

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARISE NAKAO VILELA

ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO
PARA DIFERENTES ORIGENS DOS AGREGADOS
GRAÚDOS DA REGIÃO DE ANÁPOLIS/GO

ANÁPOLIS / GO
2019

MARISE NAKAO VILELA

**ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO
PARA DIFERENTES ORIGENS DOS AGREGADOS
GRAÚDOS DA REGIÃO DE ANÁPOLIS/GO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA
BORGES**

**ANÁPOLIS/GO
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

VILELA, MARISE NAKAO

Análise Do Módulo De Elasticidade Do Concreto Para Diferentes Origens Dos Agregados Graúdos Da Região De Anápolis/GO.

52P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. Concreto | 2. Módulo De Elasticidade |
| 3. Resistência À Compressão | 4. Agregado Graúdo |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ⁰) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VILELA, Marise Nakao. Análise do módulo de elasticidade do concreto para diferentes origens dos agregados graúdos da região de Anápolis/GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 52p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

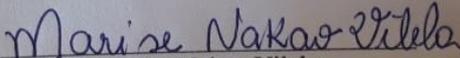
NOME DO AUTOR: Marise Nakao Vilela

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise do módulo de elasticidade do concreto para diferentes origens dos agregados graúdos da região de Anápolis/GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Marise Nakao Vilela
marisenakao12@hotmail.com

MARISE NAKAO VILELA

**ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA
DIFERENTES ORIGENS DOS AGREGADOS GRAÚDOS NA
REGIÃO DE ANÁPOLIS/GO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:



RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 31 de MAIO de 2019.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos primeiramente são para Deus, porque sem Ele nada disso seria possível, pois é Ele que me deu forças para chegar até esse momento da minha vida.

Agradeço também aos meus pais, que sempre me apoiam no que faço, sempre foram e sempre serão minha base para tudo o que faço. É por eles que todos os dias luto pelos meus estudos na faculdade e por eles que conquisto o que tenho aprendido.

Agradeço também aos meus avós, que sempre me incentivaram a estudar, para assim como meus pais fizeram com eles, dar um futuro melhor e com tranquilidade à eles.

Agradeço ao meu professor, especialista e orientador, Rodolfo que me ajudou na escolha e na orientação da minha pesquisa.

A todos meus amigos meu sentimento de gratidão, que com nossa troca de ajuda, muitos chegaram até aqui. Agradeço principalmente a minha amiga Flávia Lavínia Costa, pois foi ela que desde o início do curso concordou em ser minha dupla e dos meus grupos.

Agradeço também ao pessoal dos laboratórios da Unievangélica, Rafaela Vieira, Ângela Vieira e Eber Rocha, e do Instituto Federal de Goiás (IFG), Ildelei Santos, por me possibilitarem de realizar os experimentos na prensa de compressão.

Marise Nakao Vilela

RESUMO

Esta pesquisa surgiu com o objetivo de analisar a influência do agregado graúdo de diferentes origens litológicas no concreto. Foram observadas as propriedades mecânicas que o concreto possui, como a resistência à compressão e o módulo de deformação gerado pelos ensaios. Para essa análise foram escolhidos dois tipos de agregados graúdos com diferentes origens da região de Anápolis, no estado de Goiás. Atualmente, duas grandes pedreiras distribuem agregados graúdos na cidade, cada uma com um tipo de agregado graúdo de diferentes origens. O material oferecido pela Pedreira A é de origem da rocha micaxisto, já o da Pedreira B é de origem da rocha granulito. Para a obtenção dos resultados, foram feitos experimentos de resistência de concreto nos corpos de prova produzidos com os dois tipos de agregados graúdos diferentes, para que fossem comparados em relação ao módulo de elasticidade do concreto produzido com ambos agregados graúdos. O resultado indica um desempenho da resistência que o concreto produzido irá oferecer após 28 dias. Foi estimada uma resistência de 25 MPa. O estudo foi baseado em um traço calculado para os dois tipos de brita, foram produzidos corpos de prova e analisados a resistência ao realizar seus rompimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Resistência à compressão. Análise da deformação.

ABSTRACT

This research arose with the purpose of analyzing the influence of the large aggregate of different lithological origins in the concrete. It was observed the mechanical properties in which the concrete has, such as the compressive strength and the modulus of deformation generated by the tests. For this analysis, two types of large aggregates with different origins from the region of Anápolis in the state of Goiás were chosen. Currently, two large quarries distribute large aggregates in the city, each with a large aggregate type of different origins. The material offered by the Pedreira A is of origin of the rock micaxisto, whereas the one of the Pedreira B is of origin of the granulite rock. In order to obtain the results, concrete resistance experiments were carried out on the specimens produced with the two types of different aggregates to be compared with the modulus of elasticity of the concrete produced with both large aggregates. The result indicates a resistance performance that the concrete produced will offer after 28 days. A resistance of 25 MPa was estimated. The study was based on a calculated trait for the two types of crushed stone, test specimens were produced and the resistance was analyzed when performing their ruptures.

KEYWORDS: Concrete. Compressive strength. Deformation analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto	16
Figura 2 – Influência da relação água-cimento na resistência à compressão	17
Figura 3 – Relação entre a resistência e o fator água-cimento	17
Figura 4 – Influência do ar incorporado sobre a resistência do concreto	18
Figura 5 - Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto (continua).....	20
Figura 6 - Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto	22
Figura 7 - Atuação do valor do diâmetro sob a resistência do concreto, quando a relação altura/diâmetro é igual a 2	23
Figura 8 - Atuação do valor da relação altura/diâmetro sob a resistência do concreto	23
Figura 9 - Comportamento típico da curva tensão-deformação para o concreto e seus principais componentes	24
Figura 10 - Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial.....	25
Figura 11 - Gráfico tensão-deformação com os diferente tipos de módulos de elasticidade ...	26
Figura 12 - Expressões para determinar o módulo de elasticidade (Ecs e fck, em MPa).....	27
Figura 13 - Fatores que influenciam o módulo de elasticidade do concreto	28
Figura 14 - Relação água-cimento aos 28 dias em relação ao módulo de deformação do concreto	29
Figura 15 - Influência da quantidade de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto com abatimento constante	31
Figura 16 - Influência da quantidade de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto com relação água-cimento constante.....	31
Figura 17: Micaxisto.....	34
Figura 18: Granulito	35
Figura 19: Características do cimento Tocantins	36
Figura 20: Areia natural de rio	36
Figura 21: Corpos de prova na fase de cura na câmara úmida	39
Figura 22: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira B ...	39
Figura 23: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira A...	40

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Influência da dimensão máxima e do tipo de agregado sobre a resistência à compressão do concreto.....	20
Tabela 2: Influência do tipo e do tamanho do agregado sobre o módulo de elasticidade.....	30
Tabela 3: Porosidade de alguns minerais comuns	32
Tabela 4: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A.	40
Tabela 5: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B..	40
Tabela 6: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A.	42
Tabela 7: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B..	43
Tabela 8: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A.	44
Tabela 9: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B..	44
Tabela 10: Média aritmética das resistências	46
Tabela 11: Módulo de elasticidade do concreto pela NBR 6118	46
Tabela 12: Módulo de elasticidade do concreto pela EUROCODE 2.....	47
Tabela 13: Módulo de elasticidade do concreto pela ACI 318.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 3 dias com o agregado graúdo Granulito	41
Gráfico 2: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 3 dias com o agregado graúdo Micaxisto.....	41
Gráfico 3: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 7 dias com o agregado graúdo Granulito	43
Gráfico 4: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 7 dias com o agregado graúdo Micaxisto.....	44
Gráfico 5: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 28 dias com o agregado graúdo Granulito	45
Gráfico 6: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 28 dias com o agregado graúdo Micaxisto....	45

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

a/c	Relação água-cimento
ACI	American Concrete Institute
CEB	Comitê Euro-International Du Béton
D _{máx}	Diâmetro Máximo
E _{cs}	Módulo de elasticidade secante do concreto
E _{ci}	Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto
<i>f_{ck}</i>	Resistência característica do concreto
<i>f_c</i>	Resistência do concreto
GPa	GigaPascal
MPa	MegaPascal
mm	milímetro
NBR	Norma Brasileira
%	Por cento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 METODOLOGIA	13
1.4 estrutura do trabalho.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	15
2.1.1 Fatores que influenciam na resistência à compressão	16
2.1.1.1 Relação água-cimento	17
2.1.1.2 Porosidade.....	18
2.1.1.3 Natureza do agregado.....	18
2.1.1.3.1 <i>Definição e classificação</i>	<i>19</i>
2.1.1.3.2 <i>Classificação quanto a dimensão.....</i>	<i>19</i>
2.1.1.3.3 <i>Forma, textura e dimensão do agregado para o concreto.....</i>	<i>19</i>
2.1.1.4 Cura.....	21
2.1.1.5 Medidas para o ensaio.....	22
2.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE	23
2.2.1 Determinação do módulo de elasticidade.....	26
2.2.2 Fatores que influenciam o módulo de elasticidade.....	27
2.2.2.1 Relação água-cimento	28
2.2.2.2 Agregado graúdo e suas dimensões	29
2.2.2.3 Porosidade e módulo de elasticidade do agregado graúdo	31
2.2.2.4 Cura.....	32
2.2.2.5 Medidas para o ensaio.....	32
3 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO ENSAIO EXPERIMENTAL	33
3.1 MICAXISTO	33
3.2 GRANULITO	34
3.3 DOSAGEM E APARELHAGEM	35

3.3.1	Cimento	35
3.3.2	Agregado miúdo	36
3.3.3	Agregado graúdo	37
3.3.4	Água.....	37
4	ENSAIOS E RESULTADOS	38
4.1	DOSAGEM DO CONCRETO.....	38
4.2	PROGRAMA EXPERIMENTAL	38
4.3	RESULTADO PELA NBR 6118 (2003).....	46
4.4	RESULTADO PELA EUROCODE 2 (1990)	46
4.5	RESULTADO PELA ACI 318 (1999) – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais importantes numa construção civil, mesmo que utilizados outros materiais, o concreto ainda sim continua fazendo parte da construção, pelo menos na parte da fabricação das fundações. Surgiu com o propósito de poder ser moldado até atingir o formato e a dimensão desejados.

Um de seus elementos é o agregado. Os agregados são fragmentos de rochas, materiais granulados, naturais ou artificiais, de tamanhos e formatos indefinidos. Porém cada um com seu tamanho adequado em algum uso na construção. Estes são popularmente chamados de “brita” e “areia” e tem suas características e propriedades físicas conforme a necessidade da preparação do concreto.

Segundo Alhadas (2008), o agregado influencia em muitas características do concreto, são elas porosidade, composição granulométrica, absorção d’água, estabilidade, forma e textura dos grãos, resistência mecânica e módulo de deformação.

O agregado possui uma curva granulométrica que varia e que podem ser procedente dos locais que foram retirados. Isso implica que o material de jazidas diferentes podem fazer diferença na preparação do concreto.

Para o engenheiro começar a construção de sua obra, é de suma importância ter o conhecimento de uma estrutura de concreto, o peso, a forma, as posições e suas deformações. Para isso, são feitos inúmeros experimentos relacionados ao concreto. Como por exemplo testes relacionados à compressão, à tração e à abrasão. Ao realizar ensaio de compressão no concreto, verifica-se seu módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade do concreto é uma propriedade que envolve ensaios em laboratório e é analisado geralmente na fase de água/cimento. Estes ensaios, geralmente, são executados com a finalidade de verificar a qualidade, atender as especificações, conhecer suas propriedades de deformação, sua fluência e outros estados limites de serviço.

De acordo com a NBR 8522 (ABNT, 1984), o módulo de elasticidade é obtido através de ensaios de compressão dos corpos-de-prova, que irão resultar em uma relação de tensão aplicada e deformação resultante desse ensaio. Além disso, resultará em uma curva, chamada tensão-deformação, que, para obtenção de um valor exato do módulo de elasticidade, pode-se haver uma complexidade, pelo fato desta curva não possuir uma forma linear. Os valores serão praticamente aproximados.

1.1 JUSTIFICATIVA

O módulo de elasticidade é uma propriedade importante do concreto onde geralmente é analisado na fase de água/cimento, porém a influência do agregado graúdo vem sendo estudada. Além disso, o concreto que tem o agregado graúdo em sua composição, pode obter um alto desempenho relacionado tanto a sua tensão quanto a sua deformação. Neste trabalho, foram utilizados dois agregados graúdos de jazidas diferentes, e através de equações já existentes, saber qual a diferença do módulo de elasticidade dos dois.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar experimentos de compressão de corpos de prova de cimento de mesmas dimensões com agregados graúdos de duas jazidas diferentes, para estimar o módulo de elasticidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma revisão bibliográfica sobre os agregados graúdos de duas jazidas existentes na cidade de Anápolis;
- Obter amostras de concreto de britas em jazidas diferentes;
- Realizar ensaios de compressão simples em prensa;
- Analisar os dados obtidos no ensaio e comparar com os valores normativos;
- Analisar qual a influência do módulo de elasticidade ao realizar o processo de compressão naquele concreto com seus diferentes agregados.

1.3 METODOLOGIA

Neste trabalho, será realizada uma análise tanto qualitativa quanto quantitativa para descrever o módulo de elasticidade do concreto com agregados graúdos de duas jazidas diferentes da cidade de Anápolis, Goiás. Será realizada uma revisão bibliográfica da origem e os tipos de agregado graúdo das duas jazidas de Anápolis. Serão produzidas amostras de

concretos, com agregado graúdo da Pedreira A e com agregado graúdo da Pedreira B. Será realizado o processo de compressão após 3, 7 e 28 dias e será analisada a influência do módulo de elasticidade das duas jazidas no concreto, utilizando o nível de resistência de 25 MPa, aos 28 dias.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho terá a finalidade de mostrar um pouco sobre a bibliografia da origem e dos tipos de agregados existentes na cidade de Anápolis. Serão realizados experimentos com a finalidade de obter o módulo de elasticidade desses concretos através do processo de compressão simples em prensa.

No capítulo 1 foi preparada uma introdução do tema abordado, que é o módulo de elasticidade do concreto produzido com dois tipos de agregados graúdos diferentes. Foi mostrado quais os objetivos e a justificativa de realizar este estudo.

No capítulo 2 foi detalhada uma revisão bibliográfica sobre o tema, relacionando todos os materiais utilizados na confecção do concreto, como água, cimento, agregado miúdo e agregados graúdos.

O capítulo 3 foi produzido com o objetivo de detalhar os perfis dos agregados graúdos que são utilizados na cidade de Anápolis, são eles micaxisto e granulito. Mostrando qual é o agregado mais usado na cidade e o porque dos trabalhadores preferirem esse tipo de brita.

O capítulo 4 apresenta a metodologia de dosagem do concreto, caracterizando os materiais usados. Mostra também a realização experimental de confecção e compressão dos corpos-de-prova com os diferentes tipos de agregados graúdos. Logo após a compressão, é detalhado a resistência que o concreto alcançou em 3, 7 e 28 dias.

Nos resultados, capítulo 5, foi usado expressões já existentes, para calcular o módulo de elasticidade que esses corpos de prova com os diferentes tipos de agregados graúdos conseguiram atingir e comparar um ao outro. Foi usado as expressões da NBR 6118:2003, a EUROCODE 2:2004 e a ACI 318:2005 para estimar os valores do módulo de elasticidade que esses corpos de prova atingiram.

No capítulo 6, é detalhada a conclusão que foi obtida pelos experimentos, análises e estudos do módulo de elasticidade e resistência do concreto que foi produzido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência está relacionada a máxima tensão que irá causar rompimento no concreto. Mesmo não sendo observadas rupturas externas, o concreto submetido à máxima tensão, sofre fissurações internas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Segundo Mendes (2002), a resistência a compressão é a propriedade mais importante do concreto, pois pode mostrar a classificação e a qualidade do concreto, e ainda é o ensaio mais fácil, realizado de acordo com as normas NBR 5738 (ABNT, 1994) e a NBR 5739 (ABNT, 1994). Com os testes de resistência à compressão do concreto, é possível estimar os valores do módulo de elasticidade e a resistência à tração.

Almeida (2012) define resistência à compressão do concreto como a tensão aplicada em um corpo-de-prova que provocará ruptura neste concreto e nos materiais que o compõem. Este ensaio mostra também a relação tensão-deformação que o concreto atinge. Os concretos são caracterizados a partir de grupos de resistência característica à compressão (f_{ck}), expressa em Mega Pascal (MPa).

Alhadad (2008) esquematiza os principais influenciadores para mudança do valor da resistência do concreto da seguinte forma:

1. Características e proporções dos materiais constituintes
 - Relação água-cimento
 - Finura e tipo de cimento
 - Forma, textura, dimensão máxima do agregado
 - Natureza do agregado graúdo
 - Granulometria do agregado
 - Aditivos químicos
 - Adições minerais
 - Relação agregado – cimento
2. Condições de cura
 - Duração
 - Umidade do ambiente de cura
 - Temperatura de cura
 - Parâmetros de ensaio

- Dimensões do corpo de prova
- Capeamento dos corpos de prova
- Umidade do corpo de prova
- Temperatura de ensaio e velocidade de carregamento.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), há fatores internos e externos que influenciam, na resistência à compressão do concreto, como mostrado na figura 1.

Figura 1 – Fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (1993)

2.1.1 Fatores que influenciam na resistência à compressão

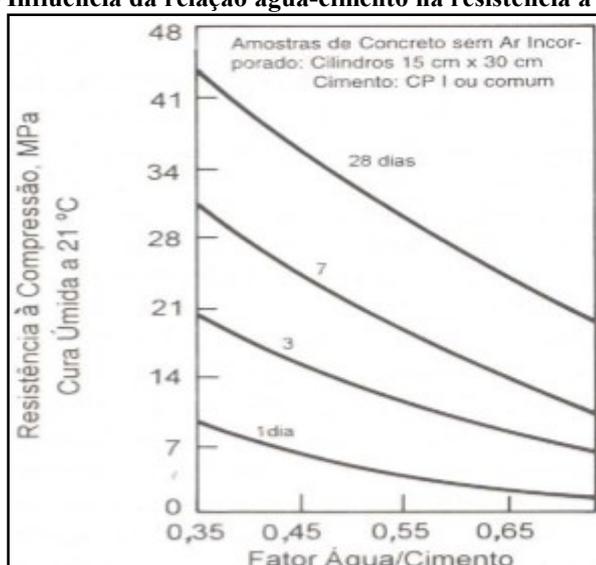
Barbosa (2009) afirma que o concreto é um material heterogêneo e multifásico, por isso, em seu comportamento, sofre influência também do comportamento, tanto elástico quanto mecânico, de seus componentes. Características como forma, textura, tamanho, granulometria, entre outros, também afetam no valor do resultado final. O estudo desses fatores é importante até para segurança de uma estrutura feita de concreto. Como por exemplo, em lugares que sofrem frequentes vibrações, lugares que sofrem variações climáticas frequentes, entre outros casos, fazem com que o engenheiro estude alguns fatores que poderiam causar danos na construção. Detalha-se alguns desses fatores.

2.1.1.1 Relação água-cimento

De acordo com Leal (2012) a relação água-cimento e a resistência da pasta de cimento é conhecida como Lei de Abrams, que diz que com o aumento da porosidade na relação água-cimento, diminui a resistência do concreto analisado.

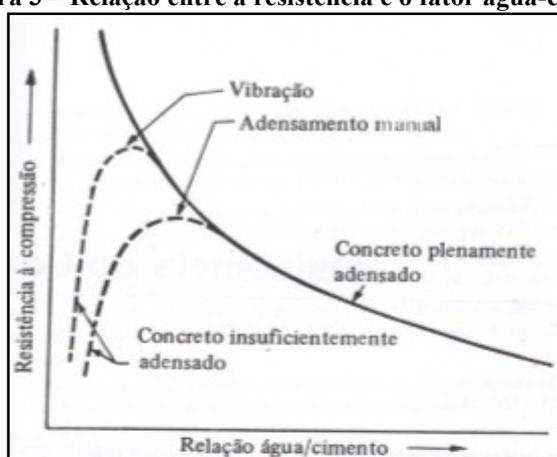
Para Nunes (2005), para se ter uma alta resistência do concreto, deve-se diminuir a relação água-cimento e o concreto deve estar altamente adensado, como mostrado nas figuras 2 e 3.

Figura 2 – Influência da relação água-cimento na resistência à compressão



Fonte: Mehta E Monteiro (1993)

Figura 3 – Relação entre a resistência e o fator água-cimento



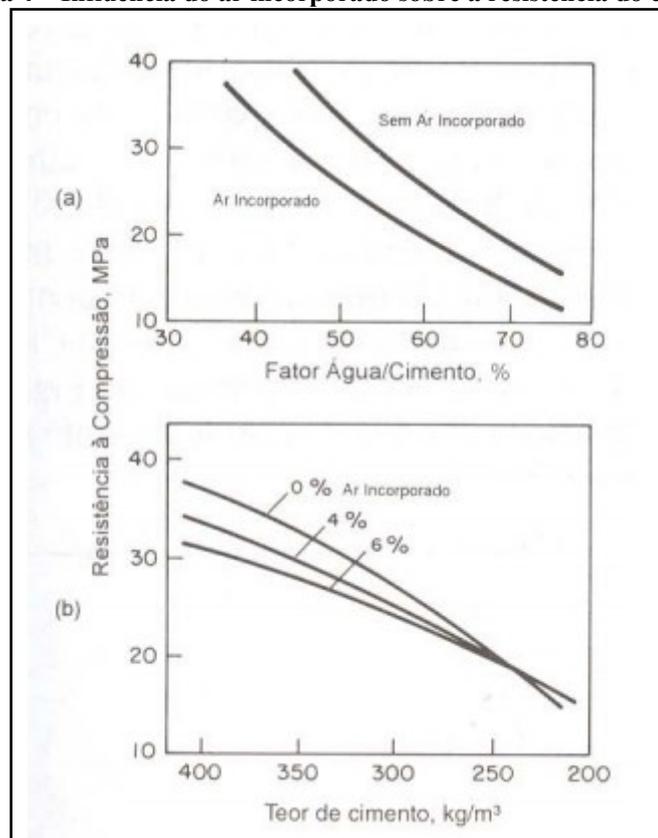
Fonte: Neville (1997)

2.1.1.2 Porosidade

Segundo Mehta e Monteiro (apud KUMMER, 2016), a porosidade ou o ar que foi incorporado no concreto, pode estar relacionado à resistência do concreto. Não sendo apenas a relação água-cimento um fator que influencie, mas também a porosidade está ligada à resistência, sendo quanto maior o índice de porosidade menor a resistência desse concreto.

Mehta e Monteiro (1993) mostram na figura 4 que o concreto, em sua relação água-cimento, que possui uma alta taxa de cimento, tem maiores chances de ter uma perda na resistência pois aumenta a sua porosidade.

Figura 4 – Influência do ar incorporado sobre a resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (1993)

2.1.1.3 Natureza do agregado

De acordo com Isaia et al. (2011), a Terra é dividida em crosta, camada intermediária e núcleo. Porém a camada da crosta é a mais interessante, onde são encontrados os minerais que serão utilizados na construção civil. Esses minerais são classificados de acordo com sua gênese em rochas ígneas ou magmáticas, provenientes do esfriamento do magma; as rochas

sedimentares, provenientes de outros tipos de rochas tanto físico como quimicamente; e as rochas metamórficas, oriundas de rochas que sofreram mudança de temperatura e pressão.

2.1.1.3.1 Definição e classificação

Para Neto et al. (2011) o concreto é um material granular, sem forma ou volume definidos, porém com dimensões e propriedades adequadas para fabricação do concreto e argamassas. Sendo também classificados como naturais, aqueles que são oferecidos pela natureza; britados, provenientes da britagem; artificiais, oriundos de indústrias; e os reciclados, restos de entulhos que tenham propriedades para tal uso.

2.1.1.3.2 Classificação quanto a dimensão

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), ao realizar os procedimentos da NBR 248 (2003), o agregado que passa pela peneira de malha de 152mm e mantido em peneira de malha de 4,75mm, é classificado como agregado graúdo. Já o agregado que passa pela peneira de malha de 4,75mm e mantido na peneira de malha de 0,075mm são classificados como agregado miúdo.

2.1.1.3.3 Forma, textura e dimensão do agregado para o concreto

Para Neville (1997), o agregado, de uma mesma origem mineralógica, com uma superfície lisa, não apresenta uma boa resistência. Já o agregado com uma superfície áspera, mostra ter um aumento na resistência ao ser comprimido. Isso significa que a forma e a superfície do agregado tem influência na resistência do concreto.

Para Nunes (2005), o concreto fabricado com o agregado de menor dimensão tem uma maior resistência do que o agregado de maior dimensão, isso porque o agregado com maior dimensão provoca uma tensão maior na zona de transição do concreto e também absorve menos água, fazendo assim o concreto perder resistência.

Pereira Neto e Djanikian (1996) realizaram um experimento onde usaram diferentes tipos de agregados, com uma quantidade de cimento de 550 kg/cm³ e para obter um abatimento superior de 200 mm no tronco de cone. Mostraram que nem sempre, mas na maioria das vezes, com o aumento da dimensão do agregado, haverá diminuição da resistência. Como observa-se na tabela 1.

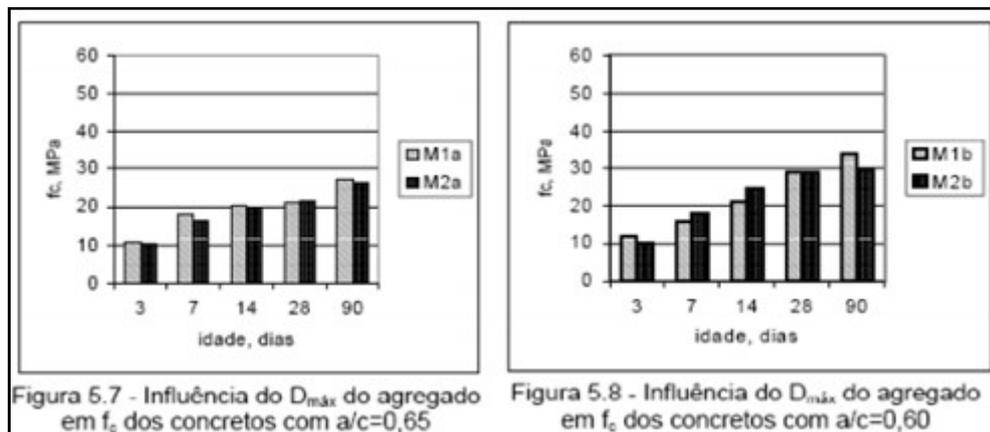
Tabela 1: Influência da dimensão máxima e do tipo de agregado sobre a resistência à compressão do concreto

Natureza do agregado	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)		
		9,5 mm	19 mm	25 mm
Granito	14 dias	75,33	72,35	69,97
Gnaisse		69,88	71,95	72,17
Diabásio		73,42	73,09	62,15
Calcário		75,24	75,25	75,07
Granito	28 dias	76,54	86,32	85,54
Gnaisse		86,05	88,91	75,45
Diabásio		81,67	84,69	83,8
Calcário		87,93	87,86	75,34
Granito	56 dias	90,9	92,4	94,6
Gnaisse		99,7	96,5	98,74
Diabásio		91,7	90,2	86,2
Calcário		103,7	103,7	92

Fonte: Pereira Neto E Djanikian (1996)

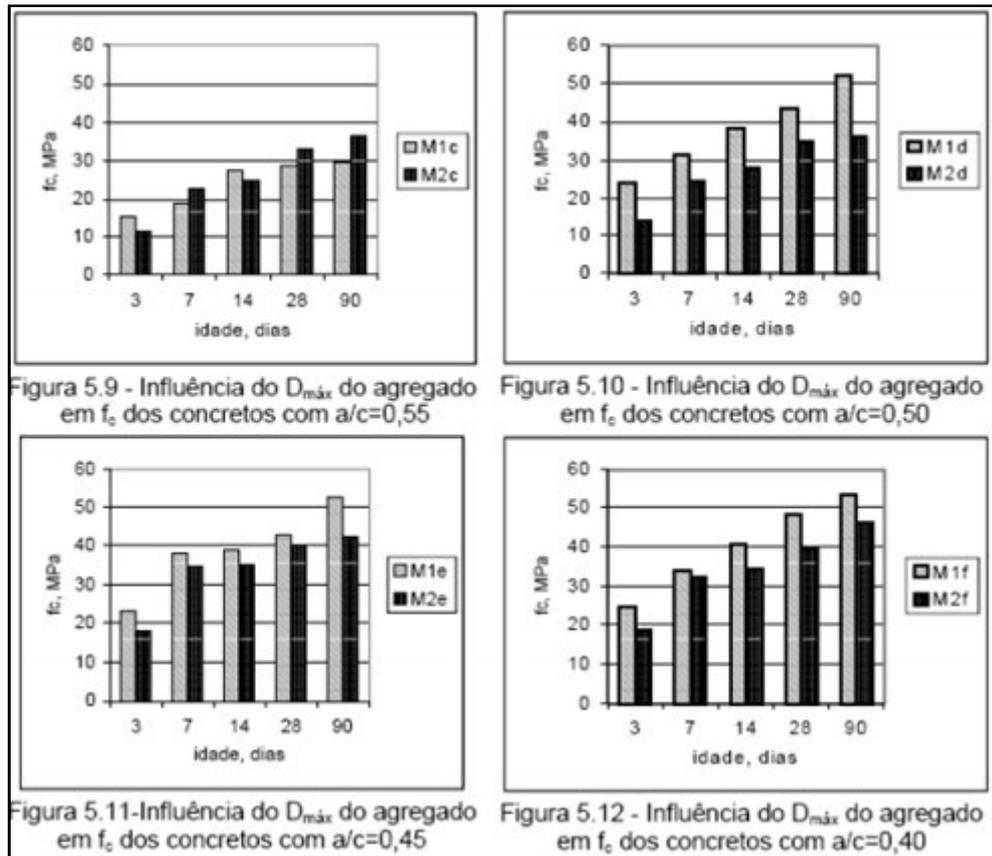
Evangelista (2002) utilizando as mesmas proporções volumétricas, o mesmo tipo de cimento e o mesmo valor de abatimento do tronco de cone, chegou a conclusão que onde o concreto tinha baixo valor da relação água-cimento a diferença de resistência à compressão era mais significativa do que na dimensão do agregado, conforme a figura 5.

Figura 5 - Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto (continua)



Fonte: Evangelista (2002)

Figura 5 - Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto (continuação)



Fonte: Evangelista (2002)

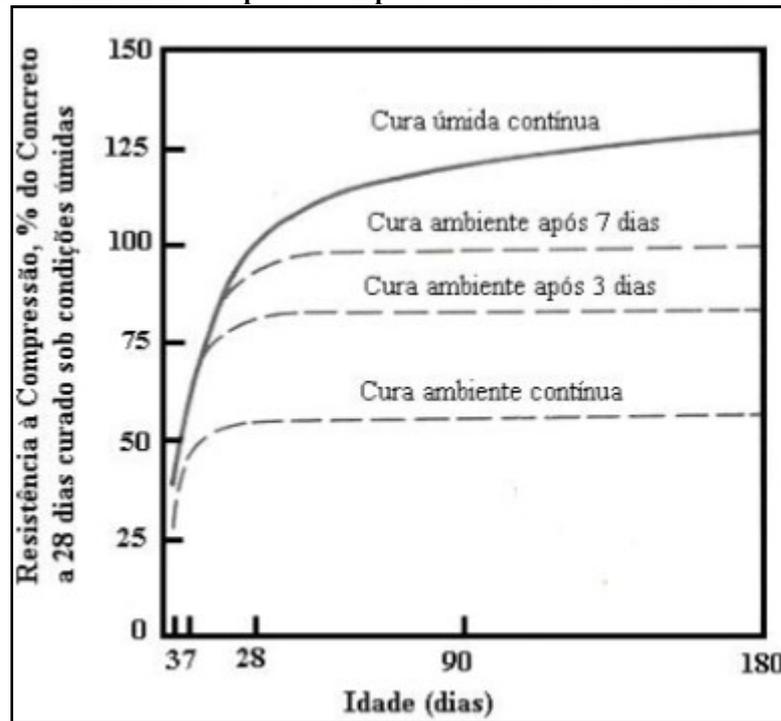
2.1.1.4 Cura

Segundo Nunes (2005), cura são padrões tomados com o objetivo de não perder água do concreto durante seu processo de hidratação. Isso engloba vários fatores que influenciam na cura e também na resistência desse concreto, tais como a temperatura, o tempo de cura e a umidade.

Para Kummer (2016), a temperatura, no período da cura, tem grande influência no resultado da resistência final do concreto, para que o cimento seja hidratado de uma forma correta. Quanto maior o tempo de cura e quanto mais úmido o ambiente estiver, melhor será a resistência desse concreto.

Evangelista (2002) realizou um experimento em concretos submetidos a dois tipos de cura: úmida por 2 dias antes da idade do ensaio e úmida por 7 dias, e depois disso em laboratórios. Nesses experimentos ele observou que, como a hidratação dos corpos-de-prova foi mais intensa, a resistência à compressão dos corpos foram valores próximos, como mostrado na figura 6, pois ficaram imersos em água.

Figura 6 - Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (1993)

2.1.1.5 Medidas para o ensaio

Mendes (2002) diz que a dimensão, o tipo, o capeamento, velocidade de carregamento, temperatura e a umidade do corpo-de-prova são alguns dos fatores que intervêm no valor do resultado da resistência à compressão. Logo, os ensaios devem seguir um padrão para que todos os parâmetros impostos para esses fatores, sigam as normas para obtenção real dos valores da resistência.

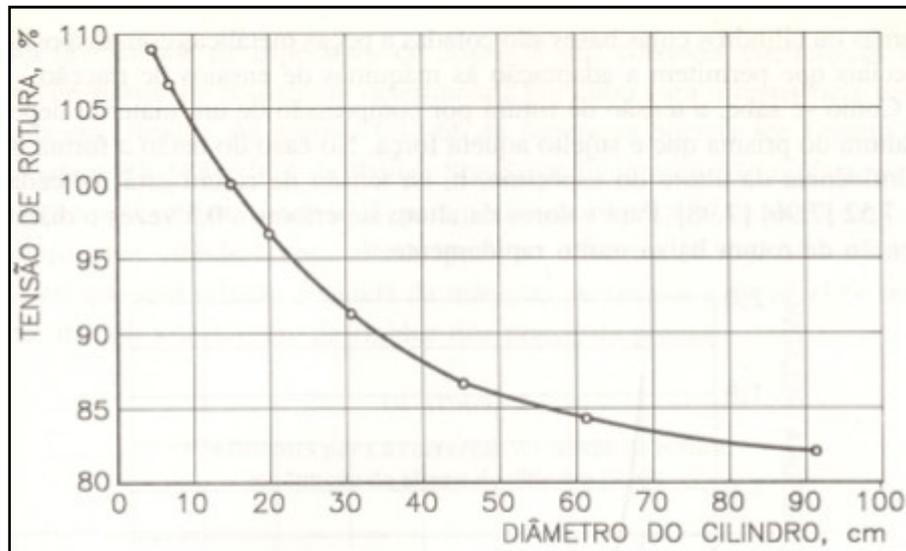
De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), os corpos-de-prova devem apresentar a relação altura/diâmetro dentro da faixa de 1,94 a 2,02, nunca sendo maior e nem menor do que esses valores.

De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos-de-prova moldados em cilindros, devem ter altura igual ao dobro do diâmetro desse molde. E esses diâmetros devem ser de 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ou 45cm. A norma pede também que seja observado se caso haja frestas ou geratrizes abertas no molde, pois se houver, este molde, com as frestas, não seria o apropriado para o teste pelo fato de poder ocasionar problemas futuros com a utilização desse concreto.

Coutinho e Gonçalves (1994), usando a relação altura/diâmetro com o valor constante igual a 2, fizeram um teste mostrando que se o diâmetro do corpo-de-prova for

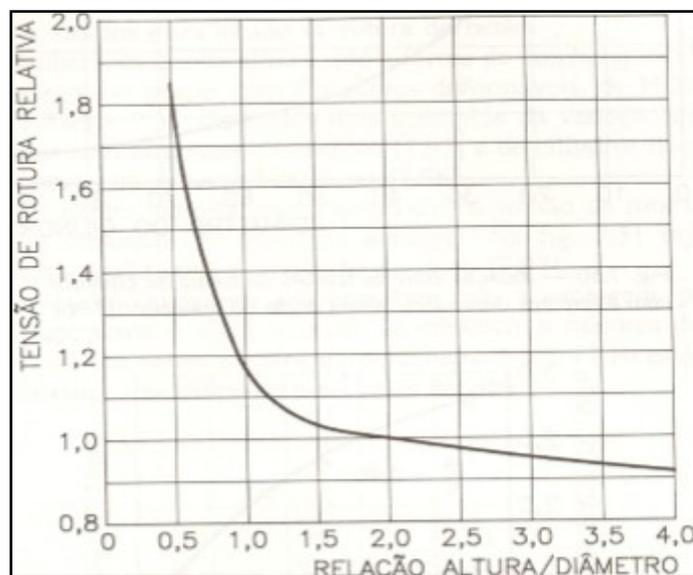
aumentado, a resistência tende a diminuir, exposto na figura 7. E na figura 8, ele mostra que se a relação altura/diâmetro for aumentada, a sua resistência também tende a diminuir.

Figura 7 - Atuação do valor do diâmetro sob a resistência do concreto, quando a relação altura/diâmetro é igual a 2



Fonte: Coutinho (1994)

Figura 8 - Atuação do valor da relação altura/diâmetro sob a resistência do concreto



Fonte: Coutinho (1994)

2.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

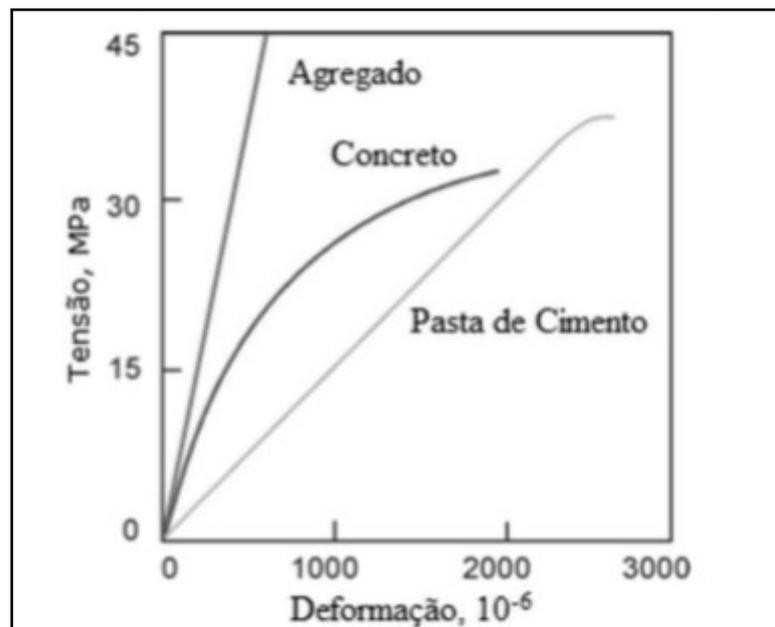
O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica do concreto que é obtida através de cálculos de deformação e tensão do concreto, e podendo assim caracterizar a rigidez desse concreto. Em um projeto estrutural, onde é conhecido o valor do módulo de

elasticidade do concreto, pode ser evitadas deformações que com o passar do tempo poderiam se tornar fissuras (ALMEIDA e HANAI, 2008).

Para Xavier Junior et al. (2016) o valor do módulo de elasticidade não é influenciado apenas pela resistência à compressão. O valor é influenciado também pela relação água-cimento e pelo agregado graúdo, principalmente.

A variação do módulo de elasticidade, como mostrado na figura 9, se dá tanto pelo comportamento da curva do agregado graúdo e quanto pelo comportamento da curva formada pela pasta de cimento no diagrama de tensão-deformação. Tais curvas, são quase lineares. Já a curva do concreto, por sua vez, apresenta um comportamento não-linear (ALHADAS, 2008). De acordo com Neville (1997), a curva do concreto possui esse comportamento por haver vazios entre o agregado e a pasta de cimento, chamados de microfissuras.

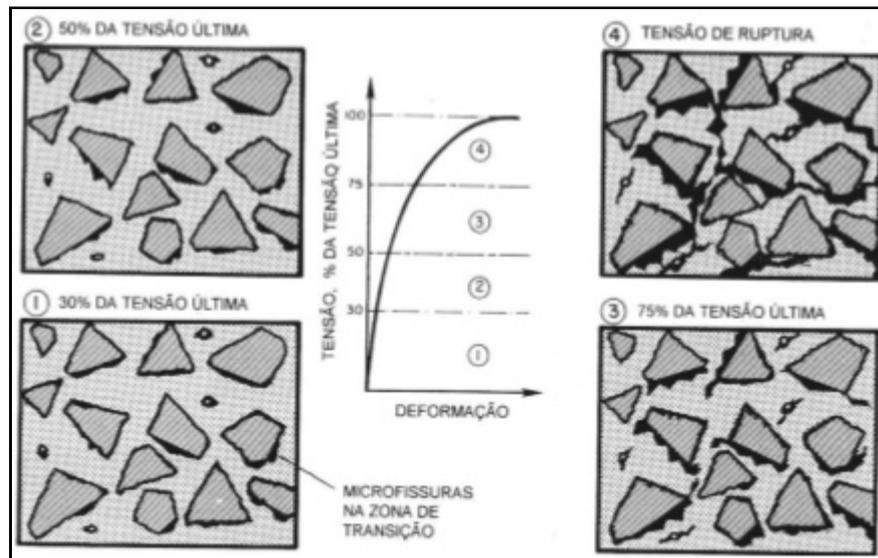
Figura 9 - Comportamento típico da curva tensão-deformação para o concreto e seus principais componentes



Fonte: Otani e Pereira (2017); Mehta e Monteiro (2008)

Mehta e Monteiro (2008) e Neville (1997) explicam na figura 10 que desde antes do concreto receber uma carga uniaxial, entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, existem as microfissuras, existem mesmo sendo pequenas. Com o aumento da força, essas microfissuras vão aumentando e conseqüentemente a curva deixa de ser uma linha reta e começa a desviar. Pode ser observado na figura 10 que até a fase onde é aplicado 30% da tensão última a curva é linear e com o aumento da tensão, a curva começa a adquirir seu comportamento não-linear.

Figura 10 - Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Ainda a respeito do módulo de elasticidade, Alhadad (2008) diz que além do agregado graúdo ser um dos principais influenciadores do valor do módulo, ele ainda diz que o concreto, em seus primeiros dias, sofre mais influência da pasta de cimento do que do agregado, pois a massa que ganhará resistência em seus primeiros dias, e logo então com seu tempo de cura concluído, o agregado por sua vez é o maior influenciador no valor do módulo de elasticidade do concreto.

A NBR 6118 (ABNT, 2007) define alguns requisitos que uma obra estrutural deve atender para sua melhor qualidade. No caso da deformação do concreto, o concreto deve atingir uma capacidade resistente, chamada de estado limite último (ELU), e deve obter um desempenho em serviço e na durabilidade, chamado então de estado limite de serviço (ELS).

Shehata (2005) divide o módulo de elasticidade em três tipos, que assim são definidos:

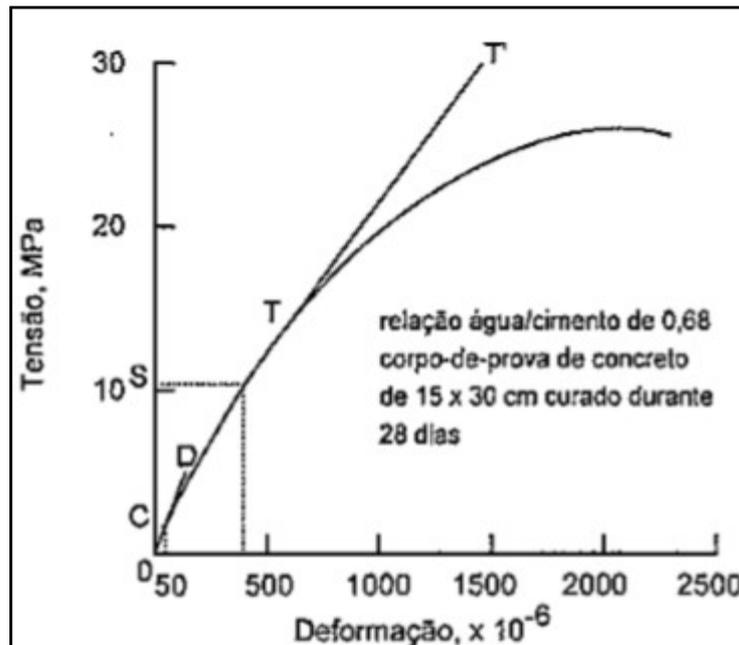
- Módulo de elasticidade tangente, e também chamado de módulo de elasticidade tangente inicial, é o coeficiente angular da curva de tensão-deformação de compressão de uma reta tangencial em qualquer ponto, geralmente é o ponto inicial da curva. Pela NBR 8522 (ABNT, 2008) o módulo de elasticidade tangente inicial corresponde ao módulo de elasticidade secante ou cordal entre 0,5 MPa e 0,3 f_c (ou seja, 30% da tensão de ruptura). Esse módulo é indicado por E_{ci} , em GPa.

- Módulo de elasticidade secante é qualquer valor da tensão com sua respectiva deformação. Pela NBR 8522 (ABNT, 2008) este módulo corresponde ao módulo cordal entre

0,5 MPa e 0,4 f_c (ou seja, 40/5 da tensão de ruptura). Este módulo é utilizado na determinação dos esforços solicitantes e também no reconhecimento dos estados limites de serviço. E é indicado por E_{cs} , em GPa.

- Módulo cordal é qualquer intervalo entre dois pontos na curva tensão-deformação. Em um ensaio prático, quase não é usado.

Figura 11 - Gráfico tensão-deformação com os diferentes tipos de módulos de elasticidade



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Na figura 11, a reta TT' é tangencial à curva tensão-deformação, definido como módulo elástico tangente. O segmento de reta OD é o valor do módulo tangente inicial. O módulo secante é obtido pela inclinação do segmento de reta OS . E, por fim, o segmento de reta CS é o valor do módulo cordal.

2.2.1 Determinação do módulo de elasticidade

Existem formas empíricas e teóricas para determinar o módulo de elasticidade do concreto. A forma teórica é menos utilizada pelo fato de seus resultados não serem adequados. Então são usadas as formas empíricas que através de expressões são alcançados resultados mais confiáveis (NUNES, 2005).

Sendo essas expressões em função da resistência à compressão desta mesma grandeza e da massa específica ou do tipo de agregado do concreto. Essas expressões são do

tipo (αf_c^β) , onde geralmente β igual a 1/2 ou 1/3, porém outras fórmulas e valores para β foram propostas na figura 12.

Figura 12 - Expressões para determinar o módulo de elasticidade (E_c s e f_{ck} , em MPa)

Autor	Expressões	Observações
NBR 6118 (2003)	$E_{cj} = 5600\sqrt{f_{ck}}$	E_c = módulo tangente $j \geq 7$ dias $15 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
EUROCODE	$E_c = 9500\sqrt[3]{f_{cm}}$	E_c = módulo secante para $0,40f_{ck}$ f_{ck} entre 12 MPa e 90 MPa $f_{cm} = f_{ck} + 8$
ACI 318 (1999)	$EC = 4730\sqrt{f_{cj}}$	E_c = módulo secante para $0,45f_c$
CEB FIP MODE CODE 90	$E_c = \alpha e \cdot 21500 \sqrt{\frac{(f_{ck} + 8)}{10}}$	E_c = módulo tangente na idade de 28 dias αe é função do tipo de agregado $0,8 < \alpha e < 1,2$ $12 \text{ MPa} < f_{ck} < 80 \text{ MPa}$

Fonte: Alhadas (2008)

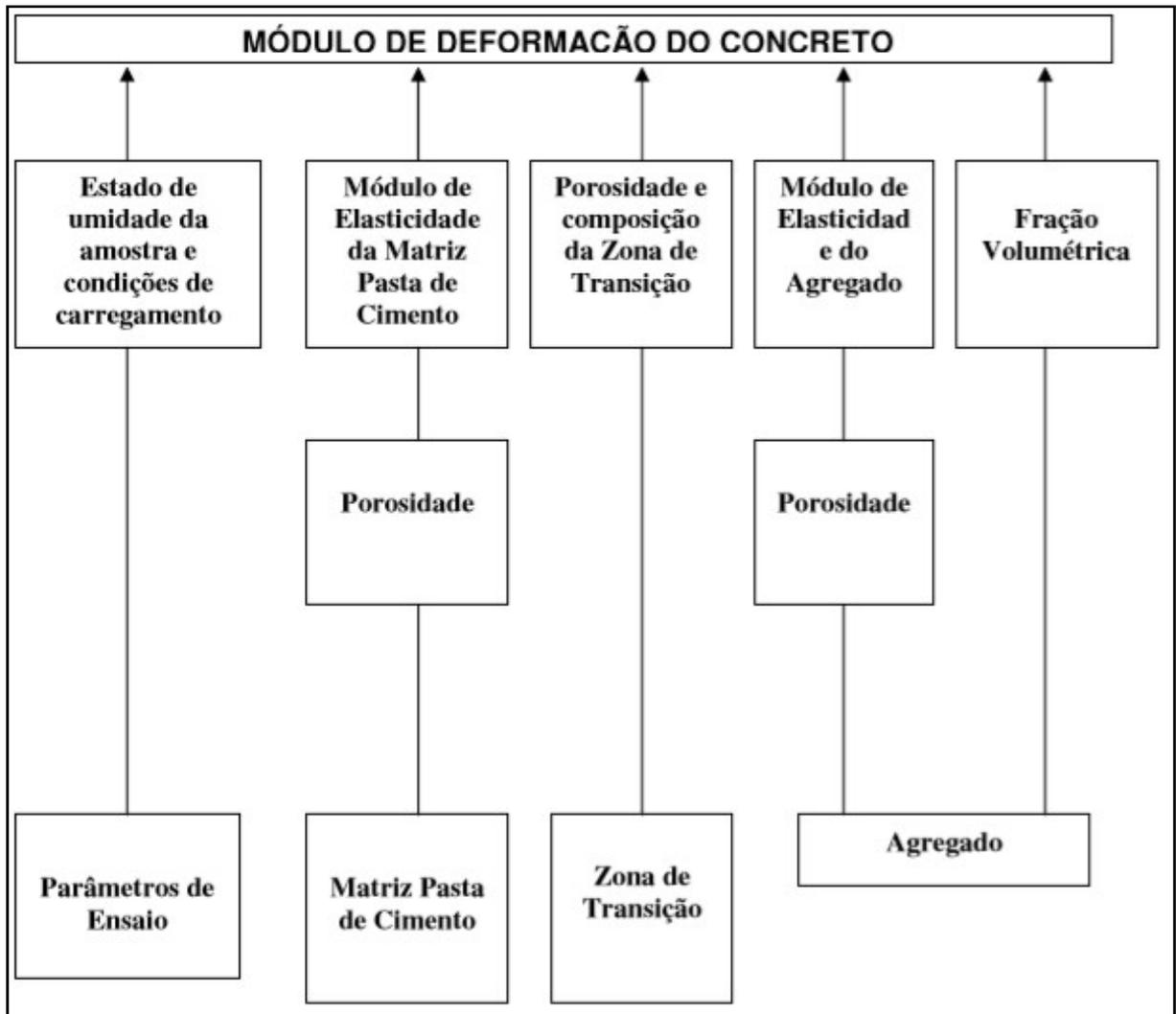
2.2.2 Fatores que influenciam o módulo de elasticidade

Para Xavier Junior et al. (2016), o valor do módulo de elasticidade do concreto, é um dos parâmetros mais importantes do estudo de um estrutura de concreto. A relação água-agregado e o agregado graúdo são os componentes de maior importância, principalmente o agregado graúdo, pois o valor do módulo de elasticidade interfere no comportamento do concreto.

O tamanho, espessura, origem, fração volumétrica, umidade, porosidade e mais algumas características do agregado graúdo influencia no resultado do módulo de elasticidade.

Outros aspectos como a fração volumétrica, o módulo de deformação e a massa específica de cada componente do concreto e a parte da zona de transição, são algumas outras características que também influenciam no comportamento elástico do concreto (BARBOSA, 2009). Na figura 13 mostra todos esses fatores.

Figura 13 - Fatores que influenciam o módulo de elasticidade do concreto



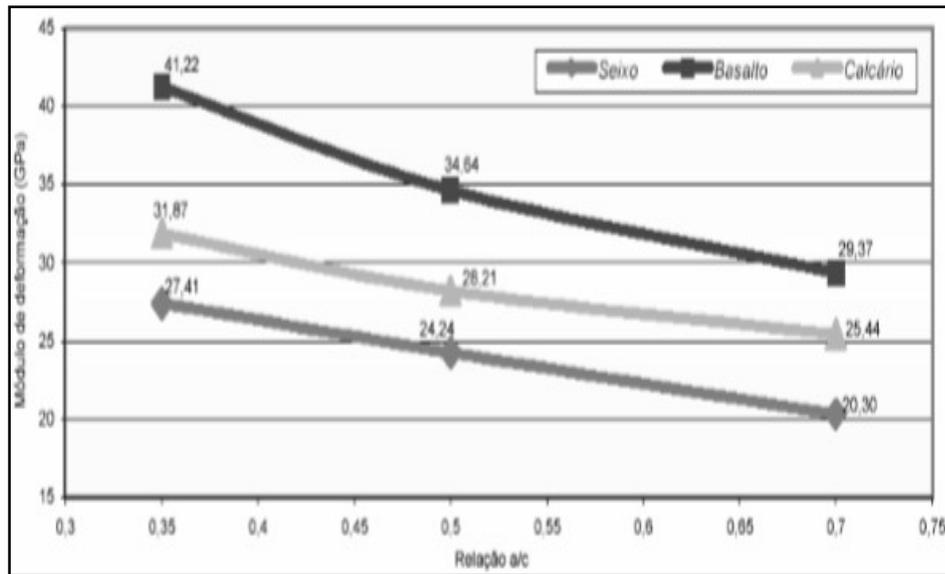
Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

2.2.2.1 Relação água-cimento

A relação água-cimento está diretamente relacionado com a pasta de cimento e a porosidade, que assim como na resistência à compressão, se aumentada o valor do módulo de elasticidade do concreto tende a diminuir. Silva (2003) analisou o comportamento do módulo de elasticidade, enquanto ia mudando o agregado graúdo, com diferentes relações de água-cimento e com um ensaio de 28 dias e obteve o resultado da figura 14, mostrando assim a influência nesse concreto.

Segundo Nunes (2005), a qualidade da água interfere, também, no tempo de pega do cimento e na resistência do concreto a ser produzido. E para determinar qual a melhor água a ser utilizada, não existe um melhor método, mas sim fazendo ensaios analisando o tempo de pega.

Figura 14 - Relação água-cimento aos 28 dias em relação ao módulo de deformação do concreto



Fonte: Silva (2003)

2.2.2.2 Agregado graúdo e suas dimensões

Tratando-se da natureza do agregado, o ponto principal dos autores é estudar diferentes tipos de rochas com diferentes origens litológicas, cabíveis ao se produzir concreto com uma boa resistência e um bom módulo de elasticidade. Observam assim as características que se adequam quanto a porosidade, textura e o módulo do agregado, que são fatores que com a mudam o resultado final (NUNES, 2005).

Na região da cidade de Anápolis, o agregado graúdo mais utilizado na construção civil é o chamado micaxisto, pois é facilmente encontrado e em grande quantidade na região e também por ser de baixo custo.

Segundo Alhadass (2008), o valor do módulo de elasticidade do concreto produzidos com agregados de basalto e dolomito foram maiores que os produzidos com calcário e gnaiss, porém não foi identificado a resistência de cada tipo das rochas.

Pompeu (2004) observou que o concreto produzido com basalto e com uma resistência à compressão de 100MPa, obteve um maior valor do módulo de elasticidade que o obtido pelo concreto produzido com granito.

Mendes (2002) analisou o módulo de elasticidade de concretos produzidos com os agregados do tipo diabásio, calcário e granito. Com isso, ele pode observar que não apenas o módulo de elasticidade do agregado influencia no módulo de elasticidade do concreto, porém observou também que a relação água-cimento apresenta uma influência significativa.

Para Mehta e Monteiro (2008), o aumento da dimensão do agregado graúdo diminui a zona de transição, fazendo que os espaços vazios sejam menores e com isso aumenta o valor do módulo de elasticidade do concreto. Porém alguns outros autores não estão de acordo com essa afirmação. Pereira Neto e Djanikian (1996) mostraram que com o aumento do agregado graúdo nem sempre o valor do módulo de deformação será aumentado, como mostrado na tabela 1.

Tabela 2: Influência do tipo e do tamanho do agregado sobre o módulo de elasticidade

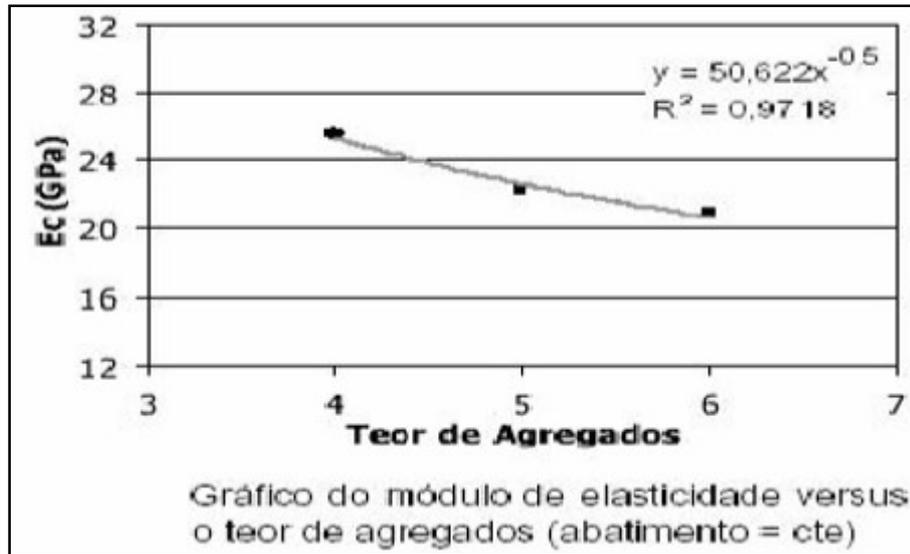
		Ec (GPa)			
		9,5mm	19mm	25mm	
Granito	14 dias	31,92	31,45	31,19	
		Gnaisse	32,15	33,68	
		Basalto	39,21	39,03	38,51
		Diabásio	32,57	36,01	38,36
		Calcário		37,46	38,39
Granito	28 dias	31,85	33,19	32,88	
		Gnaisse	34,62	35,46	39,06
		Basalto	40,94	40,06	42,78
		Diabásio	35,37	37,53	39,31
		Calcário		38,89	39,92
Granito	56 dias	32,89	34,28	34,78	
		Gnaisse	35,37	37,6	39,73
		Basalto	43,14	43,96	43,11
		Diabásio	37,9	39,76	41,39
		Calcário		44,29	42,04

Fonte: Pereira Neto e Djanikian (1996)

Segundo Melo Neto e Helene (2002), o valor do módulo de deformação diminui com o aumento da quantidade de agregado graúdo, com o mesmo abatimento e o aumento da relação água-cimento, pois enfraquece a pasta e, conseqüentemente, o valor do módulo abaixa, como mostra a figura 15.

Já na figura 16, mostra que mantendo a relação água-cimento constante e com o aumento do teor de agregados, houve um aumento no módulo de elasticidade do concreto.

Figura 15 - Influência da quantidade de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto com abatimento constante



Fonte: Melo Neto e Helene (2002)

Figura 16 - Influência da quantidade de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto com relação água-cimento constante



Fonte: Melo Neto e Helene (2002)

2.2.2.3 Porosidade e módulo de elasticidade do agregado graúdo

Barbosa (2009) define a porosidade do agregado graúdo como sendo a relação do volume total de vazios e o volume absoluto de sólidos. A porosidade do agregado determina sua rigidez que, com isso, controla a capacidade de não haver deformações na pasta de cimento.

Mehta e Monteiro (1994) afirmam que ao aumentar o valor do módulo de elasticidade do agregado, conseqüentemente, aumenta o valor do módulo de elasticidade do concreto.

A porosidade afeta também na resistência à compressão, na resistência a abrasão e no módulo de elasticidade do concreto por serem de propriedades inter-relacionadas. A tabela 2 mostra a ordem de porosidade de algumas rochas, definidos como agregado.

Tabela 3: Porosidade de alguns minerais comuns

Grupo	Porosidade (%)
Arenito	0,00 - 48,0
Quartzito	1,90 - 15,10
Calcário	0,00 - 37,6
Granito	0,40 - 3,80

Fonte: Neville (1997)

2.2.2.4 Cura

Dal Molin (2005 *apud* SILVEIRA, 2000), observou que ao ensaiar a cura úmida do concreto em um laboratório, houve uma redução do módulo de deformação do concreto com o passar da idade, sem interferência da resistência do concreto e nem do teor de adição.

2.2.2.5 Medidas para o ensaio

Para Mehta e Monteiro (1994), em relação a umidade do corpo-de-prova, o valor do módulo de deformação do corpo-de-prova úmido é aproximadamente 15% maior que o corpos-de-prova seco. Outro caso que aumenta o valor do módulo de deformação é o aumento da velocidade da tensão.

Para o módulo de elasticidade são adotadas as mesmas medidas de ensaio dos ensaios de resistência à compressão.

3 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO ENSAIO EXPERIMENTAL

Na composição do concreto, o agregado graúdo tem como uma das funções a de enchimento e a de resistência. Para este trabalho foi analisado os dois tipos de agregados graúdos, o micaxisto e o gnaisse. Estes são os dois tipos de rochas mais usados na cidade de Anápolis, Goiás.

Este capítulo detalha como Barbosa (2009) definiu os perfis desses dois tipos diferentes de agregados. As características e as origens dos agregados graúdos, são de importância para confecção do concreto. E aponta qual o mais usado na construção civil.

3.1 MICAXISTO

Micaxisto é um tipo de rocha chamada metamórfica derivada de outras já preexistente e também de consequências químicas e físicas abaixo da superfície terrestre, mudanças que podem ser mudança de pressão, temperatura e de ocorrências causadas na superfície, como por exemplo a ação da água.

Micaxisto é um exemplo de rocha metamórfica caracterizado por apresentar cristais visíveis e com bastante brilho em maior quantidade que outros tipos de agregados, também por ser minerais achatados ou alongados. Em análise detalhada, estudos mostram que as rochas possuem suas composições químicas, pouco semelhantes umas às outras. No micaxisto existe uma porcentagem de SiO_2 (dióxido de sílica) na sua composição e de acordo com CLEMENTE (2004), essa porcentagem é aproximadamente 65% de SiO_2 . Esse valor caracteriza a rocha como uma rocha metamórfica ácida.

Através de experimentos realizados em laboratórios, respeitando as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o micaxisto se origina das rochas filitos e de decompõem em solos argilosos.

Na região de Anápolis, a Pedreira A é uma fornecedora de agregado graúdo de origem de rochas filito, a rocha micaxisto. Isso porque é produzido em grande quantidade e por ter um preço acessível. É o agregado preferido por quem seleciona os materiais usados na construção, por conta de sua boa aderência na mistura do concreto.

A figura 17, mostra o agregado graúdo micaxisto que foi usado para produzir os concretos analisados.

Figura 17: Micaxisto

Fonte: A autora

3.2 GRANULITO

O granulito se origina das rochas quartzo, feldspato e mica. Possui uma textura cristalina com cristalinicos que podem ser vistos a olho nu, como o micaxisto. A microestrutura do granulito também é muito parecida com o micaxisto. A decomposição do granulito forma um solo areno-siltoso, basicamente quartzo e argila.

A partir de outros estudos, a massa específica do granulito é menor que a do micaxisto, porém dentro dos valores atribuídos aos agregados graúdos. O granulito também é uma rocha metamórfica ácida, com teor maior que 65% de SiO_2 (dióxido de sílica).

Uma característica do agregado granulito é a sua forma angular. Essa sua característica, faz com que antes de ser usada, devem passar por um processo de britagem. Esse processo acontece porque sua forma angular, requer maior quantidade de argamassa na dosagem do concreto. Por esse motivo, o processo de britagem, é menos utilizada na cidade de Anápolis, e por sua aderência ser inferior ao do agregado graúdo micaxisto.

Essa característica, angular, do granulito faz com que o agregado graúdo fique mais difícil de rolar e o concreto necessite de maior quantidade de argamassa na dosagem. Na região de Anápolis, esse agregado é menos utilizado por esse motivo, de ter que produzir maior quantidade de argamassa e, conseqüentemente, a dosagem do concreto ficar mais caro.

A figura 18, mostra o agregado graúdo granulito que foi usado para produzir os concretos analisados.

Figura 18: Granulito



Fonte: A autora

3.3 DOSAGEM E APARELHAGEM

Foi realizado um estudo experimental com o objetivo de analisar o módulo de elasticidade do concreto, produzido com agregados graúdos de diferentes origens mineralógicas. Para esse estudo foram utilizados os agregados graúdos micaxisto e granulito, os mais usados na cidade de Anápolis, Goiás. A preparação e o rompimento dos corpos-de-prova foram especificados de acordo com a NBR 5738 e a NBR 5739, respectivamente.

Para realizar o preparo dos corpos-de-prova, foram utilizados alguns materiais, que serão apresentados a seguir. Foram usados também os moldes de corpos de prova do tamanho de 10x20 cm que foram preenchidos com o concreto produzido para realização do processo de compressão do concreto. A caracterização dos materiais, a dosagem e o método usado também serão detalhados.

3.3.1 Cimento

O cimento utilizado na produção dos dois tipos de concreto foi o CP II-F-32, bastante utilizado na cidade de Anápolis e é fabricado pela empresa Votorantim, da marca Tocantins.

A escolha desse cimento se deu pelo grande uso na cidade, por ter preço acessível e pelo seu bom desempenho nas obras, no processo de cura por exemplo. É classificado também, pela empresa, por ser um cimento de secagem ultra rápida e ser ultraresistente.

Na figura 19 é mostrado as características, composição e a norma NBR 16697 (2018) que é fabricado o cimento utilizado.

Figura 19: Características do cimento Tocantins



Fonte: A autora

3.3.2 Agregado miúdo

Para a produção dos corpos-de-prova de concreto foi utilizado areia de origem de rio, ilustrado na figura 20, para evitar o uso de qualquer tipo de acelerador nas reações químicas do concreto.

Figura 20: Areia natural de rio



Fonte: A autora

3.3.3 Agregado graúdo

Para este estudo foram escolhidos dois tipos de agregados graúdos, micaxisto e granulito. Sendo produzidos 9 corpos-de-prova de concreto para cada tipo de agregado graúdo.

3.3.4 Água

A água utilizada na produção dos dois tipos de concreto foi a fornecida pela rede pública que abastece a cidade de Anápolis, Companhia de Sanemaneto de Goiás (SANEAGO). Apresentando-se dentro dos limites exigidos por normas de potabilidade.

4 ENSAIOS E RESULTADOS

4.1 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto é de suma importância para que o concreto atinja a resistência desejada. Foi usado o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para realizar o cálculo de dosagem respeitando as limitações e as variáveis de dosagem. O método ABCP foi adaptado do método da ACI (American Concrete Institute) para os agregados brasileiros. Os ensaios e os materiais determinados pela NBR 6118 – Projetos e execução de obras de concreto armado. Para a cidade de Anápolis, a agressividade ambiental corresponde a classe II, por ser uma cidade urbana e também o concreto armado deve atingir um f_{ck} acima de 25 MPa.

De acordo com o método ABCP, o cálculo bem elaborado da dosagem tem algumas qualidades positivas como: melhor trabalhabilidade, resistência físico-mecânica, permeabilidade, condições de exposição e economia nos custos. Este método serve para concretos de consistência plástica a fluída.

As características do agregado é o abatimento, que resultou em 80 mm, a dimensão máxima de 9,5 mm e com isso a relação de a/c foi de 0,47. O consumo de água foi de 225 L/m³ e o consumo de cimento foi de 479 kg/m³.

Para calcular o consumo de brita 0 foi usado o módulo de finura de 2,23 e com dimensão máxima de 9,5 mm, foi encontrado um volume de brita igual a 0,605 m³/m³. Através da NBR 7251 (1982), no laboratório da Unievangélica foi realizado um experimento para achar a massa unitária dos dois tipos de brita que foram igual a 1530 kg/m³. Logo então, calculado e achado o consumo de brita 0, igual a 925,65 kg/m³.

Com o consumo de água, consumo de brita e o consumo de cimento já calculados, foi feito o cálculo para achar o consumo da areia. O volume de areia foi igual a 0,27 m³/m³. A massa unitária da areia foi fornecida pelo laboratório, igual a 2540 kg/m³. E então o consumo de areia igual a 685,8 kg/m³.

O traço final foi: 1 : 1,43 : 1,93 : 0,47

4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a produção do concreto, a partir do traço que foi detalhado, foi utilizado uma betoneira de 250 litros e as formas para acondicionar o concreto produzido, de acordo com as

exigências da NBR 5738 (1994). O método de adensamento usado foi o de socamento com uma haste metálica por ser mais acessível nas obras de construção da cidade de Anápolis. Este método tem como objetivo diminuir a porosidade do concreto diminuindo assim o ar aprisionado.

Todos os corpos de prova possuíam a mesma medida, 10x20cm, conforme as exigências da NBR 5738 (1994) que como o objetivo do trabalho seria a análise do módulo da elasticidade do concreto com os diferentes agregados, assim então seria obtido resultados com menor variação no desvio padrão dos valores.

Após 24 horas da produção do concreto, estes corpos de prova foram retirados das formas e armazenados em uma câmara úmida, como mostrado na figura 21, até as idades de 3, 7 e 28 dias.

Figura 21: Corpos de prova na fase de cura na câmara úmida



Fonte: A autora

Aos 3 dias ocorreu o primeiro rompimento na prensa de compressão dos corpos, no laboratório da Unievangélica, mostrado na figura 22 e na figura 23.

Figura 22: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira B



Fonte: A autora

Figura 23: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira A



Fonte: A autora

As tabelas 4 e 5 mostram as características que cada corpo de prova atingiu em 3 dias de idade após a compressão na prensa.

Tabela 4: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A

Corpos de prova com brita 0 (Micaxisto)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	16,7 MPa	13370 kgf
2	19,4 MPa	15550 kgf
3	21,0 MPa	16790 kgf

Fonte: A autora

Tabela 5: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B

Corpos de prova com brita 0 (Granulito)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	23,4 MPa	18710 kgf
2	22,2 MPa	17800 kgf
3	21,2 MPa	16940 kgf

Fonte: A autora

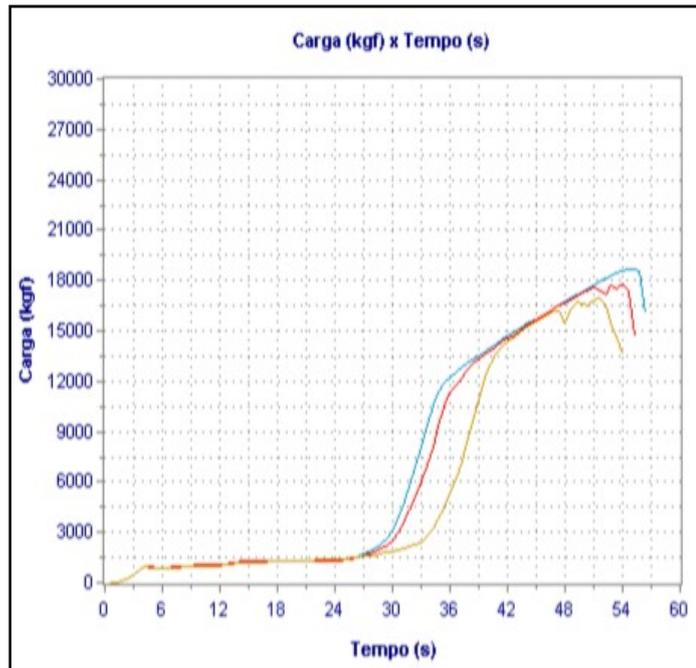
Já os gráficos 1 e 2 mostram o comportamento da curva, Carga (kgf) X Tempo (s), após a compressão dos 3 corpos de prova de concreto com cada tipo de agregado graúdo aos 3 dias de idade.

Legenda dos gráficos

	Corpo de prova 1
	Corpo de prova 2
	Corpo de prova 3

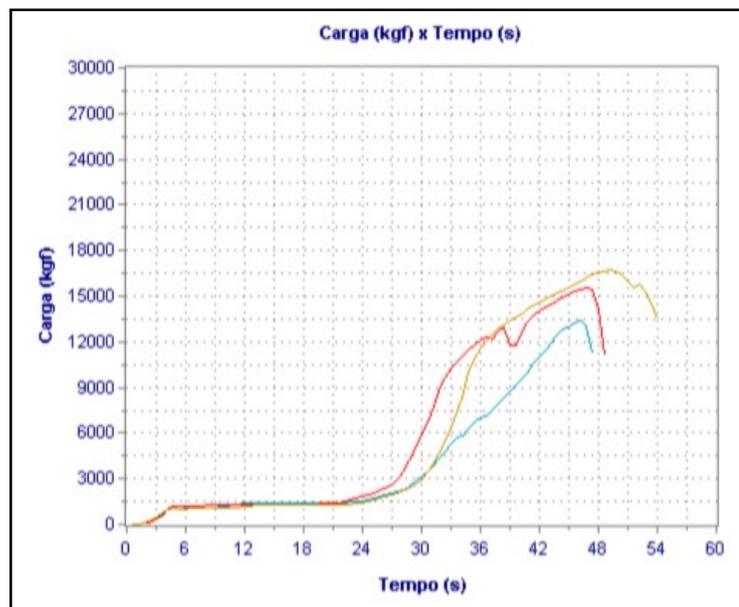
Fonte: A autora

Gráfico 1: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 3 dias com o agregado graúdo Granulito



Fonte: A autora

Gráfico 2: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 3 dias com o agregado graúdo Micaxisto



Fonte: A autora

Aos 7 dias, foi realizada a compressão na prensa do Instituto Federal de Goiás (IFG), porque houve problemas na prensa da faculdade Unievangélica. Foram rompidos 3 corpos de prova de cada tipo de agregado graúdo. Na figura 25, mostra o corpo sendo rompido na prensa de compressão.

Figura 24: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira A



Fonte: A autora

As tabelas 6 e 7 mostram as características que cada corpo de prova atingiu em 7 dias de idade após a compressão na prensa.

Tabela 6: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A

Corpos de prova com brita 0 (Micaxisto)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	22,19 MPa	174,25 kN
2	23,04 MPa	180,94 kN
3	24,43 MPa	191,86 kN

Fonte: A autora

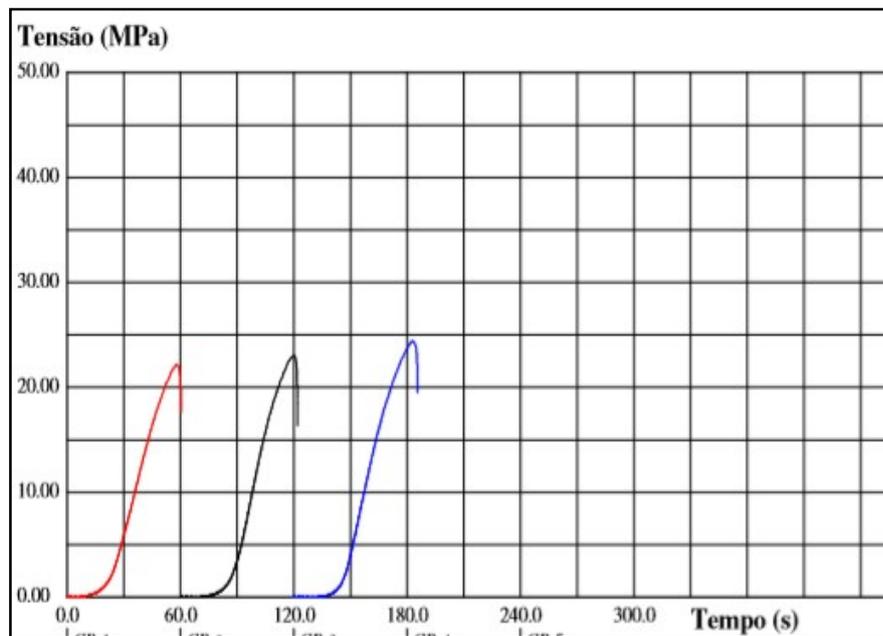
Tabela 7: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B

Corpos de prova com brita 0 (Granulito)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	22,34 MPa	175,48 Kn
2	24,35 MPa	191,24 kN
3	24,25 MPa	190,45 kN

Fonte: A autora

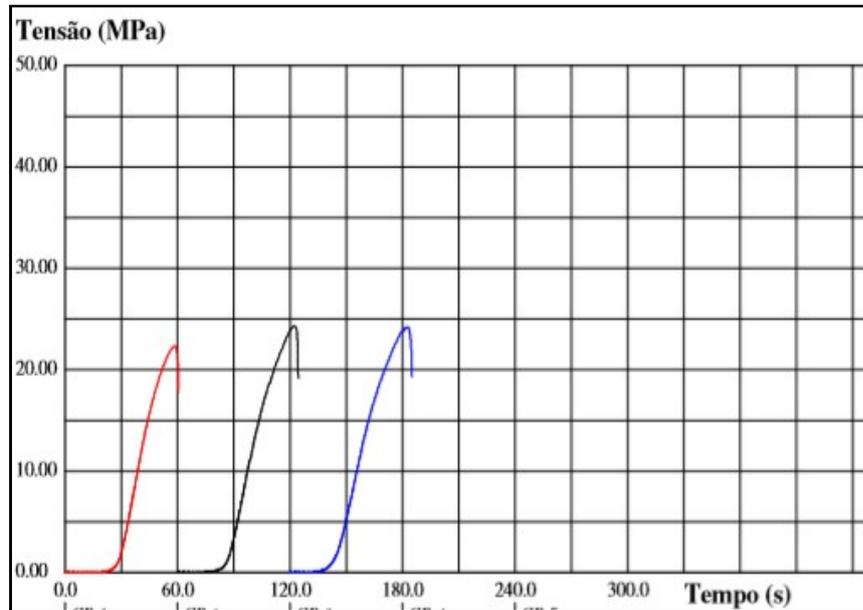
Já os gráficos 3 e 4 mostram o comportamento da curva, Carga (kgf) X Tempo (s), após a compressão dos 3 corpos de prova de cada tipo de agregado graúdo aos 7 dias de idade. Nesta fase dos ensaios, foi oferecida uma informação a mais, a taxa de incremento. Esta indica a velocidade de compressão que esses corpos de prova foram rompidos. No rompimento dos dois tipos de agregados foi usado uma taxa de incremento de deformação de 0,45 MPa/s.

Gráfico 3: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 7 dias com o agregado graúdo Granulito



Fonte: A autora

Gráfico 4: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 7 dias com o agregado graúdo Micaxisto



Fonte: A autora

As tabelas 8 e 9 mostram as características que cada corpo de prova atingiu em 28 dias de idade após a compressão na prensa.

Tabela 8: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Micaxisto, da Pedreira A

Corpos de prova com brita 0 (Micaxisto)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	27,4 MPa	21940 kgf
2	30,1 MPa	24080 kgf
3	29,2 MPa	23380 kgf

Fonte: A autora

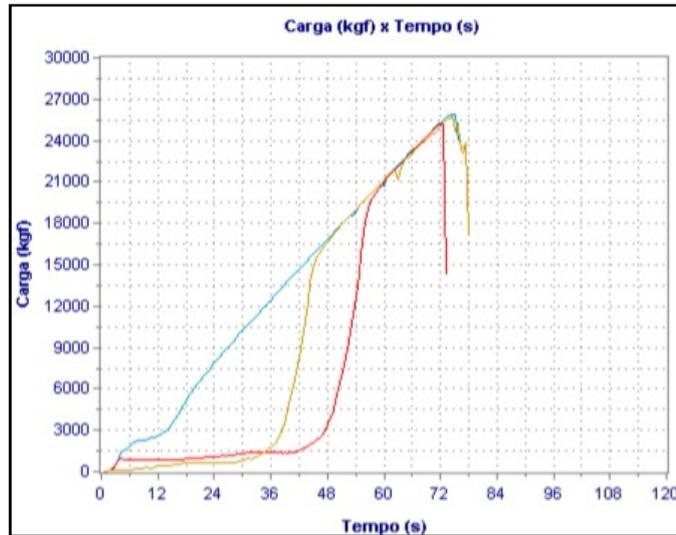
Tabela 9: Compressão dos corpos de prova com agregado graúdo Granulito, da Pedreira B

Corpos de prova com brita 0 (Granulito)	Tensão de ruptura	Carga de ruptura
1	32,45 MPa	25910 kgf
2	31,5 MPa	25220 kgf
3	32,3 MPa	25830 kgf

Fonte: A autora

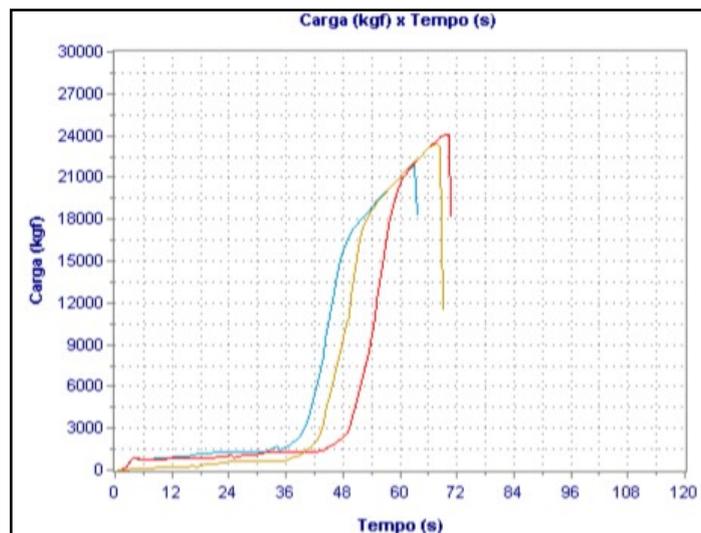
Já os gráficos 5 e 6 mostram o comportamento da curva, Carga (kgf) X Tempo (s), após a compressão dos 3 corpos de prova de cada tipo de agregado graúdo aos 28 dias de idade. Esta é a fase onde o concreto teria que atingir seu desenvolvimento máximo de resistência à compressão, ao ser rompido na prensa com carga contínua, em comparação as normas vigentes.

Gráfico 5: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 28 dias com o agregado graúdo Granulito



Fonte: A autora

Gráfico 6: Curva Carga (kgf) X Tempo (s) aos 28 dias com o agregado graúdo Micaxisto



Fonte: A autora

Ao finalizar os experimentos em laboratório, foram analisados os resultados junto às expressões da NBR 6118 (2003), a EUROCODE 2 (1990) e a ACI 318 (1999). Com os

valores das resistência aos 28 dias, foi feita uma média aritmética entre os 3 corpos de prova produzidos e comprimidos, e obteve-se os seguintes resultados da tabela 10:

Tabela 10: Média aritmética das resistências

Tipo de agregado	Média das resistências obtidas
Granulito	32 MPa
Micaxisto	29 MPa

Fonte: A autora

4.3 RESULTADO PELA NBR 6118 (2003)

De acordo com a NBR 6118, o grau de agressividade deste concreto é o II, onde a classe do concreto armado de acordo com a ABNT NBR 8953 é $\geq C25$. Com os resultados obtidos pela média aritmética das resistências, foi atingido o valor esperado, maiores que 25 MPa de resistência de compressão aos 28 dias.

Após esta etapa, foi calculado o módulo de elasticidade do concreto com idade de 28 dias através da equação da NBR 6118 (2003).

$$E_{cj} = 5600\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Onde: j=28 dias

f_{ck} = cálculo da média das resistências aos 28 dias

Os valores da tabela 11, foram encontrados definindo o módulo de elasticidade aos 28 dias. É observado que o agregado graúdo granulito, obteve o maior valor.

Tabela 11: Módulo de elasticidade do concreto pela NBR 6118

Tipo de agregado	Módulo de elasticidade
Granulito	$E_{cj} = 5600\sqrt{32} = 31,678 \text{ GPa}$
Micaxisto	$E_{cj} = 5600\sqrt{29} = 30,156 \text{ GPa}$

Fonte: A autora

4.4 RESULTADO PELA EUROCODE 2 (1990)

Foi realizado também cálculos com a equação definida para módulo de elasticidade da EUROCODE 2 (1990).

$$E_c = 9500^3\sqrt{f_{cm}} \quad (2)$$

Onde: $f_{cm} = f_{ck} + 8$

Na tabela 12, é detalhado o módulo de elasticidade e verificado que o agregado graúdo granulito também alcançou um valor maior que o micaxisto.

Tabela 12: Módulo de elasticidade do concreto pela EUROCODE 2

Tipo de agregado	f_{cm}	Módulo de elasticidade
Granulito	40 MPa	$E_c = 9500 \sqrt[3]{40} = 32,49 \text{ GPa}$
Micaxisto	37 MPa	$E_c = 9500 \sqrt[3]{37} = 31,65 \text{ GPa}$

Fonte: A autora

4.5 RESULTADO PELA ACI 318 (1999) – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Com a equação já calculada pelo Instituto Americano de Concreto (ACI), foi obtido o resultado do módulo de elasticidade do concreto produzido com granulito e com micaxisto, mostrados na tabela 13. O valor do módulo de elasticidade encontrado para o granulito foi maior que o micaxisto.

$$E_c = 4730 \sqrt{f_{cj}} \quad (3)$$

Onde: f_{cj} = é o valor do f_{ck} em j dias.

No caso deste trabalho, o valor do f_{cj} é igual ao f_{ck} aos 28 dias de idade do concreto.

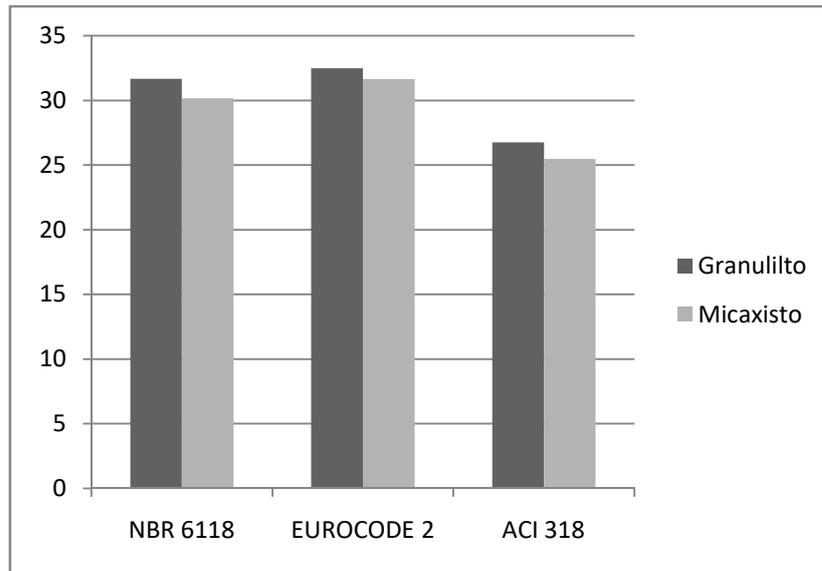
Tabela 13: Módulo de elasticidade do concreto pela ACI 318

Tipo de agregado	f_{ck} aos 28 dias	Módulo de elasticidade
Granulito	32 MPa	$E_c = 4730 \sqrt{32} = 26,75 \text{ GPa}$
Micaxisto	29 MPa	$E_c = 4730 \sqrt{29} = 25,47 \text{ GPa}$

Fonte: Própria autora

Estes foram os resultados obtidos a partir de ensaios de resistência à compressão de corpos de prova de concreto possuindo diferentes tipos de agregados graúdos originados na região do estado de Goiás, mais especificamente os mais usados na cidade de Anápolis, usando as expressões já existentes de algumas normas.

Com o cálculo das expressões de módulo de elasticidade, foram obtidos os seguintes resultados apresentados no gráfico 7 a seguir:

Gráfico 7: Comparativo entre os resultados das expressões

Fonte: Própria autora

Como o objetivo foi realizar experimentos e analisar os módulos de elasticidade do concreto comparando os resultados, foi produzido o gráfico 7 para melhor verificação. O concreto produzido com granulito nos 3 casos teve maior valor, não sendo muito a diferença entre os valores, mas caracterizando assim o concreto menos flexível que o concreto produzido com o micaxisto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O módulo de elasticidade e a resistência são duas das principais características do concreto. Procurou-se abranger duas grandes pedreiras que têm significativas parcelas no mercado da região de Anápolis, Goiás, a Pedreira A e a Pedreira B.

Baseado nos ensaios e nos experimentos realizados, conclui-se que no caso da NBR 6118 o concreto produzido com granulito obteve o módulo de elasticidade 4,8% maior que o produzido com micaxisto. Pela EUROCODE 2 a porcentagem de diferença foi apenas de 2,58% e pela ACI 318 foi apenas de 4,78%. Com essas porcentagens pode-se perceber que o grau de diferença entre os módulos de elasticidade é bem mínimo. Mas como o granulito obteve maiores valores, faz-se então ser menos utilizado na região de Goiás, tanto pela sua forma angular, e agora quanto seu valor do módulo de elasticidade no concreto.

Alcançou-se o objetivo deste trabalho, produzir o concreto com os diferentes agregados e obter a resistência maior que 25 MPa aos 28 dias, realizar o processo de compressão simples e conhecer e analisar os módulos de elasticidade após o processo de compressão fazendo os cálculos através de expressões normativas já existentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 1994 e 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – Método de ensaio .** Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **Agregado para concreto - Especificações.** Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522. **Concreto – Determinação do módulo de elasticidade à compressão.** São Paulo, 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- ACI 318 R-99 – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1999). **Committee 318 – Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary.** Farmington Hills, 1999.
- ALHADAS, M. F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.
- ALMEIDA, S. F.; HANAI, J. B. **Análise dinâmica da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura.** Caderno de Engenharia de Estruturas, Volume 10, p. 49-66, São Carlos, 2008.
- ALMEIDA, S. M. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante.** Dissertação (Pós-Graduação), UGMG, Belo Horizonte, 2012.
- BARBOSA, I. L. S. **Influência dos agregados graúdos da região de Goiânia no módulo de deformação tangente inicial do concreto.** Dissertação (Mestrado). Goiânia-GO, 2009.
- COUTINHO, A. S.; GONÇALVES, A. **Fabrico e propriedades do Betão.** Volume 3. Lisboa, Portugal, 1994.
- CLEMENTE, CELSO A. **Curso de especialização em gerenciamento ambiental.** Piracicaba, 2004.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Adição minerais para concreto estrutural.** Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações – IBRACON. São Paulo, 2005.
- EC 2 – EUROCODE 2. (English) **Design of concrete structures.** [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], 1990.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios Não Destrutivos**. Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Editado. 2ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

KUMMER, L. M. **Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos de uma central dosadora de concreto de Lajeado/RS**. Monografia. Lajeado – RS, 2016.

LEAL, A. C. F. De S. **Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília**. Distrito Federal, 2012.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Ed. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **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 concreto**. Anais do 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte-BH, 2002.

MENDES, S. E. S. **Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos disponíveis na região Metropolitana de Curitiba**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, 2002.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 2ª Ed. São Paulo: PINI, 1997.

NUNES, F. W. G. **Avaliação da resistência e do módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro**. Tese (Pós-Graduação), UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

OTANI, L. B.; PEREIRA, A. H. A. **Determinação do módulo de elasticidade do concreto empregando a técnica de excitação por impulso**. SONELASTIC, Advanced Impulse Excitation Technique. São Paulo, 2017.

PEREIRA NETO, P. M., DJANIKIAN, J. G. **A influência do Tipo de Agregado e da Dimensão Máxima Característica nos Módulos de Elasticidade do Concreto de Alto Desempenho**. Revista IBRACON nº 12. São Paulo – SP, 1996.

POMPEU, B. B. N. **Efeito do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo na resistência e energia de fratura do concreto**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SHEHATA, L. D. **Deformações instantâneas do concreto**. In: Isaia, G. C. (Ed). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Volume 1. São Paulo, IBRACON, 2005.

SILVA, K. J. Da. **Estudo do comportamento do módulo de deformação de concretos, com um ano de idade, produzidos com diferentes tipos de agregados graúdos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Goiânia, 2003.

SILVEIRA, R. L. **Concreto de alto desempenho: Propriedades mecânicas e durabilidade.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

XAVIER JUNIOR, J. E.; SEELBACH, L. C.; ROHDEN, A. B. **Influência do módulo de elasticidade do concreto produzido com diferentes tipo de agregados no projeto estrutural de um edifício de 30 pavimentos de acordo com a norma ABNT NBR 6118 – Estudo de Caso.** Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte-MG, Outubro 2016.