### 2.1.3 Materiais Constituintes

Os materiais básicos utilizados no concreto são: cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. Porém, quando se há a necessidade de melhorar algumas das propriedades do concreto, também é possível incorporar em sua composição adições e aditivos.

#### 2.1.3.1 Cimento

Generalizando, cimento pode ser considerado todo material que possui propriedades adesivas e coesivas que o tornam capaz de unir frações minerais entre si, formando no fim um corpo compacto. Na construção civil, o principal tipo de cimento utilizado para a produção



de concreto é o cimento hidráulico. Ele recebe esse nome pelo fato de reagir e endurecer ao entrar em contato com a água. Os cimentos hidráulicos podem ser divididos entre cimentos naturais, cimentos Portland e cimentos aluminosos (NEVILLE, 2016).

O cimento Portland é aquele obtido por meio da “[...] mistura íntima de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro.” (BROOKS; NEVILLE, 2013, p. 8). Segundo Battagin (2011, p. 206), o Brasil atualmente conta com oito tipos básicos de cimento Portland normalizados, que com suas subclassificações de acordo com o tipo e classe de resistência, chegam a mais de vinte.

Ainda, conforme Battagin (2011, p. 206), os tipos de cimento se diferenciam pela “[...] proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e adições, tais como escórias, pozolanas e fíler calcário, acrescentadas no processo de moagem.”. Também podem diferir em razão da cor ou da resistência inicial.

Qualquer cimento pode ser utilizado na produção do concreto estrutural, sendo que a escolha deve ser feita de acordo com as propriedades finais esperadas, já que os cimentos reagem de formas diferentes por conta das suas diversas composições.

Segundo Nunes (2001, p. 53), a distribuição granulométrica da mistura e a forma das partículas é um fator que influencia na escolha do tipo do cimento, pois quanto maior for a finura (ou superfície específica) de um cimento, maior será a viscosidade plástica da mistura resultante.

#### 2.1.3.2 Água

A norma ABNT NBR 15900 (2009, p. 2) intitulada “Água para amassamento do concreto” considera a água potável como adequada para ser utilizada em concreto. Porém, Brooks e Neville (2013, p. 74) salientam que a água não potável também pode ser utilizada de forma satisfatória na confecção de concreto. Ainda, segundo os autores, qualquer água sem sabor salino e com grau de acidez (pH) entre 6,0 e 8,0 é considerada apropriada para uso.

A qualidade da água utilizada no concreto, seja para o amassamento ou para a cura, é uma questão a ser considerada. Isso porque, uma água que contém impurezas pode “interferir na pega do cimento, afetar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento de sua superfície, podendo ainda levar à corrosão das armaduras.” (BROOKS; NEVILLE, 2013, p. 74).

Antes de ser utilizada, a água deve ser examinada conforme os procedimentos de avaliação preliminar que constam na norma ABNT NBR 15900:2009. Ainda, segundo a norma, é possível verificar se a água é adequada para uso em concreto conforme sua origem.

### 2.1.3.3 Agregados

No início, acreditava-se que os agregados serviam apenas para preencher o concreto, barateando seu custo. Posteriormente, com a ocorrência de problemas resultantes do uso de agregados inadequados, verificou-se então as características dos agregados, tais como absorção d'água, resistência mecânica, forma e textura superficial dos grãos e outras, influenciam em muitas das propriedades do concreto (NETO, 2011, p. 233).

Segundo a norma ABNT NBR 9935 (2011, p. 2), agregado é um “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto.”

Os agregados podem ser classificados quanto à sua origem e quanto à dimensão dos grãos. Quanto à sua origem, eles podem ser naturais, britados, artificiais e reciclados:

- a) Os agregados naturais são aqueles que são encontrados na natureza prontos para o uso, sem ter passado pelo processo de beneficiamento que não a lavagem. Como exemplo temos o pedregulho e a areia de rio. (NETO, 2011, p. 237)
- b) Já os agregados britados são os que foram fragmentados geralmente por meio da britagem, para que pudessem ser utilizados como agregados para concreto. Podemos citar neste caso a pedra britada e seus derivados. (NETO, 2011, p. 237)
- c) Os agregados artificiais são os que derivam de procedimentos industriais que envolvem alterações químicas, mineralógicas ou físico-químicas da matéria-prima (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9935, 2011, p. 2). Exemplo disso é a argila expandida.
- d) Por fim, os agregados reciclados são aqueles obtidos por meio de processos de reciclagem de resíduos industriais, de demolição ou mineração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9935, 2011, p. 2). Como exemplo podemos mencionar a escória de alto-forno e os restos de construção e demolição.

Já em relação à dimensão dos grãos, o autor os divide em graúdo e miúdo, que segundo a norma ABNT NBR 7211 (2005, p. 3) são definidos como:

Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Ainda, conforme a norma ABNT NBR 7211 (2005, p. 4), os agregados que serão utilizados na produção de concreto “devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos (...)”. Além disso, eles também não podem possuir em sua composição substâncias que possam influenciar no grau de hidratação e no endurecimento do cimento, na proteção da armadura contra a corrosão, na durabilidade ou, por fim, no aspecto visual do concreto.

#### 2.1.3.4 Adições

No Brasil, o termo adição é utilizado para os produtos, em geral, em forma de pó, adicionados tanto ao cimento, quanto ao concreto, também conhecidos como adições minerais, ou simplesmente adições. (BROOKS; NEVILLE, 2011, p. 145)

Atualmente, as adições minerais mais utilizadas são originadas do beneficiamento de resíduos gerados em processos industriais. No geral, a utilização de adições minerais resulta em cimentos com características técnicas melhores. Isso porque, segundo Dal Molin (2011, p. 262) elas

[...] modificam a estrutura interna da pasta de cimento hidratada e da zona de transição agregado/matriz, promovendo uma redução na porosidade capilar do concreto, além de diminuir o calor de hidratação e, conseqüentemente, as fissuras de origem térmica.

Porém, esses benefícios dependem de alguns parâmetros tais como “[...] a finura e a forma das partículas, a área superficial específica, a relação água/aglomerante, a composição química, mineralógica e a quantidade de adição [...]” (DAL MOLIN, 2011, p. 262).

De acordo com a sua atividade, as adições podem ser classificadas em: as que possuem atividade pozolânica (cinza de casca de arroz, sílica ativa), as que possuem

atividade cimentante (escória de alto forno) e os fílers, que não possuem atividade alguma (material carbonático, pó de quartzo). (GONÇALVES, 2000, p. 29)

O fíler, segundo Neville (2016, p. 91), é um material “de origem natural ou obtido a partir do processamento de minerais inorgânicos”. Ainda, conforme o autor, é um material moído muito fino, com a granulometria muito próxima à do cimento Portland que, através das suas propriedades físicas, causa efeitos benéficos às propriedades do concreto. Entre as propriedades influenciadas por essa adição temos a trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, capilaridade, exsudação e a tendência à fissuração.

Além disso, o autor pondera que o fíler empregado deve ser fisicamente compatível com o cimento a que está misturado e também mais fino do que o clínquer presente no cimento, visto que o seu efeito é mais brando. Partículas mais finas de fíler irão influenciar na resistência inicial do concreto e sua utilização como adição em concretos não deve aumentar a quantidade de água necessária para a mistura, a não ser que seja utilizado também um aditivo redutor de água. Também, não deve causar a redução da resistência do concreto ao intemperismo ou da proteção da armadura.

Em relação ao efeito do fíler nas propriedades do concreto no estado fresco, Gonçalves (2000, p. 41-42), diz que as características desse material que mais influenciam no concreto produzido são a finura, a forma e a massa específica. A finura terá seu principal efeito na demanda de água. A forma das partículas influenciará no atrito entre elas e na sua dispersão no concreto. Já a massa específica determinará a quantidade de grãos existentes em um certo volume, o que pode influenciar na quantidade de água que será necessária para a molhagem.

No estado endurecido, ainda conforme o autor, a influência do fíler em relação às propriedades mecânicas se dá nas idades iniciais. Sua utilização como adição tem sua maior contribuição na redução da permeabilidade e no refinamento dos poros, o que acarreta um aumento da resistência à compressão (GONÇALVES, 2000, p. 43).

#### 2.1.3.5 Aditivos

Segundo a norma ABNT NBR 11768 (1992, p. 1-2), aditivos podem ser definidos como “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Já para Neville (2016, p. 257-258), aditivo é um produto químico que é acrescentado ao concreto em uma quantidade máxima de 5% em relação à massa de cimento (salvo casos

específicos), durante a mistura com a intenção de se conseguir alterações nas propriedades do concreto.

Conforme Hartmann et al. (2011, p. 349), a norma ABNT NBR 11768:2011 classifica os aditivos em:

- plastificante ou redutor de água;
- superplastificante ou de alta redução de água, tipo I e II;
- incorporador de ar;
- acelerador de pega;
- acelerador de resistência;
- retardador de pega.

Ainda, de acordo com os autores, a quantidade de aditivo químico que será acrescentada ao concreto depende das condições de desempenho e do tipo do aditivo. Os aditivos plastificantes, por exemplo, podem ser adicionados em teores entre 0,3% e 0,6% da massa de cimento. Já os aditivos superplastificantes em teores que variam de 0,6% a 1,5% e os polifuncionais em teores entre 0,6% e 1,0%. Um resumo dessa classificação pode ser visto no quadro da Figura 1 a seguir:

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Redução de água</b>	<b>Dosagem típica</b>	<b>Aumento de resistência*</b>
Plastificantes (P)	5 – 10%	0,2 a 0,5%	≈ 10%
Superplastificantes (SP I e SP II)	15 – 40%	0,6 a 2,0%	≈ 25%
Polifuncionais	8 - 18%	0,4 a 1,0%	≈ 25%

**Figura 1: Classificação dos aditivos em função da redução de água, da dosagem típica e do incremento de resistência à compressão de concretos**  
 Fonte: Hartmann et al. (2011, p. 357)

O efeito que um aditivo fará no concreto depende não só da sua dosagem, mas também dos componentes da mistura. A temperatura também é um fator que influencia no desempenho do aditivo, por conta disso recomenda-se evitar o uso em temperaturas extremas (NEVILLE, 2016, p. 259).

#### 2.1.4 Dosagem de concretos de cimento Portland

Segundo Helene e Tutikian (2011, p. 415), o estudo da dosagem de concretos de cimento Portland nada mais é do que o entendimento dos métodos necessários para que seja possível obter a melhor proporção entre os materiais que compõem o concreto. Essa

proporção é denominada traço e pode ser expressa em massa ou volume, sendo preferível a expressão em massa seca dos materiais.

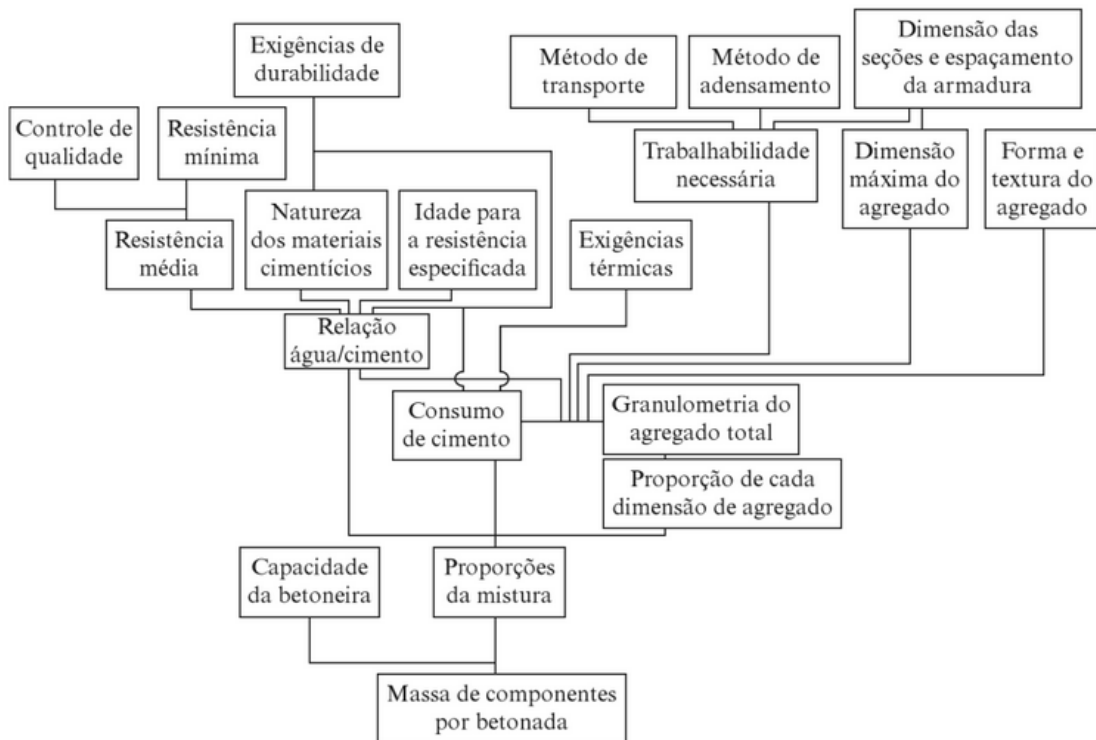
Conforme Neville (2016, p. 755), a dosagem é um processo simples de seleção dos componentes do concreto e de determinação de suas quantidades, que tem como finalidade produzir um concreto que atenda a determinadas propriedades mínimas, tais como durabilidade, resistência e consistência, sendo o mais econômico possível.

Para Mehta e Monteiro (1994, p. 312):

O objetivo amplo do proporcionamento do concreto pode então ser resumido como a escolha dos materiais adequados entre aqueles disponíveis e a determinação da combinação mais econômica destes que produza um concreto que atenda a certas características de desempenho mínimo.

A resistência mecânica é considerada parâmetro mais importante na especificação de uma dosagem. A resistência à compressão é a mais utilizada para este fim e também no controle da qualidade dos concretos. Isto ocorre devido à facilidade relativa com que se consegue moldar os corpos de prova e realizar o ensaio de compressão, além de que a resistência à compressão ser um parâmetro que se altera facilmente quando há modificações na composição da mistura (HELENE; TUTIKIAN, 2011, p. 416).

Na Figura 2 a seguir, encontram-se os principais fatores que devem ser considerados ao se realizar uma dosagem.



**Figura 2: Fatores básicos do processo de dosagem**  
 Fonte: Neville (2016, p. 758)

Atualmente, há várias formas de se realizar dosagem que foram desenvolvidas por especialistas em concreto. Entre os métodos mais conhecidos, podemos citar o método do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), que é baseado no método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e é considerado um dos mais simples e capaz de cumprir com os requisitos e exigências técnicas esperados de um concreto.

Além dele, outros métodos conhecidos são o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que é baseado no método do American Concrete Institute (ACI), o método de De Larrard e o método de Vitervo O'Reilly (HELENE; TUTIKIAN, 2011, p. 441-443). Pode-se dizer que os métodos se diferenciam basicamente por sua filosofia de trabalho, o que não faz um melhor do que o outro. A escolha do método de dosagem dependerá, principalmente, da finalidade do concreto.

## 2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

### 2.2.1 Estado Fresco

Apesar de o estado fresco de um concreto não ser o ponto central da maioria das pesquisas, deve-se levar em consideração que a resistência final de um concreto é altamente influenciada pelo seu grau de adensamento. Logo, é de suma importância que o concreto tenha uma consistência que permita seu transporte, lançamento, adensamento e acabamento sem que haja sua segregação. (NEVILLE, 2016, p. 190)

Porém, segundo Romano et al. (2011, p. 454), essa necessidade de que o concreto tenha uma consistência adequada, acaba muitas vezes acarretando fissuras, retração diferenciada, permeabilidade elevada e modificação do módulo de elasticidade do concreto, uma vez que se aumenta o consumo de água e de cimento.

O conceito de consistência está intimamente ligado ao conceito de trabalhabilidade: “consistência tem a ver com a facilidade de escoamento do material e com a sua coesão, enquanto trabalhabilidade está relacionada com a adequação do concreto a todas as etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.” (ROMANO et al., 2011, p. 456).

Para Petrucci (1981, p. 82), trabalhabilidade é a propriedade que dá ao concreto fresco uma maior ou menor capacidade de ser utilizado em certas ocasiões sem que ele perca sua homogeneidade. Já a consistência é a medida de umidade do concreto, que está diretamente ligada ao grau de plasticidade, ou seja, à capacidade de deformação do concreto quando

submetido a cargas. Ainda, segundo o autor, os fatores que afetam a trabalhabilidade podem ser internos e externos:

a) Fatores internos:

- Consistência, que pode ser identificada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- Proporção entre cimento e agregado, usualmente denominada traço;
- Proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde à granulometria do concreto;
- Forma do grão dos agregados, em geral dependendo do modo de obtenção (agregado em estado natural e obtido por britagem);
- Aditivos com finalidade de influir na trabalhabilidade, normalmente denominados plastificantes.

b) Fatores externos:

- Tipo de mistura (manual ou mecanizada);
- Tipo de transporte, quer quanto ao sentido vertical ou horizontal, quer quanto ao meio de transporte: em guinchos ou vagonetes, calhas e bombas;
- Tipo de lançamento, de pequena ou grande altura: por pás, calhas, trombas de elefante, etc;
- Tipo de adensamento; os mais usuais: manual e vibratório, além de vácuo, centrifugação, etc;
- Dimensões e armadura da peça a executar.

Segundo Neville (2016, p. 213) outro fator que também afeta a trabalhabilidade da mistura é a temperatura ambiente. A Figura 3 apresenta o efeito da temperatura no abatimento de um concreto confeccionado em laboratório. Analisando-a, percebe-se que quanto maior a temperatura do ambiente, maior deve ser o teor de água do concreto para que seja possível manter a trabalhabilidade inicial.

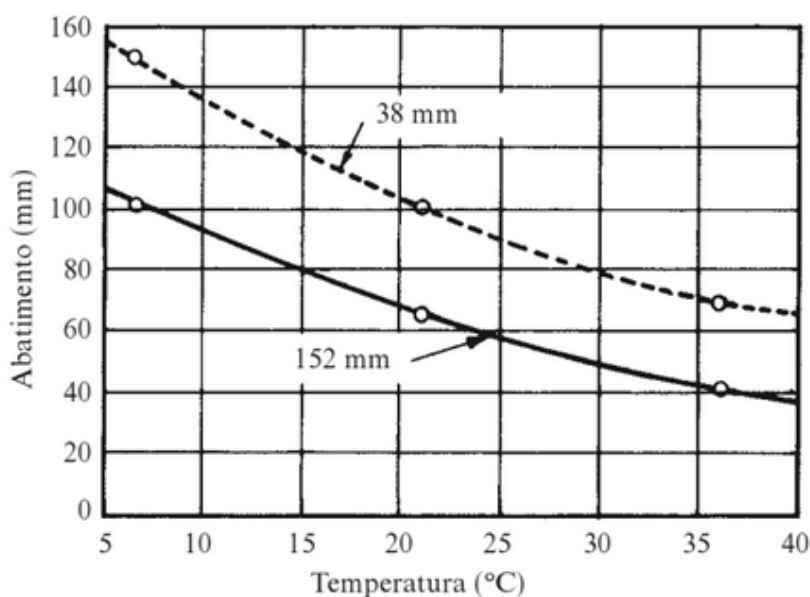


Figura 3: Influência da temperatura no abatimento de concretos com agregados de diferentes dimensões máximas.

Fonte: Neville (2016, p. 213)



Outras propriedades do concreto no estado fresco são a segregação e a exsudação. A segregação pode ser definida brevemente como a separação dos componentes da mistura do concreto. Quando ela acontece, o concreto deixa de ter uma aparência homogênea. Entre as suas causas estão “[...] as diferenças de tamanho das partículas e das massas específicas dos constituintes da mistura [...], que podem ser controladas por uma granulometria adequada e por cuidados no manuseio.” (NEVILLE, 1997, p.214).

A exsudação é um fenômeno que acontece após o concreto ser lançado, em que a água de amassamento tende a vir para a superfície do concreto. Ela acontece quando os materiais constituintes não conseguem manter a água dispersa na massa, produzindo assim um concreto poroso e menos resistente. Outro efeito da exsudação é a diminuição da aderência entre o concreto e a armadura (PETRUCCI, 1981, p. 94).

Porém, nem sempre a exsudação é prejudicial. Segundo Neville (1997, p. 216), se a água exsudada evaporar naturalmente sem interferências, a relação água/cimento pode diminuir, aumentando assim a resistência final do concreto. Em contrapartida, se a água ao sofrer exsudação levar consigo uma grande quantidade dos finos do cimento e se depositar sobre a superfície exposta do concreto, formará uma camada de nata que se tornará fraca e porosa.

Normalmente, as causas da segregação e da exsudação estão ligadas ao uso de agregado graúdo com massa específica muito baixa ou muito alta, à falta de finos e métodos inadequados de lançamento e adensamento do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 357).

De forma geral, a coesão, a consistência e a segregação dependem do efeito associado entre a relação água/cimento, o teor de finos e da continuidade da granulometria dos agregados utilizados na mistura. O uso de adições tende a aumentar a coesão do concreto, devido às suas características físicas e químicas (GONÇALVES, 2000, p. 33).

### 2.2.2 Estado Endurecido

O concreto endurecido pode ser considerado uma rocha artificial, constituída por agregados graúdos e miúdos associados a uma pasta de cimento. As propriedades desse material, entre elas as mecânicas, elásticas, físicas e químicas, dependem de vários elementos (KIRCHHEIM; PAULON, 2011, p. 588).

Segundo Gonçalves (2000, p. 37), os fatores que definem as propriedades do concreto no seu estado endurecido são: a adequada proporção dos materiais, o controle das características do concreto fresco, bem como os cuidados com o lançamento e cura.

### 2.2.2.1 Resistência Mecânica

Nos elementos estruturais, o concreto pode receber solicitações de compressão, tração, cisalhamento ou uma combinação dessas formas de tensão. Por conta disso, torna-se indispensável o estudo da sua resistência mecânica.

Andrade e Tutikian (2011, p. 616) definem resistência mecânica como a capacidade de um material de não entrar em processo de ruína ao serem aplicadas cargas sobre ele. Ainda segundo os autores, a resistência do concreto, de forma simplificada, é considerada como sendo a carga máxima que um corpo de prova suporta.

Os valores da resistência à tração e à flexão do concreto giram em torno de 10% e 15%, respectivamente, da resistência à compressão. Isso acontece por conta da estrutura do concreto, que é complexa e heterogênea (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 12). Há vários fatores que influenciam na resistência mecânica de um concreto:

- Propriedades dos componentes (cimento, agregados, aditivos e adições minerais);
- Proporcionamento dos componentes (relação água/cimento e relação agregado cimento);
- Condições de cura e idade dos corpos de prova. (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011, p. 621)

Em relação ao fator água/cimento, pode-se dizer que ele é determinante na resistência final do concreto. Segundo Neville (1997, p. 277), quando um concreto está adensado inteiramente, sua resistência é considerada inversamente proporcional à relação água/cimento. Isso foi determinado por Duff Abrams, em 1919, através da seguinte Equação 1:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (1)$$

onde  $a/c$  é a relação água/cimento da mistura e  $k_1$  e  $k_2$  são constantes empíricas. Na Figura 4, pode-se observar melhor a relação entre o fator água/cimento e a resistência do concreto para diferentes graus de adensamento.

Ainda, conforme o autor, a Figura 4 mostra que o intervalo em que vale a regra da relação água/cimento e resistência é restrito: para valores muito baixos de relação água/cimento, o adensamento pleno não é possível de ser realizado. Ou seja, o valor em que o afastamento da curva começa, depende da forma de adensamento.

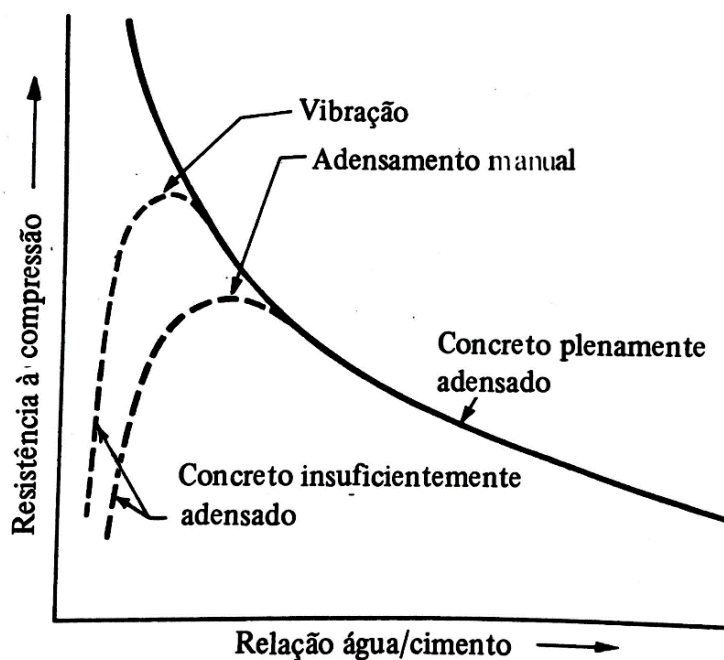


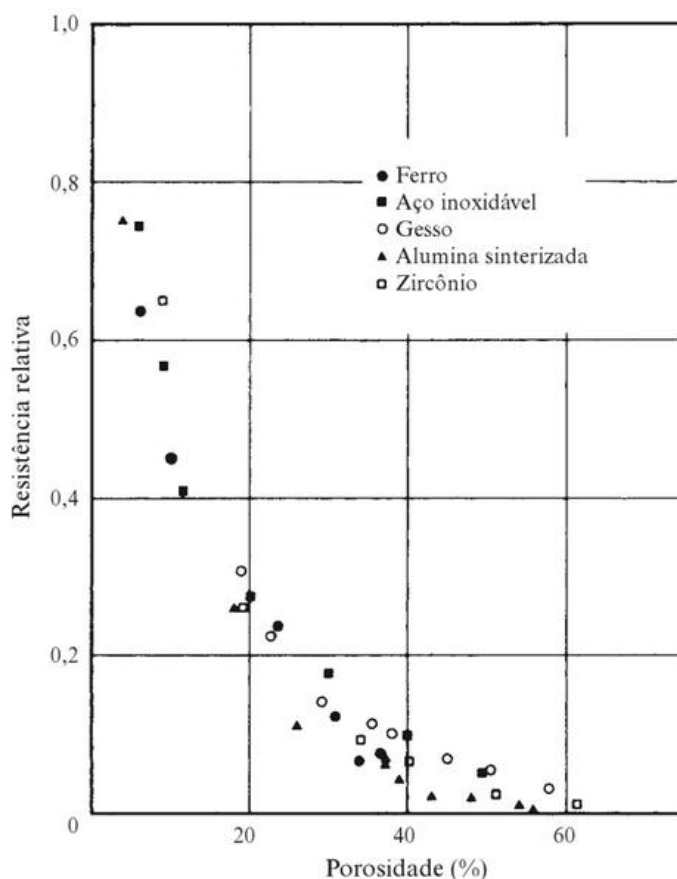
Figura 4: A dependência entre a resistência e a relação água/cimento  
 Fonte: Neville (1997, p. 278)

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 52), a resistência relaciona-se diretamente com a tensão necessária para que haja a fratura, o que acontece de forma inversa em relação à porosidade. Além disso, segundo os autores, a utilização de adições minerais no concreto influencia de forma significativa a resistência final do material, devido a uma redução da porosidade da matriz e da zona de transição, causada pela formação de uma quantidade maior de silicato de cálcio hidratado (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 61).

#### 2.2.2.2 Porosidade

De acordo com Andrade e Tutikian (2011, p. 619), microestruturalmente a pasta endurecida é composta basicamente por três fases: a sólida (silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio); a líquida (água em suas diversas formas no interior); e os vazios (ar incorporado, ar aprisionado, pelos vazios capilares e pelo espaço interlamelar do C-S-H).

Assim, a porosidade pode ser definida como o volume total de vazios presente no concreto, e a resistência está diretamente ligada a ela. Ou seja, quanto maior a porosidade, menor a resistência do concreto (NEVILLE, 1997, p. 285). Essa regra é válida também para diversos outros materiais, como pode ser visto na Figura 5.



**Figura 5: Influência da porosidade na resistência relativa de diversos materiais**  
**Fonte: Neville (1997, p. 286)**

No concreto, a resistência se dá principalmente por conta da parte sólida do material. Assim, pode-se dizer que os vazios agem de forma negativa em relação à resistência. Contudo, a porosidade total do concreto tem uma influência menor na resistência final do que o tamanho dos poros. (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011, p. 619).

Segundo Campiteli (1987, p. 14), a porosidade do concreto é influenciada por diversos fatores: exsudação; forma e porosidade dos agregados; interface pasta-agregados; características da pasta de cimento (fator água/cimento, idade e cura); uso de adições; uso de aditivos.

Para Sato, o desenvolvimento dos poros de um concreto depende não só da sua composição, mas também das condições de exposição:

Nos concretos curados ao ar, observa-se que a porosidade varia com a distância em relação à superfície exposta, devido às alterações no grau de hidratação, consequentes ao gradiente de umidade, que existe nesta região em função do transporte de umidade que ocorre entre o material e o meio externo.

Ainda, conforme a autora, a porosidade pode ser alterada também por conta de reações químicas entre os materiais constituintes do concreto e substâncias presentes no

meio ambiente. Um exemplo disso, é a reação de carbonatação, que diminui a porosidade do concreto.

Com base nos critérios gerais de durabilidade, Helene (1993, p, 174) classifica os concretos em função da porosidade em:

- a) Concretos duráveis – porosidade menor ou igual a 10%;
- b) Concretos normais – porosidade entre 10% e 15%;
- c) Concretos deficientes – porosidade maior que 15%.

### 2.2.2.3 Módulo de Elasticidade

O conhecimento do valor do módulo de elasticidade é indispensável para uma análise correta dos estados limites de serviço das estruturas de concreto armado, que se dá através do cálculo de deformações e deslocamentos dos elementos estruturais. O módulo de elasticidade nada mais é que uma relação entre a tensão aplicada e a deformação ocasionada por ela. Essa relação, que pode ser considerada linear em alguns intervalos, é denominada Lei de Hooke, que é definida pela Equação 2:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (2)$$

em que E é o Módulo de Elasticidade,  $\sigma$  é a tensão e  $\varepsilon$  a deformação específica.

Segundo Shehata (2011, p. 660), o módulo de elasticidade pode ser tangente, secante e cordal. O módulo tangente é o coeficiente angular da reta tangente em qualquer ponto da curva tensão-deformação de compressão. O módulo secante é a relação entre uma tensão qualquer e a sua deformação equivalente, ou seja, o coeficiente angular da reta que liga os pontos da curva tensão-deformação condizentes a essa tensão e à tensão igual a zero. Já o módulo cordal é determinado pela reta que liga dois pontos da curva tensão-deformação.

Um material é considerado perfeitamente elástico quando, aplicada uma certa tensão, ele se deforma e volta a sua forma original prontamente após a retirada da tensão. De certa forma, podemos dizer que o concreto, até certo ponto, é um material elástico. Isso porque, quando o concreto é submetido à uma carga de longa duração, a sua deformação aumenta no decorrer do tempo e então ele passa a apresentar fluência. Também, durante a sua secagem, o concreto sofre contração, que deriva em retração. (NEVILLE, 2016, p. 429)

Entre os fatores que afetam o módulo de elasticidade, podemos citar a condição de umidade do corpo de prova. Um corpo de prova úmido possui módulo entre 3 e 4 GPa maior

que um seco – o que acontece de forma inversa para a resistência. Outro fator que afeta o módulo de elasticidade, são as propriedades dos agregados, como o seu módulo e a sua proporção volumétrica. Quanto maior for o valor do módulo do agregado, maior será o módulo de elasticidade do concreto. Essa relação é válida também para o volume de agregado utilizado. (BROOKS; NEVILLE, 2011, p. 211)

## 2.3 RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO

### 2.3.1 Definição de resíduos e suas classificações

Resíduos sólidos, segundo a norma ABNT NBR 10004 (2004, p. 1), intitulada “Resíduos Sólidos: classificação”, podem ser definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Já a resolução 307 do CONAMA (2002), define resíduos da construção civil como sendo:

[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Ainda, segundo a mesma resolução, os resíduos da construção civil são classificados nas seguintes classes:

- I) Classe A: resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados, provenientes de construção, demolição, reparos e reformas de edificações e pavimentação

- ou ainda do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas de concreto;
- II) Classe B: resíduos recicláveis como papel, plásticos, metais, vidros, madeiras, com outras destinações;
  - III) Classe C: resíduos que não são economicamente viáveis de serem reciclados ou recuperados;
  - IV) Classe D: resíduos perigosos provenientes de construções, tais como solventes, óleos, tintas, que são nocivos à saúde.

Assim sendo, o resíduo de corte de granito (RCG), pode ser definido como um resíduo da construção civil da classe A.

### 2.3.2 Geração e utilização dos resíduos

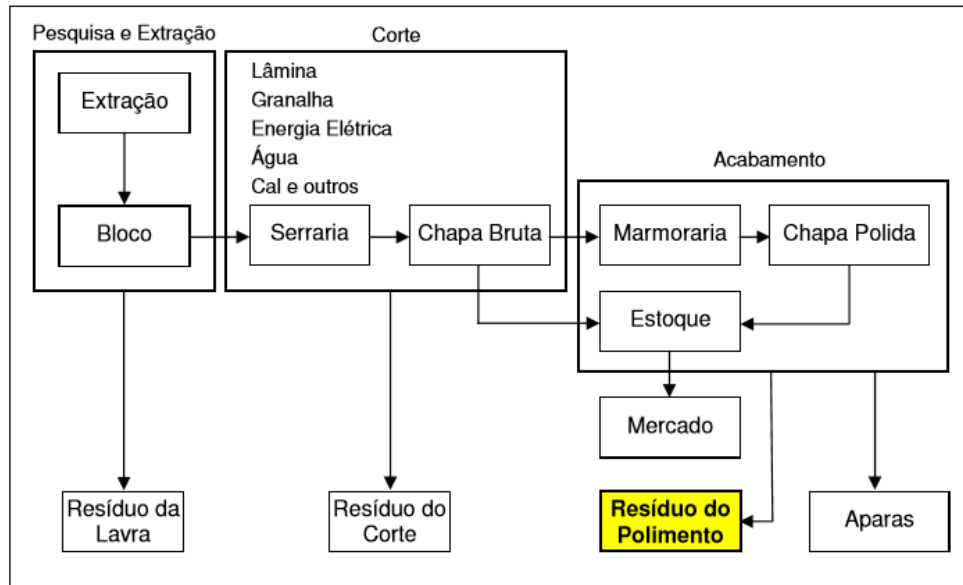
A utilização dos resíduos de entulhos de construção e demolição como agregados é algo que vem se consolidando no Brasil. Isso se deve, principalmente, ao grande volume de resíduos gerados por conta do grande consumo de materiais e também a uma preocupação crescente em relação a preservação do meio ambiente.

Nesse mesmo contexto, cada vez mais tem surgido estudos em que os resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais são utilizados na construção civil, seja na produção de peças cerâmicas, argamassas ou concreto. Entre as rochas utilizadas por essa indústria está o granito, cujo maior detentor das reservas mundiais é o Brasil (GONÇALVES, 2000, p. 19).

Segundo Alves (2008, p. 30), o beneficiamento do granito possui quatro fases em que são gerados resíduos, que são:

- a) na extração dos blocos na jazida, em que é gerado o resíduo da lavra;
- b) No desdobramento dos blocos, em que é gerado o RCG;
- c) no acabamento superficial das placas, em que há o resíduo proveniente do polimento;
- d) no corte final das peças, em que são gerados cacos e restos com formas irregulares.

As etapas citadas anteriormente podem ser observadas no fluxograma apresentado na Figura 6 a seguir:

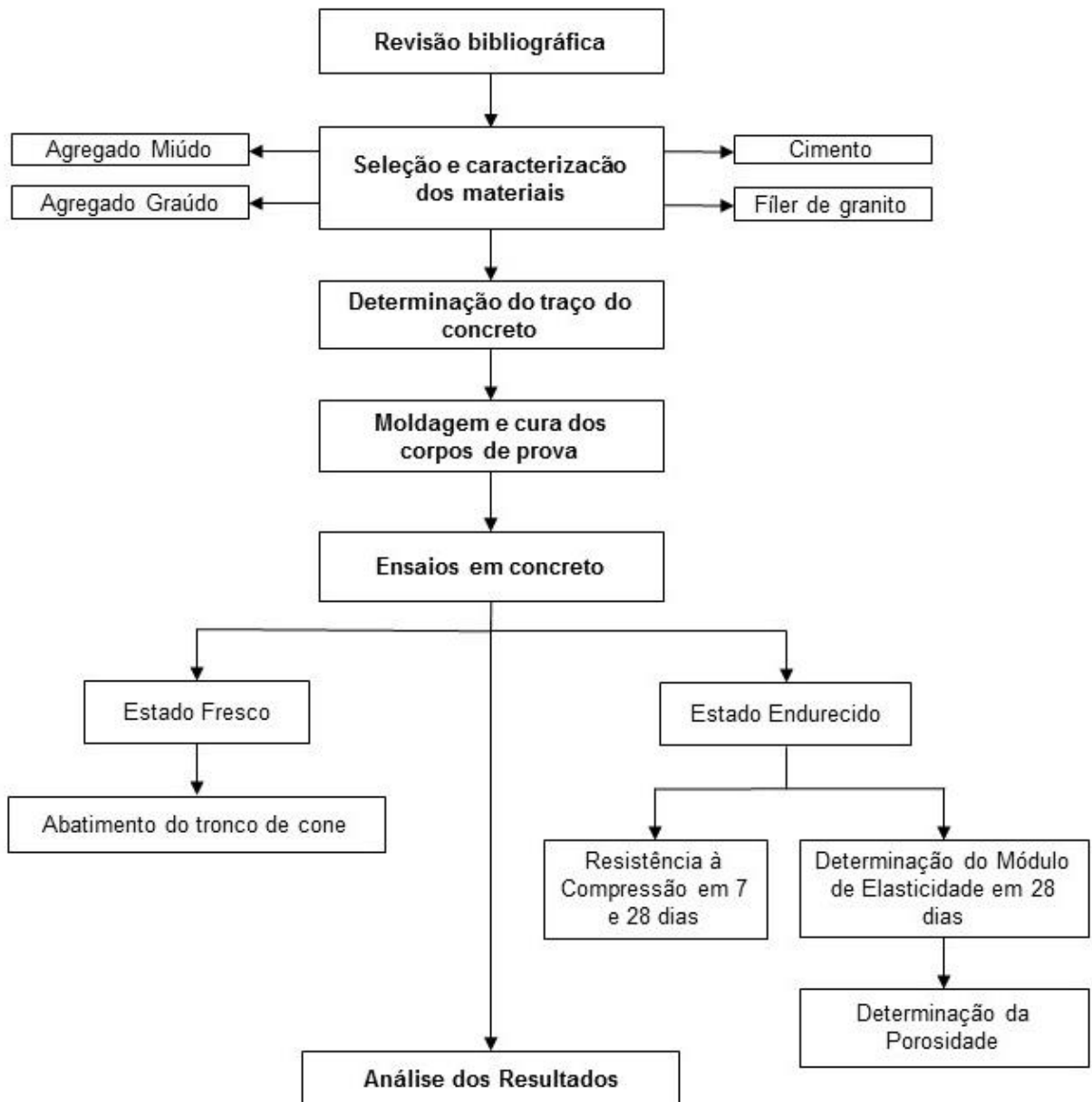


**Figura 6: Beneficiamento do Granito**  
Fonte: Alves (2008, p. 31)



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que fosse possível realizar a avaliação do desempenho do concreto com adição de fíler de granito, foram realizadas as seguintes etapas de trabalho, que aparecem esquematizadas na Figura 7 a seguir:



**Figura 7: Diagrama das etapas de trabalho**  
 Fonte: Autoria Própria (2016)

### 3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1.1 Cimento

O cimento escolhido para a realização deste trabalho foi o CP V-ARI da marca Supremo, por ser o cimento que menos continha adições entre os disponíveis.

Foi realizado o ensaio para determinar a massa específica do cimento de acordo com a norma ABNT NBR NM 23:2001. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Massa Específica do Cimento (CP V-ARI)**

	Peso (g)	Vol. Deslocado (cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Amostra 1	60	19,70	3,046
Amostra 2	60	19,75	3,038

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Segundo a norma ABNT NBR NM 23 (2001, p. 3), o resultado deve ser a média de pelo menos duas determinações que não difiram entre si em mais do que 0,01 g/cm<sup>3</sup>. Assim sendo, a média da massa específica verificada para o cimento em questão foi de 3,042 g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.1.2 Água

A água utilizada na confecção dos concretos é fornecida pela concessionária local (SANEPAR) através da rede de abastecimento público. Segundo a norma ABNT NBR 15900 (2009, p. 2), a água de abastecimento público é adequada para uso em concreto, não sendo necessário submetê-la a ensaios.

#### 3.1.3 Agregado Miúdo

Como este trabalho tem como objetivo determinar a influência do fíler de granito de forma que se possa estabelecer uma comparação adequada aos concretos comumente utilizados nas obras, o agregado miúdo empregado foi areia natural média encontrada comercialmente.

Para a sua caracterização, foi realizada a determinação da sua composição granulométrica de acordo com a norma ABNT NBR NM 248: 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica; da massa específica, de acordo com a norma ABNT NBR NM 52:2006 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente; e da quantidade de materiais pulverulentos, de acordo com a norma ABNT NBR NM 46:2006 – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m, por lavagem.

Na determinação da massa específica do material, foi utilizado o método do picnômetro. Esse método consiste nas seguintes etapas: primeiramente, enche-se o frasco com água e determina-se sua massa. Em seguida, retira-se parte da água do frasco e insere-se uma massa conhecida do material que se deseja obter a massa específica (neste caso, areia). Por último, completa-se o restante do frasco com água e determina-se sua massa novamente.

Para que o ensaio seja válido, ele deve ser realizado pelo menos duas vezes e não deve haver diferença significativa entre os valores encontrados para cada determinação. Os valores obtidos podem ser vistos na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2: Massa Específica do Agregado Miúdo**

	$M_{\text{frasco+água}}$ (g)	$M_{\text{areia}}$ (g)	$M_{\text{frasco+areia+água}}$ (g)	Vol. Desl.(cm <sup>3</sup> )	Massa Esp (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Amostra 1</b>	652,67	500	962,73	189,94	2,63
<b>Amostra 2</b>	652,46	500	962,43	190,03	2,63

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Assim, a massa específica média encontrada foi de 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

Em seguida, foi realizada a determinação da composição granulométrica conforme as instruções da ABNT NBR NM 248:2003. Para este ensaio, foram utilizadas duas amostras de 500 g previamente secas em estufa, que foram agitadas mecanicamente por um tempo razoável para que houvesse a devida separação dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3.

Pelo ensaio de granulometria, é possível ainda determinar a dimensão máxima característica e o módulo de finura do material. Segundo a ABNT NBR NM 248 (2003, p. 2), a dimensão máxima característica é correspondente à abertura da malha da peneira na qual fica retido uma porcentagem acumulada igual ou inferior a 5%. Já o módulo de finura é definido como a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Tabela 3: Granulometria Agregado Miúdo

Peneira	Amostra 1		Amostra 2		%Retida Média	%Retida Acumulada Média
	Peso Retido (g)	%Retida	Peso Retido (g)	%Retida		
9,5 mm	0	0	0	0	0	0
6,3 mm	1,24	0,25	3,01	0,60	0,43	0,43
4,75 mm	2,19	0,44	1,96	0,39	0,42	0,84
2,36 mm	9,54	1,91	9,51	1,90	1,91	2,75
1,18 mm	25,98	5,20	27,19	5,44	5,32	8,06
600 µm	28,05	5,61	21,42	4,28	4,95	13,01
300 µm	213,14	42,63	221,52	44,30	43,47	56,48
150 µm	170,32	34,06	168,62	33,72	33,89	90,37
Fundo	48,18	9,64	45,95	9,19	9,41	99,78
<b>Total</b>	<b>498,64</b>	<b>99,73</b>	<b>499,18</b>	<b>99,84</b>	<b>99,78</b>	<b>99,78</b>

Fonte: Autoria Própria (2016)

Desta forma, o valor encontrado para a dimensão máxima característica, conforme podemos observar na Tabela 3 foi de 2,36 mm. Já para o módulo de finura, foram encontrados os valores contidos na Tabela 4.

Tabela 4: Módulo de Finura do agregado miúdo

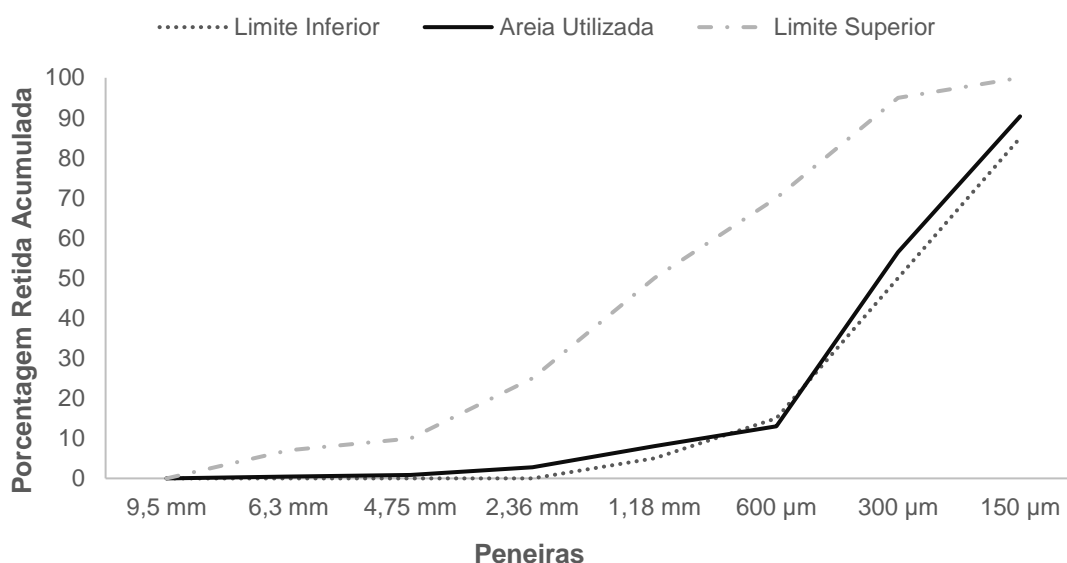
Amostra 1	Amostra 2	Média
1,70	1,72	1,71

Fonte: Autoria Própria (2016)

Sendo que o ensaio respeitou os requisitos de que o somatório de todas as massas da amostra não deve diferir mais de 0,3% do peso inicial, de que as amostras devem apresentar a mesma dimensão máxima característica e de que nas demais peneiras os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si, o ensaio foi considerado válido.

Foi feita também uma análise granulométrica por meio de curvas, com a finalidade de julgar o agregado utilizável ou não para o uso. A Figura 8 mostra a curva de distribuição granulométrica da areia utilizada, bem como os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 7211 (2005, p. 5).

O ensaio para determinação da quantidade de materiais pulverulentos foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 46:2001. Para este ensaio foram utilizadas duas amostras de 500g de material previamente seca em estufa. O procedimento resume-se em lavar uma amostra de agregado sobre uma peneira de 75 µm até que a água de lavagem fique clara. Em seguida, o material deve ser seco em estufa e posteriormente pesado. O resultado pode ser visto na Tabela 5.



**Figura 8: Curva granulométrica do agregado miúdo**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

**Tabela 5: Porcentagem de material pulverulento no agregado miúdo**

	Mi (g)	Mf (g)	% finos	% média finos
<b>Amostra 1</b>	500,00	484,45	3,11	3,08
<b>Amostra 2</b>	500,00	484,78	3,04	

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

De acordo com a norma ABNT NBR 7211 (2009, p. 6), a quantidade máxima de finos aceita é de 5% em relação à massa do agregado miúdo. Portanto, o material empregado pode ser considerado próprio para uso.

#### 3.1.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo empregado nos concretos produzidos e estudados neste trabalho, foi brita nº 1 de origem basáltica, comumente utilizada em obras convencionais. A caracterização do material em questão se deu pela determinação da sua composição granulométrica de acordo com a norma ABNT NBR NM 248: 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica; e da massa específica, de acordo com a norma ABNT NBR NM 53 (2009) – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Analogamente aos ensaios realizados para o agregado miúdo, a determinação da composição granulométrica conforme as instruções da norma ABNT NBR NM 248:2003. Para este ensaio, foram utilizadas duas amostras de 1000 g previamente secas em estufa, que

foram agitadas mecanicamente por um tempo razoável para que houvesse a devida separação dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 6.

**Tabela 6: Granulometria agregado miúdo**

Peneira	Amostra 1		Amostra 2		%Retida Média	%Retida Acumulada Média
	Peso Retido (g)	%Retida	Peso Retido (g)	%Retida		
25 mm	0,00	0	0,00	0	0	0,00
19 mm	173,20	17,32	188,08	18,81	18,06	18,06
12,5 mm	715,34	71,53	697,33	69,73	70,63	88,70
9,5 mm	92,42	9,24	95,42	9,54	9,39	98,09
6,3 mm	18,54	1,85	18,36	1,84	1,85	99,93
4,75 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
Fundo	0,00	0,00	0,79	0,08	0,04	99,97
<b>Total</b>	<b>999,50</b>	<b>99,95</b>	<b>999,98</b>	<b>100,00</b>	<b>99,97</b>	<b>99,97</b>

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Foi obtido também através do ensaio de granulometria a dimensão máxima característica do material. A determinação deste parâmetro segue a mesma regra utilizada para o agregado miúdo. Assim, o valor encontrado para dimensão máxima característica foi de 19 mm.

Da mesma forma que o agregado miúdo, o somatório de todas as massas da amostra não deve diferir mais de 0,3% do peso inicial, as amostras devem apresentar a mesma dimensão máxima característica e os valores de porcentagem retida individualmente nas peneiras não devem diferir mais que 4% entre si. O ensaio foi realizado duas vezes para que os requisitos fossem atendidos, sendo que neste trabalho foram apresentadas as duas melhores amostragens.

Para a determinação da massa específica da brita, utilizou-se duas amostras de cerca de 500 g cada e uma proveta contendo um volume conhecido de água. O ensaio consiste em coloca a amostra de brita na proveta e determinar o volume de água deslocado. O resultado pode ser visto na Tabela 7:

**Tabela 7: Massa Específica do agregado graúdo**

	Massa (g)	Vol. Inicial (cm <sup>3</sup> )	Vol. Final (cm <sup>3</sup> )	Vol. Desl. (cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Amostra 1</b>	500	500	678	178	2,81
<b>Amostra 2</b>	565,8	500	700	200	2,83

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Deste modo, a massa específica média obtida para o material é de 2,82 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.5 Adições

A adição utilizada neste trabalho é resultante da moagem de resíduos de corte de granito (RCG) provenientes do processo de beneficiamento dessa rocha em marmorarias localizadas na cidade de Pato Branco, Paraná. O material recolhido pode ser visto na Figura 9 a seguir:



**Figura 9: Resíduos de corte de granito (RCG)**  
Fonte: Autoria Própria (2016)

Após serem coletados, os RCG foram submetidos ao processo de trituração sucessivas vezes em um britador de mandíbulas, apresentado na Figura 10.



**Figura 10: Britador de mandíbulas**  
Fonte: Autoria Própria (2016)

Em seguida, o material obtido através dessa moagem inicial, foi peneirado na peneira de abertura 9,5 mm (Figura 11), a fim de separar os grãos de granulometria menor para que pudessem ser submetidos à moagem no moinho de bolas.



**Figura 11: Peneiramento do RCG moído**  
Fonte: Autoria Própria (2016)

Então, para a produção do fíler de granito, o material passante foi colocado em um moinho de bolas equipado com temporizador (Figura 12) por um tempo de funcionamento de cerca de 10h.



**Figura 12: Moinho de bolas com temporizador**  
Fonte: Autoria Própria (2016)



A amostra foi então retirada e passada na peneira abertura 300  $\mu\text{m}$ , sendo o material passante o fíler de granito (Figura 13). Como ainda assim uma parte ficou retida na peneira - ou seja, não foi moída completamente -, o material não passante foi submetido novamente à moagem. Desta vez, utilizou-se um moinho de bolas menor, onde o material foi submetido à moagem por duas vezes, pelo tempo de 1 hora cada, até que se obtivesse a quantidade necessária de fíler. Ao todo, foram produzidos cerca de 2100 g de fíler de granito, sendo que destes foram utilizados 1050g para a produção dos concretos.



**Figura 13: Fíler de granito**

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Para a caracterização do fíler, foi realizada a determinação da sua massa específica através do método do picnômetro, pelo fato de o material não possuir reação química ao entrar em contato com a água; e da superfície específica, de acordo com ABNT NBR 16372:2015 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Foi feita também uma análise do material por meio da Difração de Raios X (DRX).

#### 3.1.5.1 Massa Específica

A determinação da massa específica se deu da mesma forma que para o agregado miúdo. Os valores obtidos podem ser vistos na Tabela 8 a seguir:

**Tabela 8: Massa específica do filer de granito**

	$M_{\text{frasco+água}} \text{ (g)}$	$M_{\text{filer}} \text{ (g)}$	$M_{\text{frasco+filer+água}} \text{ (g)}$	Vol. Desl. (cm <sup>3</sup> )	Massa esp. (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Amostra 1</b>	652,74	100,16	715,40	62,66	2,67
<b>Amostra 2</b>	652,75	100,32	715,71	62,96	2,69

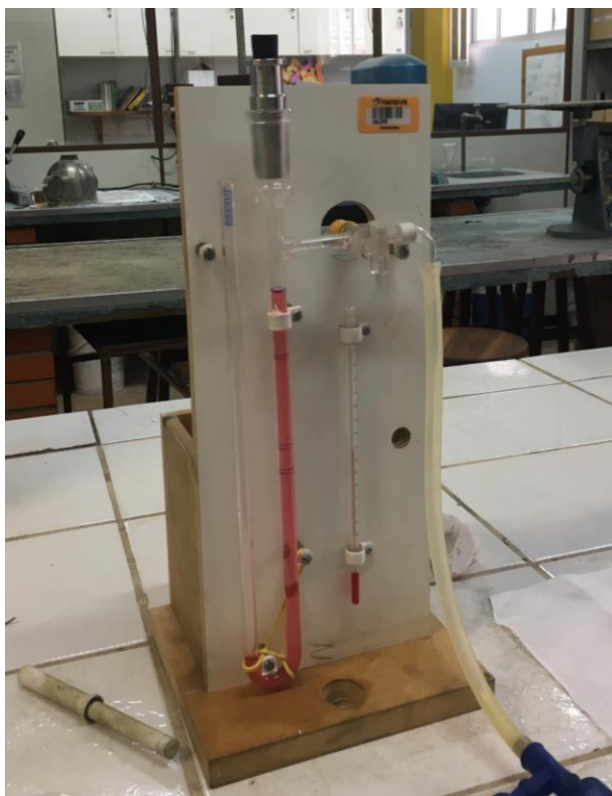
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Foram feitas três tentativas, sendo que em uma delas houve diferença significativa entre os valores encontrados. Desta forma, esse ensaio foi descartado e foram considerados os dois melhores resultados. Assim, a massa específica média definida para o filer foi de 2,68 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.5.2 Superfície Específica

Já a determinação da superfície específica ou finura foi realizada através do método de permeabilidade ao ar ou método de Blaine, que serve como indicador da uniformidade do processo de moagem do material, por meio de uma comparação com uma amostra padrão.

O ensaio resume-se em medir o tempo que uma determinada quantidade de ar leva para fluir através de uma camada de material compactada, de dimensões e porosidade especificadas. O aparelho utilizado neste ensaio pode ser visto na Figura 14.



**Figura 14: Aparelho de permeabilidade Blaine**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Para o cálculo da superfície específica, foi utilizada a Equação 3:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{(1-\varepsilon)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1\eta}} \quad (3)$$

onde K é a constante do aparelho, que tem o valor de 3,68;  $\varepsilon$  é a porosidade da camada e é igual a 0,5; t é o tempo medido em segundos;  $\rho$  é a massa específica do material, em g/cm<sup>3</sup> e  $\eta$  é a viscosidade do ar à temperatura do ensaio, em Pa.s. O valor da viscosidade pode ser encontrado na norma ABNT NBR 16372:2015.

A temperatura do ensaio era de 24°C e o valor obtido para a massa específica do fíler foi de 2,68 g/cm<sup>3</sup>, como apresentado anteriormente. Assim, os valores calculados através dos tempos cronometrados para a superfície específica do material em questão, constam na Tabela 9.

**Tabela 9: Superfície específica do fíler de granito**

	Tempo (s)	Superfície Específica (cm <sup>2</sup> /g)
<b>Amostra 1</b>	151	8798,24
<b>Amostra 2</b>	153	8856,31
<b>Amostra 3</b>	154	8885,21

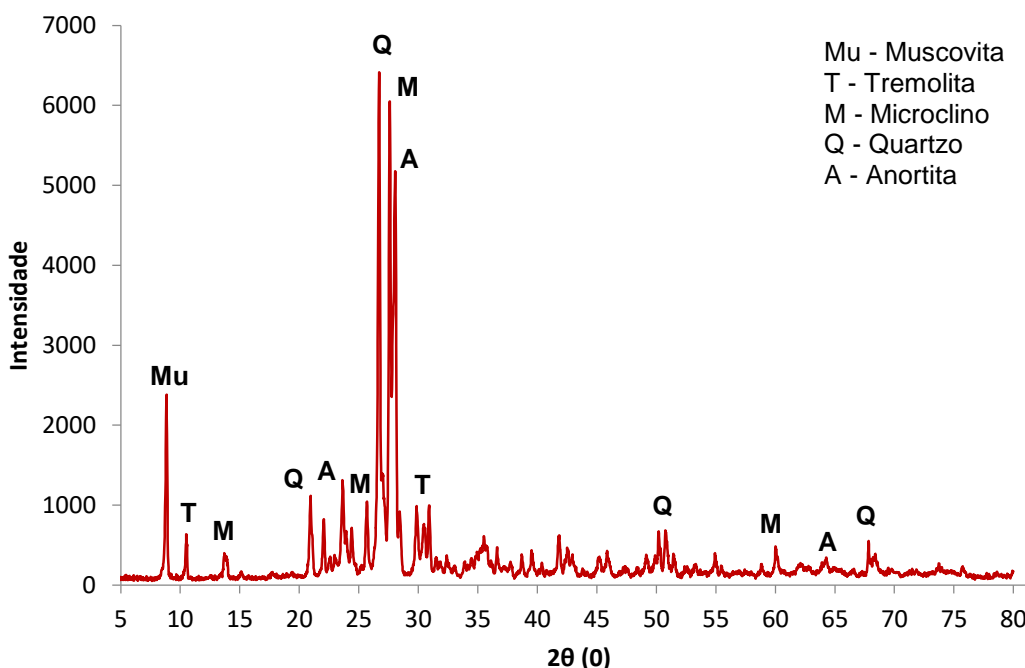
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Para que os resultados sejam aceitos, os valores encontrados para a superfície específica entre dois ensaios não devem diferir mais do que 1% entre si. Como a maior diferença encontrada foi de 0,99%, o ensaio foi considerado válido. Porém, para o resultado final considerou-se a menor diferença encontrada, que foi de 0,33%, entre a amostra 2 e a amostra 3. Assim, a superfície específica média definida para fíler de granito foi de 8870,76 cm<sup>2</sup>/g.

### 3.1.5.3 Difração de Raios X (DRX)

O conhecimento das características químicas de um material é de suma importância para um melhor entendimento do seu comportamento quando utilizado. Assim sendo, foi realizada uma análise do fíler de granito por meio da difração de raios X, com a finalidade de identificar os seus minerais constituintes.

O tamanho dos picos característicos é um indicador da cristalinidade do material: quanto maior o pico, mais cristalino ele é. O resultado obtido pode ser visto na Figura 15 a seguir:



**Figura 15: Difratograma de uma amostra de fíler de granito**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

O resultado da composição química do fíler de RCG se mostrou muito semelhante ao obtido por Gonçalves (2000, p. 51) para o mesmo material. Assim, os minerais encontrados foram Muscovita ( $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ), Tremolita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ), Microclino ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e Anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), sendo que o que está presente em maior quantidade é o quartzo.

## 3.2 METODOLOGIA DE ENSAIOS

### 3.2.1 Determinação do traço do concreto

Após a obtenção do fíler de granito e seleção dos materiais empregados para a produção dos concretos, foi definido o traço a ser utilizado. Optou-se por utilizar um traço padrão na proporção 1:2:3 em massa. A relação água/cimento escolhida foi de 0,55. A escolha desses valores se justifica por conta de serem comumente utilizados em obras convencionais e, também, pelo estudo de dosagem do concreto não ser o foco do trabalho.

Os teores de fíler de granito utilizados foram 0%, 5% e 10% em relação à massa cimentícia e a resistência mínima desejada era de 25 MPa. A opção por utilizar um traço sem

adição de filer se explica pela necessidade da existência de um concreto de referência, em que o desempenho servisse como comparativo em relação ao desempenho dos concretos com adição.

### 3.2.2 Moldagem e cura dos corpos de prova de concreto

A quantidade de concreto produzida foi determinada de acordo com o número de corpos de prova que seriam necessários para a realização deste trabalho. Ao todo, foram moldados 24 corpos de prova de forma cilíndrica com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, ou seja, um volume 1,57 litros. Assim, a quantidade de concreto necessária para o estudo foi de 37,68 litros.

Para cada teor de filer utilizado, foram feitos 8 corpos de prova. Destes, três foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão com 7 dias de idade e três com 28 dias de idade. Com os dois corpos de prova restantes de cada traço, com 28 dias, procederam-se os ensaios de módulo de elasticidade e, posteriormente, a análise da porosidade dos concretos.

Foram feitas 3 betonadas de concreto de 20 litros, uma para cada teor de filer. Para definir a quantidade de material necessário para cada uma, foi calculado o consumo de cimento para se produzir um metro cúbico por meio da Equação 4 abaixo, onde  $C$  é consumo de cimento por  $m^3$  de concreto adensado em  $kg/m^3$ ,  $\gamma$  é a massa específica do concreto, em  $kg/m^3$ ,  $a$  é a relação agregado miúdo seco/cimento em massa em  $kg/kg$ ,  $p$  é a relação agregado graúdo seco/cimento em massa  $kg/kg$  e  $a/c$  é a relação água cimento em  $kg/kg$ .

$$C = \frac{\gamma}{1+a+p+(\frac{a}{c})} \quad (4)$$

O valor encontrado foi de cerca de 350kg por metro cúbico. Assim, para produzir 20 litros de concreto foram necessários 7 kg de cimento. Multiplicando o traço pela quantidade de cimento, tem-se a quantidade utilizada de cada material, conforme mostra a Tabela 10:

**Tabela 10: Quantidades de material em kg**

	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Água</b>
<b>Traço</b>	1	2	3	0,55
<b>Betonada</b>	7	14	21	3,85

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Paralelamente a isso, a quantidade de fíler adicionada aos concretos na sua confecção em relação aos teores de fíler escolhidos pode ser vista na Tabela 11.

**Tabela 11: Quantidade de fíler utilizada em gramas**

	0%	5%	10%
<b>Quantidade</b>	0	350	700

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

A produção dos concretos ocorreu em dois dias distintos e antes foi realizada a imprimação da betoneira. Ao final das misturas, foi realizado o ensaio de determinação de consistência do concreto pelo do método do abatimento do tronco de cone e, em seguida, foi feita a moldagem dos corpos de prova.

Posteriormente, os corpos de prova foram cobertos com vidro para evitar a perda de água e colocados em uma sala fechada com uma temperatura de 23°C durante o período de 24 horas, como pode ser visto na Figura 16:



**Figura 16: Corpos de prova moldados**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em um tanque com água para que fossem curados até as idades de ensaio. A cura, para Mehta e Monteiro (1994, p. 345) é uma série de procedimentos que tem como objetivo promover a hidratação correta do cimento, através do controle da perda de umidade e da temperatura do concreto durante tempo suficiente para que ele atinja a resistência desejada.

A moldagem e a cura dos corpos-de-prova foram realizadas de acordo com a norma ABNT NBR 5738:2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

### 3.2.3 Avaliação do desempenho do concreto no estado fresco

O desempenho do concreto no estado fresco foi avaliado por meio do método do abatimento do tronco de cone, regido pela norma ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

O ensaio consiste em preencher o molde de forma de tronco de cone oco com o concreto produzido em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado.

Cada camada deve ser compactada com 25 golpes utilizando uma haste de socamento, sendo que os golpes devem ser distribuídos uniformemente sobre cada camada. A segunda e a terceira camada devem ser compactadas de forma que os golpes passem por toda sua espessura e apenas penetrem na camada anterior.

### 3.2.4 Avaliação do desempenho do concreto no estado endurecido

#### 3.2.4.1 Determinação da resistência à compressão

A resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) é considerada a característica mecânica mais importante do concreto na realização de projetos estruturais. Seu valor é determinado através de ensaios de resistência à compressão axial, no qual corpos de prova cilíndricos são submetidos a uma carga que age axialmente até o seu colapso.

Para que houvesse uma distribuição uniforme da carga aplicada, na realização dos ensaios, foram utilizados discos de neoprene para a regularização das superfícies do topo e da base dos corpos de prova, como pode ser observado na Figura 17.

Os ensaios foram realizados segundo os requisitos da norma ABNT NBR 5739:2007 – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Os valores fornecidos pela prensa estavam expressos em quilograma-força (Kgf) e posteriormente foram convertidos para megapascal (MPa).



**Figura 17: Ensaio de compressão axial**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

#### 3.2.4.2 Determinação do Módulo de Elasticidade

Assim como a resistência à compressão, a determinação do valor do módulo de elasticidade é de grande importância para a realização de projetos, visto que é indispensável o conhecimento das deformações causadas pelas tensões nas estruturas.

Para a realização do ensaio, foram utilizados corpos de prova cilíndricos idênticos aos utilizados para os ensaios de compressão (Figura 18). O valor do módulo de elasticidade é obtido pela leitura da deformação do corpo de prova enquanto ele é submetido a cargas não destrutivas.

Os ensaios sucederam-se conforme as prescrições da norma ABNT NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, em que se realizou a metodologia A de aplicação da carga.





**Figura 18: Ensaio de Módulo de Elasticidade**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

#### 3.2.4.3 Determinação da porosidade

Segundo Gonçalves (2000, p. 46) a utilização de adições minerais no concreto contribui significativamente no seu desempenho, possibilitando um maior refinamento da estrutura de poros, dificultando a penetração de água e/ou agentes agressivos e podendo diminuir a absorção.

Ou seja, a capacidade de absorção de um material é proporcional à sua porosidade, que por sua vez depende da distribuição, tamanho e quantidade de vazios permeáveis existentes no material.

Assim, a influência do fíler de granito na porosidade dos concretos produzidos foi determinada tomando como base o procedimento descrito na norma ABNT NBR 9778:1987 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

O desempenho do concreto no estado fresco, avaliado conforme a norma ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, apresentou os resultados contidos na Tabela 12:

<b>Teor de fíler</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
0%	150
5%	138
10%	97

**Fonte: Autorial Própria (2016)**

Foi observado que com a adição de fíler de granito nos concretos, houve um aumento da coesão e da consistência da mistura, proporcional a quantidade de fíler adicionada. Foi percebida também uma diminuição da exsudação. Segundo Gonçalves (2000, p. 66-67), esse feito é devido ao fato de as partículas do fíler, quando difundidas na mistura, atuarem como uma barreira física para a água.

O ensaio da consistência pelo abatimento do tronco de cone realizado para os teores de 5% e 10%, podem ser vistos nas Figuras 19 e 20.



**Figura 19: Abatimento do tronco de cone para 5% de fíler adicionado**  
**Fonte: Autorial Própria (2016)**



**Figura 20: Abatimento do tronco de cone para 10% de fíler adicionado**  
**Fonte: Aatoria Própria (2016)**

## 4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.2.1 Resistência à compressão

Após serem desmoldados e colocados em cura submersa, os corpos de prova foram então submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial. Ao todo, foram ensaiadas 18 amostras, sendo 6 para cada teor de fíler utilizado e destas, 3 para cada idade.

Segundo a NBR 5733:1991 – Cimento Portland de alta resistência inicial, aos 7 dias de idade o concreto deveria ter atingido uma resistência à compressão de pelo menos 34 Mpa, o que não ocorreu. Tal fato pode ser explicado pela relação água/cimento utilizada para a confecção dos concretos, que era relativamente alta, diminuindo assim a resistência. Porém, com os resultados obtidos, pode-se dizer que a utilização do RCG como adição no concreto foi satisfatória, confirmando a teoria apresentada pelas bibliografias.

O resultado pode ser visto na Tabela 13, onde  $f_c$  é a resistência à compressão axial,  $f_{cm}$  a resistência à compressão axial média, DP o desvio padrão e CV o coeficiente de variação das amostras.

Tabela 13: Ensaio de Resistência à Compressão

% Fíler	Idade (dias)							
	7				28			
	fc (MPa)	fcm (MPa)	DP	CV(%)	fc (MPa)	fcm (MPa)	DP	CV(%)
0%	19,49				29,86			
	20,21	20,03	0,48	2,38	32,49	31,34	1,34	4,28
	20,38				31,68			
5%	25,03				33,72			
	24,37	24,80	0,37	1,50	30,13	33,12	2,74	8,26
	24,99				35,50			
10%	27,00				36,78			
	26,42	26,59	0,36	1,35	37,21	37,82	1,44	3,82
	26,35				39,47			

Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 21 mostra uma comparação entre o comportamento dos concretos em relação à resistência à compressão, considerando o efeito da idade.

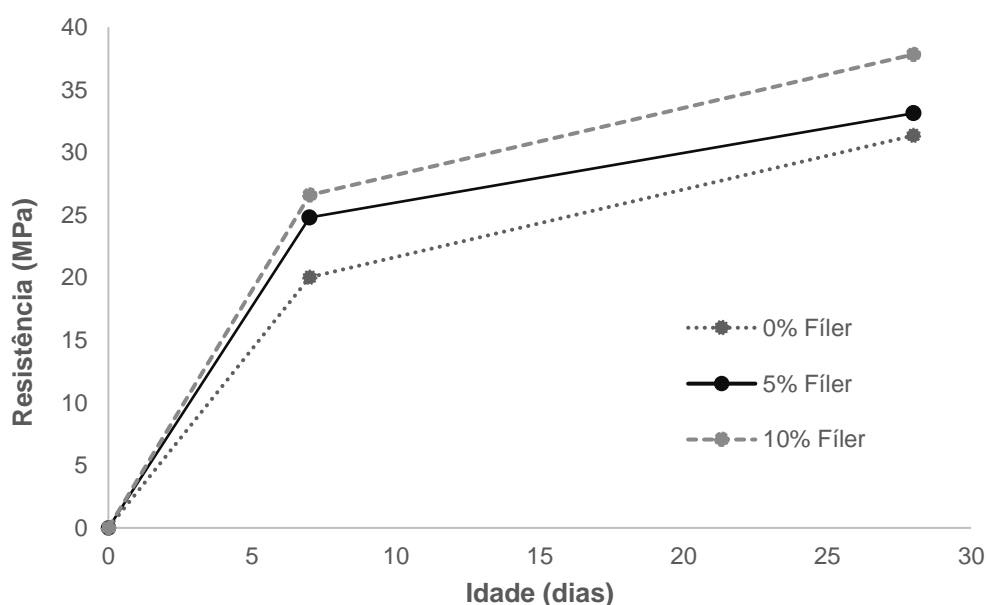
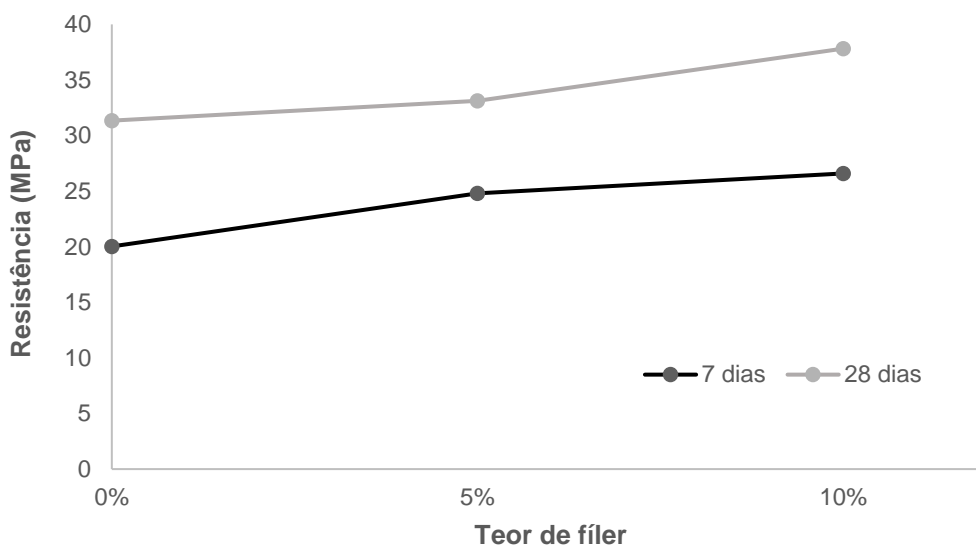


Figura 21: Resistência à Compressão x Idade  
Fonte: Autoria Própria (2016)

Em relação ao concreto de referência (0% de adição), aos 7 dias de idade, os concretos com 5% e 10% de adição de fíler de granito apresentaram ganhos médios de resistência de 23,81% e 32,75%, respectivamente. Já aos 28 dias de idade, a diferença de resistência em relação ao concreto de referência foi de 5,68% para o concreto com 5% de adição e de 20,68% para o concreto com 10% de adição.

A Figura 22 mostra uma comparação entre o comportamento dos concretos em relação à resistência à compressão, considerando o efeito do teor de fíler utilizado.



**Figura 22: Resistência à Compressão x Teor de Fíler**  
**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Fazendo uma análise da influência do teor de adição na resistência à compressão, constatou-se que os concretos com 5% de adição obtiveram um ganho médio de 14,75%, contra 26,72% dos concretos com 10% de adição.

Ou seja, concretos com 10% de adição apresentaram um melhor desempenho, tanto com 7 dias como com 28 dias de idade, sendo que essa diferença é mais significativa aos 28 dias. Assim, podemos concluir que a adição de 10% de fíler de granito proporcionou ganhos de resistência mais importantes do que a adição de 5%.

#### 4.2.2 Módulo de Elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade dos concretos, foram ensaiados ao todo 6 corpos de prova, sendo 2 para cada teor de fíler utilizado. Todos foram ensaiados saturados e com 28 dias de idade.

O resultado obtido pode ser visto na Tabela 14, em que E é o módulo de elasticidade obtido, DP o desvio padrão e CV o coeficiente de variação das amostras.

**Tabela 14: Ensaio de Módulo de Elasticidade**

% Fíler	E (GPa)	Média	DP	CV
0%	38,88	36,03	4,03	11,19
	33,18			
5%	26,59	27,95	1,92	6,86
	29,30			
10%	34,98	35,23	0,35	1,00
	35,48			

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Como podemos observar, com exceção dos concretos com 5% de adição de fíler, os valores obtidos não apresentaram grande variação, ao contrário da resistência à compressão. A heterogeneidade dos resultados dos concretos com 5% de adição, pode estar associada ao processo de adensamento e moldagem dos corpos de prova. Pode também estar relacionada à capacidade de incorporação da adição à mistura.

Como os valores encontrados para os módulos de elasticidade dos concretos não possuíram crescimento proporcional à variação da resistência à compressão, pode-se dizer que não há uma relação direta entre estes fatores. Ou seja, os parâmetros que regem essas propriedades não são completamente dependentes.

É usual, para efeito de comparação, realizar também o cálculo do módulo de elasticidade através de equações. Segundo a norma ABNT NBR 6118 (2014, p. 24), pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial através da Equação 5:

$$E_{ci} = \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_c} \quad (5)$$

em que  $\alpha_E$  é um parâmetro em função da natureza do agregado graúdo e  $f_c$  é a resistência à compressão obtida aos 28 dias em megapascal (Mpa). Neste caso, como o agregado utilizado era de origem basáltica,  $\alpha_E = 1,2$ . Assim, utilizando as resistências médias obtidas aos 28 dias de idade, obtemos os resultados apresentados na Tabela 15:

**Tabela 15: Cálculo do Módulo de Elasticidade**

% Fíler	$f_c$ (MPa)	$E_{ci}$ (GPa)
0%	31,34	37,62
5%	33,12	38,67
10%	37,82	41,33

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Assim, nota-se que os valores encontrados através dos ensaios divergem dos valores calculados a partir dos resultados do ensaio de compressão.

### 4.2.3 Porosidade

A análise da porosidade foi realizada por meio da determinação da absorção de água por imersão, uma vez que a capacidade de absorção de um material é proporcional à sua porosidade. Segundo Gonçalves (2000, p. 46), o conhecimento da absorvidade é relevante para caracterizar a influência de uma adição no concreto. Isso porque os efeitos gerados pela incorporação da adição repercutem nesta propriedade, já que há um ganho no refinamento da estrutura de poros.

O ensaio de absorção por imersão, determina a absorção de um concreto através da relação entre a massa seca e saturada de uma amostra. A condição escolhida foi a de imersão em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, regida pela norma. Ao todo, foram utilizados 6 corpos de prova, sendo 2 para cada teor de fíler utilizado. Todos foram ensaiados com 28 dias de idade, após permanecerem em cura submersa e, também, foram utilizados primeiramente para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade.

Como a cura dos corpos de prova se deu por meio da imersão deles em um tanque com água, o ensaio se deu de forma inversa. Ou seja, primeiramente, foi determinada a massa dos corpos de prova saturados após a cura e, em seguida, eles foram submetidos ao processo de secagem em estufa.

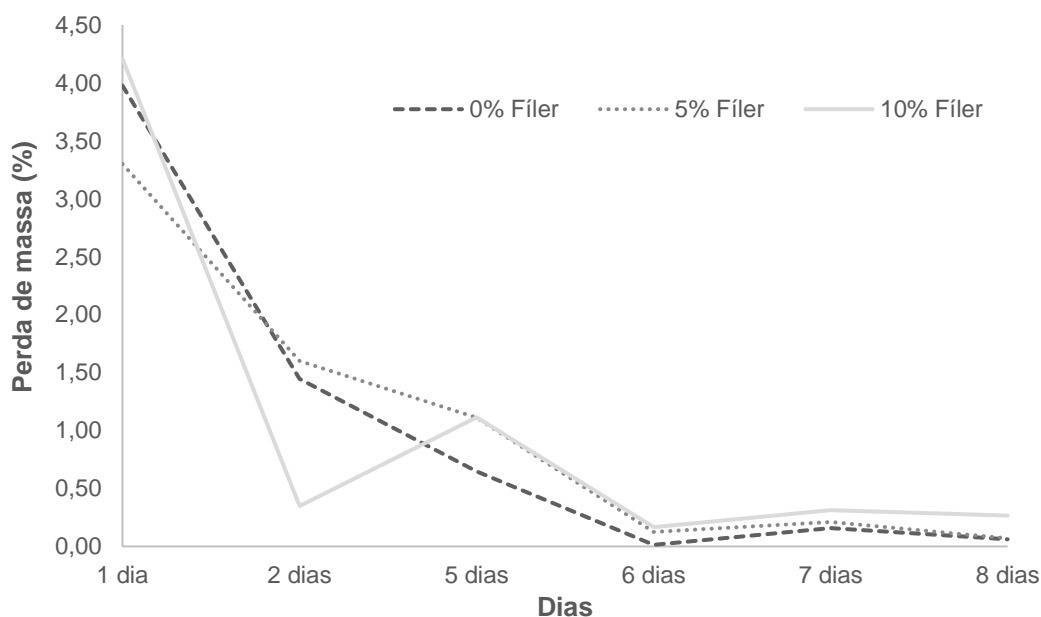
Por conta disso, foram realizadas pesagens dos corpos de prova até que eles possuíssem aproximadamente uma massa constante. Segundo a norma ABNT NBR 9779 (1995, p. 2), a massa é considerada constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas do mesmo corpo de prova, entre períodos de 24 horas de permanência na estufa, não exceder 0,5%. O resultado obtido pode ser visto na Tabela 16.

**Tabela 16: Taxa de perda de massa dos corpos de prova**

% Fíler	CP	Perca de massa (%)					
		24h	48h	5 dias	6 dias	7 dias	8 dias
0% fíler	CP1	3,89	1,84	0,48	0,01	0,11	0,07
	CP2	4,07	1,05	0,81	0,01	0,21	0,06
5% fíler	CP1	3,10	1,97	0,99	0,07	0,14	0,07
	CP2	3,50	1,24	1,24	0,18	0,28	0,07
10% fíler	CP1	4,48	0,37	1,11	0,14	0,31	0,21
	CP2	3,94	0,33	1,12	0,19	0,32	0,32

**Fonte: Autoria Própria (2016)**

Mesmo tendo atingido a constância de massa no sexto dia, optou-se por continuar a pesagem por mais um tempo. Os resultados da Tabela 16 podem ser vistos representados de forma gráfica na Figura 23.



**Figura 23: Perda de massa dos corpos de prova**

Fonte: Autoria Própria (2016)

Então, foi calculada a absorção total dos corpos de prova através do seu peso saturado e o menor peso seco. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 17.

		Peso saturado (g)	Peso seco (g)	Absorção (%)	Média (%)
<b>0% fíler</b>	<b>CP1</b>	3850,5	3615,0	6,51	6,41
	<b>CP2</b>	3849,0	3620,5	6,31	
<b>5% fíler</b>	<b>CP1</b>	3824,5	3592,5	6,46	6,55
	<b>CP2</b>	3813,5	3576,0	6,64	
<b>10% fíler</b>	<b>CP1</b>	3837,0	3595,5	6,72	6,53
	<b>CP2</b>	3800,5	3574,0	6,34	

Fonte: Autoria Própria (2016)

Pode-se perceber que não houve grandes variações entre os valores das taxas de absorção. Porém, os valores médios encontrados para a absorção dos concretos com adição de fíler, foram ligeiramente maiores do que o valor encontrado para o concreto sem adição.

Segundo Gonçalves (2000, p. 98), esse aumento na taxa de absorção para os concretos com adição, pode ser justificado pela formação de caminhos preferenciais que favorecem a absorção por sucção capilar, devido ao refinamento da estrutura de poros causado pela adição de fíler.

Ainda, acredita-se que o ensaio de determinação do módulo de elasticidade, por aplicar carga nos corpos de prova, possa ter causado microfissuras nos concretos que acabaram favorecendo a evaporação da água absorvida.



## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição de fíler de granito no desempenho do concreto, dado o efeito que as adições geralmente causam nas propriedades desse material. Por conta disso, foi estudada a ação dessa adição na resistência à compressão, no módulo de elasticidade e na porosidade do concreto.

Para esse fim, foram produzidos concretos com 0%, 5% e 10% de adição de fíler de granito em relação à massa de cimento. Além disso, foi utilizado um traço padrão na proporção 1:2:3 em massa e uma relação água/cimento de 0,55. Ao todo, para a realização deste estudo, foram produzidos 24 corpos de prova.

Em relação ao concreto no seu estado fresco, foi percebido que a adição de fíler de granito favoreceu a coesão e a consistência da mistura, bem como provocou uma redução da exsudação. Essa melhora nas características foi proporcional ao teor de fíler adicionado. Ou seja, o concreto com melhor desempenho no estado fresco foi o com 10% de adição.

Quanto à resistência à compressão axial, concluiu-se que a adição de fíler de granito proporciona uma melhora no desempenho. Os concretos com 5% de adição obtiveram um ganho médio de 14,75%, enquanto os concretos com 10% de adição apresentaram um ganho médio de 26,72%, em relação ao concreto de referência.

Tanto com 7 dias como com 28 dias de idade, os concretos com 10% de adição apresentaram resultados mais expressivos, sendo que essa diferença foi maior aos 28 dias. Assim, concluiu-se que a adição de 10% de fíler de granito proporcionou ganhos de resistência mais relevantes do que a adição de 5%.

Pode-se justificar esse aumento na resistência à compressão por conta do refinamento na estrutura de poros causado pela alta finura do fíler de granito. Esse efeito, segundo Gonçalves (2000, p. 73), contribui para uma densificação da zona de transição e da matriz cimentícia, o que acarreta um ganho de resistência.

Aliado a isso, a distribuição das partículas de fíler pelo concreto proporcionou um maior preenchimento dos poros e reduziu os espaços disponíveis para a água. Desta forma, houve um maior empacotamento da matriz, denominado *effect packing*, o que também contribuiu para o aumento da resistência à compressão (GONÇALVES, 2000, p. 74).

Para o módulo de elasticidade, a utilização do fíler de granito não se mostrou como sendo um fator de muita influência: os valores obtidos para os módulos de elasticidade, antagonicamente aos encontrados para a resistência à compressão, não apresentaram grande variação.

Porém, há uma ressalva em relação aos concretos com 5% de adição, que tiveram os valores dos seus módulos de elasticidade reduzidos. Este fato pode estar associado ao

processo de adensamento e moldagem dos corpos de prova, além da capacidade de incorporação da adição à mistura. Assim, pode-se dizer que neste caso não há uma relação direta entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, pois há outros fatores que influenciaram essas propriedades.

No que se refere à porosidade, também não houve grandes variações entre os valores das taxas de absorção, apesar de a taxa de absorção média dos concretos com adição de fíler se apresentaram um pouco acima da média encontrada para o concreto de referência. Contudo, não houve redução na resistência à compressão, pelo contrário.

Indo ao encontro do que afirmam Andrade e Tutikian (2011, p. 619), a porosidade total do concreto tem uma influência menor na resistência final do que o tamanho dos poros. Ou seja, a incorporação da adição nos concretos, apesar de ter aumentado a porosidade, reduziu o tamanho dos poros.

Deste modo, pode-se dizer que o teste de absorção por imersão não foi o mais adequado para avaliar a porosidade dos concretos estudados. Portanto, para conhecer o real motivo pelo qual isso aconteceu, seria necessário avaliar a absorção de água por capilaridade e, também, realizar uma análise da superfície das amostras através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Assim sendo, a partir dos resultados obtidos experimentalmente neste trabalho, pode-se dizer que o uso dos RCG como adição no concreto é viável tecnicamente, sendo que o teor de 10% de adição apresentou-se como o teor ótimo. Todavia, como a absorção de água é um fator relevante quando se trata da durabilidade das estruturas de concreto, sugere-se que haja cuidados maiores na utilização deste material em lugares úmidos.

Portanto, a relevância deste trabalho deve ser confirmada através de novos estudos que devem ser realizados levando em conta aspectos que confirmem e complementem o comportamento do RCG como adição em concretos.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Moisés S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. 2008, 132 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-7HXJ25>>. Acesso em: 23 abr. 2016.
- ANDRADE, Jairo J. de O.; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**. Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 1992

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16372**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

BATTAGIN, Arnaldo F. Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 5 jul. 2002. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/36\\_09102008030504.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2016.

BROOKS, J. J; NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. CAMPITELLI, Vicente C. Porosidade do concreto. **Boletim técnico do departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**. São Paulo, set. 1987. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00009.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00009.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2016.

DAL MOLIN, Denise C. C. Adições minerais. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

GONÇALVES, Jardel P. **Utilização do resíduo de corte granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000, 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1676/000305830.pdf?sequence=1>>.  
Acesso em: 28 abr. 2016.

GONÇALVES, et al. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2002. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3411/1824>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

HARTMANN, et al. Aditivos químicos para concretos e cimentos. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

HELENE, Paulo Roberto. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993, 231 f. Tese (Obtenção do título de Professor Livre Docente) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 1993. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44536119/TD1Paulo\\_Helene.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467266165&Signature=cGp%2FXBe0EMKeDkxFKj7aEgUiG0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE\\_DE\\_SAO\\_PAULO\\_ESCOLA\\_POLI-TEC.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/44536119/TD1Paulo_Helene.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467266165&Signature=cGp%2FXBe0EMKeDkxFKj7aEgUiG0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_DE_SAO_PAULO_ESCOLA_POLI-TEC.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2016.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo F. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

ISAIA, Geraldo C. A evolução do concreto estrutural. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

KIRCHHEIM, Ana Paula; PAULON, Vladimir. Nanoestrutura e Microestrutura do Concreto Endurecido. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, Povindar K; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1994.

MINEROPAR. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

NETO, Claudio S. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, Sandra C. B. **Betão Auto-Compactável: tecnologia e propriedades**. 2001. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2001. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11114/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 8 ed. Porto Alegre: Globo, 1981.

ROMANO, et al. Propriedades do concreto no estado fresco. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

SANTOS, Robson A. et al. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. **Revista Holos**, Rio Grande do Norte, v. 5, p. 125-135, nov. 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119/604>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

SATO, Neide M. N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. [São Paulo], [1998]. Disponível em: <[http://www2.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00216.pdf](http://www2.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00216.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2016.

SHEHATA, Lidia C. D. Propriedades Elasto-Plásticas do Concreto. In: ISAIA, Geraldo C (Editor). **Concreto: ciência e tecnologia – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.

SILVA, A. A. A. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. In: **VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO**, 2011, Rio de Janeiro. Gestão de crises para a sustentabilidade. Disponível em: <<http://www.ramosaraujo.com.br/artigos/44307ef376.PDF>>. Acesso em: 28 abr. 2016.