



**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE AGREGADOS DE DISTINTAS
ORIGENS MINERALÓGICAS NAS PROPRIEDADES DO ESTADO
FRESCO E ENDURECIDO DE CONCRETOS DE CIMENTO
PORTLAND**

CURITIBA
2016



ÍTALA ANDREIA RIBEIRO
JURANDIR CESAR HOFFMANN
RENATO MACHADO RIBEIRO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE AGREGADOS DE DISTINTAS
ORIGENS MINERALÓGICAS NAS PROPRIEDADES DO ESTADO
FRESCO E ENDURECIDO DE CONCRETOS DE CIMENTO
PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Tecnologia do Concreto, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Tecnologia do Concreto.

Orientador: Eng. Denis F. Weidmann, M.Sc.

CURITIBA
2016

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que permitiu para que tudo isso acontecesse, ao longo de nossas vidas, não somente nestes anos como graduandos, mas em todos os momentos de dificuldades.

Ao Instituto IDD, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela confiança no mérito e ética aqui presentes.

Aos Coordenadores do Curso de Tecnologia do Concreto M.sc Denis Fernandes Weidmann e M.sc Joelcio Luiz Stocco

Ao nosso Professor Orientador M.sc. Denis Fernandes Weidmann, pela atenção e orientação prestada.

A empresa Pré Fabricar, que disponibilizou funcionários, materiais e laboratório para realização de ensaios.

A Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, em especial ao Professor Rennan Medeiros, pelos ensaios realizados de compressão e módulo de deformação da rocha e da pasta de cimento.

Ao professor da UFSC Dr. Luiz Roberto Prudêncio Junior, que nos auxiliou na realização do ensaio de módulo de deformação do concreto.

A Grace que realizou os ensaios de Calorimetria e Azul de Metileno em especial a Sr. Renan Lobo.

A Empresa Testecon Engenharia pela moldagem dos corpos de prova 5x10 da pasta de cimento, em especial ao Sr. Nelson e ao Eng. André.

A Matchem e Revelux Revestimentos de Luxo, pela cooperação e incentivo para a especialização.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes em nossa vida acadêmica e nosso aprendizado para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constantes.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE AGREGADOS DE DISTINTAS ORIGENS MINERALÓGICAS NAS PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

Por

ÍTALA ANDREIA RIBEIRO

JURANDIR CESAR HOFFMANN

RENATO MACHADO RIBEIRO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM TECNOLOGIA DO
CONCRETO, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) ____ de _____ de _____.

Eng. Denis F. Weidmann, M.Sc.

Eng. Joelcio Luiz Stocco, M.Sc.

Eng. Luiz Roberto Prudencio Junior, Dr.

RESUMO

O presente trabalho avalia a influência do uso de agregados miúdos e graúdos de diferentes origens mineralógicas, comparando as suas propriedades no estado fresco e endurecido em concretos de cimento Portland. Verificando se a origem do agregado influencia no módulo de deformação e na perda de plasticidade, foi avaliado o uso de dois tipos de aditivos, sendo um aditivo plastificante polifuncional redutor de água a base de lignosulfonatos e o outro um aditivo plastificante polifuncional a base de policarboxilato de elevada redução de água, para saber o melhor desempenho de cada aditivo com determinada composição de agregados. Variando apenas a origem mineralógica dos agregados miúdos de britagem e os graúdos escolhidos, sendo gnaiss e granito, foram realizados ensaios de resistência a compressão, calorimetria da pasta do cimento e módulo de deformação, desenvolvendo uma metodologia de estudos, dividida numa primeira fase em estudo dos agregados e numa segunda, em concreto. O método de dosagem do concreto escolhido para determinação do traço, foi o IPT/EPUSP, conhecido como método IBRACON, por ser um método preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, bastante simples e eficiente além de ser um dos mais difundidos. Tem como parâmetro mais importante para concreto estrutural a relação água/cimento, sendo um método que a melhor mistura é aquela que a manutenção proporcional entre os agregados para um mesmo abatimento com diversos consumos de cimento, consome a menor quantidade de água.

Se o projeto especificar resistência a compressão simples, as rochas disponíveis na região mediante um ajuste na curva granulométrica poderão atingir esta exigência. Além da resistência a compressão, também foi exigido o módulo de deformação, e este sempre é definido durante a fase de projeto, então se deve estudar as rochas disponíveis, inclusive suas variantes, para o atendimento destes requisitos. Sendo que não há uma relação entre resistência a compressão simples e módulo de deformação, quando o concreto for produzido com diferentes tipos de agregados. Sendo que os requisitos de resistência à compressão e módulo de deformação devem ser estudados e analisados separadamente.

Os estudos mostraram que a perda de abatimento não sofreu influência do tipo de rocha utilizado, mas sim sofreu influência do tipo de aditivo.

Diferente de literaturas já publicadas, o desempenho dos aditivos policarboxilatos e Lignosulfonatos, não sofreu influência de qualquer um dos dois agregados estudados.

Palavras chave: Agregados, cimento, aditivos, concreto, módulo de deformação, resistência a compressão, método IPT/EPUSP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014)	36
Figura 2. Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto. (MEHTA & MONTEIRO, 2014).	37
Figura 3. Resistência à compressão versus relação água/cimento para uma mesma idade (NEVILLE, 1982).	38
Figura 4. Comportamento típico tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014)	40
Figura 5. Fatores que afetam o módulo de elasticidade do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014).	41
Figura 6. Ensaio de calorimetria da pasta de cimento CP II Z – 32 com aditivo AdL utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017).	47
Figura 7. Ensaio de calorimetria da pasta de cimento CP II Z – 32 com aditivo AdP utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)	48
Figura 8. Curva granulométrica - Areia Natural utilizada (ACERVO DO AUTOR, 2017)	50
Figura 9. Curva granulométrica - Areia industrial de gnaiss utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	52
Figura 10. Curva granulométrica - Areia industrial de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	52
Figura 11. Bloco de rocha onde foram extraídos os corpos de prova para ensaio de módulo de deformação, a esquerda granito e a direita gnaiss (ACERVO DO AUTOR, 2017)	53
Figura 12. Corpos de prova para ensaio de módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)	54
Figura 13. Ensaio de módulo de deformação da rocha (ACERVO DO AUTOR, 2017)	54

Figura 14. Curva granulométrica – Brita 4,75 / 12,5 do gnaiss utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	55
Figura 15. Curva granulométrica – Brita 9,5 / 25 do gnaiss utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	56
Figura 16. Curva granulométrica – Brita 4,5 / 12,5 de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	57
Figura 17. Curva granulométrica – Brita 9,5 / 25 de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	57
Figura 18. Agregados secos para produção de concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)	59
Figura 19. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	61
Figura 20. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	61
Figura 21. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	62
Figura 22. Moldagem dos corpos de prova (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	63
Figura 23. Corpos de prova em tanque de cura (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	64
Figura 24 Ensaio de resistência à compressão cilíndrica de 10x20 cm (ACERVO DO AUTOR, 2017)	65
Figura 25. Equipamento utilizado no ensaio de módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)	66
Figura 26. Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de elasticidade – Método A – Tensão σ_a fixa (ACERVO DO AUTOR, 2017)	67

Figura 27. Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de elasticidade – Método A – Tensão σ_a fixa (ACERVO DO AUTOR, 2017)	68
Figura 28. Ensaio de resistência compressão da pasta de cimento CP II Z – 32 utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)	69
Figura 29 Ensaio do módulo de deformação da pasta de cimento CP II Z – 32 utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)	70
Figura 30. Resistência a compressão e módulo de deformação da pasta de cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	71
Figura 31. Diagrama de dosagem para resistência a compressão (ACERVO DO AUTOR, 2017)	72
Figura 32. Curva de Abrams (ACERVO DO AUTOR, 2017)	74
Figura 33. Relação água/cimento x Módulo de Deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)	75
Figura 34. Módulo de deformação X Consumo de cimento (ACERVO DO AUTOR, 2017)	77
Figura 35. Módulo de deformação x Fck (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físicas, químicas e mecânicas do cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	46
Tabela 2. Características técnicas do aditivo AdL utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	48
Tabela 3. Características técnicas do aditivo AdP utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	49
Tabela 4. Características químicas da água utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	49
Tabela 5. Características físicas do agregado miúdo – Areia Natural utilizado (Acervo do autor, 2017)	50
Tabela 6. Características físicas do agregado miúdo – Areia Industrial utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	51
Tabela 7. Características físicas do agregado graúdo, gnaisse utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	55
Tabela 8. Características físicas do agregado graúdo, granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)	56
Tabela 9. Resistência a compressão e módulo de deformação da pasta de cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	70
Tabela 10. Perda de abatimento dos concretos (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	73
Tabela 11. Abrams (ACERVO DO AUTOR, 2017)	74
Tabela 12. Relação água/cimento x módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)	76
Tabela 13. Módulo de deformação x Consumo de cimento (ACERVO DO AUTOR, 2017)	77
Tabela 14. Módulo de deformação X Fck (ACERVO DO AUTOR, 2017).....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C – Relação água/cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AdL – Aditivo base Lignosulfonato

AdP – Aditivo base Policarboxilato

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

GNS – Gnaisse

GPa – Gigapascal

GRN - Granito

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

MPa - Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	2
FOLHA DE APROVAÇÃO	3
RESUMO	4
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	5
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	9
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. Objetivo geral	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3. HIPÓTESE.....	16
1.4. JUSTIFICATIVAS	16
1.4.1. Tecnológicas.....	16
1.4.2. Econômicas	17
1.4.3. Sociais	17
1.4.4. Ecológicas	18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. CONCEITO E DEFINIÇÕES.....	19
2.1.1. Concreto de Cimento Portland	20
2.2. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES	21
2.2.1. Cimento Portland.....	21
2.2.2. Os Agregados	22
2.2.2.1. Classificação dos Agregados Quanto à Origem	22

2.2.2.2. Classificação Quanto à Dimensão dos Grãos	23
2.2.3. Origem mineralógica dos agregados britados	24
2.2.3.1. Rochas.....	24
2.2.4. Composição Granulométrica.....	25
2.2.4.1. Módulo de Finura.....	25
2.2.5. Material Pulverulento	26
2.2.6. Materiais Deletérios	26
2.2.7. Azul de Metileno	27
2.2.8. Aditivos	27
2.2.8.1. Aditivo Plastificante	28
2.2.8.2. Aditivo Superplastificante tipo I e tipo II	28
2.2.9. Classificação e Bases Químicas dos Aditivos.....	29
2.2.9.1. Plastificantes	29
2.2.9.2. Polifuncionais	29
2.2.9.3. Superplastificantes tipo I	30
2.2.9.4. Superplastificantes tipo II	30
2.2.9.5. Fatores que Interferem no Desempenho	32
2.2.9.6. Água para Concreto	32
2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	33
2.3.1. Trabalhabilidade	33
2.3.2. Consistência.....	33
2.3.3. Coesão	34
2.3.4. Esxudação, retração plástica.....	34
2.3.5. Segregação.....	35
2.4. CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	35
2.4.1. Condições de cura	36
2.4.2. Resistência a compressão de corpos de prova.....	36
2.4.3. Relação água/cimento.....	37
2.4.4. Módulo de deformação do concreto	38

2.4.5. Fatores que afetam no módulo de deformação do concreto.....	39
2.4.6. Dosagem do concreto	41
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	45
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	45
3.2. MATERIAS EMPREGADOS	45
3.2.1. Cimento	45
3.2.2. Aditivo.....	46
3.2.3. Água	49
3.2.4. Agregados miúdos.....	49
3.2.5. Agregados graúdos.....	53
3.3. DOSAGEM DO CONCRETO	58
3.3.1. Fabricação do concreto.....	59
3.3.2. Abatimento do tronco de cone (slump test)	60
3.3.2.1. Perda de abatimento.....	62
3.4. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	63
3.4.1. Cura do concreto	63
3.5. ENSAIOS DO CONCRETO ENDURECIDO	64
3.5.1. Ensaio de resistência à compressão (fc)	64
3.5.2. Ensaio para determinação do módulo de deformação.....	65
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
4.1. AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS	68
4.2. CIMENTO CP II Z-32	69
4.3. CONCRETOS	71
4.3.1.1. Perda de abatimento dos concretos.....	72
4.3.1.2. Curva de Abrams dos concretos	73
4.3.1.3. Relação água/cimento X Módulo de deformação.....	75
4.3.1.4. Módulo de Deformação X Consumo de Cimento	76
4.3.1.5. Módulo de Deformação X f_{ck}	77

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concorrência e da visão de sustentabilidade vem exigindo a busca por soluções mais objetivas com menor custo, maior durabilidade e desempenho das matérias primas para a fabricação de quaisquer produtos.

Em concreto não seria diferente, onde a escolha dos materiais componentes é de suma importância para a composição dos traços de concreto a serem fabricados. Conforme o material escolhido, terá o concreto maior ou menor consumo de cimento Portland, principal insumo/componente ou aglomerante na sua fabricação, e que também é o que representa maior custo individual na composição de concreto de cimento Portland.

Estes custos estão vinculados ao investimento das empresas na produção dos componentes de quaisquer produtos e vem crescendo por vários motivos. O principal ainda é o custo menor a ser desembolsado na fabricação. Portanto, a busca por fornecedores que ofereçam menor custo na composição de preços de um produto a ser fabricado, é uma constante.

Além da busca pelo menor custo, a durabilidade garante ao fabricante e ao consumidor menor custeio na recuperação, reparo e manutenção do produto, seja por qual motivo for. Com este fator em evidência, as reservas dos minerais dispostos na natureza sofrem menor redução.

Para Mehta e Monteiro (2008), 12% do concreto comum é cimento Portland, água representa 8% e agregados, 80%. Assim, o desempenho dos agregados inertes, areias e britas, ganham importância significativa na composição de custos durante a fabricação do concreto.

Para Verçosa (2015), presentemente, a tecnologia avança com rapidez e o engenheiro precisa estar atualizado para poder aproveitar as técnicas mais avançadas, utilizando materiais de melhor padrão e menor custo.

Nos últimos 15 anos e com a aceleração do consumo, vem crescendo o tempo dispensado por empresas e profissionais na busca de melhoria no produto

final ofertado. É neste sentido que este trabalho será focado, avaliar o uso de agregados miúdos e graúdos de distintas origens mineralógicas nas propriedades do estado fresco e endurecido de concretos de cimento Portland.

Com o propósito de obter melhor resultados como, maior resistência, durabilidade, neste trabalho serão desenvolvidos traços de concreto utilizando alguns tipos de agregados provenientes de origens mineralógicas diferentes e diferentes aditivos, avaliando qual traço apresentará melhor resultado nos ensaios realizados.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A utilização de agregados miúdos e graúdos de distintas origens mineralógicas interfere nas propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos de cimento Portland?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Comparar as propriedades dos concretos de cimento Portland com uso de agregados graúdos e miúdos de distintas origens mineralógicas, nos estados fresco e endurecido.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Verificar a influência do tipo de agregado na perda de plasticidade.
- b) Verificar a influência do tipo de agregado no desempenho de 2 tipos de aditivos;
- c) Verificar a influência da resistência a compressão simples de 2 tipos de agregados.

1.3. HIPÓTESE

A origem mineralógica vai influenciar nas propriedades do estado fresco e endurecido de concretos de cimento Portland.

1.4. JUSTIFICATIVAS

É necessário que se avalie tecnologicamente, economicamente, socialmente e ecologicamente as pesquisas realizadas, para que seja conhecido o que motivou a desenvolver o trabalho em estudo.

1.4.1. Tecnológicas

Do ponto de vista tecnológico, a produção de traços de concreto com agregados de diferentes origens mineralógicas e diferentes aditivos, terá uma grande importância, devido a busca por melhores resultados. Avaliando a cada traço o que melhor desempenhar maior durabilidade, maior resistência e consequentemente buscando um menor custo. Este trabalho tem como fundamentação aferir dentre os materiais estudados, qual seria o melhor para utilização em concreto de cimento Portland. A escolha do material, muitas vezes passa por ensaios de granulometria, onde é apresentada dados da composição granulométrica, módulo de finura, massa específica, massa aparente, teor de argila e materiais deletérios. Outros estudos como módulo de elasticidade, características petrográficas, dureza, estabilidade química e física, e reação álcali-agregado, também importantes, e que determinam durabilidade e resistência a agressões internas e externas, passam despercebidas. As empresas detentoras do conhecimento e determinação das características dos materiais utilizados para a fabricação de concreto de cimento Portland terão maior confiabilidade e sustentabilidade aos projetos que cada uma delas se proporá a executar. Este estudo quer mostrar que independentemente do tamanho da empresa e da sua localização,

o estudo dos materiais componentes de seu produto, determinará a confiabilidade que nele será depositado.

1.4.2. Econômicas

Do ponto de vista econômico, apesar do agregado custar menos que o cimento, quanto mais agregado e menos cimento se usar no concreto, mais econômico este será. Além disso, o agregado confere vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura.

A busca por um traço com melhores desempenhos, como boa resistência, maior durabilidade, só terá de fato um resultado viável para ser produzido, se apresentar baixo custo.

1.4.3. Sociais

O tema escolhido para trabalho tem bastante a ver com o ponto de vista social, pois o resultado poderá mostrar ao público e empresas de cada região, qual material é o mais adequado para a produção de concreto de cimento Portland em cada localidade, dependendo das ofertas. Com isto, todos os produtores de concreto de cimento Portland, de cada localidade atingida pelos materiais estudados poderão se beneficiar dos resultados. Mesmo que não estejam contemplados com os materiais aqui estudados, o conhecimento de que há como melhorar e também estudar os agregados encontrados na região, dará luz aos produtores de concreto de cimento Portland, de que existem métodos de estudos específicos para qualificar os materiais disponíveis e ofertados para sua produção. O benefício social é imenso, uma vez que as empresas, sabedoras de que existe como melhorar seu produto lançando mão deste estudo, poderão optar pelo que melhor lhe der resultado.

1.4.4. Ecológicas

A preocupação com o ambiente vem cada vez mais sendo notada por todas as esferas governamentais. Para tanto as empresas precisam ir se adequando as regras e normas vigentes em cada situação. A extração de materiais pétreos vem sendo largamente cuidada por órgãos como DNPM, FATMA e Organizações Não Governamentais. Comunidades inteiras têm sido prejudicadas em função do mau uso ou desperdício dos materiais fósseis. A escolha do melhor material a ser usado na composição de um produto passa por várias etapas. Após o estudo de cada matéria prima a ser utilizada, as empresas devem fazer levantamento de qual dentre os ofertados, será o melhor a ser utilizado. Para tanto, definições como degradação ambiental, distância entre jazida e fábrica, estado de conservação dos trechos que serão utilizados para tráfego, tempo de transporte, custo para conservação do ambiente utilizado, custo final do produto, e outros mais.

Diante destes aspectos a serem considerados, as empresas terão subsídios para a determinação de qual o melhor material que será utilizado. Por vezes, este melhor, não é o melhor resultado de ensaios em laboratório. Pois, o peso dos custos totais tem forte decisão pelas escolhas.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Adotou-se como método de pesquisa, bem como, quanto ao seu procedimento, o programa experimental, onde proceder-se-á o levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão acerca do tema escolhido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para poder entender e iniciar o trabalho realizado, foi necessário o estudo passo a passo, métodos e materiais que utilizados para posteriormente poder seguir a metodologia do trabalho necessário por busca de melhores resultados.

2.1. CONCEITO E DEFINIÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas considerações a respeito das resistências a compressão e módulo de deformação dos concretos de cimento Portland dosados com agregados de diferentes origens mineralógicas.

A importância da escolha adequada do tipo e qualidade dos agregados, não pode ser subestimada. Os agregados, tanto o graúdo como o miúdo, apesar de ocuparem geralmente de 60% a 80% do volume do concreto, eram comumente tratados como material de enchimento, inerte, destinado a baratear o custo final de produção do concreto. Com o desenvolvimento dos estudos do concreto de cimento Portland, o conceito do agregado como material de enchimento vem sendo drasticamente modificado, e a sua influência nas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido, nas proporções na mistura e no seu custo, vem tomando maior destaque (MEHTA & MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997; SBRIGHI NETO, 2011).

Com uma melhor compreensão do papel dos agregados, pôde-se então verificar que muitas propriedades do concreto são influenciadas pelas suas características, tais como: composição granulométrica, forma e textura superficial, porosidade, absorção de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade e a presença de substâncias deletérias (MEHTA & MONTEIRO, 2008; SBRIGHI NETO, 2011).

2.1.1. Concreto de Cimento Portland

Kaefer (1998), define o concreto em sua natureza básica como “Material plástico, que é moldado de maneira a adquirir a forma desejada antes que desenvolva um processo de endurecimento, adquirindo resistência suficiente para resistir sozinho aos esforços que o solicitam.”.

No entanto, adaptando o conceito para a atual realidade,

Concreto é uma mistura simples de cimento, areia, pedra e água. O cimento é considerado aglomerante, já que tem a propriedade de ser ligante, ou seja, permite que areia e pedra, chamados agregados, formem uma mistura ‘ligada’ com alguma homogeneidade, que após seca, torna-se sólida. (ADÃO & HEMERLY, 2010, p.01).

De acordo com Tutikian e Helene (2011), é chamado de dosagem ou traço a proporção entre todos os materiais que compõe o concreto.

Hoje, deve-se considerar como materiais passíveis de uso nos concretos e possíveis de serem utilizados num estudo de dosagem: os vários cimentos, os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos, as adições, os pigmentos e as fibras. Com relação aos agregados, pode ser feita distinção entre agregados reciclados, artificiais ou industrializados e naturais. (TUTIKIAN & HELENE, 2011, p. 415).

Com o cimento Portland, tornou-se possível o concreto, um material pétreo moldável, com o formato e as dimensões que se desejam, por ser um produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas como, cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras.

O concreto constitui-se por uma mistura de água, cimento e agregados inertes, em partículas de diversos tamanhos. A água e o cimento, quando recém misturados, formam uma pasta que com o tempo se endurece adquirindo resistência mecânica e aderindo as partículas do agregado. Dessa forma ela liga as partículas entre si e constitui um material resistente que preenche os vazios entre essas partículas, formando-se um material monolítico com característica de uma

pedra, que depende para obter boa resistência de fatores como: resistência do agregado, da pasta (coesão) e da ligação pasta-agregado (aderência).

Os agregados eram tidos no início como materiais inertes, de baixo custo, dispersos na pasta do cimento de forma a produzir um grande volume de concreto. Na realidade eles não são realmente inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e algumas vezes químicas influenciam no desempenho do concreto, por exemplo, melhorando a sua estabilidade dimensional e durabilidade em relação às pastas do cimento (NEVILLE & BROOK, 1992).

O uso de agregados apresenta característica muito importante para a tecnologia do concreto: porosidade, composição granulométrica, absorção da água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade, tipos de substâncias deletérios presentes, tendo influência sobre as propriedades do concreto tanto no estado fresco como o endurecido. No estado fresco porosidade ou a massa específica, composição granulométrica, permeabilidade, forma e textura superficial dos agregados, e no estado endurecido, resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade e sanidade.

2.2. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

Os materiais em estudo foram pesquisados um a um para que a partir das especificações encontradas se pudesse iniciar os ensaios com menor risco de erro possível, assim estudou-se todas as matérias primas, água e aditivos utilizados.

2.2.1. Cimento Portland

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento Portland, conhecido e popularizado na construção civil apenas como cimento, é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece em presença de água, não recuperando as propriedades iniciais depois de endurecido.

A grande versatilidade nas aplicações do cimento Portland, nos distintos tipos de obras civis, explica seu grande consumo em âmbito mundial, com perspectiva de atingir, em 2050, cerca de cinco bilhões de toneladas, segundo a Agência Internacional de Energia.

O consumo apreciável de energia, durante o processo de fabricação do cimento Portland, motivou mundialmente esse segmento industrial na busca de medidas para diminuição do consumo energético. Uma das alternativas de sucesso foi o uso de escorias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos e, também, de fíller calcário na composição dos chamados cimentos com adições.

De acordo com a especificação brasileira para cimento Portland pozolânico, os materiais pozolânicos constituem de 15% a 50% da massa total do aglomerante (BATTAGIN, 2011).

2.2.2. Os Agregados

Entende-se por agregado o material granular sem forma e volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.

São agregados, as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha.

Os agregados desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade tem resistência mecânica superior à da pasta de cimento (PETRUCCI, 1978).

2.2.2.1. Classificação dos Agregados Quanto à Origem

Os agregados podem ser classificados à origem em:

- a) **Naturais**, encontrados na natureza já preparados para o uso sem outro beneficiamento que não seja a lavagem (quando for o caso, sua classificação granulométrica, geralmente, é feita por peneiramento), como, por exemplo, areia de rio, pedregulho, areia de cava, etc.;
- b) **Britados**, submetidos ao processo de cominuição, geralmente por britagem, para que possam adequar-se ao uso como agregado para concreto, como pedra britada, como pedrisco, como pedregulho britado etc.;
- c) **Artificiais**, derivadas de processos industriais, como argila expandida e peletizada, o folhelho expandido por tratamento térmico, a vermiculita expandida, etc.;
- d) **Reciclados**, que podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado ou proveniente do beneficiamento de entulho de construção ou demolição selecionado para esta aplicação. Exemplos: escória de alto-forno, entulho de construção/demolição (SBRIGHI NETO, 2011).

2.2.2.2. Classificação Quanto à Dimensão dos Grãos

Os agregados, quanto à dimensão dos grãos, são classificados segundo Sbrighi Neto (2011), em agregado graúdo e agregado miúdo:

- a) **Agregado graúdo**, segundo a norma NBR 7211:2009, é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 152mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm;
- b) **Agregado miúdo** é aquele que cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075mm.

2.2.3. Origem mineralógica dos agregados britados

Os agregados naturais constituem a classe mais importante de agregados para a produção de concreto de cimento Portland. Agregados naturais são derivados de rochas de vários tipos; sendo que a maioria das rochas é composta por vários minerais. Um mineral é definido como toda a substância inorgânica de ocorrência natural com composição química mais ou menos definida e usualmente com uma estrutura cristalina específica. Uma revisão elementar dos aspectos de formação geológica e a classificação das rochas e minerais são essenciais para o entendimento não apenas do porque alguns materiais são frequentemente mais usados como agregados do que os outros, mas também das relações microestrutura-propriedades do agregado. (NEVILLE, 1997).

Ressalta-se ainda que, segundo Neville (1997), o exame mineralógico do agregado é útil para avaliar sua qualidade e permitir a detecção de propriedades indesejáveis como, por exemplo, a presença de algumas formas instáveis de sílica. Além disso, ainda permite a comparação de um agregado com desempenho conhecido, com outro ainda não conhecido.

2.2.3.1. Rochas

As rochas são classificadas de acordo com a origem em três grupos principais: ígneas, sedimentares e metamórficas; estes grupos são ainda subdivididos de acordo com a composição química e mineralógica, textura ou granulação, e estrutura cristalina.

As ígneas são resultantes da solidificação do magma do interior da crosta terrestre e, como exemplos, estão os granitos e basaltos. As rochas sedimentares são resultantes da consolidação de sedimentos, e como exemplos mais comuns, se apresentam os calcários e arenitos. As rochas metamórficas são derivadas dos outros dois grupos, que sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, devido a alterações das condições físicas e químicas, e como exemplo, estão os gnaisses e mármore.

2.2.4. Composição Granulométrica

Denomina-se composição granulométrica de um agregado a proporção relativa, expressa em porcentagem (%), dos diferentes tamanhos de grãos que se encontram constituindo o todo. Pode ser expressa pelo material que passa ou pelo material retido, por peneira ou acumulado.

Esta composição granulométrica tem uma grande influência nas propriedades futuras das argamassas e concretos confeccionados com esse agregado (PETRUCCI, 1978).

A granulometria dos agregados exerce grande influência sobre as propriedades do concreto e em especial na trabalhabilidade e no custo (MEHTA & MONTEIRO, 2008; SBRIGHI NETO, 2011). Uma curva granulométrica adequada é essencial para que se produza um concreto mais econômico, pois isso afeta a quantidade de concreto que pode ser feita com uma dada quantidade de materiais cimentícios e água.

Conforme Sbrighi Neto (2005 *apud* WEIDMANN, 2008) são também habitualmente utilizados como referência para avaliar a composição granulométrica a dimensão máxima característica e o módulo de finura. Dimensão máxima característica é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa; já módulo de finura corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

2.2.4.1. Módulo de Finura

Está relacionado com a área superficial do agregado e conseqüentemente altera a água de molhagem para uma certa consistência. Deve ser mantido constante dentro de certos limites para evitar a alteração do traço (HELENE & TERZIAN, 1993).

Segundo Albuquerque (2015), o módulo de finura do agregado miúdo influi na definição da quantidade de água e, portanto, na da quantidade de cimento: quanto menor o módulo de finura, ou quanto maior a superfície específica, tanto mais água será necessária e, portanto, mais cimento para manter o fator água/cimento preestabelecido.

2.2.5. Material Pulverulento

De maneira geral, um alto teor de material pulverulento presente nas areias aumenta a superfície específica, requerendo mais água para uma mesma trabalhabilidade. Consequentemente, com o aumento da demanda de água, a qualidade do concreto é negativamente afetada (CELIK & MARAR, 1996; NEVILLE, 1997).

Já no agregado graúdo o material pulverulento pode eventualmente criar sobre os grãos uma camada de material pulverulento, que viria a prejudicar a aderência da argamassa; mais uma causa de redução do desempenho do concreto (ALBUQUERQUE, 2015).

O material pulverulento é determinado pelo método de ensaio NBR 7218:2010, sendo especificados limites de acordo com a finalidade do concreto.

2.2.6. Materiais Deletérios

São minerais trazidos pelo agregado que podem prejudicar o concreto quanto à resistência (matéria orgânica, materiais pulverulentos), aspecto (argila, materiais carbonosos), resistência ao desgaste superficial (material pulverulento).

Segundo Neville (1997), há três grandes categorias de substâncias deletérias que podem ser encontradas nos agregados: impurezas que interferem com o processo de hidratação do cimento, películas que impedem a aderência efetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada, e algumas partículas que são fracas ou não sãs. Todo o agregado ou parte dele também pode ser prejudicial devido a reações químicas com a pasta de cimento.

No conceito de Mehta e Monteiro (1994), substâncias deletérias são aquelas que estão presentes como constituintes minoritários, tanto nos agregados graúdos quanto nos miúdos, mas que são capazes de prejudicar a trabalhabilidade, a pega e endurecimento e as características de durabilidade do concreto.

A norma que limita a presença a materiais deletérios encontrados no agregado miúdo é a NBR 7211:2009.

2.2.7. Azul de Metileno

Os testes usados para determinar a qualidade dos agregados para concreto são, geralmente, granulometria, massa específica, a quantidade de material passante na peneira de malha 0,075 mm e, mesmo que de maneira empírica, a forma dos grãos.

Os agregados miúdos de britagem podem possuir uma quantidade ainda maior de material passante na peneira de 0,075 mm, quando comparado aos agregados naturais. No caso das areias de britagem, este material pulverulento pode ser composto de partículas com o tamanho de argilas e não composto de argilo-minerais efetivamente.

O método do Azul de Metileno mede a quantidade e a natureza de potenciais materiais deletérios: quanto maior o valor do azul de metileno, maior a quantidade de argilo-minerais ou certa quantidade argilo-minerais bastante reativos. Com relação aos tipos de rochas, as ígneas tendem a apresentar valores maiores de Azul de Metileno devido à constante presença de esmectita (KANDHAL *et al.*, 1998).

2.2.8. Aditivos

A NBR 11768:2011, define aditivo sendo “ 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. ”

No concreto são adicionados aditivos químicos para modificar uma ou mais características cujas quantidades variam de acordo com a quantidade de cimento empregado no traço que proporcionam vantagem às propriedades de engenharia nos estados fresco e endurecido.

Segundo Coutinho (1997), os romanos adicionavam clara de ovo, sangue, banha ou leite à concretos e argamassas rudimentares para melhorar a trabalhabilidade das misturas.

No final do século XIX, com a invenção do cimento Portland, a função dos aditivos evoluiu devido ao seu benefício à trabalhabilidade e durabilidade de misturas cimentícias.

Desde então, a possibilidade de o uso de aditivos plastificantes para melhorar as características do concreto, em muitos casos inibe a utilização de cimentos de melhores reações tanto iniciais quanto finais.

A adição de aditivos tanto na confecção de cimento, quanto na fabricação de concreto, tende a dar melhoras significativas ao produto final acabado.

2.2.8.1. Aditivo Plastificante

Plastificante: aditivo, que sem alterar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir a quantidade de água de amassamento de um concreto; ou que sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto aumentando a plasticidade e fluidez; e até mesmo, pode ter os dois efeitos simultaneamente. Cada um dos efeitos será produzido conforme a necessidade de projeto.

2.2.8.2. Aditivo Superplastificante tipo I e tipo II

Superplastificantes: aditivo, que sem alterar a consistência do concreto no estado fresco, permite alta redução da quantidade de água de amassamento de um concreto; ou que sem alterar a quantidade de água, modifica substancialmente

a consistência do concreto aumentando a plasticidade e fluidez; e até mesmo, pode ter os dois efeitos simultaneamente. Cada um dos efeitos será produzido conforme a necessidade de projeto.

Conforme dosagem, tipo de aditivo redutor de água, tipo de cimento e até necessidade de projeto, funções como retardo, aceleração ou mesmo neutralidade dos tempos de início e fim de pega do concreto, poderão ser observadas.

2.2.9. Classificação e Bases Químicas dos Aditivos

Ainda conforme NBR 11768:2011, os aditivos redutor de água tem a seguinte classificação e bases químicas:

2.2.9.1. Plastificantes

- a) PR – Plastificante retardador do tempo de pega do concreto
- b) PA – Plastificante acelerador do tempo de pega do concreto
- c) PN – Plastificante neutro quanto ao tempo de pega do concreto

Obs.: aditivos de primeira geração, tendo como base química lignosulfonatos – dosagens usuais de 0,2 a 1,0% s.p.c.

2.2.9.2. Polifuncionais

- a) PR – Plastificante retardador do tempo de pega do concreto
- b) PA – Plastificante acelerador do tempo de pega do concreto
- c) PN – Plastificante neutro quanto ao tempo de pega do concreto

Obs.: aditivos de primeira geração, tendo como base química lignosulfonatos – dosagens usuais de 0,3 a 1,2% s.p.c.

2.2.9.3. Superplastificantes tipo I

- a) SPI R – Superplastificante tipo I, retardador do tempo de pega do concreto.
- b) SPI A – Superplastificante tipo I, acelerador do tempo de pega do concreto.
- c) SPI N – Superplastificante tipo I, neutro quanto ao tempo de pega.

Obs.: aditivos de segunda geração, tendo como base química naftaleno sulfonato e melamina sulfonato – dosagens usuais de 0,5 a 1,5% s.p.c.

2.2.9.4. Superplastificantes tipo II

- a) SPII R – Superplastificante tipo II, retardador do tempo de pega do concreto.
- b) SPII A – Superplastificante tipo II, acelerador do tempo de pega do concreto.
- c) SPII N – Superplastificante tipo II, neutro quanto ao tempo de pega.

Obs.: aditivos de segunda geração, tendo como base química policarboxilatos ou poliacrilatos – dosagens usuais de 0,4 a 1,2% s.p.c.

Recentemente (2013), outro tipo de aditivo está em uso e que está denominado como MidRange, vem ganhando mercado. Este tipo de aditivo, como os superplastificantes proporcionam alta redução de água de amassamento e longos períodos de plasticidade. Sua base química está composta de lignosulfonato e policarboxilatos. O uso deste aditivo está produzindo excelentes efeitos nos concretos que exigem baixo consumo de água, resistências iniciais elevadas e tempos prolongados de plasticidade do concreto. É possível trabalhar o tempo de trabalhabilidade conforme as necessidades de projeto, condições climáticas e aplicação. Uma característica que se destaca é a resistência inicial elevada. Além de trazer para o mercado uma nova faixa de slump, o ajuste de abatimento na obra, fica bastante reduzido na reposição com água para o atendimento.

Este tipo de aditivo permite que o controle seja feito na própria central de concreto.

Os aditivos plastificantes, ou redutores de água, entram como auxiliares para atingir o mínimo de três propósitos:

1. Se desejamos aumentar a resistência do concreto é necessário que o fator a/c seja diminuído. Então, ao adicionarmos um aditivo plastificante, permitiremos que este fator seja reduzido, e com a dosagem adequada do aditivo, poderemos manter a mesma plasticidade como se a água retirada no momento da dosagem, ainda estivesse no conjunto do traço;
2. O calor liberado durante a hidratação do cimento em concreto massa, afeta a estrutura geral do projeto e pode provocar fissuras, e até rachaduras, durante o processo chamado “pega do concreto” (na prática, os tempos de pega referem-se às etapas do processo de endurecimento do cimento, e como consequência, também do concreto. A NBR NM 65:2003 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega, utiliza a pasta de consistência normal (NM 43:2002) e o aparelho de Vicat. No item 3.1 define o conceito de início de pega; no item 3.2 define o conceito de fim de pega). A utilização de aditivos plastificantes permite a redução do consumo de cimento, e com isto reduzir até de forma substancial o calor de hidratação mantendo as características de resistência e plasticidade do concreto conforme exigência de projeto.
3. Aumentar a trabalhabilidade do concreto para facilitação de lançamento em locais de difícil acesso, e até mesmo inacessíveis.

Segundo Neville e Brook (2015) definem que “os principais componentes dos aditivos redutores de água são agentes que se concentram na interface entre duas fases imiscíveis e que alteram as forças físico-químicas nessa interface”.

Adsorvidos pelas partículas de cimento, estes agentes dão a elas cargas negativas, causando repulsão entre as partículas e isto resulta na estabilidade na dispersão das partículas. A carga negativa descarregada separa a água das partículas de cimento. Com isto as partículas de cimento e água tem grande mobilidade independente uma da outra, e água, livre, lubrifica a mistura aumentando a trabalhabilidade.

2.2.9.5. Fatores que Interferem no Desempenho

O uso de aditivos plastificantes permite a redução a água de amassamento em quantidades que variam de 5% a 15%. A diminuição da água de amassamento depende também de alguns fatores alheios à ação do aditivo. Tipo de cimento, as adições que compõem o cimento, os agregados, composição granulométrica e origem. Essencial que se façam ensaios dos componentes do concreto independentes um do outro. Assim, ao associarmos todos numa mistura, poderemos evitar efeitos indesejáveis como segregação, exsudação e perda de abatimento não esperada.

2.2.9.6. Água para Concreto

É usual dizer-se que toda água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos. A recíproca, porém, não é verdade, pois muitas águas utilizadas sem danos no concreto não podem ser ingeridas pelo homem.

A água usada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento (PETRUCCI, 1978).

A água utilizada na produção de concreto deve seguir os requisitos apresentados na NBR 15900-1:2009, onde estabelece a utilização da água de acordo com sua origem, indicando a necessidade ou não de ensaios.

2.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Embora o concreto fresco tenha interesse apenas transitório, deve ser ressaltado que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciada pelo grau de adensamento. Portanto é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação.

2.3.1. Trabalhabilidade

Segundo Giammusso (1992), logo após a mistura dos materiais constituintes, o concreto se apresenta no estado fresco, condição que permite que seja lançado nas fôrmas, preenchendo-as completamente e possibilitando seu adensamento, eliminando-se os vazios e obtendo-se uma massa compacta. A presença de vazios no concreto pode prejudicar não só o aspecto e a proteção da estrutura, como pode afetar seriamente a resistência.

A característica para que um concreto seja bem adensado é a trabalhabilidade, isto é, a adequação da sua consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento.

As características do concreto fresco relacionadas com a trabalhabilidade são: consistência e coesão.

2.3.2. Consistência

Segundo Giammusso (1992), depende principalmente da quantidade de água da mistura. Aumentando a quantidade de água, a mistura fresca se torna mais mole, mais plástica, mais trabalhável.

A necessidade, ou demanda, de água é função da área superficial total das partículas de material sólido – cimento agregados – e da consistência desejada. Em geral aumentando-se o tamanho máximo do agregado graúdo diminui-se a área total das partículas e a demanda de água para uma mesma consistência, que pode

ser medida por diversos métodos, sendo o mais utilizado o método do abatimento do tronco de cone – slump.

2.3.3. Coesão

Propriedade pela qual os concretos se mantêm misturados, isto é, seus componentes não se separam. Na prática avalia-se a coesão do concreto pelo aspecto da mistura, onde os agregados não tendem a se mostrar limpos ou lavados, as bordas das misturas se mostram convexas, como gotas de líquido que não se espalham sobre uma superfície e não se nota nenhuma tendência de separação de água ou pasta, principalmente nas bordas da mistura.

Os fatores que influem sobre a coesão dos concretos são: teor de finos, ar incorporado e proporção de água. (GIAMMUSSO, 1992).

2.3.4. Exsudação, retração plástica

Também conhecida como separação de água, é uma forma de segregação em que parte da água da mistura tende a subir para a superfície e um concreto recém aplicado. É resultado do fato de que os constituintes sólidos da mistura ser incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é que tem a menor massa específica. (NEVILLE, 1997).

Segundo Giammusso (1992), quando o concreto devido à falta de finos, não consegue reter água, esta sobe, acumulando-se na superfície livre do concreto ainda fresco. Se esta água se evaporar rapidamente o concreto sofre uma forte retração com fissura intensa, como ocorre no concreto ainda no estado plástico, este fenômeno é denominado retração plástica. Além da retração plástica, a exsudação tem outros efeitos nocivos, pois a água, na ascensão através do concreto, abre uma grande quantidade de canalículos e, encontrando partículas maiores de agregado e barra de armadura, forma bolsas na parte inferior, prejudicando a aderência e a resistência do concreto.

2.3.5. Segregação

A segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição deixe de ser uniforme, no caso do concreto, as diferenças de tamanho das partículas e das massas específicas dos constituintes da mistura são as causas primárias da segregação, que podem ser controladas por uma granulometria adequada e por cuidados no manuseio. (NEVILLE, 1997).

Ainda segundo Neville (1997), existe duas formas de segregação. Na primeira, as partículas maiores de agregados tendem a se separar porque tendem a se deslocar ao longo de declives ou a sedimentar mais do que as partículas menores. A segunda forma de segregação, que ocorre particularmente em misturas com muita água, se manifesta pela separação de uma pasta (cimento e água) da mistura. Com algumas granulometrias, quando se usa misturas pobres, pode ocorrer o primeiro tipo de segregação se a mistura estiver muito seca; a adição da água pode melhorar a coesão da mistura, mas quando houver excesso de água pode ocorrer o segundo tipo de segregação.

2.4. CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

O concreto endurecido de boa qualidade depende das propriedades encontradas no concreto em estado fresco, pois sua resistência é limitada particularmente pelo teor de água e cimento da pasta. As propriedades desejadas para o concreto fresco são as que propiciem fácil transporte, lançamento e adensamento sem que haja a segregação dos agregados, ou seja, que possua trabalhabilidade e coesão. Tais propriedades tem a finalidade de fornecer concreto com a resistência desejada, estabilidade de volume, durável e com baixa permeabilidade, apresentando homogeneidade com o mínimo de vazios. (NEVILLE & BROOK, 2013).

2.4.1. Condições de cura

De acordo com Nunes (2005) cura é o conjunto de medidas com o objetivo de evitar a perda de água pelo concreto, água essa necessária para o processo de hidratação do cimento. A temperatura de cura, duração de cura e a umidade influenciam na cura do concreto e, conseqüentemente, na sua resistência. A figura 1 mostra a influência do tempo e as condições de cura ao longo do tempo.

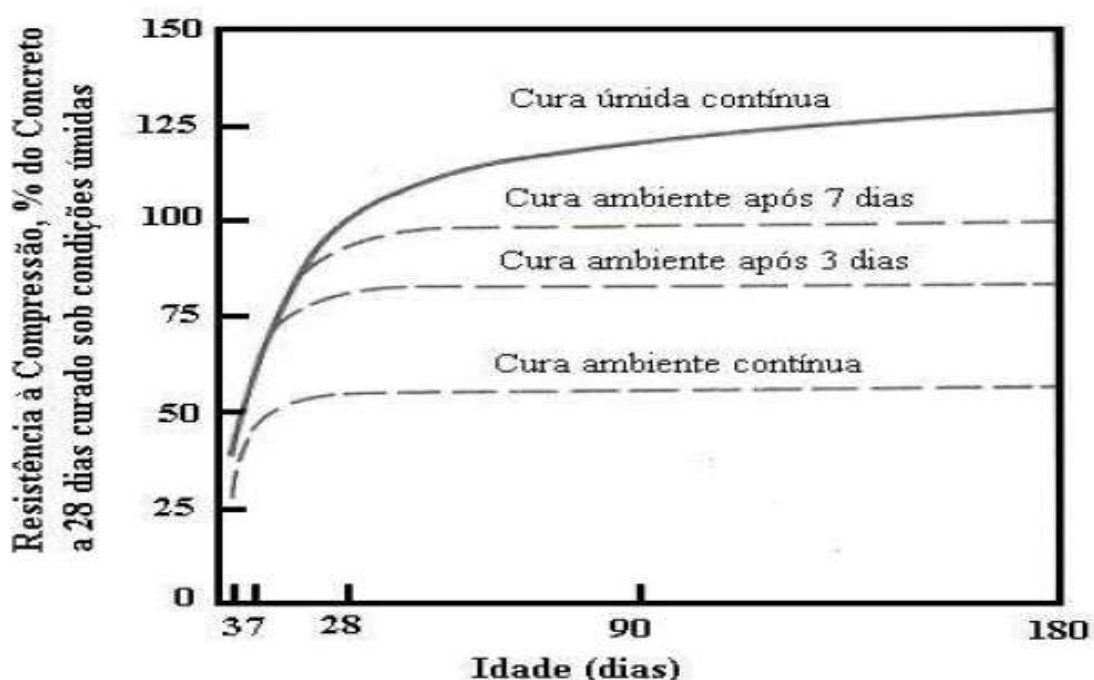


Figura 1. Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014)

2.4.2. Resistência a compressão de corpos de prova

A resistência à compressão axial é uma propriedade bastante estudada pelos pesquisadores, uma vez que pode ser associada (direta ou indiretamente) com outras propriedades do concreto no estado endurecido, principalmente aquelas relacionadas com a durabilidade.

A verificação da resistência mecânica do concreto é feita através do ensaio à compressão de corpos de prova que devem ser moldados e ensaiados segundo o disposto na NBR 5738:2015 e na NBR 5739:2007, respectivamente.

O valor da resistência a ser considerado na caracterização de uma unidade de produto, em uma determinada idade, sempre será o valor mais alto obtido do ensaio de um par de corpos de prova.

Esse par de corpos de prova é chamado de exemplar, sendo os dois corpos de prova moldados simultaneamente com a mesma amostra de concreto e pelo mesmo operador, devendo receber tratamento igual em todas as etapas do processo que inclui a desforma, o transporte até o laboratório, a preparação, a estocagem em câmara úmida e o ensaio propriamente dito a ser realizado, necessariamente, no mesmo equipamento (RECENA & PEREIRA, 2011).

A figura 2, retirada de Metha e Monteiro (2014) resume a interação entre os fatores que influenciam a resistência à compressão.



Figura 2. Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto. (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.4.3. Relação água/cimento

A relação água/cimento é o principal fator que influencia as propriedades mecânicas do concreto. De acordo com Metha e Monteiro (1994), a relação água/cimento influencia a porosidade tanto da matriz da pasta de cimento

como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, tornando-as menos resistentes. Na figura 3 pode se verificar que a resistência à compressão diminui à medida que a relação água/cimento aumenta para uma mesma idade.

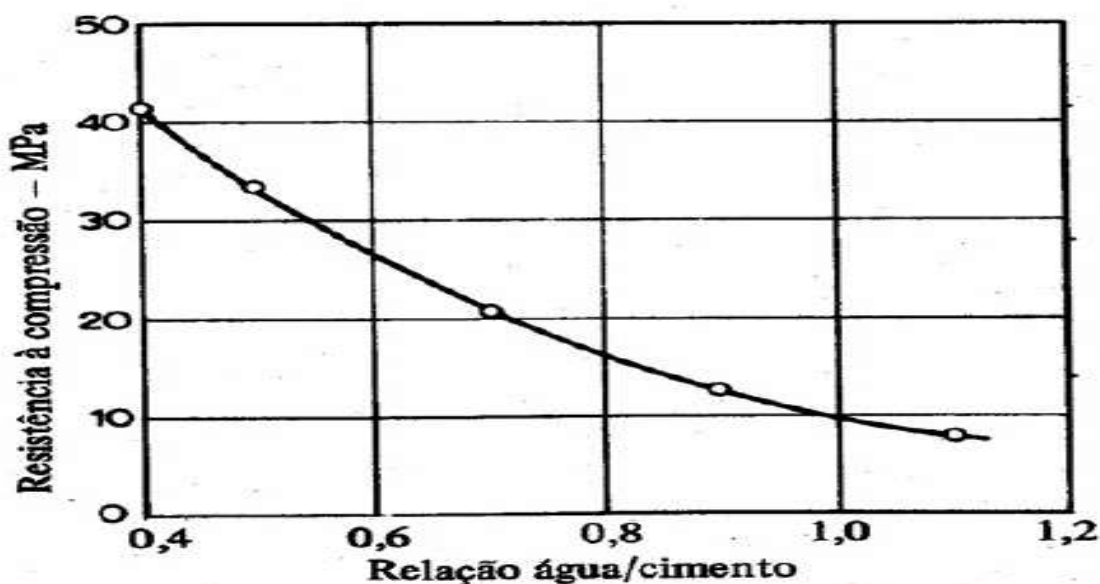


Figura 3. Resistência à compressão versus relação água/cimento para uma mesma idade (NEVILLE, 1982).

2.4.4. Módulo de deformação do concreto

Segundo Melo Neto e Helene (2002), a grande maioria dos projetos estruturais são feitos com base na resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), sem levar em conta as propriedades de deformação do material utilizado.

Segundo, Shehata (2015), o módulo de elasticidade e as deformações instantâneas e ao longo do tempo do concreto dependem dos teores e das características da pasta e dos agregados e também das características da fase de transição pasta-agregados, sendo que estas últimas estão relacionadas com as da pasta e dos agregados.

A explicação para a influência do agregado no valor do módulo, para concretos considerados normais, está na análise do diagrama tensão versus deformação dos diferentes elementos que compõem o concreto. Enquanto o agregado e a pasta de cimento apresentam relação tensão-deformação praticamente

linear, o concreto, não apresenta esta mesma relação, mas uma curvatura. Esta não linearidade, de acordo com Neville (1997), deve-se à presença da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento, que possui vazios, concentração de cristais de hidróxido de cálcio e microfissuras, fatores esses que afetam o módulo de deformação.

2.4.5. Fatores que afetam no módulo de deformação do concreto

Guimarães *et al.* (2002) afirmam que estruturas bem dimensionadas, fabricadas com concretos bem dosados e executados, normalmente são peças resistentes e duráveis. Mas, apesar de todos esses cuidados, ao se executar elementos fletidos de grandes dimensões, não raro surgem os problemas das deformações excessivas, os quais podem comprometer a estabilidade das peças, colocando em risco os seus usuários ou causando efeitos visuais e psicológicos indesejáveis.

Para Cunha (2000), o módulo de elasticidade de um material sólido qualquer, está relacionado com a inclinação da tangente ao diagrama tensão deformação ($\sigma_c - \epsilon_c$), desse material em um ponto qualquer desse diagrama.

A explicação para a influência do agregado no valor do módulo, para concretos considerados normais, está na análise do diagrama tensão versus deformação dos diferentes elementos que compõem o concreto, como mostra a figura 4. Enquanto o agregado e a pasta de cimento apresentam relação tensão-deformação praticamente linear, o concreto, não apresenta esta mesma relação, mas uma curvatura. Esta não linearidade, de acordo com Neville (1997), deve-se à presença da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento, que possui vazios, concentração de cristais de hidróxido de cálcio e microfissuras, fatores esses que afetam o módulo de deformação.

Em materiais heterogêneos como o concreto, os fatores que exercem as maiores influências sobre o comportamento elástico do compósito, são o módulo de deformação dos materiais constituintes, suas massas específicas e a zona de transição agregado-pasta (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Relações únicas entre o módulo de elasticidade e a resistência somente são válidas em termos gerais. Por exemplo, a condição de umidade do corpo de prova é um fator: um corpo de prova úmido tem um módulo mais elevado entre 3 e 4 GPa que um seco, enquanto a resistência varia em sentido inverso. As propriedades do agregado também influenciam no módulo de elasticidade, apesar de não influenciarem significativamente na resistência à compressão. Quanto maior o módulo do agregado, maior o módulo do concreto, e para um agregado que tem módulo maior que a pasta de cimento (normalmente esse é o caso), maior será o módulo do concreto quanto maior for o volume de agregado. (NEVILLE & BROOKS, 2013).

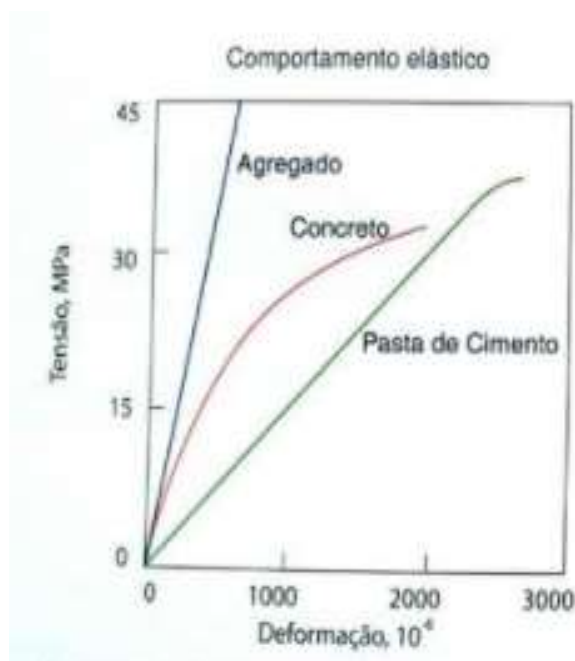


Figura 4. Comportamento típico tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014)

O módulo de deformação do agregado e seu conteúdo volumétrico dentro da pasta de concreto determinam o respectivo valor do módulo de deformação. Sabemos que, uma boa graduação dos agregados proporciona menores espessuras nas zonas de transição, devido ao melhor espalhamento dos espaços, tanto pelos agregados bem graduados como pela pasta de cimento.

Ao relacionar a porosidade como característica mais importante do agregado, com relação ao módulo de deformação, podemos pressupor que ao utilizarmos agregados mais densos, com alto módulo de deformação, teremos como resultado, concretos com módulo de deformação maior.

A rigor, a influência do agregado no valor do módulo, só poderá ser percebida em idades mais avançadas, pois nas primeiras idades, a pasta é que exercerá grande influência sobre o módulo. Com o tempo, a pasta ganha resistência e os esforços são transferidos para os agregados.

Na figura 5 é apresentado um resumo dos fatores que afetam o valor do módulo de deformação do concreto.

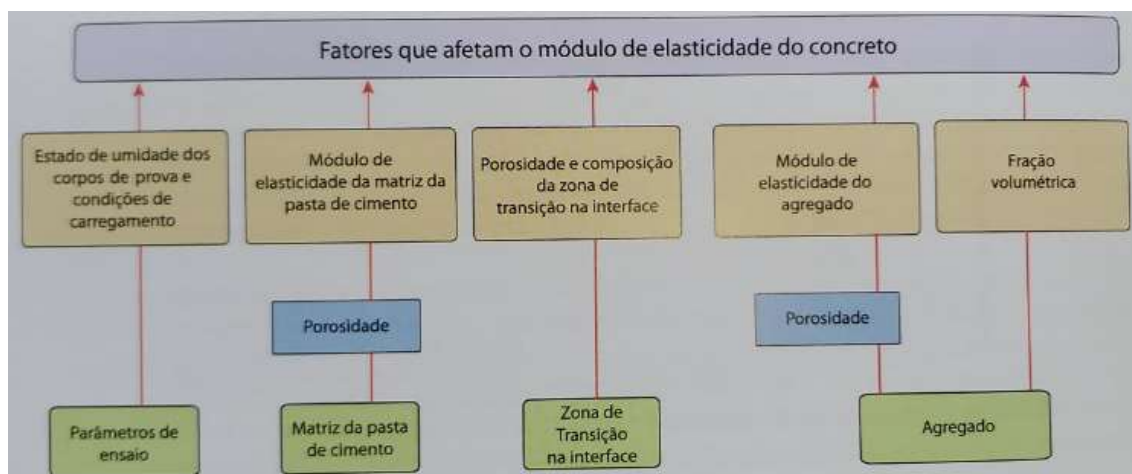


Figura 5. Fatores que afetam o módulo de elasticidade do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.4.6. Dosagem do concreto

A seleção dos materiais componentes dos concretos é o primeiro passo na busca da obtenção de concretos com certas e desejadas características do desempenho; o passo seguinte é um processo denominado dosagem do concreto através do qual é obtida a proporção ideal entre esses componentes.

Considerando que a proporção dos materiais componentes tem grande influência no custo e nas propriedades do concreto, e que os engenheiros são frequentemente chamados para opinar durante o desenvolvimento ou na aprovação das proporções da mistura, é importante que estes estejam familiarizados com os

princípios básicos e com os procedimentos usuais de dosagem dos concretos. (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Hoje, deve-se considerar como materiais passíveis de uso nos concretos e possíveis de serem utilizados num estudo de dosagem: os vários cimentos, os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos, as adições, os pigmentos e as fibras. Com relação aos agregados, pode ser feita distinção entre agregados reciclados, artificiais ou industrializados e naturais.

Um dos propósitos de dosagem é obter um produto que tenha um desempenho que atenda a certos requisitos previamente estabelecidos, sendo a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido a uma idade definida, os requisitos mais importantes.

Existem diversos métodos de dosagem de concretos de cimento Portland, os quais são mais ou menos complexos e trabalhosos. O método preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) apresenta-se bastante simples e eficiente além de ser um dos mais difundidos no Brasil.

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais.

Apesar de os métodos de dosagem diferir entre si, certas atividades são comuns a todos, como, por exemplo, o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento, sempre e quando um estudo de dosagem tiver por objetivo a obtenção de uma resistência especificada, sem descuidar da economia e da sustentabilidade que sempre devem nortear um estudo de dosagem contemporâneo. Um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a mistura

ideal e mais econômica, numa determinada região e com os materiais ali disponíveis, para atender uma série de requisitos.

Conforme mencionado, o custo é um fator de extrema importância na dosagem de concretos. Como normalmente o cimento é o componente mais caro, busca-se sempre dosar um concreto com o menor consumo de cimento possível, desde que atendidas todas as exigências estabelecidas. Contudo, a adequada escolha e proporcionamento dos agregados graúdos e principalmente dos miúdos tem grande importância, pois segundo Helene e Andrade (2007), o emprego de agregados com forma, granulometria e textura adequadas pode conduzir a uma redução do atrito interno da mistura e assim permitir uma redução do volume de pasta, mantendo o mesmo abatimento e sem alterar significativamente as propriedades do concreto endurecido.

Este método tem como premissa as leis de Abrams, Lyse e Molinari. Estas leis são adotadas como modelos que governam o comportamento do concreto, conforme apresentado:

- a) Lei de Abrams: "A resistência do concreto é inversamente proporcional à relação água/cimento".
- b) Lei de Lyse: "A quantidade de água a ser empregada em um concreto devidamente proporcionado, confeccionado com um determinado grupo de materiais (mesmos cimento e agregados miúdo e graúdo), para obter-se uma dada consistência, independe do traço deste concreto". Em outras palavras, para um dado grupo de materiais, existe uma relação água/materiais secos (H) constante para obter-se uma determinada consistência.
- c) Lei de Priszkulnik e Kirilos: Esta lei estabelece que o consumo de cimento é inversamente proporcional à massa de agregados do traço (m).

Este método baseia-se no ajuste de curvas de resistência e trabalhabilidade em função dos requisitos do estado fresco e endurecido do concreto. Ao contrário de outros métodos, que se baseiam em tabelas, ábacos e/ou

composições de agregados com maior massa unitária sendo procedidos ajustes posteriores para adequação da trabalhabilidade (principalmente teor de argamassa), este método parte do princípio que a melhor solução deve ser obtida diretamente através de procedimentos experimentais.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste item será abordado a metodologia realizada para elaboração dos traços desenvolvidos, ensaios realizados e análise dos resultados.

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Foi realizado um trabalho experimental com o objetivo de avaliar a influência dos agregados no concreto, a saber: resistência à compressão e módulo de deformação, variando apenas a origem mineralógica dos agregados miúdos de britagem e os agregados graúdos.

Foram escolhidos dois tipos de agregados: gnaisse e granito.

Para cumprir com o objetivo deste trabalho, foi desenvolvido uma metodologia de estudos a qual está dividida em duas partes: em uma primeira fase, um estudo dos agregados e, na segunda, em concreto.

O estudo dos agregados e do concreto foi desenvolvido no Laboratório da Empresa Pré-fabricar Concretos Ltda, localizada na Cidade de Ibirama/SC.

3.2. MATERIAS EMPREGADOS

3.2.1. Cimento

Em todo o trabalho, foi utilizado cimento do tipo CP II-Z, classe 32, da Votorantim Cimentos, proveniente da fábrica de Vidal Ramos/SC. Este tipo de cimento, fornecido em sacaria e a granel, é comumente empregado em obras em geral e por centrais dosadoras de concreto. As propriedades físicas, químicas e mecânicas, referentes ao mês de outubro de 2016, são apresentadas na Tabela 1.

Estas propriedades foram fornecidas pelo próprio fabricante do cimento.

Atualizado em:		02/12/2016			Produto:		CPII-Z-32 Todas as Obras			Norma:		NBR 11578		
Mês e ano de referência:		out/16			Marca:		Votoran			Unidade:		Vidal Ramos		
Ensaio	Químicos				Físicos e mecânicos									
	Teores (%)				Fimura (%)		Blaine	Água de	Tempo Pega		Expansib. a	Resistencia à Compressão		
	PF	MgO	SO3	RI	#200	#325	(cm2/g)	Consist(%)	Início (min)	Fim (min)	quente (mm)	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Limites de Norma	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 16,0	≤ 12,5	N/A	≥ 2600	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0 ; ≤ 49,0
Média	5,48	5,71	2,38	14,33	0,63	8,80	4186	27,69	236	274	0,00	25,78	29,97	37,84
Desvio Padrão	0,23	0,16	0,16	0,44	0,14	1,03	93,27	0,35	12,56	12,59	0,00	2,22	2,73	2,34
Mínimo	5,20	5,47	2,26	13,24	0,38	6,70	4030	27,00	220	255	0,00	23,10	26,60	34,70
Máximo	5,93	6,01	2,99	14,98	0,82	10,40	4380	28,30	255	295	0,00	30,10	35,40	41,20

Tabela 1. Propriedades físicas, químicas e mecânicas do cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Para realização do trabalho, foi coletado um lote de cimento de 400kg na central de concreto de Rio do Sul, compatível com as necessidades. Este cimento foi armazenado em sacos plásticos vedados, os quais foram colocados dentro de tambores metálicos com tampa de vedação, para proteção contra umidade e contaminações advindas do ambiente.

3.2.2. Aditivo

Neste trabalho, foi empregado o uso de dois aditivos, sendo um aditivo plastificante polifuncional redutor de água à base de lignosulfonatos e aditivo plastificante polifuncional à base de policarboxilato de elevada redução de água, esses aditivos foram fornecidos pela Empresa Grace Brasil Ltda.

Estes tipos de aditivos estão disponíveis comercialmente e sua utilização, ou não, pode afetar significativamente as características das misturas, tanto no estado fresco quanto endurecido. A decisão de sua utilização foi tomada, tendo em vista que atualmente a grande maioria das centrais dosadoras empregam esses tipos de aditivos em seus concretos.

Para ter-se um melhor entendimento e compreender o desenvolvimento das reações de hidratação da pasta de cimento, com o uso dos aditivos utilizados no concreto em estudo, realizou-se conforme as figuras 6 e 7, o ensaio de calorimetria semi-adiabática da pasta de cimento CP II Z – 32 com o aditivo AdL,

(plastificante lignosulfonato) e com o aditivo AdP (plastificante policarboxilato). Uma forma simplificada e eficiente de monitorar a velocidade de hidratação de pastas é a técnica de calorimetria de condução isotérmica. Esta técnica consiste em submeter uma pasta de cimento a um sistema termicamente adiabático, ou seja, que não permite troca de calor com o meio ambiente. Sendo assim, o calor liberado na hidratação do cimento é quantificado diretamente pela monitoração do fluxo de calor gerado pela pasta. O resultado desta técnica permite avaliar os fenômenos que regem a cinética das reações químicas que ocorrem durante as primeiras horas de hidratação da pasta de cimento.

É apresentado na figura 6, o ensaio de calorimetria semi-adiabática da pasta de cimento CP II Z – 32 com o aditivo base lignosulfonato.

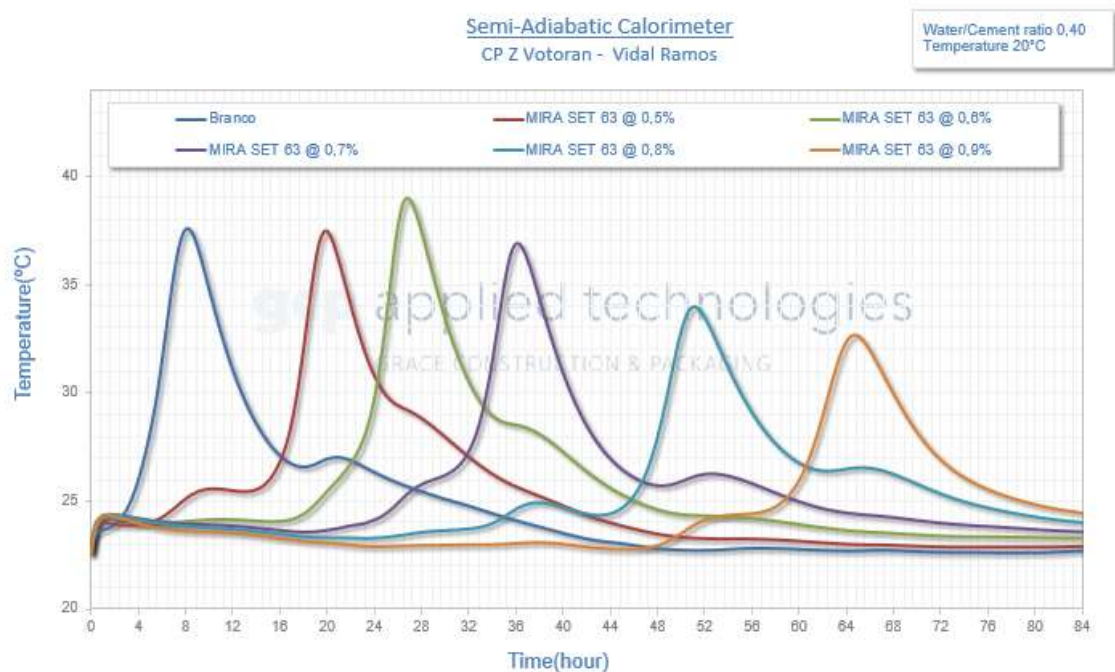


Figura 6. Ensaio de calorimetria da pasta de cimento CP II Z – 32 com aditivo AdL utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017).

É apresentado na figura 7, o ensaio de calorimetria semi-adiabática da pasta de cimento CP II Z – 32 com o aditivo base policarboxilato.

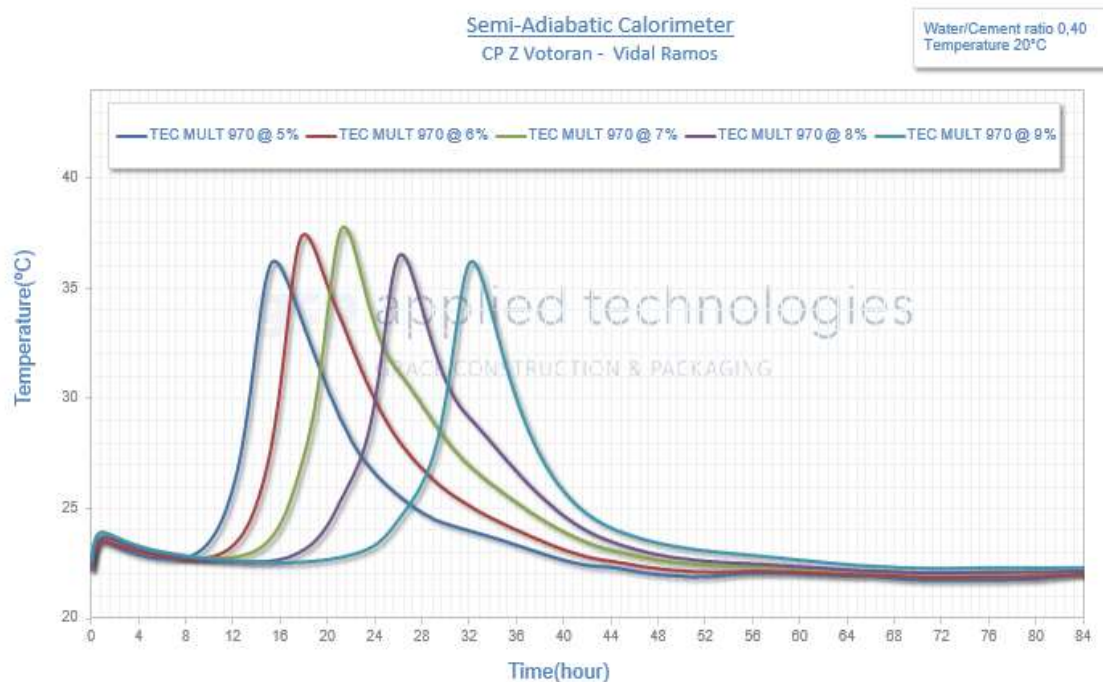


Figura 7. Ensaio de calorimetria da pasta de cimento CP II Z – 32 com aditivo AdP utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Especificações técnicas do aditivo plastificante polifuncional, base lignossulfonatos, fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 2.

Função principal	Plastificante Polifuncional Redutor de Água (Atende a ABNT:NBR 11768:2011 – Tipo PR/PA/PN)
Base química predominante	Lignossulfonatos
Aspecto	Líquido de cor marrom escuro
pH	$8,5 \pm 1$
Massa específica	$1,160 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
Teor de sólidos	$34,60 \pm 1,73\%$

Tabela 2. Características técnicas do aditivo AdL utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Especificações técnicas do aditivo plastificante polifuncional, base policarboxilato, fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 3.

Função principal	Plastificante Polifuncional Redutor de Água (Atende a ABNT:NBR 11768:2011 – Tipo PR/PA/PN)
Base química predominante	Policarboxilato
Aspecto	Líquido de cor alaranjado
pH	5,5 ± 1
Massa específica	1,09 ± 0,02 g/cm ³
Teor de sólidos	30,40 ± 1,52%

Tabela 3. Características técnicas do aditivo AdP utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.2.3. Água

As características químicas da água utilizada provinda da rede de abastecimento da Pré-fabricar Concretos Ltda, estão identificadas conforme tabela 4:

Ensaio Realizados	Resultado	Valor Máximo Permitido
pH	6,27	5,5 à 9,0
Cloreto	3,9 mg/L	2000 mg/L
Ferro Total	0,24 mg/L	1 mg/L
Sólidos Totais	164 mg/L	5000 mg/L
Sulfato	1 mg/L	2000 mg/L

Tabela 4. Características químicas da água utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A amostra analisada está em acordo com a Norma Mercosul 137:1997 Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.

3.2.4. Agregados miúdos

Nos estudos, foram empregados três agregados miúdos. Um dos agregados miúdos utilizados foi uma areia natural fina proveniente da Cidade de Araquari/SC. Trata-se de uma areia quartzosa, extraída de cava e utilizada por várias empresas produtoras de concretos e argamassas da região. Principalmente

nas centrais de concreto e empresas de pré-fabricados. Esta areia é utilizada quase sempre em composição com uma areia de britagem.

As características deste agregado são apresentadas na Tabela 5.

Parâmetro			Agregado Miúdo
			Areia Natural
Granulometria NBR NM 248:2003 % Retida Acumulada	Abertura das peneiras (mm)	4,75	0
		2,36	0
		1,18	1
		600	11
		300	39
		150	85
		Fundo	100
Dim. Máx. Caract. (mm) – NBR 7211:2009			1,18
Módulo de Finura – NBR 7211:2009			1,36
Material Pulverulento – NBR NM 46:2003			0,37%
Azul de Metileno NBR 14949:2003			0,31%
Massa Especifica (g/cm³) – NBR NM 52:2009			2,654

Tabela 5. Características físicas do agregado miúdo – Areia Natural utilizado (Acervo do autor, 2017)

A curva granulométrica da areia natural é apresentada na figura 8:

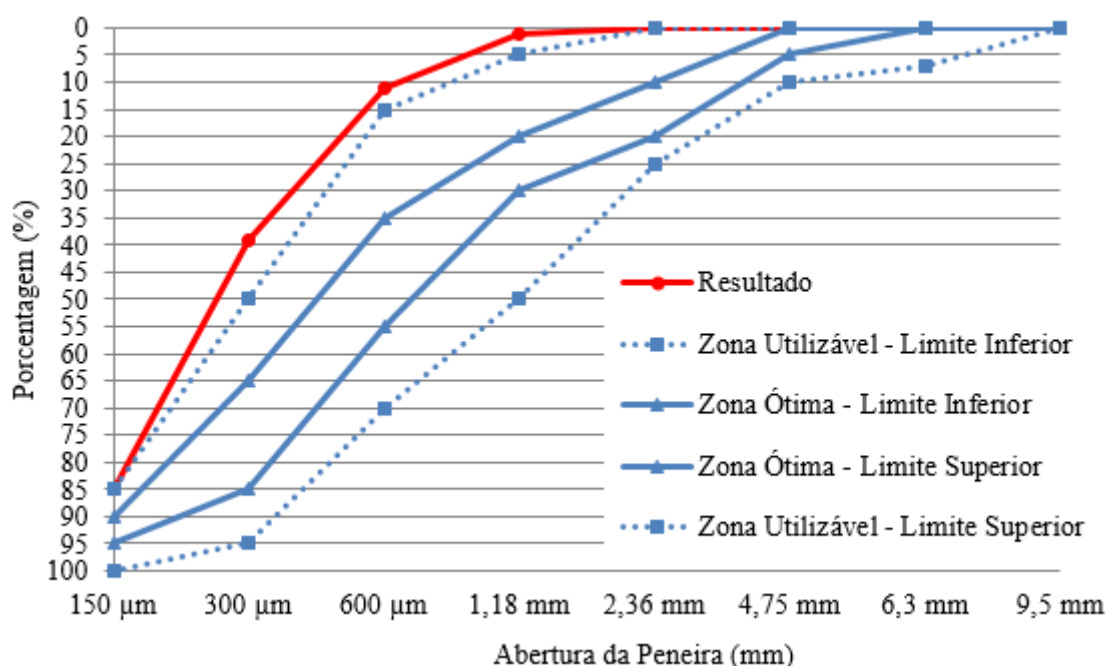


Figura 8. Curva granulométrica - Areia Natural utilizada (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Além da areia natural, foram utilizados dois agregados miúdos de britagem, de origem mineralógicas diferentes.

Um desses agregados miúdos é proveniente de pedreira localizada na Cidade de Pomerode S/C de origem mineral Gnaise.

O outro agregado miúdo é proveniente de pedreira localizada na Cidade de Ibirama SC de origem granítica.

Os equipamentos de britagem, de ambas as pedreiras, são do tipo VSI.

As características destes agregados são apresentadas na Tabela 6.

Parâmetro			Agregado Miúdo	
			Areia Industrial Gnaise	Areia Industrial Granito
Granulometria NBR NM 248:2003 % Retida Acumulada	Abertura das peneiras (mm)	4,75	0	0
		2,36	11	9
		1,18	37	33
		600	52	52
		300	65	69
		150	79	82
		Fundo	100	100
Dim. Máx. Caract. (mm) – NBR 7211:2009			4,75	4,75
Módulo de Finura – NBR 7211:2009			2,45	2,46
Material Pulverulento – NBR NM 46:2003			13,23%	10,19%
Azul de Metileno NBR 14949:2003			0,27%	0,06%
Massa Especifica (g/cm³) – NBR NM 52:2009			2,686	2,555

Tabela 6. Características físicas do agregado miúdo – Areia Industrial utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Os métodos de ensaio utilizados na caracterização dos agregados estão referenciados por suas normas ao lado de cada característica avaliada.

A curva granulométrica da areia industrial de gnaise é apresentado na Figura 9.

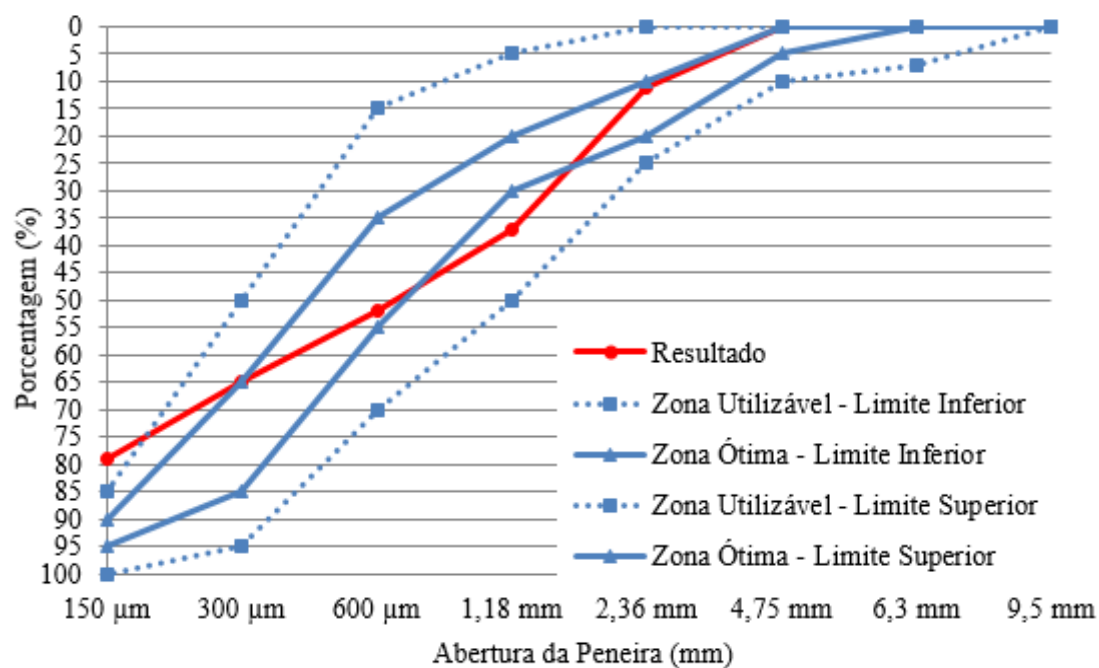


Figura 9. Curva granulométrica - Areia industrial de gnaiss utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A curva granulométrica da areia industrial de granito é apresentada na Figura 10:

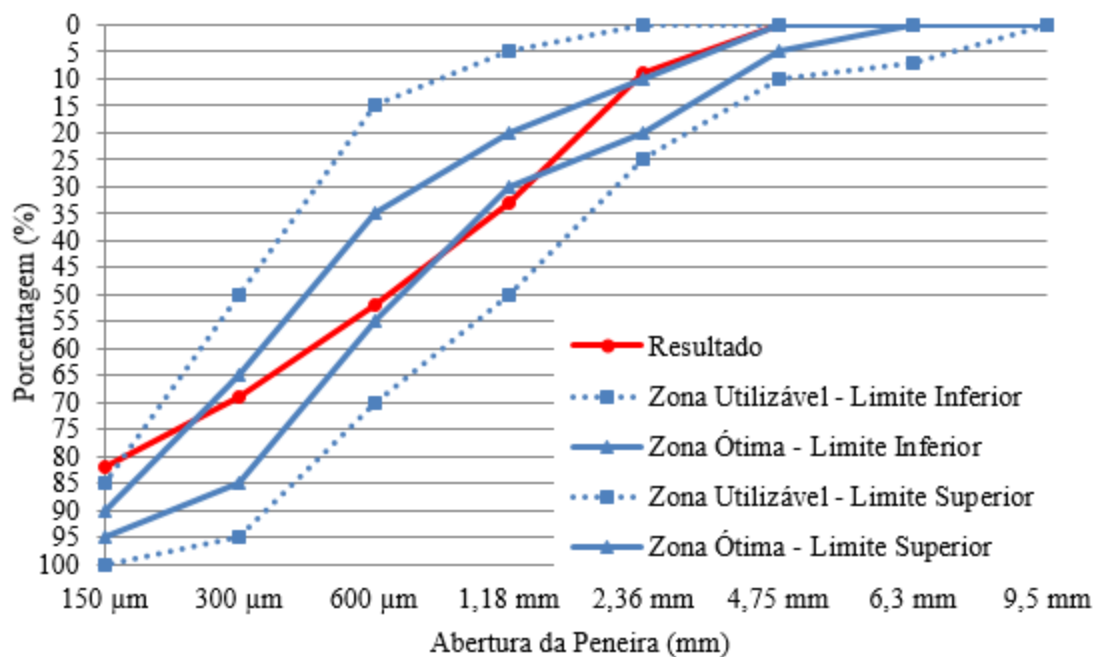


Figura 10. Curva granulométrica - Areia industrial de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.2.5. Agregados graúdos

Nos estudos, foram empregados dois agregados graúdos de classificação 4,75/12,5 e 9,5/25 mm, segundo NBR 7211:2005, de fontes mineralógicas (pedreiras) diferentes. O equipamento de britagem de ambos os britadores é do tipo VSI.

Bloco de rocha onde foram retirados os corpos de prova do agregado graúdo de gnaiss e granito, conforme figura 11:



Figura 11. Bloco de rocha onde foram extraídos os corpos de prova para ensaio de módulo de deformação, a esquerda granito e a direita gnaiss (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Corpos de prova sendo preparados para ensaio de módulo de deformação da rocha conforme figura 12.



Figura 12. Corpos de prova para ensaio de módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Ensaio de módulo de deformação da rocha conforme figura 13.



Figura 13. Ensaio de módulo de deformação da rocha (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Um dos agregados graúdos utilizados de origem gnaiss, proveniente da Cidade de Pomerode/SC.

As características destes agregados são apresentadas na Tabela 7.

Parâmetro			Agregado Graúdo - Gnaisse	
			Brita 4,75 / 12,5	Brita 9,5 / 25,0
Granulometria NBR NM 248:2003 % Retida Acumulada	Abertura das peneiras (mm)	25	0	0
		19	0	1
		12,5	0	65
		9,5	7	95
		6,3	59	99
		4,75	80	99
		2,36	98	99
		Fundo	100	100
Dim. Máx. Caract. (mm) – NBR 7211:2009			12,5	19,0
Módulo de Finura – NBR 7211:2009			5,78	6,91
Material Pulverulento – NBR NM 46:2003			1,06%	0,80%
Massa Especifica (g/cm³) – NBR NM 52:2009			2,785	2,758
Módulo de Deformação (GPa) – NBR 8522:2008			94,4	

Tabela 7. Características físicas do agregado graúdo, gnaisse utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A curva granulométrica da brita 4,75 / 12,5 de gnaisse e apresentado na Figura 14.

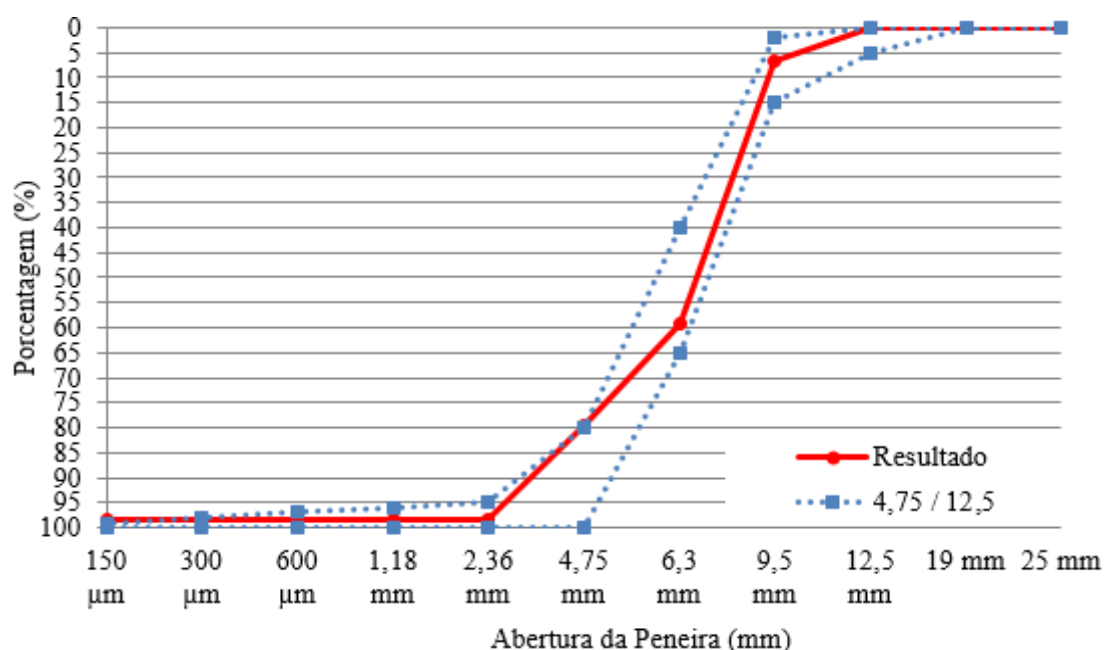


Figura 14. Curva granulométrica – Brita 4,75 / 12,5 do gnaisse utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A curva granulométrica da brita 9,5 / 25 de gnaiss é apresentada na Figura 15:

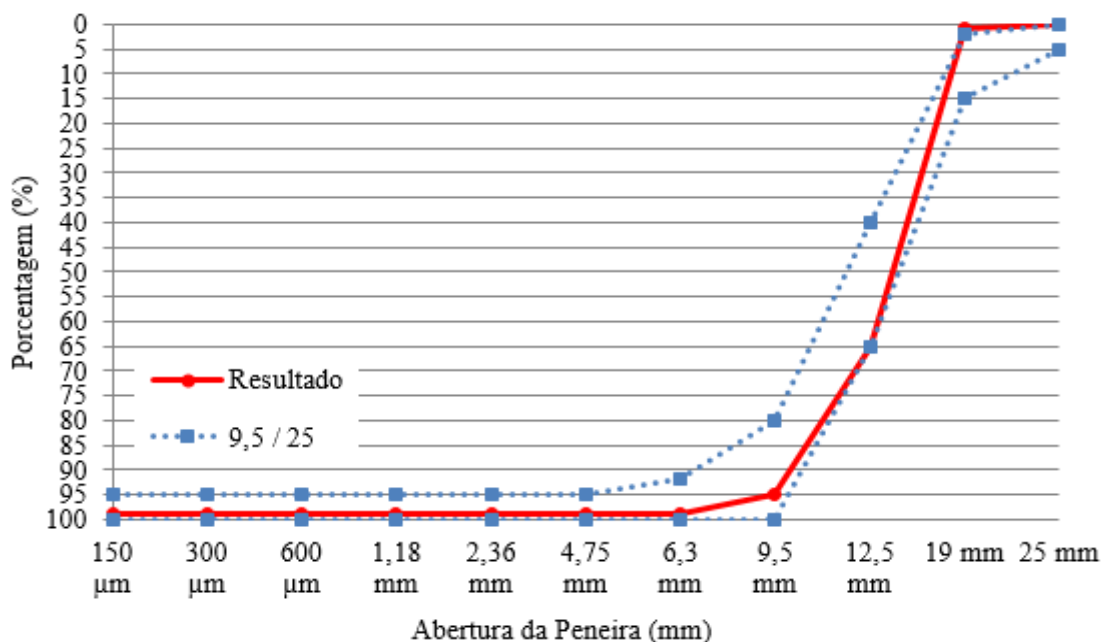


Figura 15. Curva granulométrica – Brita 9,5 / 25 do gnaiss utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A outra pedra de granito utilizada, trata-se de uma pedreira localizada na Cidade de Ibirama/SC.

As características destes agregados são apresentadas na Tabela 8.

Parâmetro			Agregado Graúdo - Granito	
			Brita 4,75/12,5	Brita 9,5/25,0
Granulometria NBR NM 248:2003 % Retida Acumulada	Abertura das peneiras (mm)	25	0	0
		19	0	2
		12,5	1	62
		9,5	10	95
		6,3	61	100
		4,75	85	100
		2,36	100	100
		Fundo	100	100
Dim. Máx. Caract. (mm) – NBR 7211:2009			12,5	19,0
Módulo de Finura – NBR 7211:2009			5,93	6,96
Material Pulverulento – NBR NM 46:2003			1,21%	0,32%
Massa Especifica (g/cm³) – NBR NM 52:2009			2,600	2,617
Módulo de Deformação (GPa) – NBR 8522:2008			61,3	

Tabela 8. Características físicas do agregado graúdo, granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Os métodos de ensaio utilizados na caracterização dos agregados, estão referenciados por suas normas ao lado de cada característica avaliada.

A curva granulométrica da brita 4,75 / 12,5 de granito está apresentada na Figura 16.

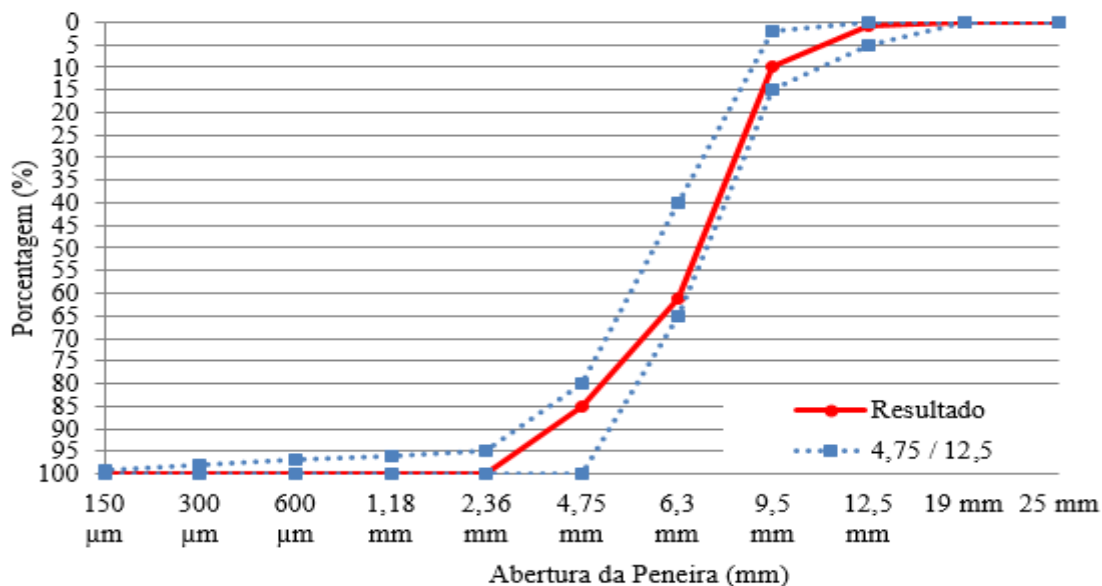


Figura 16. Curva granulométrica – Brita 4,5 / 12,5 de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A curva granulométrica da brita 9,5 / 25 de granito é apresentada na Figura 17:

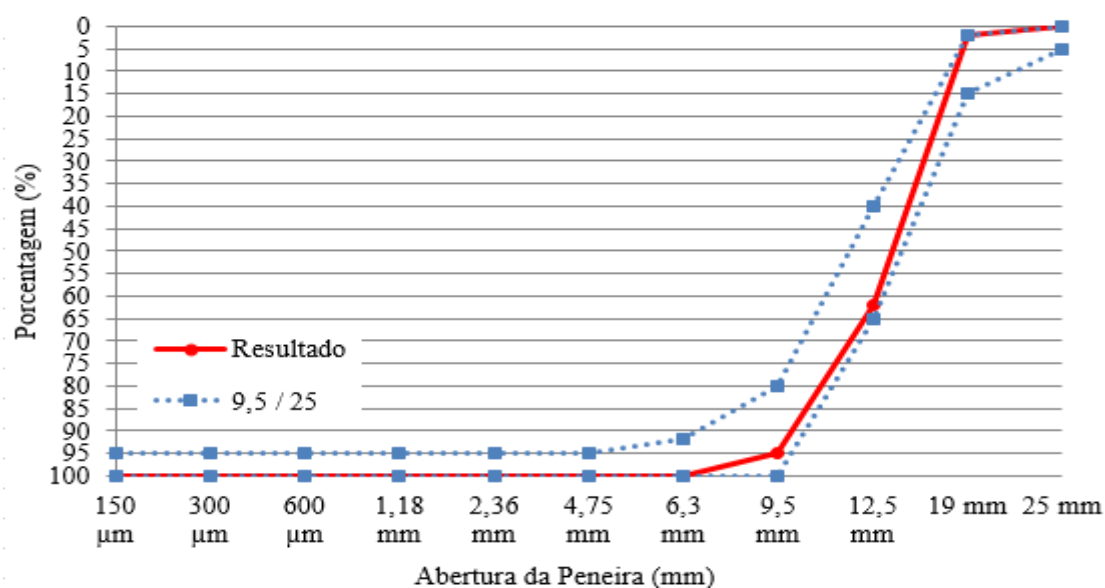


Figura 17. Curva granulométrica – Brita 9,5 / 25 de granito utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.3. DOSAGEM DO CONCRETO

Para o estudo do concreto, foram utilizados dois agregados de origem mineralógicas diferentes, gnaiss e granito e dois tipos de aditivos: lignosulfonato e policarboxilato, foram feitas quatro curvas de dosagem e cada curva com seis pontos.

Para realização da curva de dosagem utilizou-se o método IPT/EPUSP, adaptado conforme traços utilizados pela empresa.

Inicialmente, fixou-se a quantidade de 180L de água para todos os concretos, a relação água/cimento foi fixada para cada ponto da curva e ajustou-se o teor de argamassa ideal para cada ponto. O teor de areia natural utilizado para todos os concretos, foi fixado em 35,3% em volume.

Alguns percentuais dos agregados permaneceram fixos na composição do traço, para cada ponto da curva:

- a) Composição dos agregados miúdos: Areia Natural, 35,3% e Areia Industrial, 64,7% em volume;
- b) Composição dos agregados graúdos: Brita 0 (4,75/12,5), 29,8% e Brita 1 (9,5/25), 70,2% em volume;
- c) Para cada ponto da curva foi fixado o cimento, assim como para cada ponto, a relação a/c;
- d) O teor de aditivo plastificante polifuncional, base lignosulfonato, foi de 0,90% em massa. O teor de aditivo plastificante, base policarboxilato, foi de 0,60% em massa. Esses teores foram fixos para todos os concretos.
- e) O abatimento de projeto para todos os concretos foi de 15 ± 1 cm.

O valor 35,3%, foi adotado por já ser uma proporção utilizada na Empresa Pré-fabricar. Os traços já eram existentes na mesma Empresa e foi feito apenas uma distribuição volumétrica dos agregados.

O principal objetivo do estudo em concretos foi comparar as propriedades dos concretos de cimento Portland, com uso de agregados de distintas origens mineralógicas, nos estados fresco e endurecido.

3.3.1. Fabricação do concreto

Para este estudo optou-se em secar todos os agregados para melhor uniformização e conseqüentemente uma melhor comparação entre os concretos, conforme figura 18.



Figura 18. Agregados secos para produção de concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Em seguida foi feita a pesagem de todos os materiais (cimento, agregados miúdos, agregados graúdos, água e aditivo) em uma balança eletrônica com precisão de 0,01 kg. Para cada traço analisado, foram fabricados 20 litros de concreto.

A mistura dos materiais foi feita em betoneira com capacidade de 120 litros e adotou-se a seguinte sequência:

1. Adicionou-se todos os agregados e cimento com a betoneira desligada;
2. Ligou-se a betoneira;

3. Sem interromper a mistura, foi adicionado parte da água e deixado misturar por um minuto e meio;
4. Acrescentou-se o aditivo, sem paralisar a betoneira e com cuidado, para que este não entrasse em contato direto com as pás ou com a cuba da betoneira. Foi misturado por mais cinco minutos;
5. Parava-se a betoneira e realizava-se o abatimento do tronco de cone, verificando o mesmo, procedendo a adição de água até atingir o abatimento necessário;
6. Deixou-se misturar com a boca da betoneira mais inclinada para cima até completar um tempo total de mistura de, no máximo 15 minutos;
7. Desligava-se a betoneira e realizava-se o abatimento do tronco de cone para verificar a perda de abatimento após os 15 minutos de mistura;
8. Religava a betoneira e procedia-se o ajuste de água final, até obter-se o abatimento desejado.

3.3.2. Abatimento do tronco de cone (slump test)

O equipamento para o ensaio consiste em uma haste de compactação com diâmetro de 16mm, comprimento de 600mm e extremidades arredondadas e de um tronco de cone de 300 mm de altura, 100 mm de diâmetro no topo e 200 mm de diâmetro na base, para apoio do molde a placa de base deve ser metálica, plana com dimensão não inferior a 500mm e espessura igual ou superior a 3mm, conforme a NBR NM 67:1998. O tronco de cone é preenchido com concreto, em três camadas com 25 golpes penetrando parcialmente a camada anterior, e depois vagarosamente suspensa. O concreto sem suporte abate-se pelo seu próprio peso. Esta medida em centímetros que o concreto se abateu é o valor do Slump, conforme figuras 19, 20 e 21.



Figura 19. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017)



Figura 20. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017)



Figura 21. Abatimento do tronco de cone (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.3.2.1. Perda de abatimento

Conforme Mehta e Monteiro (2014), a perda de abatimento é um fenômeno normal para todas as misturas de concreto. Ela resulta no enrijecimento gradual e pega de uma pasta de cimento Portland hidratada. Ela ocorre quando a água livre da mistura é consumida pelas reações de hidratação, adsorção nas superfícies dos produtos de hidratação e por evaporação. A perda de abatimento é determinada pelo tempo, temperatura, composição do cimento e dos aditivos/adições presentes.

Notou-se durante os ensaios que a perda de abatimento nos concretos com aditivo base policarboxilato, foi bem maior que o abatimento em concretos com aditivo base lignosulfonato.

Nos ensaios de azul de metileno, os agregados miudos britados apresentaram diferença significativa em materiais deletérios (GNS: 0,27% / GRN: 0,06%). Porém não houve reflexo na perda de abatimento nos concretos de mesmo consumo de cimento independente do aditivo empregado.

3.4. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para a execução dos ensaios, foram utilizados corpos de prova cilíndricos com dimensões 10x20 cm. Para cada traço foram moldados 5 corpos de prova. O adensamento do concreto foi feito de forma manual, em duas camadas e 12 golpes por camada, conforme a NBR 5738:2016. O acabamento da face superior dos corpos de prova foi feito por alisamento da superfície.



Figura 22. Moldagem dos corpos de prova (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.4.1. Cura do concreto

Após 24 horas os corpos de prova foram desformados, identificados e levados ao tanque de cura, com temperatura controlada e água saturada com cal, onde permaneceram até a data dos respectivos ensaios. Em seguida foram levados para serem retificados para uniformização da sua superfície, como mostra a figura 23:



Figura 23. Corpos de prova em tanque de cura (ACERVO DO AUTOR, 2017)

3.5. ENSAIOS DO CONCRETO ENDURECIDO

Os ensaios de resistência a compressão e módulo de deformação, foram realizados na idade de 28 dias após a fabricação do concreto.

3.5.1. Ensaio de resistência à compressão (f_c)

Os ensaios de resistência à compressão cilíndricos de 10x20 cm foram realizados de acordo com a NBR 5739:2007.

A resistência à compressão do concreto deve ser determinada em dois corpos de prova similares e utilizar o de maior potencial obtido.



Figura 24 Ensaio de resistência à compressão cilíndrica de 10x20 cm (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Os dois corpos de prova foram inicialmente ensaiados e calculados a média dos resultados, para determinação da tensão σ_b , correspondente a 30% da tensão de ruptura (f_c).

Após a realização dos ensaios de determinação do módulo de deformação, cada corpo de prova foi levado a ruptura.

3.5.2. Ensaio para determinação do módulo de deformação

Para o ensaio de módulo de deformação, de acordo com a NBR 8522:2017, são necessários 5 corpos de prova cilíndricos, com 150 mm de diâmetro (d) e 300 mm de altura (L) ou que atenda à condição $L/d = 2$, sendo que o diâmetro deva ser no mínimo 4 vezes o tamanho máximo do agregado graúdo. Dentre esses corpos de prova, em no mínimo dois, deve ser avaliada a resistência à compressão (de acordo com o que define a NBR 5739/2007), a fim de se determinar a carga a ser aplicada no ensaio do módulo de deformação. Neste estudo foram empregados três corpos de prova para a determinação do nível de tensão a ser aplicado.

Os corpos de prova foram centralizados na pensa e os medidores de deformação foram fixados de forma que os pontos de medição ficassem equidistantes dos extremos do corpo de prova. A base de medida das deformações deve ser no mínimo igual $2/3$ do diâmetro do corpo de prova e no máximo igual a esse diâmetro.

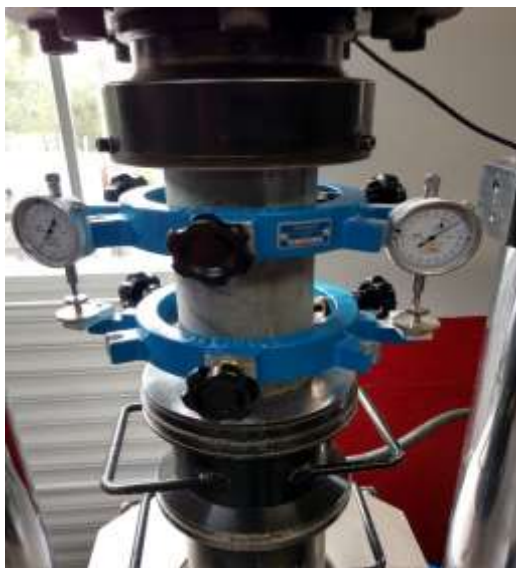


Figura 25. Equipamento utilizado no ensaio de módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Aplicava-se um carregamento crescente à velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s com pausa de 60 segundos nas tensões de 0,5 MPa e σ_b para leitura das respectivas deformações em no máximo 30 segundos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O propósito do presente capítulo é apresentar e analisar os resultados dos ensaios das propriedades mecânicas dos diversos concretos fabricados.

Primeiramente foram analisados os resultados de resistência à compressão e módulo de deformação dos concretos produzidos com agregados de diferentes origens mineralógicas: Gnaiss (Pomerode) e Granito (Ibirama).

Ao final foi apresentado uma análise comparativa dos resultados obtidos de resistência à compressão e módulo de deformação, bem como às equações que relacionam estas duas propriedades.

4.1. AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS

O módulo de deformação dos agregados graúdos e miúdos de gnaiss (Pomerode/SC) e granito (Ibirama/SC) são analisados neste item.

A denominação de cada traço está em função do agregado GNS (Gnaiss) e GRN (Granito) e dos aditivos AdL (Lignosulfonato) e AdP (Policarboxilato).

A Figura 27 apresenta os resultados encontrados para os ensaios de módulo de deformação das rochas, que podem ser visualizados abaixo:

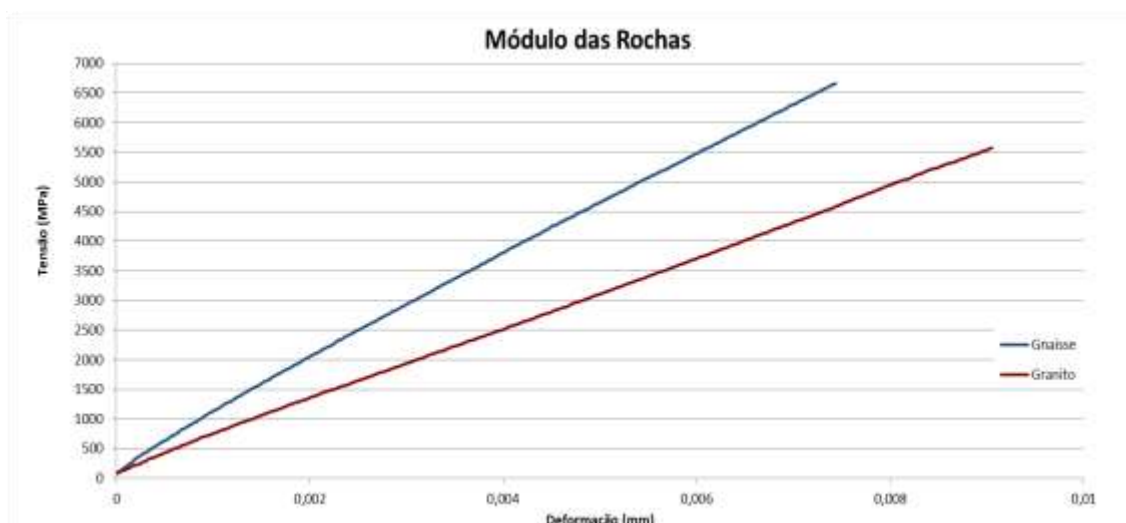


Figura 27. Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de elasticidade – Método A – Tensão σ_a fixa (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Pode-se verificar que a rocha de origem GNS apresenta um módulo de deformação superior ao módulo da rocha de origem GRN.

O módulo de elasticidade entre os agregados está relacionado diretamente com a sua dureza. A rocha com maior dureza resultará num módulo maior em quanto que a outra com menor dureza terá um módulo menor. Esta observação não significa a mesma proporcionalidade na resistência a compressão.

4.2. CIMENTO CP II Z-32

O módulo de deformação da pasta de cimento será analisado neste item.

A figura 28, mostra o ensaio de resistência a compressão da pasta de cimento utilizado nos concretos ensaiados.



Figura 28. Ensaio de resistência compressão da pasta de cimento CP II Z – 32 utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A figura 29, mostra o ensaio do módulo de deformação da pasta de cimento utilizado nos concretos ensaiados.



Figura 29 Ensaio do módulo de deformação da pasta de cimento CP II Z – 32 utilizado no concreto (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Na tabela 9, são apresentados os resultados de resistência a compressão e módulo de deformação do cimento CP II Z – 32, utilizado na produção dos concretos, com a/c de 0,49, 0,60 e 0,70.

a/c	Resistência a Compressão (MPa)	Módulo de Deformação (GPa)
0,49	25,6	12,1
0,60	18,4	10,8
0,70	13,8	9,5

Tabela 9. Resistência a compressão e módulo de deformação da pasta de cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

A figura 30, apresenta os resultados encontrados para os ensaios de módulo de deformação da pasta de cimento, que pode ser visualizado abaixo:

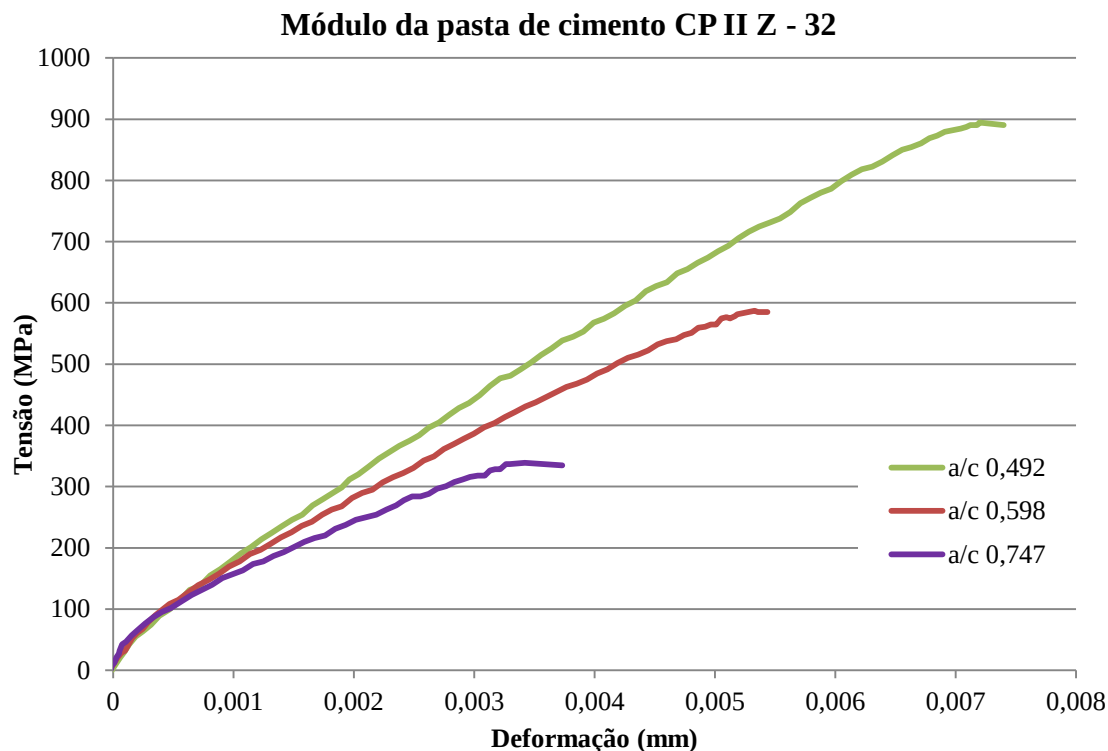


Figura 30. Resistência a compressão e módulo de deformação da pasta de cimento CP II – Z 32 utilizado (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Pode-se observar na figura 30, conforme mostrado acima, que quanto menor o fator a/c, maior o valor da tensão e também do módulo de elasticidade

4.3. CONCRETOS

Para o estudo do módulo de elasticidade é necessário analisar alguns fatores que podem influenciar os ensaios como: natureza do agregado graúdo, diâmetro nominal do agregado graúdo, velocidade de aplicação da carga, dimensão dos corpos-de-prova, temperatura do ensaio, entre outros.

Para este trabalho foram avaliados os seguintes fatores que podem influenciar nos concretos.

Módulos: diferente relação água/cimento, diferentes consumos de cimento, diferentes resistências a compressão.

De acordo com os resultados obtidos foram feitos diagramas de dosagem, tanto para resistência a compressão como para módulo de elasticidade. Abaixo são apresentados as respectivas equações de Lei de Abrams, Lei de Lyse e Lei de Molinari obtidas através da regressão linear, como demonstram a Figura 31.

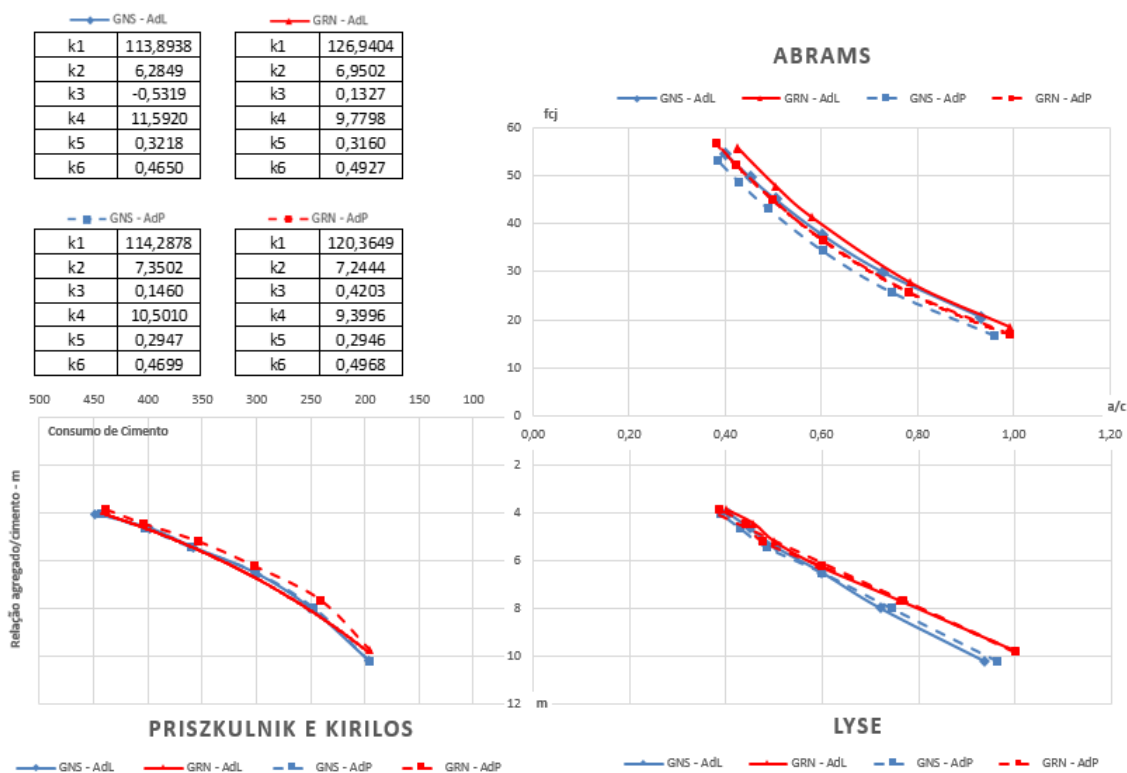


Figura 31. Diagrama de dosagem para resistência a compressão (ACERVO DO AUTOR, 2017)

4.3.1.1. Perda de abatimento dos concretos

Conforme a tabela 10, observa-se que os concretos aditivados com AdL apresentam menor perda do abatimento em relação aos concretos aditivados com AdP, independente do consumo de cimento e do tipo de rocha.

Aditivo	Agregado	Cimento real (kg) final	a/c real final	água real final	Slump inicial (cm)	Slump após 15min. (cm)	Perda de abatimento (cm)	Slump final (cm)
AdL	GNS	196	0,93	184	16,0	11,5	4,5	16,5
	GRN	194	1,00	194	18,0	16,5	1,5	16,5
AdP	GNS	195	0,90	188	16,0	8,0	8,0	16,0
	GRN	194	1,00	195	16,5	7,0	9,5	15,5
AdL	GNS	250	0,72	180	17,5	15,0	2,5	15,0
	GRN	247	0,75	187	15,5	11,5	4,0	16,0
AdP	GNS	249	0,74	185	18,5	15,5	3,0	15,5
	GRN	245	0,76	188	18,5	11,0	7,5	15,5
AdL	GNS	301	0,60	180	18,5	15,5	3,0	15,5
	GRN	299	0,59	176	17,5	15,0	2,5	15,0
AdP	GNS	300	0,60	180	19,0	11,5	7,5	16,0
	GRN	295	0,60	177	21,0	13,0	8,0	15,0
AdL	GNS	351	0,50	177	18,0	16,5	1,5	16,5
	GRN	350	0,50	176	18,5	16,0	2,5	16,0
AdP	GNS	353	0,48	171	22,0	15,0	7,0	15,0
	GRN	354	0,47	169	23,0	15,0	8,0	15,0
AdL	GNS	402	0,45	181	18,5	17,0	1,5	17,0
	GRN	397	0,45	181	18,0	14,5	3,5	16,5
AdP	GNS	403	0,43	173	20,5	13,5	7,0	15,5
	GRN	399	0,44	176	21,5	13,0	8,5	15,5
AdL	GNS	451	0,40	183	16,0	14,0	2,0	15,0
	GRN	448	0,40	179	16,5	15,5	1,0	15,0
AdP	GNS	452	0,38	176	22,0	13,5	8,5	16,0
	GRN	449	0,44	176	21,5	13,0	8,5	15,0

Tabela 10. Perda de abatimento dos concretos (ACERVO DO AUTOR, 2017)

4.3.1.2. Curva de Abrams dos concretos

Pode-se observar na figura 32, que o concreto GRN – AdL e GRN – AdP, sempre apresenta um consumo menor de cimento para a mesma resistência em relação aos concretos com GNS – AdL e GNS – AdP. O tipo de aditivo não influenciou no consumo de cimento, independente do tipo de rocha utilizada.

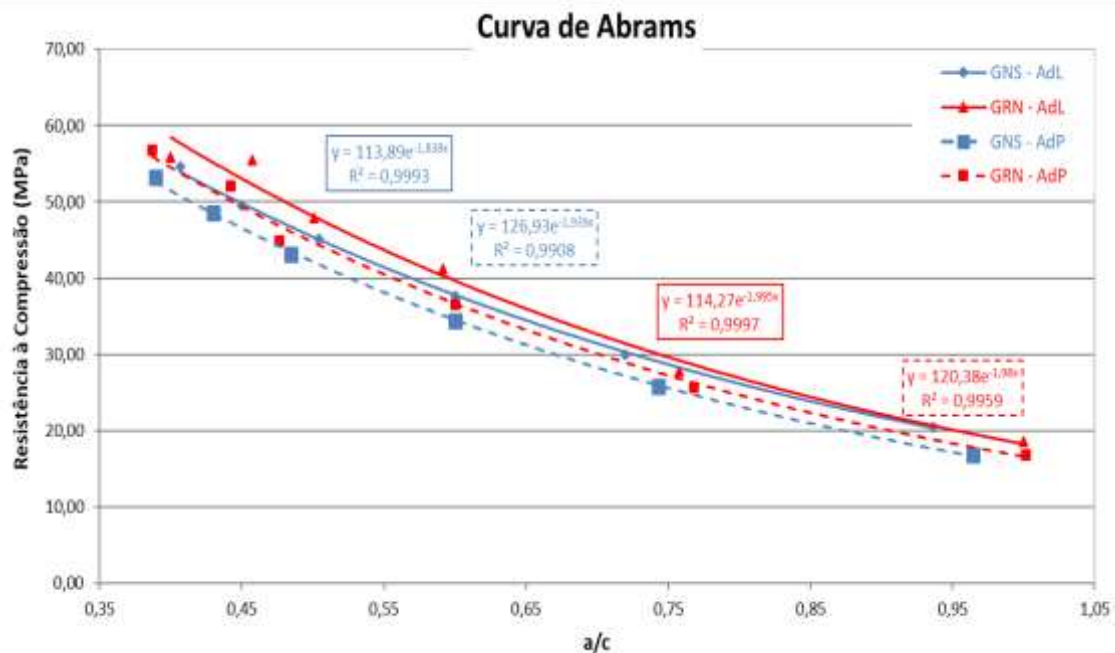


Figura 32. Curva de Abrams (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Aditivo	Agregado	fcj real (MPa)	Cimento real (kg)
AdL	GNS	20,6	196
	GRN	18,6	194
AdP	GNS	16,8	195
	GRN	16,9	194
AdL	GNS	29,9	250
	GRN	27,8	247
AdP	GNS	25,8	249
	GRN	25,7	245
AdL	GNS	37,7	301
	GRN	41,3	299
AdP	GNS	34,3	300
	GRN	36,5	295
AdL	GNS	45,1	351
	GRN	47,9	350
AdP	GNS	43,1	353
	GRN	44,9	354
AdL	GNS	49,6	402
	GRN	55,5	397
AdP	GNS	48,6	403
	GRN	52,1	399
AdL	GNS	54,6	451
	GRN	55,8	448
AdP	GNS	53,2	452
	GRN	56,7	449

Tabela 11. Abrams (ACERVO DO AUTOR, 2017)

4.3.1.3. Relação água/cimento X Módulo de deformação

Verifica-se na Figura 32 e na tabela 11, que independente do fator a/c e do tipo de aditivo utilizado, os concretos com GNS apresentaram melhor módulo de deformação em relação aos concretos com GRN.

Conforme ensaio do módulo de deformação das rochas, apresentados nas tabelas 10 e 11 vê-se que a rocha GNS apresenta um módulo de deformação 94,4GPa, e a rocha GRN apresenta um módulo de deformação 61,3 GPa. Mediante estes números e os módulos resultantes dos ensaios dos concretos, percebe-se que os módulos de deformação resultantes nos concretos têm influência dos módulos das rochas.

Percebe-se que conforme o aumento do a/c, diminui o módulo de deformação do concreto.

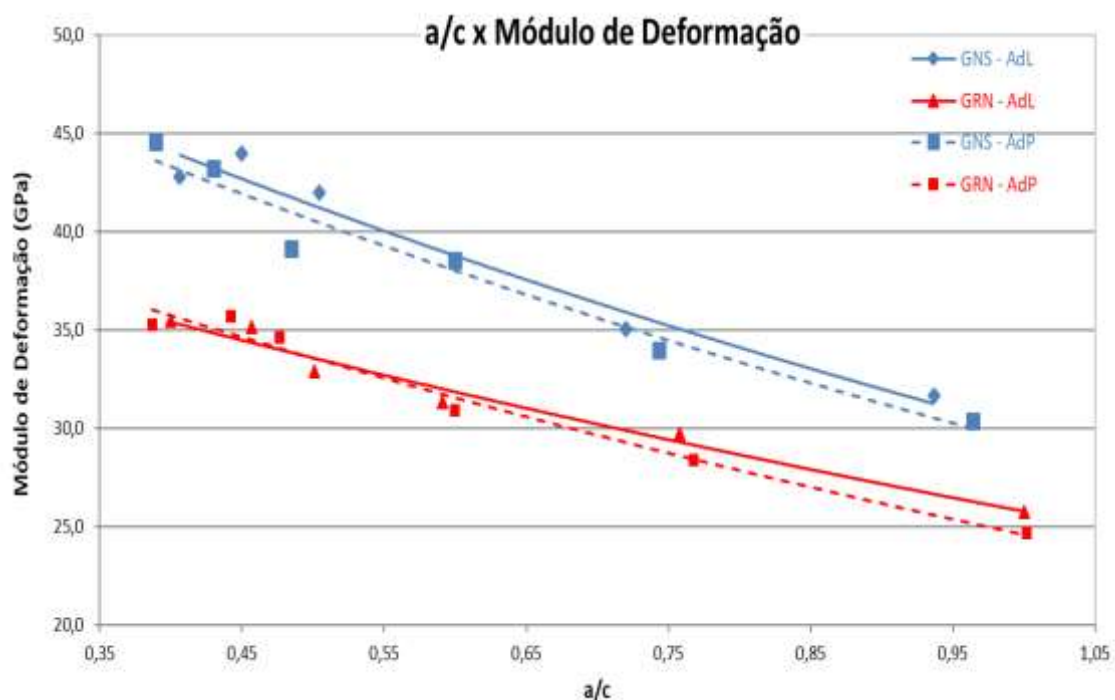


Figura 33. Relação água/cimento x Módulo de Deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Aditivo	Agregado	a/c real	Módulo (GPa)
AdL	GNS	0,93	31,7
	GRN	1,00	25,7
AdP	GNS	0,96	30,4
	GRN	1,00	24,7
AdL	GNS	0,72	35,0
	GRN	0,75	29,8
AdP	GNS	0,74	34,0
	GRN	0,76	28,4
AdL	GNS	0,60	38,4
	GRN	0,59	31,4
AdP	GNS	0,60	38,6
	GRN	0,60	30,9
AdL	GNS	0,50	42,0
	GRN	0,50	32,9
AdP	GNS	0,48	39,2
	GRN	0,47	34,7
AdL	GNS	0,45	44,0
	GRN	0,45	35,2
AdP	GNS	0,43	43,2
	GRN	0,44	35,7
AdL	GNS	0,40	42,8
	GRN	0,40	35,5
AdP	GNS	0,38	44,6
	GRN	0,44	35,3

Tabela 12. Relação água/cimento x módulo de deformação (ACERVO DO AUTOR, 2017)

4.3.1.4. Módulo de Deformação X Consumo de Cimento

Observa-se na Figura 34 e na tabela 12, que independentemente do tipo de aditivo utilizado, para um mesmo consumo de cimento, os concretos com GNS apresentaram melhor módulo de deformação em relação aos concretos com GRN.

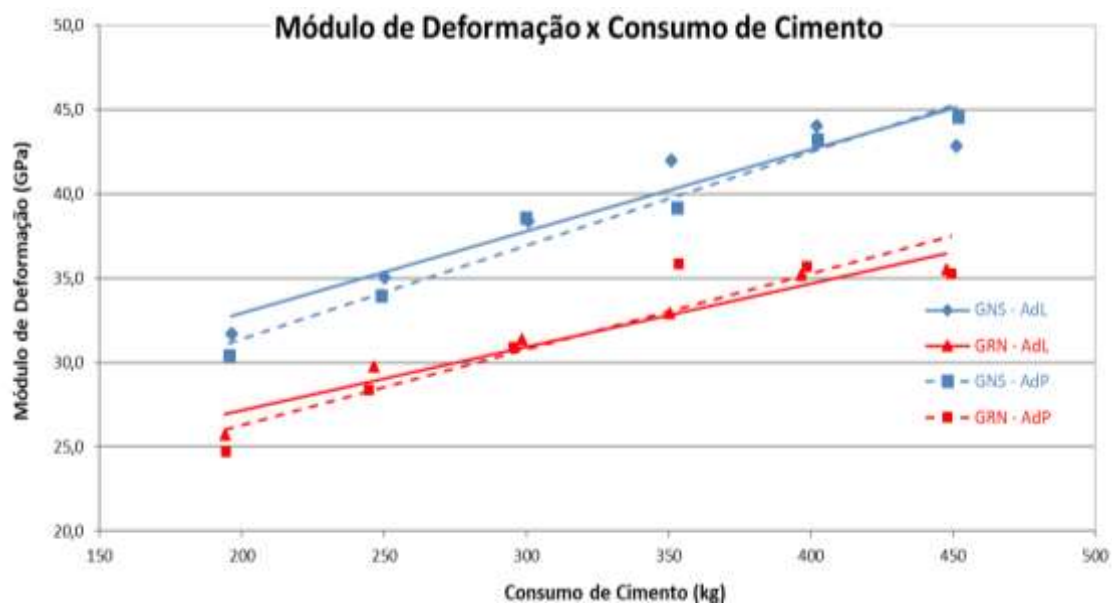


Figura 34. Módulo de deformação X Consumo de cimento (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Aditivo	Agregado	Cimento real (kg)	Módulo (GPa)
AdL	GNS	196	31,7
	GRN	194	25,7
AdP	GNS	195	30,4
	GRN	194	24,7
AdL	GNS	250	35,0
	GRN	247	29,8
AdP	GNS	249	34,0
	GRN	245	28,4
AdL	GNS	301	38,4
	GRN	299	31,4
AdP	GNS	300	38,6
	GRN	295	30,9
AdL	GNS	351	42,0
	GRN	350	32,9
AdP	GNS	353	39,2
	GRN	354	34,7
AdL	GNS	402	44,0
	GRN	397	35,2
AdP	GNS	403	43,2
	GRN	399	35,7
AdL	GNS	451	42,8
	GRN	448	35,5
AdP	GNS	452	44,6
	GRN	449	35,3

Tabela 13. Módulo de deformação x Consumo de cimento (ACERVO DO AUTOR, 2017)

4.3.1.5. Módulo de Deformação X F_{ck}

Conforme observado no gráfico 35 e Tabela 13, somente os concretos com GNS atenderam os requisitos da norma NBR 6118:2014 – Projeto de

estruturas de concreto, item 8.2.8. Portanto, há de se observar que as exigências de projeto ao atendimento de módulo de deformação independem ao atendimento dos requisitos do F_{cj} .

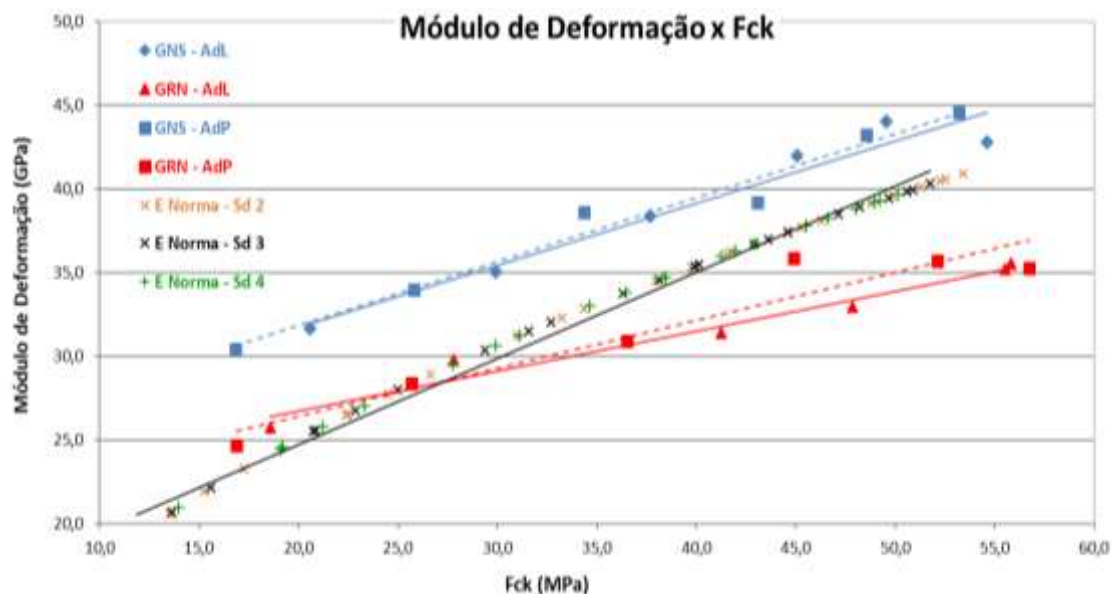


Figura 35. Módulo de deformação x F_{ck} (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Aditivo	Agregado	f_{cj} Real (MPa)	E real (GPa)	E Norma Sd=2		E Norma Sd=3		E Norma Sd=4	
				f_{ck}	E	f_{ck}	E	f_{ck}	E
AdL	GNS	20,6	31,7	17,3	23,3	15,6	22,1	14,0	20,9
	GRN	18,6	25,8	15,3	21,9	13,6	20,7	12,0	19,4
AdP	GNS	16,8	30,4	13,5	20,6	11,9	19,3	10,2	17,9
	GRN	16,9	24,7	13,6	20,6	11,9	19,3	10,3	18,0
AdL	GNS	29,9	35,0	26,6	28,9	25,0	28,0	23,3	27,0
	GRN	27,8	29,8	24,5	27,7	22,9	26,8	21,2	25,8
AdP	GNS	25,8	34,0	22,5	26,6	20,9	25,6	19,2	24,5
	GRN	25,7	28,4	22,4	26,5	20,7	25,5	19,1	24,5
AdL	GNS	37,7	38,4	34,4	32,8	32,7	32,0	31,1	31,2
	GRN	41,3	31,4	38,0	34,5	36,3	33,7	34,7	33,0
AdP	GNS	34,3	38,6	31,0	31,2	29,4	30,4	27,7	29,5
	GRN	36,5	30,9	33,2	32,3	31,6	31,5	29,9	30,6
AdL	GNS	45,1	42,0	41,8	36,2	40,1	35,5	38,5	34,7
	GRN	47,9	32,9	44,6	37,4	42,9	36,7	41,3	36,0
AdP	GNS	43,1	39,2	39,8	35,3	38,1	34,6	36,5	33,8
	GRN	44,9	35,8	41,6	36,1	39,9	35,4	38,3	34,6
AdL	GNS	49,6	44,0	46,3	38,1	44,6	37,4	43,0	36,7
	GRN	55,5	35,2	52,2	40,5	50,6	39,8	48,9	39,2
AdP	GNS	48,6	43,2	45,3	37,7	43,6	37,0	42,0	36,3
	GRN	52,1	35,7	48,8	39,1	47,2	38,5	45,5	37,8
AdL	GNS	54,6	42,8	51,3	40,1	49,7	39,5	48,0	38,8
	GRN	55,8	35,5	52,5	40,6	50,9	39,9	49,2	39,3
AdP	GNS	53,2	44,6	49,9	39,6	48,2	38,9	46,6	38,2
	GRN	56,7	35,3	53,4	40,9	51,8	40,3	50,1	39,6

Tabela 14. Módulo de deformação X F_{ck} (ACERVO DO AUTOR, 2017)

Conforme tabela 14, somente os concreto com GNS atende as solicitações de norma independente do consumo de cimento ou do tipo de cimento utilizado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentar-se à as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões descritas neste capítulo estão intimamente ligadas às características dos concretos estudados. Mediante os resultados e análises apresentados, as seguintes conclusões podem ser feitas:

- a) Conforme os estudos apresentados neste trabalho, conclui-se que a perda de abatimento não sofre influência do tipo de rocha utilizado, mas sim sofre influência do tipo de aditivo;
- b) O desempenho dos aditivos utilizados neste estudo não sofreu influência de qualquer um dos 2 agregados utilizados;
- c) Os concretos com rocha GRN apresentaram resistência a compressão simples superior aos concretos com rocha GNS. Já os concretos com GNS apresentaram módulo de deformação superior;
- d) Conclui-se que os requisitos de projetos a serem atendidos, que compreendem resistência compressão simples e/ou módulo de deformação, devem ser analisados separadamente.
- e) As resistências a compressão simples, diferentemente do módulo de deformação, podem ser atendidas mediante um ajuste na curva granulométrica. Porém o módulo de deformação do concreto é atingido diretamente pelo modo deformação da rocha;
- f) Se o projeto especificar resistência a compressão simples, as rochas disponíveis na região mediante um ajuste na curva granulométrica, poderão atingir esta exigência. Porém se além da resistência a compressão, também foi exigido o módulo de deformação, então

deve-se estudar as rochas disponíveis, inclusive suas variantes, para o atendimento destes requisitos. Sendo que não há uma relação entre resistência a compressão simples e módulo de deformação, quando o concreto for produzido com diferentes tipos de agregados.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, abaixo, proposições para novos trabalhos relacionados ao presente estudo:

Estudos similares com os mesmos tipos de rochas, e outros tipos e classes de cimento, estipulando as classes de resistência à compressão.

Recomenda-se ainda uma avaliação da microestrutura do concreto, principalmente na interface pasta agregado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto Armado**: novo milênio: cálculo prático e econômico. 2. ed., rev. e atual. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ALBUQUERQUE, A. S. **Materiais de Construção**1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wpcontent/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15900-1**: água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016,

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

_____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland. AMN,1997

_____. **NBR NM 43: Cimento Portland: Determinação da pasta de consistência normal.** AMN, 2002.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 537-584.

CELIK, T.; MARAR, K. Effects of crushed stone dust on some properties of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 26, 1996.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997.

CUNHA, J. C. Módulo de Elasticidade do Concreto. **Informador das Construções**, Belo Horizonte, ed.1424, jul. 2000.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do Concreto.** São Paulo: Pini, 1992.

GUIMARÃES, L. E.; SANTOS, D. R.; FIGUEIREDO, E. J. P. Avaliação do Módulo de Deformação do concreto em diferentes idades e com diferentes relações água/cimento. **A construção em Goiás**, out. 2002.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** PINI. São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L.; MONTEIRO, P. J. M. Projetando misturas de concreto para força, módulo elástico e energia de fratura. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1.

HELENE, P.R.L.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 906-944.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado.** São Paulo, 1998. Disponível em:
<<http://wwwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

KANDHAL, P. S.; LYNN, C.Y.; PARKER, F. Tests for Plastic Fines in Aggregates Related to Stripping in Asphalt Paving Mixtures. **NCAT Report**, Auburn, Alabama, n. 98-3, 1998.

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

_____. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. Estados Unidos: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade da Califórnia em Berkeley, 2014

_____. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO NETO, A. A.; HELENE, P. R. L. **Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade de Concretos**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IBRACON, 2002

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Propriedades do Concreto**: São Paulo: Pini, 1982.

NEVILLE, A. M; BROOK, J. J. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

_____. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2015.

_____. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NUNES, F. W. G. **Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1978.

RECENA, F. A. P.; PEREIRA, F. M. Produção e Controle de Concreto em Obras. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 184-232.

SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, p. 233-260.

SHEHATA, L. C. D. Propriedades dos Concretos Auto Adensáveis – Possibilidades de Diferenças com Relação aos Vibrados de Mesma Classe de Resistência. **Revista das estruturas pré-fabricadas**, n. 6, dez. 2015.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos agregados de cimento Portland. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 415- 451.

VERÇOSA, E. J. **Material de Construção 1**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.