

**ESTUDO DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DO CONCRETO**

Peterson Araújo Quadros

Q1e

Quadros, Peterson Araújo.

Estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto [manuscrito] / Peterson Araújo Quadros. – 2014. xi, 91 f., enc.: il.

Orientador: José Márcio Fonseca Calixto.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 58-91.

Bibliografia: f. 53-57.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Concreto - Teses. 3. Concreto - Propriedades mecânicas - Teses. 4. Normalização - Teses. I. Calixto, José Márcio Fonseca, 1957-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**“ESTUDO DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DO CONCRETO”**

Peterson Araújo Quadros

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. José Márcio Fonseca Calixto
DEES - UFMG (Orientador)

Prof. Dr. Sebastião Salvador Real Pereira
DEES - UFMG

Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues
CEFET - MG

Belo Horizonte, 14 de novembro de 2014.

Aos meus pais, Juvêncio e Aparecida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me guiar nesta trajetória e me iluminar nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Juvêncio e Aparecida, pelo exemplo de vida, pelos anos de dedicação, paciência e amor.

À minha esposa Jucimara pela força, por entender as dificuldades do caminho e me apoiar incondicionalmente.

Aos meus irmãos, Kênia e Moisés, por estarem comigo ao longo desta jornada, na qual me deram atenção e conforto.

À minha vovó Maria (in memoriam) pelas orações, carinho e acolhimento.

Ao meu orientador José Márcio Fonseca Calixto pela paciência, apoio, disponibilidade, aprendizado e dedicação.

Aos meus amigos, em especial a Everaldo e Rodrigo pelos conselhos e torcida.

À Inês secretária do curso de pós-graduação em engenharia de estruturas pelo apoio.

À UFMG e ao PROPEES pela infraestrutura disponibilizada para a concretização da pesquisa.

A todos que de alguma forma ajudaram para a realização deste sonho.

Muito Obrigado!

RESUMO

A NBR 6118 (2007) apresenta uma série de expressões que relacionam, em função da resistência característica à compressão, as demais propriedades mecânicas: resistência à tração e o módulo de deformação. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas em todo o Brasil no intuito de prever com maior clareza essas correlações. Neste cenário, o objeto deste trabalho é apresentar mais uma contribuição para este estudo. Para este estudo, foi criado um banco de dados contendo resultados de ensaios, realizados em todo território nacional, referentes à resistência à compressão, o módulo estático de deformação secante e a resistência à tração por compressão diametral do concreto. A partir desse banco de dados elaborou-se um programa estatístico para prever equações consistentes para a correlação entre estas propriedades mecânicas do concreto. Comparações dos resultados obtidos com os modelos prescritos pela NBR 6118 (2007), EUROCODE 2 (2004) e ACI 318 (2008) também são apresentadas.

Palavras-Chave: Concreto, propriedades mecânicas, correlações, normalização.

ABSTRACT

NBR 6118 (2007) presents a series of equations that correlate the concrete tensile strength and secant modulus of elasticity to the characteristic compressive strength. Extensive research has been done in Brazil to develop equations to predict even better these correlations. In this scenario, the object of this paper is to present a contribution to this study. Thus, a database was created containing test results, conducted throughout the country, of concrete compressive strength, secant modulus of elasticity and splitting tensile strength. With this database a statistical analysis was done to predict consistent equations for the correlation between these mechanical properties of concrete. Comparisons of these results with the models prescribed by the NBR 6118 (2007), EUROCODE 2 (2004) and ACI 318 (2008) are also presented.

Keywords: Concrete, mechanical properties, correlation, codes

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fatores que influenciam a resistência à compressão	06
Figura 2.2	Resistência à compressão versus relação água/cimento para uma mesma idade	07
Figura 2.3	Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto	12
Figura 2.4	Fatores que influenciam a resistência à tração	14
Figura 2.5	Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto	18
Figura 2.6	Fatores que afetam o módulo de deformação do concreto	19
Figura 2.7	Influência da relação água/cimento sobre o módulo de deformação do concreto	20
Figura 2.8	Influência do consumo de cimento sobre o módulo de deformação de concretos com relação a/c constante	20
Figura 2.9	Influência do consumo de cimento sobre o módulo de deformação de concretos com abatimento do tronco de cone constante	21
Figura 2.10	Influência do teor de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto	23
Figura 4.1	Banco de Dados - Relação E_{CS} versus f_c	33
Figura 4.2	Relação E_{CS} versus f_c	35
Figura 4.3	Banco de Dados - Relação f_{ctsp} versus f_c	37
Figura 4.4	Relação f_{ctsp} versus f_c	39
Figura 4.5	Relação E_{CS} versus f_c para diversas equações normativas	41
Figura 4.6	Relação E_{CS} versus f_c para a equação da norma NBr 6118/2007 e equação proposta para o Agregado do tipo Calcário	43
Figura 4.7	Relação E_{CS} versus f_c para a equação da norma NBr 6118/2007 e equação proposta para o Agregado do tipo Gnaisse	44
Figura 4.8	Relação E_{CS} versus f_c para a equação da norma NBr 6118/2007 e equação proposta para o Agregado do tipo Basalto	45
Figura 4.9	Relação E_{CS} versus f_c para a equação da norma NBr 6118/2007 e equação proposta para o Agregado do tipo Granito	45
Figura 4.10	Relação F_{ct} versus f_c para diversas equações normativas	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Resistência relativa aproximada do concreto segundo o tipo de cimento ..	07
Tabela 2.2	Correspondência entre classificação dos cimentos segundo a ASTM e a ABNT	08
Tabela 2.3	Expressões para estimar a resistência à tração do concreto (f_{ctsp} e f_c em MPa)	24
Tabela 2.4	Expressões para estimar o módulo de deformação estático secante do concreto (E_{cs} e f_c em MPa)	24
Tabela 2.5	Expressões da NBR 6118 (2007) para estimar o módulo de deformação estático secante do concreto para diferentes tipos de agregado - (E_{cs} e f_c em MPa)	24
Tabela 3.1	Resumo dos Resultados Experimentais que Compõem o Banco de Dados	28
Tabela 3.2	Resumo dos Resultados Experimentais que Compõem o Banco de Dados Resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão	29
Tabela 3.3	Expressões para estimar a resistência à tração do concreto (f_{ctsp} e f_c em MPa)	30
Tabela 3.4	Expressões para estimar o módulo de deformação estático secante do concreto (E_{cs} e f_c em MPa)	30
Tabela 3.5	Expressões da NBr 6118/2007 para estimar o módulo de deformação estático secante do concreto de acordo com a origem mineralógica (E_{cs} e f_c em MPa)	31
Tabela 4.1	Relação E_{cs} versus f_c para diferentes valores de α	34
Tabela 4.2	Relação E_{cs} versus f_c para diferentes tipos de agregados graúdos	36
Tabela 4.3	Coeficientes de ajuste β e θ para cada tipo de agregado	36
Tabela 4.4	Relação f_{ctsp} versus f_c para diferentes valores de α	38
Tabela 4.5	Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de deformação secante.....	40

Tabela 4.6	Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de deformação secante para os tipos de agregado da equação NBr 6118/2007	42
Tabela 4.7	Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de deformação secante para as equações propostas específica dos agregados	42
Tabela 4.8	Análise estatística do erro dos modelo ξ para estimativa da resistência à tração por compressão diametral	47
Tabela 5.1	Coefficientes de ajuste β e θ para cada tipo de agregado	50

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a /c	fator água cimento
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials (USA)
COV	Coefficiente de Variação
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CP	Cimento Portland
CP-RS	Cimento Portland Resistente a sulfatos
CEB	Coité Euro-International Du Beton
C ₃ A	Tri-cálcio Aluminato
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
DP	Desvio Padrão
EUROCODE	European Standard
Ecs	Módulo de Deformação Secante
f _c	Resistência à compressão do concreto
f _{ck}	Resistência característica à compressão
f _{ct}	Resistência a Tração por Compressão Diametral
f _{ctsp}	Resistência Tração
GPa	GigaPascal
M	Media
M _d	Mediana
MPa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
t	Tempo
τ	Tensão
#	Abertura nominal de peneira
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
ZT	Zona de transição
kg/m ³	Quilograma por Metro Cúbico

et al	Outros/outras
apud	Junto a, perto de
ξ	Erro do Modelo
α	Letra Grega Alfa
β	Letra Grega Beta
θ	Letra Grega Teta

SUMÁRIO

	Lista de Figuras	v
	Lista de Tabelas	vi
	Lista de Símbolos e Abreviaturas	viii
	Sumário	x
1.0	Introdução	01
	1.1 - Considerações preliminares	01
	1.2 - Justificativa do trabalho e importância do tema	02
	1.3 - Objetivos do estudo	03
	1.4 - Apresentação do trabalho	03
2.0	Revisão Bibliográfica	05
	2.1 – Introdução	05
	2.2 – Resistência à compressão (f_c)	05
	2.2.1 - Relação água/cimento	06
	2.2.2 - Tipo e finura do cimento	07
	2.2.3 - Forma, textura e dimensão máxima do agregado graúdo	08
	2.2.4 - Origem mineralógica do agregado graúdo	09
	2.2.5 - Aditivos químicos	09
	2.2.6 - Adições minerais	10
	2.2.7 - Condições de cura	11
	2.2.8 - Parâmetros de ensaio	12
	2.3 – Resistência à tração (f_{ct})	13
	2.3.1 - Relação água/cimento	14
	2.3.2 - Finura do cimento	14
	2.3.3 - Forma, textura e dimensão máxima do agregado graúdo	15
	2.3.4 - Origem mineralógica do agregado graúdo	15
	2.3.5 - Adições minerais	16
	2.3.6 - Aditivos químicos	16
	2.3.7 - Condições de cura	17
	2.3.8 - Parâmetros de ensaio	17
	2.4 – Módulo de deformação secante (E_{CS})	18

2.4.1 - Relação água/cimento	19
2.4.2 - Consumo de cimento	20
2.4.3 - Adições minerais	21
2.4.4 - Características do agregado graúdo	21
2.4.5 - Dimensão máxima do agregado	22
2.4.6 - Fração volumétrica do agregado graúdo	22
2.4.7 - Condições de cura	23
2.4.8 - Condições de ensaio	23
2.5 - Expressões normativas de correlação entre as propriedades mecânicas	24
3.0 Metodologia	26
3.1 - Metodologia de coleta dos elementos do banco de dados	26
3.2 - Metodologia para elaboração das equações de correlação propostas .	30
3.3 - Metodologia para análise comparativa dos resultados	31
4.0 Apresentação e Análise dos Resultados	32
4.1 – Introdução	32
4.2 – Relação módulo de deformação secante versus resistência à compressão	33
4.2.1 – Banco de dados geral - Relação E_{CS} versus f_c	33
4.2.2 - Equação geral de correlação proposta para a relação E_{CS} versus f_c	33
4.2.3 – Equações da relação E_{CS} versus f_c para diferentes tipos de agregados	36
4.3 – Relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão	37
4.3.1 – Banco de dados geral - Relação f_{ctsp} versus f_c	37
4.3.2 - Equação de correlação proposta para a relação f_{ctsp} versus f_c	37
4.4 – Análises estatísticas comparativa dos resultados com as equações normativas	40
4.4.1 – Equação geral da relação módulo de deformação secante versus resistência à compressão	40
4.4.2 – Equações específicas para diferentes tipos de agregado da	41

	relação módulo de deformação secante versus resistência à compressão	
	4.4.3 – Relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão	47
5.0	Conclusão	49
	5.1 – Introdução	49
	5.2 – Equações Propostas	50
	5.3 – Conclusões	50
	5.4 – Sugestões para estudos futuros	52
6.0	Referências Bibliográficas	53
	Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)	58
	Anexo B – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Deformação (Mpa)	85

1

INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações preliminares

No estágio atual do desenvolvimento tecnológico relacionado às estruturas de concreto observa-se grandes avanços, em relação a décadas anteriores, na ciência dos materiais e nos processos construtivos. Melhoramentos nas características do cimento, utilização de agregados com granulometria distribuída e propriedades geológicas definidas, adições como a sílica ativa, a cinza volante e aditivos como os superplastificantes e os redutores de pega, além dos mecanismos de cura avançados demonstram a evolução dos materiais e dos processos construtivos que envolvem o concreto, fazendo com que este atinja resistências maiores, proporcionando peças estruturais esbeltas, vãos de considerável amplitude e de maior confiabilidade estrutural.

As principais propriedades do concreto são as mecânicas. Entretanto, apesar da evolução retratada, para o cálculo e execução de estruturas de concreto utiliza-se como aproximação razoável valores de diversas propriedades em função de sua resistência à compressão. Esta consideração é oportuna na falta de resultados de ensaios que possam mostrar resultados mais realistas.

A resistência à compressão é conhecida dos engenheiros calculistas e construtores por se tratar da propriedade mais difundida experimentalmente para avaliar a qualidade do concreto. Mas propriedades importantes como o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são medidos na maioria das obras executadas no Brasil.

Assim, várias normas, inclusive a NBR 6118/2007, apresentam uma série de expressões a partir das quais se obtêm, em função da resistência característica à compressão, as outras propriedades mecânicas como resistência a tração e o módulo de elasticidade.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas em todo o Brasil no intuito de prever com maior clareza as correlações que envolvem a resistência à compressão e as demais propriedades do concreto. Os resultados observados nestes estudos, no entanto, divergem das expressões prescritas pela NBR 6118/2007.

Desta forma com o intuito de projetar e executar estruturas em concreto de forma adequada, tendo como base o contexto em que insere se o estado da arte deste material nasce o interesse em estudar a correlação da resistência à compressão com as demais características do concreto do ponto de vista técnico e estatístico.

1.2 - Justificativa do trabalho e importância do tema

O estudo desta dissertação envolve as propriedades mecânicas do concreto endurecido. Estas são utilizadas corriqueiramente em escritórios de cálculo por projetistas e por construtores nos canteiros de obras. Dentre elas destacam se: a resistência à compressão, o módulo de elasticidade estático secante e a resistência à tração por compressão diametral.

Destas propriedades, somente a resistência à compressão é frequentemente medida em canteiros de obras através da moldagem de corpos de prova em sua maior parte cilíndricos com o seu posterior teste de resistência em laboratórios. Desta forma se faz necessário o conhecimento desta propriedade e a sua correlação com as demais, nos tornando capazes de estabelecer equações que sejam aproximações razoáveis das reais condições de variabilidade encontrada nos concretos produzidos no Brasil.

Assim, este estudo, apesar de já tratado por outros pesquisadores em nível local, contribui para os projetistas de estruturas de concreto, para os engenheiros de materiais e para os construtores de todo o Brasil, proporcionando melhor entendimento a respeito

do módulo de elasticidade estático secante e a resistência à tração por compressão diametral em função da resistência à compressão dos concretos originados do território nacional. Este entendimento faz com que engenheiros projetistas e construtores tenham melhores garantias do dimensionamento e das situações construtivas encontradas nos canteiros de obras.

1.3 – Objetivos do estudo

Dentro deste cenário, foram pesquisadas nesta dissertação as correlações entre as propriedades mecânicas do concreto: resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral bem como o módulo de elasticidade. Dentro deste objetivo, os seguintes aspectos serão analisados:

- Elaboração de banco de dados contendo resultados de ensaios referentes à resistência à compressão, o módulo de elasticidade estático secante e a resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova ensaiados em território nacional, atribuindo a eles características de seus traços, moldagem e rompimento.
- Correlacionar às propriedades mecânicas do concreto através de estudo estatístico.
- Fazer comparações dos resultados obtidos com os modelos prescritos pela NBR 6118 (2007), EUROCODE 2 (2004) e ACI 318 (2008).

1.4 – Apresentação do trabalho

Além desse primeiro capítulo referente à introdução, o trabalho consta de mais 4 capítulos. O Capítulo 2 contém a revisão bibliográfica, a qual descreve os fatores que influenciam nas propriedades mecânicas do concreto em particular a resistência à compressão, o módulo de elasticidade estático secante e a resistência à tração por compressão diametral. São apresentados estudos de autores acerca dos diversos fatores que contribuem para modificar de forma significativa os valores de resistência e módulo. É feita também uma análise comparativa das expressões que avaliam o módulo

de elasticidade. No capítulo 3 é apresentada a metodologia que descreve a coleta de dados para elaboração do banco de dados, a metodologia para a elaboração das equações de correlações propostas e a utilizada na análise comparativa dos resultados. Com base no levantamento de dados é apresentada a equação geral que relaciona a resistência à compressão e o módulo de elasticidade estático secante, as equações que relacionam de forma específica a resistência a compressão e o módulo de elasticidade com a mineralogia do agregado, bem como a resistência a tração por compressão diametral. Após é realizado estudo estatístico a fim de estabelecer parâmetros comparativos entre as equações propostas e as normativas. No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste estudo.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

Neste capítulo são apresentados os fatores que influenciam a resistência à compressão (f_c), a resistência à tração (f_{ct}) e o módulo de elasticidade estático secante do concreto (E_{cs}). Ao final é apresentado um item contendo as expressões normativas de correlação entre estas propriedades mecânicas.

2.2 – Resistência à compressão (f_c)

Como já dito anteriormente a resistência à compressão é a propriedade do concreto mais conhecida pelos profissionais e tem sido usada quase que unicamente para se garantir a qualidade do concreto.

Na prática da engenharia o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são fatores que preponderam decisões, principalmente no canteiro de obras. Um exemplo desta prática acontece no momento de retirada das formas de lajes e vigas feitas normalmente quando o valor da resistência à compressão é atingido. Este critério desconsidera as prováveis deformações e fissuras que possam surgir.

A figura 2.1, retirada de MEHTA e MONTEIRO (1994), resume a interação existente entre os fatores que influenciam a resistência à compressão:

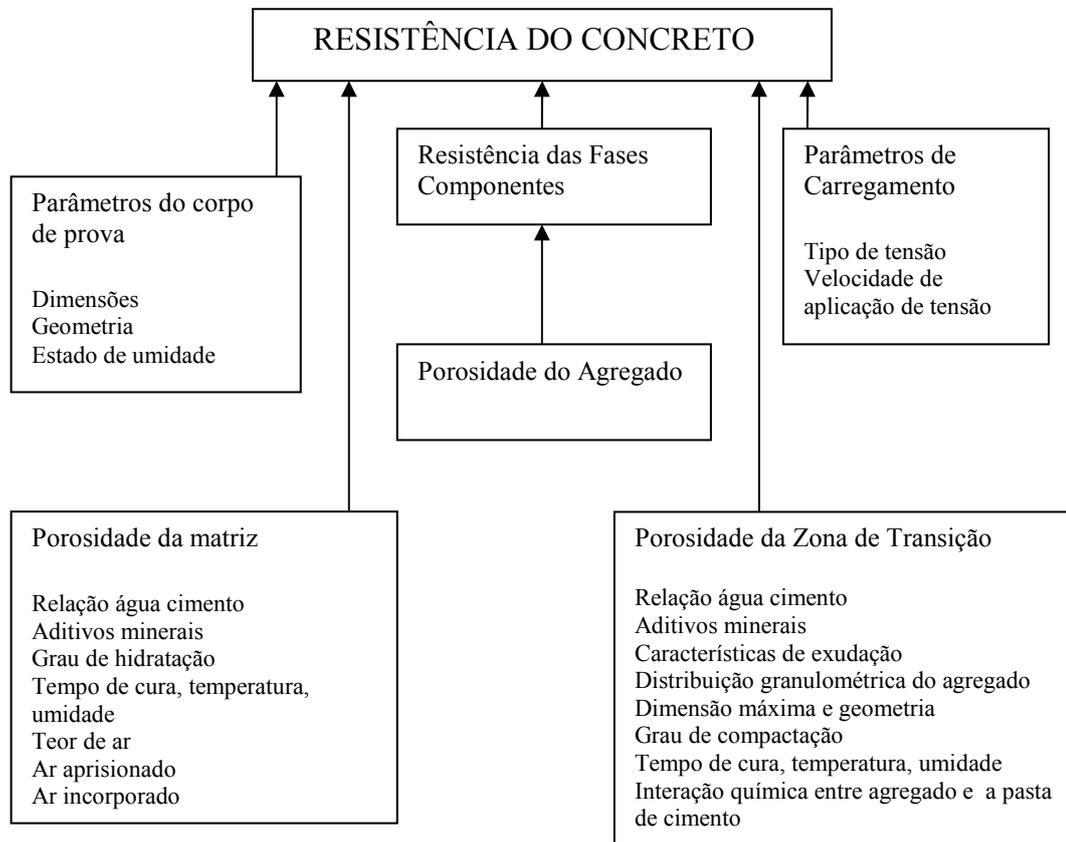


Figura 2.1 - Fatores que influenciam a resistência à compressão – fonte: METHA e MONTEIRO (1994)

2.2.1 - 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 gráudo, tornando-as menos resistentes. Na figura 2.2 pode se verificar que a resistência à compressão diminui à medida que a relação água/cimento aumenta para uma mesma idade.

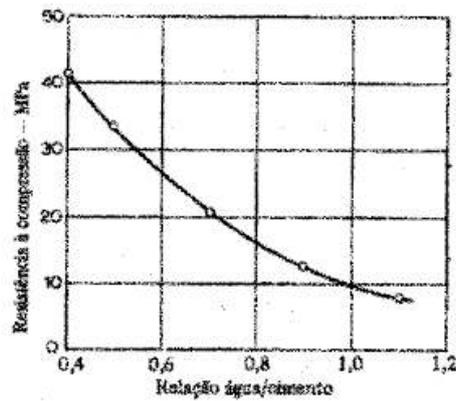


Figura 2.2 - Resistência à compressão versus relação água/cimento para uma mesma idade
Fonte: NEVILLE (1982)

2.2.2 - Tipo e finura do cimento

A tabela 2.1, retirada de METHA e MONTEIRO (1994), mostra a influência do tipo de cimento na resistência. Vale frisar que esta influência somente acontece nas primeiras idades. A correspondência entre as classificações dos cimentos segundo as normas da ASTM com as normas da ABNT está mostrada na tabela 2.2.

Tabela 2.1 - Resistência relativa aproximada do concreto segundo o tipo de cimento –
Fonte: MEHTA e MONTEIRO (1994)

Tipo de cimento Portland (segundo ASTM)	Natureza	Resistência à compressão (percentual em relação ao cimento tipo I)			
		1 dia	7 dias	28 dias	90 dias
I	Normal ou de uso comum	100	100	100	100
II	Calor de hidratação moderado e moderada resistência a sulfatos	75	85	90	100
III	Alta resistência inicial	190	120	110	100
IV	Baixo calor de hidratação	55	65	75	100
V	Resistente a sulfatos	65	75	85	100

Tabela 2.2 - Correspondência entre classificação dos cimentos segundo a ASTM e a ABNT
 Fonte: MELO NETO e HELENE (2002)

ASTM	ABNT
I (ASTM C150)	CP I
I (SM) - (ASTM C595)	CP II E
I (PM) - (ASTM C595)	CP II Z
IS (ASTM C595)	CP III
IP (ASTM C595)	CP IV
I (SM) MS - (ASTM C595)	CP II E RS
I (PM) MS - (ASTM C595)	CP II Z RS
IS (MS) - (ASTM C595)	CP III RS
IP (MS) - (ASTM C595)	CP IV RS
II (ASTM C150)	-
III (ASTM C150)	CP V ARI
IV	-
V (ASTM C150)	CP I RS

De acordo com NEVILLE (1997), “a velocidade de hidratação depende da finura das partículas de cimento e, para uma evolução rápida da resistência é necessária uma maior finura”.

2.2.3 - Forma, textura e dimensão máxima do agregado graúdo.

Segundo NEVILLE (1997), para concretos convencionais a resistência do agregado tem pouca influência nos resultados medidos, pois estes são mais resistentes do que a matriz e a zona de transição.

Outras propriedades têm influencia na resistência à compressão do concreto sendo elas: a forma, a textura e a dimensão máxima do agregado. Segundo METHA e MONTEIRO (1994), concretos elaborados com agregado de textura rugosa ou britados apresentam uma resistência maior nas primeiras idades, quando comparados aos concretos com agregado liso. Este fato ocorre mantendo se a mineralogia do agregado.

De acordo com NUNES (2005) o aumento da dimensão máxima do agregado, mantendo-se a mineralogia do mesmo, pode ter dois efeitos opostos sobre a resistência do concreto. Para um mesmo teor de cimento e mesma consistência do concreto, as misturas do concreto com agregados maiores requerem menos água de amassamento do que aquelas que contêm agregados menores. Por outro lado, concretos com agregados grandes tendem a apresentar zonas de transição mais fracas, onde se formam mais microfissuras.

2.2.4 - Origem mineralógica do agregado graúdo

A origem mineralógica do agregado tem maior influência em concretos de alta resistência. Isto ocorre devido à matriz de cimento e a zona de transição terem maior resistência que o agregado dependendo da sua mineralogia, podendo ocorrer desta forma a ruptura do agregado. FRANKLIN AND KING (1971), apud NEVILLE (1997), investigando concretos com mesmo traço onde se variou a natureza do agregado, indicam que a influência do tipo de agregado graúdo sobre a resistência do concreto depende da relação água/cimento. Para relações água-cimento menores que 0,40, verificou-se que os concretos com agregados britados tiveram resistência até 38% maiores que o concreto com seixo. Já para a relação água-cimento de 0,50 a diferença das resistências dos dois concretos diminuiu e, para a relação água-cimento igual a 0,65, não se notou diferença entre as resistências de concretos feitos com pedra britada e seixo.

2.2.5 - Aditivos químicos

BAUER *et al.* (1994), apud ALHADAS (2008), define aditivo como um produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, e que em quantidades de até 5% em relação á massa de cimento faz aparecer ou reforça certas características do concreto.

De acordo com NUNES (2005), os aditivos são classificados de acordo com sua função no concreto: aceleradores, retardadores, plastificantes, superplastificantes e outros. Os efeitos específicos dos aditivos podem variar com as propriedades e proporções dos

outros materiais constituintes da mistura, havendo necessidade de se verificar sua compatibilidade principalmente com o cimento usado.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), para um dado fator água/cimento, a presença de aditivo redutor de água no concreto, geralmente tem influência positiva sobre a taxa de hidratação do cimento e no desenvolvimento da resistência a baixas idades. Contudo os aditivos de um modo geral não são capazes de afetar a resistência em idades avançadas, a não ser que a velocidade de desenvolvimento da resistência a baixas idades seja reduzida. A eficiência deste aditivo com relação à resistência à compressão varia consideravelmente com a composição do cimento, sendo maior quando usados com cimentos com baixo teor de álcalis ou baixo teor de C_3A .

De acordo com NEVILLE (1997) o efeito dos aceleradores na resistência às primeiras idades do concreto depende muito do acelerador usado, bem como do cimento.

NEVILLE (1997) descreve que o uso de superplastificantes é empregado na dosagem de concretos fluídos e concretos normais com alta resistência. Neste segundo caso eles são utilizados devido a uma substancial redução da relação água/cimento. Já foram usadas relações água/cimento de até 0,2 com resistências em corpos de prova aos 28 dias de cerca de 150 MPa.

2.2.6 - Adições minerais

As adições minerais do tipo pozolânica, quando introduzidas no concreto fresco, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), produzindo uma quantidade adicional de silicato de cálcio hidratado ($C-S-H$), fonte de resistência do concreto. As adições, quando finamente moídas apresentam também o efeito filer que propicia uma melhoria da microestrutura do concreto densificando a pasta e zona de transição bem como reduzindo a permeabilidade. Com isso, segundo AITCIN (2000), há um aumento do desempenho dos concretos tanto do ponto de vista de resistência mecânica como de durabilidade.

De acordo com NEVILLE (1997) a adição de escória de alto-forno tem efeitos benéficos no concreto desde o estado fresco. Neste, ela proporciona uma melhor

trabalhabilidade e um menor desprendimento de calor, já que é mais baixo o valor da temperatura de pico da mistura. No estado endurecido ela propicia a formação de uma microestrutura mais densa da pasta de cimento hidratada, que por sua vez, melhora a resistência do material ao longo do tempo. Ela traz também grandes vantagens para a durabilidade do concreto, como por exemplo, a eliminação do risco da reação álcali-agregado.

DAL MOLIN (1995) apud NUNES (2005) investigou o efeito da adição de sílica ativa (10% da massa de cimento) na resistência à compressão de concretos, mantendo constante o abatimento do tronco de cone de 60 ± 10 mm e o teor de argamassa. Foi variado o consumo de cimento de 300 a 680 kg/m³ e alcançaram-se resistências à compressão aos 28 dias entre 38 e 92 MPa. Observou-se que a taxa de crescimento da resistência à compressão foi menor nos concretos com relações água/aglomerante mais altas e que a adição de sílica ativa propiciou resistências à compressão cerca de 7% a 16% maiores do que a dos concretos de referência, sem sílica.

2.2.7 - 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 influem na cura do concreto e, conseqüentemente, na sua resistência. A figura 2.3 mostra a influência do tempo e as condições de cura ao longo do tempo.

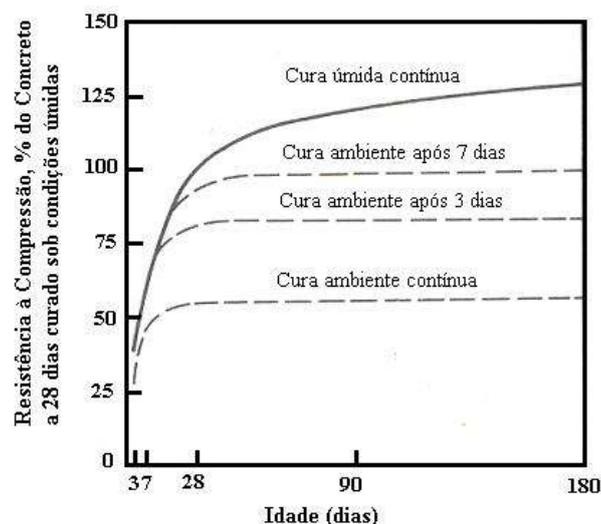


Figura 2.3 - Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto
Fonte: METHA e MONTEIRO (1994)

NUNES (2005) revela ainda que para concreto curado em condições úmidas, a influência da temperatura sobre a resistência depende da temperatura do lançamento e de cura.

2.2.8 - Parâmetros de ensaio

Os parâmetros do ensaio de resistência à compressão que influenciam os valores medidos são: forma e dimensões do corpo de prova, moldagem do corpo de prova, capeamento do corpo-de-prova, velocidade de carregamento, e umidade do corpo de prova.

Segundo METHA e MONTEIRO (1994) e COUTINHO (1994), para corpos-de-prova cilíndricos mantendo-se a razão altura-diâmetro igual a 2, a resistência diminui à medida que o diâmetro do corpo-de-prova aumenta.

Quanto à moldagem dos corpos-de-prova, NEVILLE (1982) afirma que índices de vazios de 2% e 5% nos concretos podem ocasionar uma redução de resistência de mais de 10% e 30%, respectivamente.

O capeamento do corpo de prova adequado reduz consideravelmente a dispersão de resultados. Para concretos convencionais o material mais utilizado é o enxofre. De acordo NEVILLE (1997), a influência do material de capeamento é muito maior no caso

de concretos de resistência média ou alta do que no caso de concretos de baixa resistência.

NUNES (2005) relata que quanto menor a velocidade de aplicação da carga, menor a resistência, tendo, portanto um efeito considerável sobre a resistência do concreto obtida em ensaio.

De acordo com NEVILLE (1982), a resistência do concreto aumenta com a secagem dos corpos-de-prova. A influência qualitativa da secagem é variável: com um concreto de 34 MPa foi observado um aumento de até 10% com secagem total.

Segundo NUNES (2005) a temperatura do corpo de prova também influi na resistência do concreto; em geral, quanto mais altas as temperaturas no momento do ensaio menores são as resistências obtidas.

2.3 – Resistência à tração (f_{ct})

A resistência à tração tem relação com a resistência à compressão sendo maior quando esta cresce. É também um fator preponderante na durabilidade do material em função da fissuração. Portanto, o conhecimento desta propriedade é importante para se conceber estruturas de concreto adequadas principalmente do ponto de vista da fissuração e durabilidade.

Na figura 2.4 são apresentados alguns fatores que influenciam na resistência à tração.

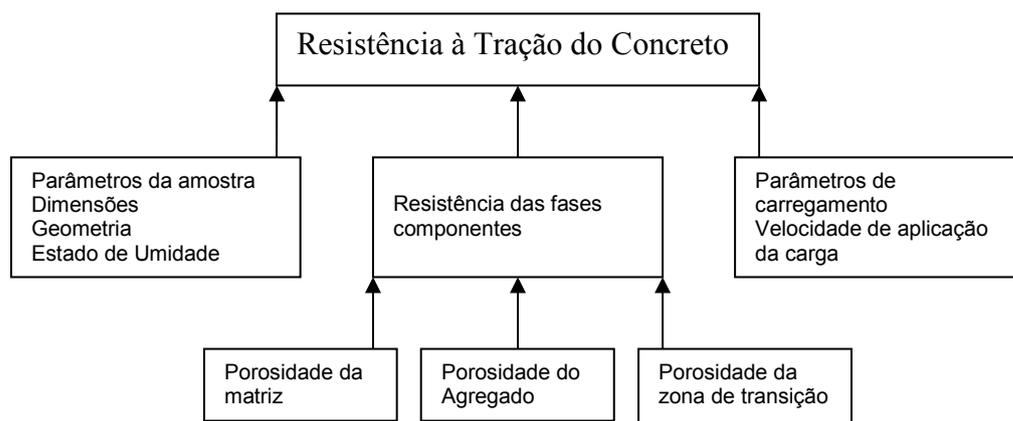


Figura 2.4 - Fatores que influenciam a resistência à tração – Fonte: PACHECO (2006)

2.3.1 - Relação água/cimento

A relação água/cimento de acordo com NEVILLE (1997) determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação. Assim, tanto a relação água/cimento como o grau de adensamento têm influência sobre o volume de vazios do concreto e desta forma tanto na resistência à compressão quanto à tração.

Ainda seguindo NEVILLE (1997), a regra da relação água/cimento tem sido criticada como não sendo suficientemente fundamental. Não obstante, na prática, a relação água/cimento é o principal fator da resistência do concreto adensado adequadamente.

2.3.2 - Finura do cimento

De acordo com NEVILLE (1997), o aumento da resistência nas primeiras idades será maior se pelo menos 50 por cento das partículas tiverem tamanhos entre 3 e 30 micrometros. Quando se utiliza cimentos com proporção de partículas entre 3 micrômetros e 30 micrômetros próxima de 95 % em concretos, estes terão maior resistência inicial e final.

Segundo KIHARA et AL. (2005) partículas abaixo de 2 micrômetros de diâmetro pouco influenciam o aumento de resistência, contribuindo mais expressivamente para o aumento do requerimento de água para uma mesma trabalhabilidade.

2.3.3 - Forma, textura e dimensão máxima do agregado graúdo.

De acordo com NEVILLE (1997) a forma e a textura superficial do agregado tem considerável influência sobre a resistência do concreto. A resistência à flexão é a mais influenciada do que a resistência à compressão, e os efeitos da forma e da textura são particularmente significativos no caso de concretos de alta resistência. Neville ressalta ainda que uma textura mais áspera resulta em maiores forças de aderência entre as partículas e a matriz de cimento, do mesmo modo, que uma área superficial maior promove o desenvolvimento de maiores forças de aderência, proporcionando resistências maiores.

Segundo NETO (2005) o efeito do diâmetro máximo do agregado é mais pronunciado em concretos de alta resistência, pois, para essas resistências, a relação água/cimento diminui, e a porosidade reduzida da zona de transição é fator importante na resistência do concreto. Além disso, a zona de transição parece afetar mais a resistência à tração do concreto do que a resistência à compressão. E, então, para um dado traço de concreto com relação água/cimento constante, pode se esperar que a razão entre a resistência à tração e a resistência à compressão aumentará com a redução do tamanho do agregado graúdo.

2.3.4 - Origem mineralógica do agregado graúdo

METHA e MONTEIRO (1994) relatam que diferenças na composição mineralógica dos agregados reconhecidamente também afetam a resistência do concreto. PACHECO (2006) diz que essa influência é maior em concretos de alta resistência, tendo em vista que os concretos de alta resistência possuem a matriz da pasta de cimento com resistência elevada e que dependendo da mineralogia do agregado graúdo pode ocorrer à ruptura no agregado.

2.3.5 - Adições minerais

DAL MOLIN (2005) relata que as adições minerais causam uma redução na porosidade da matriz e da zona de transição. Esse fato leva a uma melhora geral na resistência à compressão e à tração do concreto, mas, aparentemente, as magnitudes do aumento na resistência à tração se mantêm relativamente pequenas até que a resistência intrínseca dos produtos de hidratação da zona de transição seja majorada. Em outras palavras, a resistência à tração do concreto com uma zona de transição com menor porosidade continuará a ser fraca enquanto um grande número de cristais orientados de hidróxido de cálcio estiver presente no local. Assim, o aumento da resistência à compressão decorrente do efeito microfíler não corresponderá a um aumento proporcional na resistência à tração. Um aumento significativo na resistência à tração se dará somente quando ocorrerem as reações pozolânicas das adições minerais, com conseqüente redução do tamanho e concentração dos cristais de hidróxido de cálcio na zona de transição.

2.3.6 - Aditivos químicos

A eficiência dos redutores de água com relação à resistência varia consideravelmente com a composição do cimento, sendo maior quando usados com cimentos com baixo teor de álcalis ou baixo teor de C_3A (NEVILLE 1997).

Segundo HEWLETT *et. al.* (1976) *apud* NEVILLE (1997) os superplastificantes geralmente podem reduzir o teor de água de 25% a 35%, para uma mesma trabalhabilidade, comparados com o efeito dos redutores de água de menos da metade desse valor, bem como podem aumentar a resistência na idade de um dia de 50% a 75%.

MARTIN (2005) resume os objetivos esperados com a aplicação de aditivos relacionando os com a resistência, sendo eles descritos a seguir:

- Maior trabalhabilidade: aumentando a trabalhabilidade do concreto e mantendo a mesma resistência.
- Incremento da resistência e durabilidade: reduzindo o fator água/cimento e mantendo a mesma resistência.
- Redução de custo: reduzindo simultaneamente o conteúdo de água e cimento para uma mesma resistência e trabalhabilidade do concreto.

2.3.7 - Condições de cura

Segundo BELLANDER (1976) *apud* NEVILLE (1997) a resistência à tração e a resistência à compressão são influenciadas de modo semelhante pelas condições de cura. Ela deve ocorrer de forma que o material possa desenvolver resistência razoável antes que se manifestem as tensões de tração nas superfícies das peças.

BEM-BASSAT *et. al.* (1990) relatam que o efeito da cura inadequada sobre a resistência é maior com relações água/cimento maiores, e também é maior em concretos com menor velocidade de evolução da resistência.

2.3.8 - Parâmetros de ensaio

A resistência à tração do concreto pode ser avaliada por três diferentes métodos de ensaio: tração direta, fendilhamento por compressão diametral e tração na flexão. Estes dois últimos métodos de ensaio são os mais comumente utilizados. Neste trabalho vai se analisar somente resultados de ensaios de tração por compressão diametral. Assim sendo a revisão bibliográfica sobre os parâmetros de ensaio é feita para esta metodologia.

Ensaio de tração por compressão diametral foram realizados por Rossi e colaboradores (2002) em corpos de provas cilíndricos de concreto com resistência à compressão entre 35 e 128 MPa. Eles observaram a redução da resistência à tração e aumento da

variabilidade dos resultados com um aumento do tamanho do corpo de prova; a redução da resistência é tanto maior quando menor a resistência do concreto.

Segundo NEVILLE (1997) a resistência de cilindros ensaiados à tração por compressão diametral não é influenciada pela umidade porque a ruptura ocorre em um plano afastado da superfície sujeita à molhagem e secagem.

2.4 – Módulo de elasticidade estático secante (E_{CS})

O concreto possui duas fases distintas se considerarmos o agregado e a matriz da pasta de cimento e três fases se considerarmos além destes dois sistemas a interface entre eles, chamada de zona de transição. Segundo NEVILLE (1982) a rigidez do material composto não reflete totalmente a rigidez de cada um dos seus constituintes; por isso a relação tensão-deformação do concreto fica compreendido entre as duas, quase sempre lineares, do agregado e da pasta de cimento, como mostra a figura 2.5.

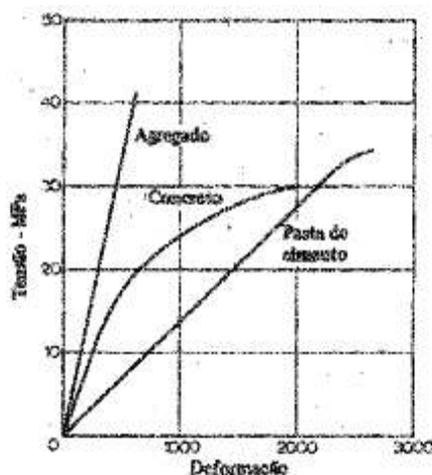


Figura 2.5 - Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto -
Fonte: NEVILLE (1982).

PACHECO (2006) indica que os parâmetros que influenciam a resistência à compressão também influenciam a relação tensão-deformação, embora em diferente grau; porém os agregados, principalmente os grãos, têm particular influência nesta relação.

A figura 2.6 apresenta os parâmetros que influenciam o módulo de elasticidade segundo METHA e MONTEIRO (1994).

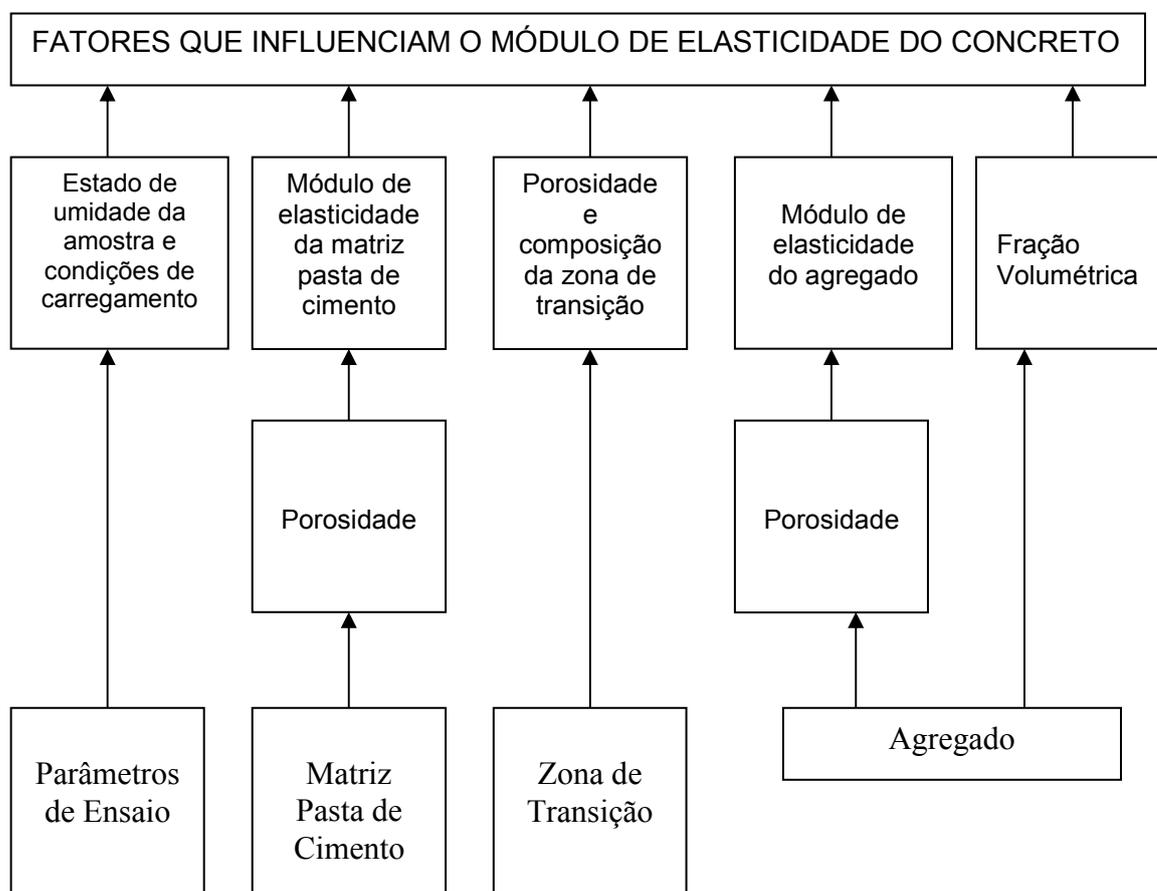


Figura 2.6 - Fatores que afetam o módulo de elasticidade do concreto -
Fonte : METHA e MONTEIRO (1994)

2.4.1 - Relação água/cimento

A relação água/cimento, sendo um dos fatores que define as propriedades da pasta de cimento, afeta também o módulo de elasticidade da pasta de cimento. Desta forma a relação tensão-deformação depende da resistência individual da pasta de cimento, que por sua vez é dependente da porosidade da pasta (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Mantendo-se constante o abatimento do concreto, um aumento na relação água/cimento promove uma redução no módulo de elasticidade estático secante da mesma forma que

na resistência à compressão. A figura 2.7, retirada de MELO NETO e HELENE (2002), ilustra esta afirmação.

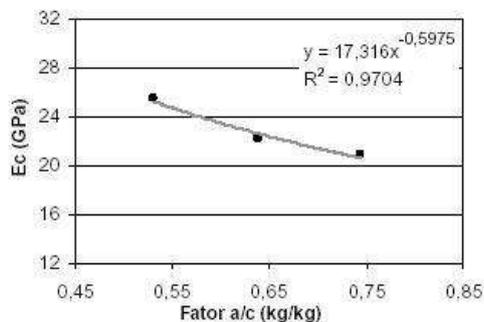


Figura 2.7 - Influência da relação água/cimento sobre o módulo de elasticidade do concreto
Fonte: MELO NETO e HELENE (2002)

2.4.2 - Consumo de cimento

Segundo MELO NETO e HELENE (2002) o consumo de cimento influencia diretamente no módulo de elasticidade do concreto de duas formas antagônicas. Mantendo-se constante o fator a/c e elevando-se o consumo de cimento provoca-se uma redução no teor de agregados que possuem módulo de elasticidade maior que o da pasta de cimento: isto acarreta uma redução no módulo de elasticidade. Situação inversa ocorre quando se mantém constante o abatimento, mas se aumenta o consumo de cimento. Neste caso ocorrerá um aumento do módulo de elasticidade em função da diminuição do fator a/c . As figuras 2.8 e 2.9 mostram resultados de ensaios em concretos onde se variou o consumo de cimento conforme as situações acima.

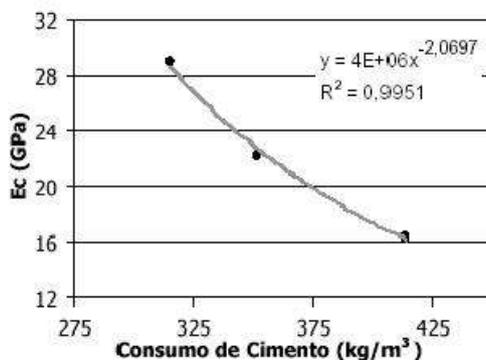


Figura 2.8 - Influência do consumo de cimento sobre o módulo de elasticidade de concretos com relação a/c constante – Fonte: MELO NETO e HELENE (2002)

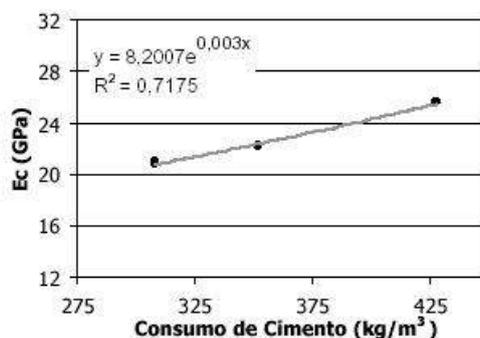


Figura 2.9 - Influência do consumo de cimento sobre o módulo de elasticidade de concretos com abatimento do tronco de cone constante- Fonte: MELO NETO e HELENE (2002)

2.4.3 - Adições minerais

DAL MOLIN (1995) e SILVEIRA et al (1999) constataram que adição de sílica ativa e aditivos químicos na produção de diversos tipos de concretos, resultou em aumento do módulo de elasticidade.

Os resultados obtidos por HELENE (2002) mostraram que adições minerais como a sílica ativa ou metacaulim e aditivos químicos, contribuem para o aumento no valor do módulo de elasticidade do concreto.

COSTA JUNIOR *et. al.* (2006) *apud* MAGALHÃES (2007) observaram que um consumo maior de escoria de alto forno, para algumas classes de resistência de concreto, produziu aumentos no módulo de elasticidade.

2.4.4 - Características do agregado graúdo

De acordo com NEVILLE (1982), o módulo de elasticidade do concreto é, geralmente, tanto maior quanto maior o módulo dos agregados. Ao ensaiar concretos de alta resistência fabricados com diferentes tipos de agregados, GONÇALVES *et al.* (1994), observaram maiores valores de módulo de elasticidade para concretos produzidos com agregados de rochas com módulos mais elevados.

A porosidade do agregado é definida como a relação entre o volume total de vazios e o volume absoluto de sólidos. Os maiores poros dos agregados podem ser vistos ao microscópio ou mesmo ao olho nu; porém, os poros menores, geralmente são maiores que os poros de gel da pasta de cimento. O módulo de elasticidade do concreto convencional é pouco influenciado pela porosidade do agregado graúdo; porém em concretos de alta resistência, a porosidade do agregado influencia o módulo de elasticidade de forma intensa. Agregados densos têm um módulo de elasticidade alto. Em geral, quanto maior a quantidade de agregado graúdo com módulo de elasticidade alto em uma mistura de concreto, maior será o módulo de elasticidade do concreto (PACHECO 2006).

2.4.5 - Dimensão máxima do agregado

METHA e MONTEIRO (1994) indicam que o aumento da dimensão máxima do agregado afeta a quantidade de água necessária para uma dada consistência. Para um mesmo abatimento, o aumento do diâmetro máximo do agregado leva a uma diminuição no consumo de água o que, por conseguinte provoca aumento da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto. No entanto pode ocorrer uma diminuição de f_c e E_{cs} com agregados com grande quantidade de partículas chatas e alongadas, pois haverá uma tendência do filme de água se acumular próximo a superfície do agregado, enfraquecendo assim a zona de transição entre a pasta e o agregado. Este fenômeno é conhecido como exsudação interna. Entretanto, o aumento da dimensão máxima do agregado fica limitado ao espaçamento existente entre as barras de aço nas vigas, e deve-se respeitar uma regra prática usada na construção civil em que dimensão máxima do agregado não deve ser maior que 1/5 da dimensão mais estreita da forma e que 3/4 da menor distância livre entre as armaduras de aço.

2.4.6 - Fração volumétrica do agregado graúdo

Segundo MELO NETO e HELENE (2002), o aumento do teor de agregados tem seu efeito positivo prejudicado pelo aumento da relação água-cimento para manter o abatimento constante resultando numa pasta mais fraca e, conseqüentemente, num valor de módulo menor. Por outro lado, os resultados mostrados na Figura 2.10, onde se

mantve constante a/c, indicam que o aumento do teor de agregados acarreta um aumento do valor do módulo de elasticidade.

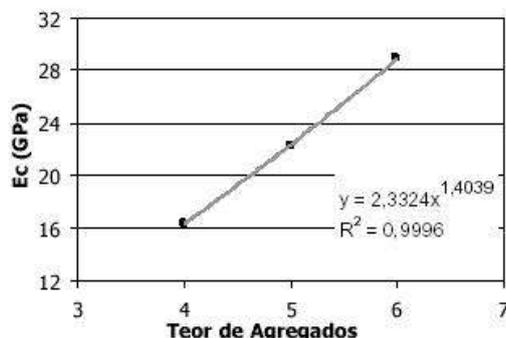


Figura 2.10 - Influência do teor de agregado sobre o módulo de elasticidade do concreto
Fonte: MELO NETO e HELENE (2002).

2.4.7 - Condições de cura

Segundo NUNES (2005) as condições de cura influenciam o módulo de elasticidade e a resistência à compressão do concreto; porém, esta influencia pode não ser da mesma ordem de grandeza.

2.4.8 - Condições de ensaio

De acordo com NEVILLE (1982), a determinação do módulo de elasticidade é influenciada pelas condições de umidade do corpo-de-prova: quando molhado apresenta um módulo de elasticidade maior do que seco, ao passo que a resistência varia em sentido contrário.

A velocidade de aplicação da carga, durante o ensaio do módulo de elasticidade, influencia na deformação do corpo-de-prova de concreto e, por conseguinte no valor do módulo de elasticidade. Quando a carga é aplicada rapidamente, as deformações observadas são menores, levando a valores maiores para o módulo. Aumentando-se o tempo de carregamento de 5 segundos até cerca de 2 minutos, a deformação pode aumentar em até 15% (NEVILLE 1982).

2.5 – Expressões de correlação entre as propriedades mecânicas

Existem várias expressões nas normas técnicas para avaliação da resistência à tração e do módulo de elasticidade do concreto a partir da resistência à compressão. Estas expressões são em geral função da resistência à compressão ou desta grandeza e do tipo de agregado do concreto. Em geral estas fórmulas são do tipo (αf_c^β) . As tabelas 2.3 a 2.5 apresentam algumas destas expressões para estimar a resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

Tabela 2.3 - Expressões para estimar a resistência à tração do concreto (f_{ctsp} e f_c em MPa)

Norma	Expressão
NBR 6118 (2014)	$f_{ctsp} = 1/3 (f_{ck})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50$ MPa
EUROCODE 2 (2004)	$f_{ctsp} = 1/3 (f_{ck})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq C50/60$
ACI 318 (2008)	$f_{ctsp} = 0,62 \sqrt{f'_c}$ para $f'_c \leq 70$ MPa

Tabela 2.4 - Expressões para estimar o módulo de elasticidade estático secante do concreto (E_{cs} e f_c em MPa)

Norma	Expressão
NBR 6118 (2014)	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$ para $f_{ck} \leq 50$ MPa
EUROCODE 2 (2004)	$E_{cs} = 9500 (f_{ck} + 8)^{1/3}$ módulo sec ante entre $\sigma_c = 0$ e $0,4 f_{ck}$
ACI 318 (2008)	$E_{cs} = 4700 \sqrt{f'_c}$ módulo sec ante para $0,45 f'_c$

Tabela 2.5 - Expressões da NBR 6118 (2007) para estimar o módulo de elasticidade estático secante do concreto para diferentes tipos de agregado - (E_{cs} e f_c em MPa)

Mineralogia do agregado	Expressão
Calcário	$E_{cs} = 0,9 \times 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Gnaise	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Basalto	$E_{cs} = 1,2 \times 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Granito	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$

É importante frisar que os termos multiplicadores da resistência característica do concreto mostrados nas expressões acima não são adimensionais. Suas dimensões devem ser tais que tornem cada expressão correta do ponto de vista dimensional.

Existe na literatura uma série de expressões para correlacionar a resistência à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade com a resistência à compressão. Estas expressões incluem outros parâmetros além da resistência à compressão e do tipo do agregado graúdo. ZAIN *et al.* (2002) por exemplo, incluem além da resistência à compressão os efeitos da relação água/cimento e a idade do concreto na expressão correlação com a resistência à tração por compressão diametral. SARIDEMIR (2011) inclui somente a idade do concreto além da resistência à compressão para esta mesma correlação. É claro que quanto mais parâmetros são adicionados nas expressões de correlação melhor elas se adequam aos resultados experimentais. Porém muitos desses parâmetros não são do conhecimento do engenheiro na fase de concepção e de projeto da estrutura como por exemplo a relação água/cimento. Isso torna muitas destas expressões de difícil utilização. Assim sendo optou-se neste trabalho por usar os parâmetros conhecidos na fase de projeto qual seja a resistência à compressão característica do concreto e o tipo de agregado.

3

METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo. A primeira parte descreve a coleta de dados para criação do banco dados com resultados dos ensaios encontrados na literatura de módulo de elasticidade estático secante e de resistência à tração por compressão diametral respectivamente com a correspondente resistência à compressão. Em seguida é descrita a metodologia utilizada para elaboração das equações de correlação entre as propriedades mecânicas: módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão. Estas equações de correlação têm como base os resultados do banco de dados. Por fim, é apresentada a metodologia utilizado no estudo comparativo entre as expressões de correlação das propriedades mecânicas do concreto prescritas pelas normas NBR 6118 (2007), EUROCODE 2 (2004) e ACI 318 (2008) em relação aos resultados obtidos nas equações propostas bem como com os resultados do banco de dados.

3.1 - Metodologia de coleta dos elementos do banco de dados

A coleta de dados e elaboração do banco de dados buscou agregar o maior número de resultados de ensaios relacionados ao tema. Os dados de interesse nestes trabalhos são os resultados de ensaios efetuados para a determinação da resistência à compressão, do

módulo de elasticidade estático secante, da resistência à tração por compressão diametral, além das informações presentes na composição dos concretos e alguns fatores de testes.

Os dados coletados foram limitados a dissertações, teses e artigos de pesquisadores brasileiros, não fazendo parte deste estudo testes realizados em empresas de serviço de concreto. Os trabalhos relacionados foram examinados com critério, para que as informações e dados de interesse não fossem contaminados o que poderia levar o estudo a resultados ambíguos. Em alguns trabalhos somente os resultados dos ensaios referentes ao concreto de controle ou de referência foram utilizados devido aos demais concretos terem sido fabricados com agregados contaminados e/ou com outras características não contempladas nesta pesquisa.

Os agregados graúdos característicos deste trabalho não incluem os originados de reciclagem da construção civil, sendo relacionados os de origem naturais britados ou extraídos em sua forma natural com dimensões iguais ou inferiores a 38 mm.

As características dos concretos, dimensões do corpo de prova, classe de resistência, entre outras, foram limitadas às informadas disponíveis em dissertações, livros e artigos pesquisados. Os processos de capeamento não fizeram parte do estudo. Corpos-de-prova cúbicos para ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade foram desconsiderados. Para o módulo de elasticidade foram utilizados somente resultados do ensaio estático A coleta de dados dos ensaios foi limitada a concretos com resistências à compressão menores ou iguais a 50 MPa.

Para o módulo de elasticidade os dados coletados ficaram compreendidos no intervalo de um a 365 dias e para a resistência a tração por compressão diametral no intervalo de sete a 300 dias.

As tabelas a seguir apresentam o resumo dos resultados experimentais que compõem o banco de dados.

TABELA 3.1 – Resumo dos resultados experimentais que compõem o banco de dados
Relação módulo de elasticidade estático secante versus resistência à compressão

Pesquisador	Mineralogia do agregado graúdo	Tipo de cimento	Faixa de resistência à compressão do concreto (MPa)	Dimensões dos corpos-de-prova cilíndricos (cm)	Número de ensaios
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	10 x 20 15 x 30	106
Geyer e Sena (2002)	Granito	CP II 32 F	8,4 a 38,3	10 x 20	7
Melo Neto e Helene (2002)	Granito	CP II 32 E	20,32 a 27,92	10 x 20	5
Silva <i>et. al.</i> (2009)	Granito	CP III 40 CP IV 32 CP II 32 F	24 a 26	10 x 20	3
Reis e Vasconcelos (2004)	Calcário	CP II 32	25 a 35	10 x 20	22
Cunha et al (2006)	Granito	CP II 32 Z	30,9 a 43,2	10 x 20	3
Gonçalves et. Al (2006)	Granito	CP II 32 Z	30 a 40	15 x 30	2
Luczynski <i>et. al.</i> (2006)	Gnaiss/Basalto	CP V ARI	12,7 a 31,5	10 x 20	9
Beck <i>et. al.</i> (2008)	Basalto	CP V ARI	19,14 a 46,27	10 x 20	7
Cupertino <i>et. al.</i> (2008)	Granito	CP II 32 F	25 a 45	10 x 20 – 15 x 30	16
Costa <i>et. al.</i> (2008)	Granito	CP II 32 F	9,4 a 33,4	10 x 20	20
Guimarães <i>et. al.</i> (2006)	Calcário	CP III 40 RS	30 a 35	10 x 20	8
Allende <i>et. al.</i> (2006)	Granito	CP I / CP II	25,35 a 46,6	10 x 20	20
Magalhães (1999)	Gnaiss	CP II 32 E CP II 32 F CP III 32	13,9 a 48,3	10 x 20	24

TABELA 3.1 – Resumo dos resultados experimentais que compõem o banco de dados
Relação módulo de elasticidade estático secante versus resistência à compressão - continuação

Pesquisador	Mineralogia do agregado graúdo	Tipo de cimento	Faixa de resistência à compressão do concreto (MPa)	Dimensões dos corpos-de-prova cilíndricos (cm)	Número de ensaios
Andrade (1997)	Basalto Gnaiss Calcário Granito	Não Informado	2,8 a 49,8	15 x 30	432

TABELA 3.2 – Resumo dos resultados experimentais que compõem o banco de dados
Relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão

Pesquisador	Tipo de cimento	Faixa de resistência à compressão do concreto (MPa)	Dimensão dos corpos-de-prova cilíndricos (cm)	Número de ensaios
Cavalcanti Filho (2009)	CP II 32 F	23,3 a 42,4	15 x 30	30
Simão <i>et al</i> (2009)	CP III 40 CP IV 32 CP II 32 F	24 a 26	10 x 20	3
Reis e Vasconcelos (2004)	CP II 32	24,6 a 34,4	não especificado	22
Luczynski <i>et. al</i> (2006)	CP V ARI	23,6 a 43,2	10 x 20	24
Said <i>et. al</i> (2004)	CP II 32 F	19,5 a 42,9	não especificado	4
Terni <i>et. al</i> (2005)	CP V ARI	16,95 a 49,25	10 x 20	5
Beck <i>et. al</i> (2008)	CP V ARI	19,5 a 42,9	10 x 20	7

3.2 - Metodologia para elaboração das equações de correlação propostas

Com base nos resultados do banco de dados, as equações de correlação entre módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão e entre a resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão tiveram como ponto de partida a equação de uma reta. Na equação desta reta o valor da resistência à compressão esteve sempre elevado a algum expoente. Foi atribuída para os valores destes expoentes a faixa de intervalo prescrita pelas normas: NBR 6118(2014), ACI 318(2008) e EUROCODE 2 (2004). Para o módulo de elasticidade o intervalo submetido foi entre $1/3$ e $1/2$ e para a resistência a tração por compressão diametral o intervalo referido foi entre $1/2$ e $2/3$ (vide tabelas 3.3 e 3.4). Para se chegar a melhor equação de correlação foram realizadas diversas tentativas com o auxílio de uma planilha eletrônica para se minimizar o erro por meio do método dos mínimos quadrados e conseguir uma reta que mais se aproximasse da origem. Nesse ajuste foram utilizados os resultados do banco de dados. Para o módulo de elasticidade estático secante ainda foram geradas equações específicas para diferentes tipos de agregado (tabela 3.5).

Tabela 3.3 - Expressões para estimar a resistência à tração do concreto (f_{ctsp} e f_c em MPa)

Norma	Expressão
NBR 6118 (2014)	$f_{ctsp} = 1/3 (f_{ck})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50$ MPa
EUROCODE 2 (2004)	$f_{ctsp} = 1/3 (f_{ck})^{2/3}$ para $f_{ck} \leq C50/60$
ACI 318 (2008)	$f_{ctsp} = 0,62 \sqrt{f'_c}$ para $f'_c \leq 70$ MPa

Tabela 3.4 - Expressões para estimar o módulo de elasticidade estático secante do concreto (E_{cs} e f_c em MPa)

Norma	Expressão
NBR 6118 (2014)	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$ para $f_{ck} \leq 50$ MPa
EUROCODE 2 (2004)	$E_{cs} = 9500 (f_{ck} + 8)^{1/3}$ módulo secante entre $\sigma_c = 0$ e $0,4 f_{ck}$
ACI 318 (2008)	$E_{cs} = 4700 \sqrt{f_c}$ módulo secante para $0,45 f'_c$

Tabela 3.5 -Expressões da NBR 6118 (2007) para estimar o módulo de elasticidade estático secante do concreto para diferentes tipos de agregado - (E_{cs} e f_c em MPa)

Mineralogia do agregado	Expressão
Calcário	$E_{cs} = 0,9 \times 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Gnaise	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Basalto	$E_{cs} = 1,2 \times 4760 \sqrt{f_{ck}}$
Granito	$E_{cs} = 4760 \sqrt{f_{ck}}$

3.3 - Metodologia para análise comparativa dos resultados

Com a finalidade de comparar as equações normativas e as propostas neste estudo foi realizada uma análise estatística em relação aos resultados experimentais contidos no banco de dados. Para isso criou-se o parâmetro ξ denominado erro do modelo: ele é igual ao quociente entre o valor medido nos ensaios da propriedade mecânica (f_{ctsp} ou E_{cs}) e o valor estimado pela equação proposta e pelas expressões normativas em função da resistência à compressão. Assim valores de ξ significativamente maiores que 1 indicam que o modelo é excessivamente conservador e valores bem menores que 1 mostram que o modelo é pouco apropriado. Fazem parte desta análise a média M , a mediana M_d , o desvio padrão DP , o coeficiente de variação COV e os valores máximos e mínimos de ξ encontrados. Nesse caso, a média reflete o viés conservativo da equação, enquanto que o coeficiente de variação é tomado como indicador da precisão dos resultados.

4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Introdução

O propósito do presente capítulo é apresentar e analisar os resultados obtidos no estudo. Primeiramente serão apresentados e analisados os resultados encontrados numa equação geral para a relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade estático secante dos concretos. Em seguida será avaliada esta relação para agregados de diferentes tipos mineralógicos: calcário, gnaisse, basalto e granito. Da mesma maneira serão apresentados os resultados para a relação entre a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral. Ao final será apresentada uma análise estatística comparativa dos resultados obtidos em relação às equações prescritas pelas normas NBR 6118 (2007), ACI 318 (2008) e EUROCODE 2 (2004) para as relações entre a resistência à compressão e módulo de elasticidade entre a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral.

4.2 – Relação módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão

4.2.1 – Banco de dados geral - Relação E_{CS} versus f_c

A figura 4.1 apresenta os resultados encontrados na literatura para os 684 pares de dados dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade secante. O gráfico mostra a distribuição dos resultados que serviram de base para o estudo desenvolvido.

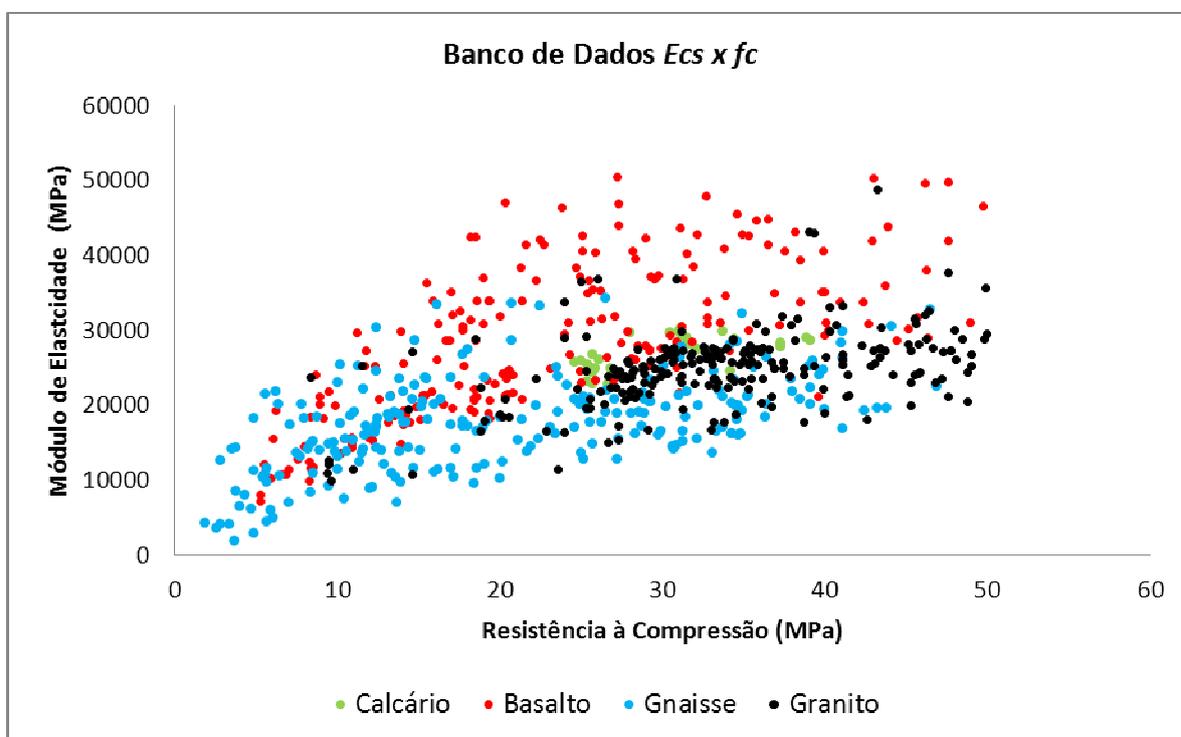


Figura 4.1 – Banco de dados - Relação E_{CS} versus f_c

4.2.2 - Equação geral de correlação proposta para a relação E_{CS} versus f_c

Com base nos resultados do banco de dados, a equação de correlação entre módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão teve como ponto de partida a equação de uma reta, na qual o valor da resistência à compressão estava sempre elevado ao expoente α . Inicialmente foi atribuído para α , a faixa de valores prescrita pelas normas: NBR 6118 (2007), ACI 318(2008) e EUROCODE 2 (2004) ou seja valores no

intervalo entre $1/3$ e $1/2$. A Tabela 4.1 apresenta os resultados das equações obtidas bem como os valores do quadrado da correlação encontrado pelo método dos mínimos quadrados.

Tabela 4.1 – Relação E_{CS} versus f_c para diferentes valores de α

Valor de α	Equação linear obtida $E_{CS} = a.(f_c)^\alpha + b = a.x + b$	Valores do quadrado da correlação r^2
0,3333	$E_{CS} = 10136 x - 5201,2$	0,9542
0,34	$E_{CS} = 9743,6 x - 4679,3$	0,9539
0,35	$E_{CS} = 9186 x - 3.933,4$	0,9536
0,36	$E_{CS} = 8.672,6 x - 3.228,5$	0,9532
0,37	$E_{CS} = 8191,1 x - 2561,2$	0,9528
0,38	$E_{CS} = 7741 x - 1928,5$	0,9524
0,39	$E_{CS} = 7321,5 x - 1327,8$	0,9521
0,40	$E_{CS} = 6928,4 x - 756,8$	0,9517
0,41	$E_{CS} = 6560,1 x - 213,1$	0,9513
0,42	$E_{CS} = 6214,9 x + 305,1$	0,9508
0,43	$E_{CS} = 5890,8 x + 799,6$	0,9504
0,44	$E_{CS} = 5586,4 x + 1271,9$	0,9500
0,45	$E_{CS} = 5300,2 x + 1723,7$	0,9496
0,46	$E_{CS} = 5030,9 x + 2156,2$	0,9492
0,47	$E_{CS} = 4777,3 x + 2570,7$	0,9487
0,48	$E_{CS} = 4538,4 x + 2968,3$	0,9483
0,49	$E_{CS} = 4313,1 x + 3350,0$	0,9478
0,50	$E_{CS} = 4100,4 x + 3716,7$	0,9474

A análise dos resultados mostra que a variação dos valores de α entre $1/3$ e $1/2$ levou a valores do quadrado da correlação obtidos pelo método dos mínimos quadrados, em relação ao banco de dados, com amplitude de 0,9474 a 0,9542, ou seja, bem próximos da unidade. Além disso, o valor do intercepto mais próximo de zero foi encontrado para α entre 0,41 e 0,42. É também importante que o intercepto fique próximo de zero para que a equação proposta tenha coerência isto é: concretos com resistência à compressão bem pequena devem ter seu respectivo módulo de elasticidade próximo de zero.

Em seguida buscou se a variação de α de forma a se obter a melhor reta que também passasse pela origem dos eixos cartesianos. A equação encontrada foi igual a:

$$E_{cs} = 6417,5 (f_c)^{0,4141} + 9e - 05 \quad (4.1)$$

O valor do quadrado da correlação obtido foi igual a 0,9511, dentro da faixa encontrada anteriormente. A figura 4.2 apresenta uma visão desta equação em relação ao banco dados.

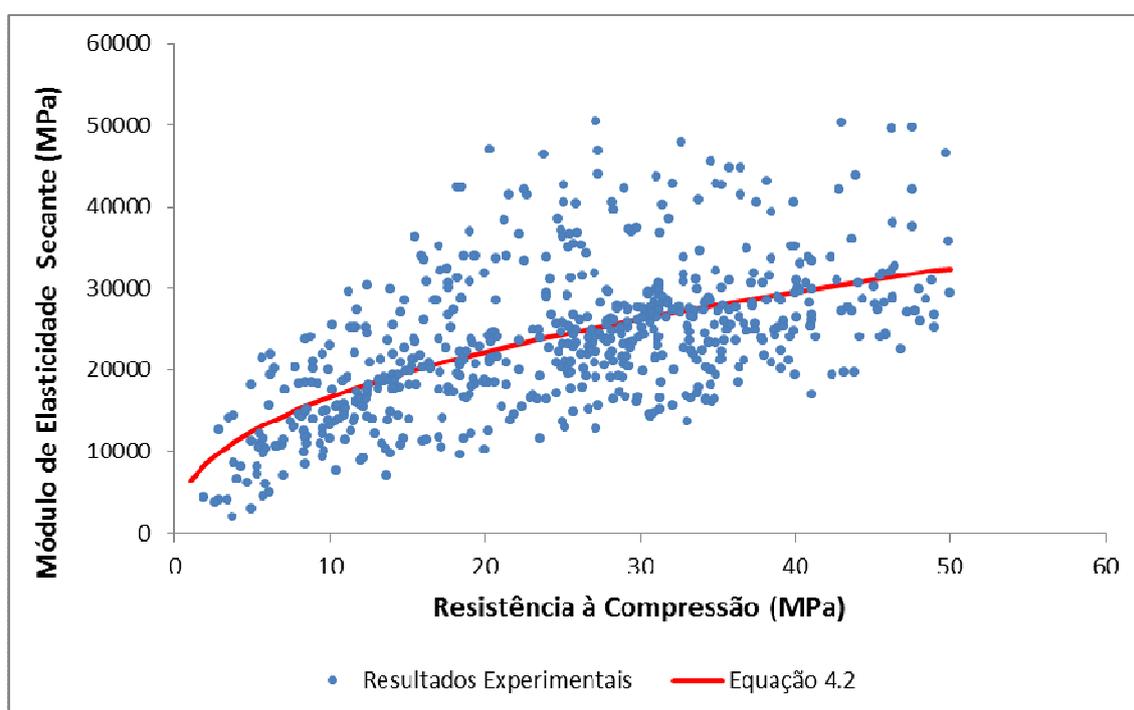


Figura 4.2 – Relação E_{CS} versus (f_c)

A equação 4.1 encontrada foi então modificada de modo a torná-la mais prática para utilização no dia a dia de projeto. A equação modificada ficou igual a:

$$E_{cs} = 6418 (f_c)^{0,414} \quad (4.2)$$

4.2.3 – Equações da relação E_{CS} versus f_c para diferentes tipos de agregados

A obtenção das equações que relacionam o módulo de elasticidade secante e a resistência à compressão para os agregados de diferentes tipos mineralógicos foi realizada seguindo a mesma metodologia utilizada na equação geral. Os agregados que compõem este estudo foram os pesquisados na literatura sendo eles: calcário, gnaisse, basalto e granito. A seguir são apresentados os resultados das equações obtidas, assim como os valores do quadrado da correlação encontrado pelo método dos mínimos quadrados. A Tabela 4.2 apresenta esses resultados.

Tabela 4.2 – Relação E_{CS} versus f_c para diferentes tipos de agregados graúdos

Tipo de agregado	Valor de α	Equação linear obtida $E_{CS} = a.(f_c)^\alpha + b = a.x + b$	Valores do quadrado da correlação r^2
Calcário	0,382	$E_{CS} = 7357,6 x - 4e-06$	0,9361
Gnaisse	0,322	$E_{CS} = 6972,9 x + 4e-03$	0,9473
Basalto	0,502	$E_{CS} = 6057,3 x + 4e-07$	0,9733
Granito	0,376	$E_{CS} = 6787,6 x + 4e-08$	0,9165

As relações da tabela 4.2 foram então ajustadas de modo a se utilizar a equação geral como parâmetro inicial da relação existente entre o módulo de elasticidade secante e a resistência à compressão. Para tanto foram inseridos à equação, os coeficientes β e θ de acordo com a origem mineralógica de cada agregado estudado. Estes coeficientes representam a relação entre os coeficientes lineares e exponenciais das equações específicas com a equação geral. Desta maneira os erros apresentados para os diferentes tipos de agregados foram mantidos e as equações foram ajustadas para facilitar o uso. A tabela 4.3 apresenta os coeficientes β e θ .

Tabela 4.3- Coeficientes de ajuste β e θ para cada tipo de agregado

Coeficientes	Equação obtida $E_{CS} = 6418 \beta.(f_c)^{0,414 \theta}$			
	Calcário	Gnaisse	Basalto	Granito
β	1,15	1,09	0,94	1,06
θ	0,92	0,78	1,21	0,91

4.3 – Relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão

4.3.1 – Banco de dados geral - Relação f_{ctsp} versus f_c

A figura 4.3 apresenta os resultados encontrados na literatura para os 95 pares de dados dos ensaios da relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão. O gráfico mostra a distribuição dos resultados que serviram de base para o estudo desenvolvido.

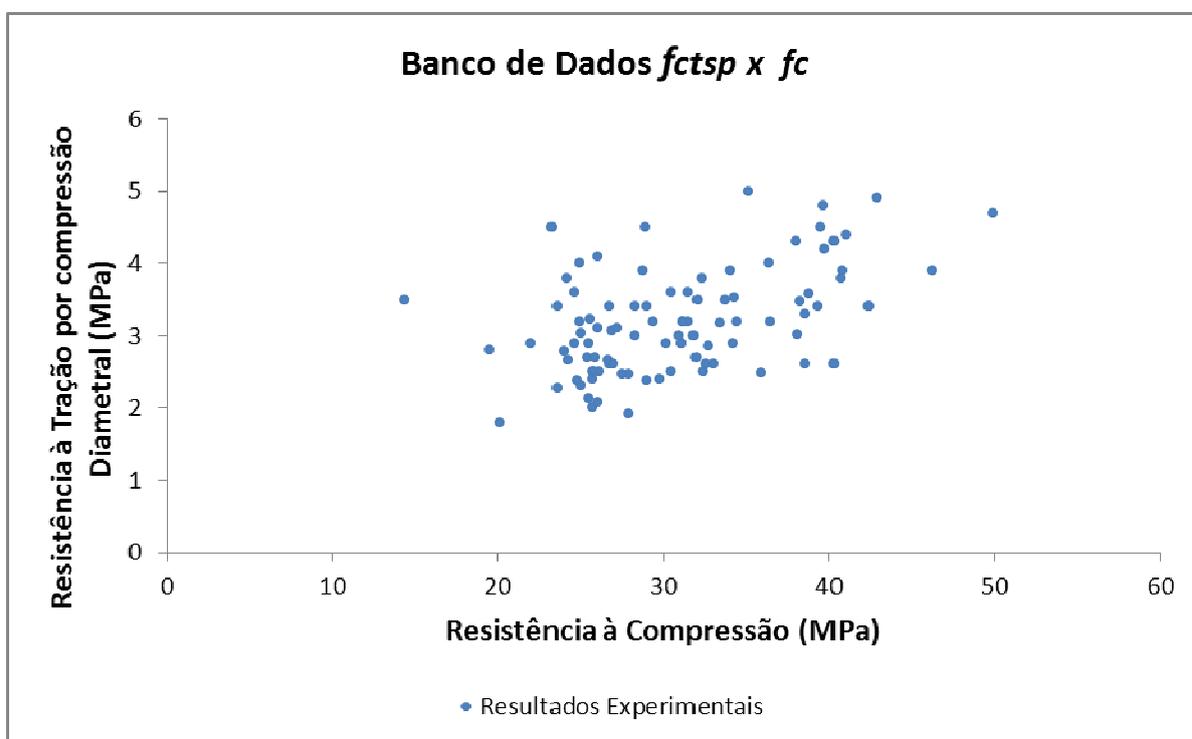


Figura 4.3 – Banco de dados - Relação f_{ctsp} versus f_c

4.3.2 - Equação de correlação proposta para a relação f_{ctsp} versus f_c

Com base nos resultados do banco de dados, a equação de correlação entre a resistência a tração por compressão diametral versus resistência à compressão teve como ponto de partida a equação de uma reta, na qual o valor da resistência à compressão estava sempre elevado ao expoente α . Inicialmente foi atribuído para α , a faixa de valores prescrita pelas normas: NBR 6118 (2007), ACI 318(2008) e EUROCODE 2 (2004) ou seja valores no intervalo entre $1/2$ e $2/3$. A Tabela 4.4 apresenta os resultados das

equações obtidas bem como os valores do quadrado da correlação encontrados pelo método dos mínimos quadrados.

Tabela 4.4 – Relação f_{ctsp} versus f_c para diferentes valores de α

Valor de α	Equação linear obtida $f_{ctsp} = a.(f_c)^\alpha + b = a.x + b$	Valores do quadrado da correlação r^2
0,50	$f_{ctsp} = 0,5897 x - 0,0705$	0,8299
0,51	$f_{ctsp} = 0,5591 x - 0,0091$	0,8303
0,52	$f_{ctsp} = 0,5303 x + 0,0499$	0,8306
0,53	$f_{ctsp} = 0,5031 x + 0,1068$	0,8309
0,54	$f_{ctsp} = 0,4775 x + 0,1616$	0,8313
0,55	$f_{ctsp} = 0,4533 x + 0,2144$	0,8316
0,56	$f_{ctsp} = 0,4305 x + 0,2653$	0,8320
0,57	$f_{ctsp} = 0,4090 x + 0,3145$	0,8323
0,58	$f_{ctsp} = 0,3887 x + 0,3619$	0,8326
0,59	$f_{ctsp} = 0,3695 x + 0,4078$	0,8330
0,60	$f_{ctsp} = 0,3515 x + 0,4522$	0,8333
0,61	$f_{ctsp} = 0,3341 x + 0,4951$	0,8336
0,62	$f_{ctsp} = 0,3179 x + 0,5360$	0,8340
0,63	$f_{ctsp} = 0,3025 x + 0,5770$	0,8343
0,64	$f_{ctsp} = 0,2879 x + 0,6160$	0,8346
0,65	$f_{ctsp} = 0,2741 x + 0,6530$	0,8349
0,66	$f_{ctsp} = 0,2610 x + 0,6905$	0,8353
0,6667	$f_{ctsp} = 0,2526 x + 0,7144$	0,8355

A análise dos resultados mostra que a variação dos valores de α entre $1/2$ e $2/3$ levou a valores do quadrado da correlação obtidos pelo método dos mínimos quadrados, em relação ao banco de dados, com amplitude de 0,8299 a 0,8355, ou seja, próximos da unidade. Além disso, o valor do intercepto mais próximo de zero foi encontrado para α entre 0,51 e 0,52. Neste caso é também importante que o intercepto fique próximo de zero para que a equação proposta tenha coerência isto é: concretos com resistência à compressão bem pequena devem ter sua respectiva resistência à próxima de zero.

Em seguida buscou se a variação de α de forma a se obter a melhor reta que também passasse pela origem dos eixos cartesianos. A equação encontrada foi igual a:

$$f_{ctsp} = 0,5547 (f_c)^{0,5115} + 4e - 01 \quad (4.3)$$

O valor do quadrado da correlação obtido foi igual a 0,8303, dentro da faixa encontrada anteriormente. A figura 4.4 apresenta uma visão desta equação em relação ao banco dados.

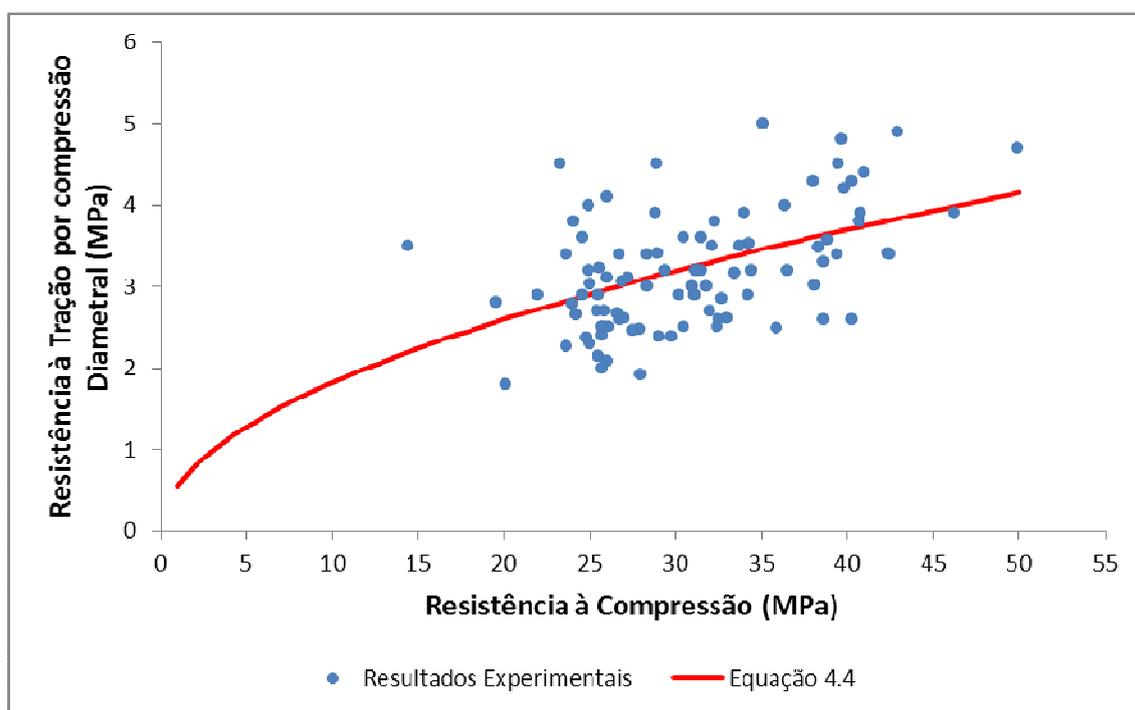


Figura 4.4 – Relação f_{ctsp} versus (f_c)

A equação 4.3 encontrada foi então modificada de modo a torná-la mais prática para utilização no dia a dia de projeto. A equação modificada ficou igual a:

$$f_{ctsp} = 0,55 (f_c)^{0,512} \quad (4.4)$$

4.4 – Análises estatísticas comparativa dos resultados com as equações normativas

4.4.1 – Equação geral da relação módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão

A análise comparativa entre as equações normativas e a proposta neste estudo foi realizada com base numa análise estatística em relação aos resultados experimentais contidos no banco de dados. Para isso criou-se o parâmetro ξ denominado erro do modelo: ele é igual ao quociente entre o valor medido nos ensaios do módulo de elasticidade E_{cs} e o valor estimado pela equação proposta e pelas expressões normativas em função da resistência à compressão. Assim valores de ξ significativamente maiores que 1 indicam que o modelo é excessivamente conservador e valores bem menores que 1 mostram que o modelo é pouco apropriado. Fazem parte desta análise a média M , a mediana M_d , o desvio padrão DP , o coeficiente de variação COV e os valores máximos e mínimos de ξ encontrados. A Tabela 4.5 apresentam a análise estatística do erro do modelo ξ .

Tabela 4.5- Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de elasticidade secante

<i>Erro do modelo ξ</i>	Equação geral proposta	ACI 318 (2008)	NBR 6118 (2007)	Eurocode 2 (2004)
<i>M</i>	0,986	1,029	1,016	0,865
<i>M_d</i>	0,946	0,980	0,968	0,832
<i>DP</i>	0,300	0,320	0,316	0,270
<i>COV</i>	30,4 %	31,1 %	31,1 %	31,1 %
<i>valor mínimo</i>	0,168	0,210	0,208	0,129
<i>valor máximo</i>	2,104	2,2205	2,192	1,814

Independentemente da equação utilizada (normativa ou proposta), uma primeira análise dos resultados mostra uma grande proximidade entre os valores das médias e medianas, indicando uma tendência das amostras para a distribuição normal.

Para a estimativa do módulo de elasticidade secante, os valores das médias do erro modelo ξ indicam que a equação mais conservativa é o do ACI 318, seguida pela da

NBR 6118. A equação obtida neste estudo apresenta valor ligeiramente inferior à unidade. O coeficiente de variação indica que os resultados que apresentam menor dispersão em relação à média, ou maior precisão, são os obtidos com a equação proposta. Dessa forma, a equação proposta se apresenta com uma alternativa a ser considerada nas próximas revisões da NBR 6118.

A figura 4.5 apresenta uma visão qualitativa do estudo comparativo entre os valores medidos experimentalmente e os previstos pelas diferentes normas bem como pelas equações propostas neste estudo. A análise da figura 4.5 revela primeiramente uma diferença significativa entre a estimativa do valor de módulo calculado por meio da equação do Eurocode 2 em relação às demais. A equação proposta se compara bem com as prescritas pela NBR 6118 e pelo ACI 318 e estas três relações parecem estar mais perto da curva média dos resultados experimentais.

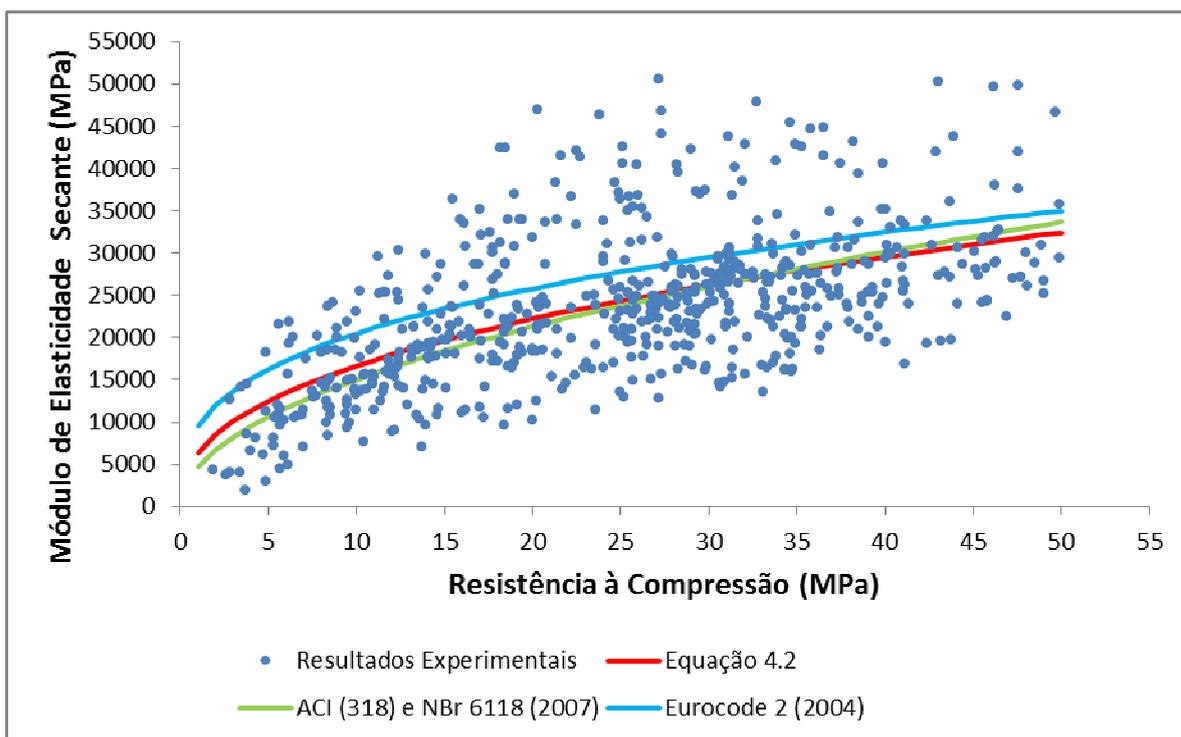


Figura 4.5 – Relação E_{CS} versus f_c para diversas equações normativas

4.4.2 – Equações específicas para diferentes tipos de agregado da relação módulo de elasticidade secante versus resistência à compressão

As tabelas 4.6 e 4.7 apresentam respectivamente os resultados da análise estatística para o erro do modelo das equações específicas prescritas pela NBR 6118 (2007) para diferentes tipos de agregados e as equações específicas propostas neste estudo para os mesmos tipos de agregado.

Tabela 4.6- Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de elasticidade secante para diferentes tipos de agregado prescrita pela NBR 6118 (2007)

<i>Erro do modelo ξ</i>	Calcário	Gnaisse	Basalto	Granito
<i>M</i>	1,152	0,886	1,060	0,934
<i>Md</i>	1,156	0,838	0,974	0,902
<i>DP</i>	0,066	0,347	0,264	0,176
<i>COV</i>	6,55 %	34,72 %	24,86 %	18,89 %
<i>valor mínimo</i>	0,978	0,208	0,548	0,497
<i>valor máximo</i>	1,306	1,908	1,826	1,718

Tabela 4.7- Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa do módulo de elasticidade secante para diferentes tipos de agregado – (Equação 4.2)

<i>Erro do modelo ξ</i>	Calcário	Gnaisse	Basalto	Granito
<i>M</i>	0,999	0,997	0,995	0,999
<i>Md</i>	0,999	0,973	0,913	0,987
<i>DP</i>	0,064	0,312	0,247	0,176
<i>COV</i>	6,40 %	31,33 %	24,85 %	17,61 %
<i>valor mínimo</i>	0,864	0,179	0,515	0,516
<i>valor máximo</i>	1,127	1,964	1,714	1,598

Para a estimativa do módulo de elasticidade secante, os valores das médias do erro do modelo ξ indicam que as equações propostas para os diferentes tipos de agregado, deste estudo, ajustam se melhor aos dados obtidos na literatura, aproximando se da unidade. Enquanto os valores da NBR 6118 (2007) oscilam acima e baixo deste parâmetro. A média e a mediana se aproximam em ambos os modelos indicando a tendência das amostras para a distribuição normal. Outro aspecto relevante observado é o menor coeficiente de variação das equações específicas, sempre inferiores a NBR

6118 (2007), demonstrando uma menor dispersão em relação à média, ou maior precisão.

As figuras 4.6 a 4.9 apresentam uma visão qualitativa do estudo comparativo entre os valores medidos experimentalmente e os previstos pelas equações da NBR 6118 (2007) e as equações propostas neste estudo para cada tipo de agregado.

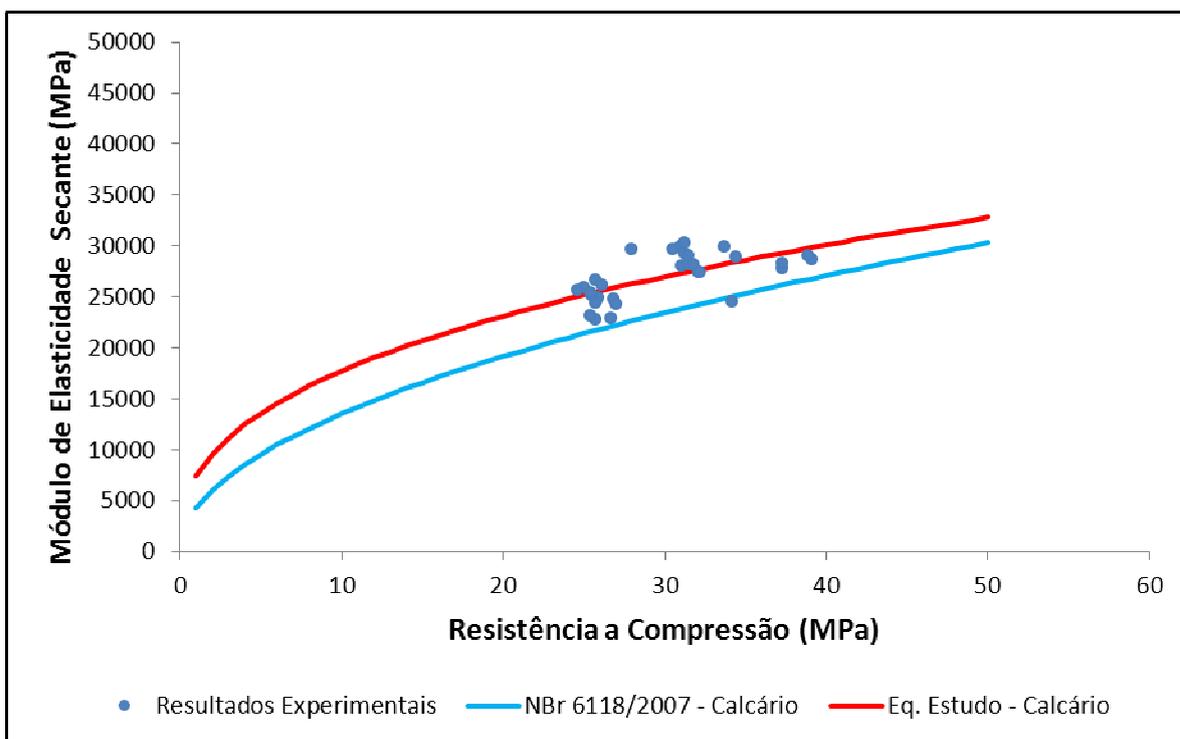


Figura 4.6 – Agregado de calcário - Relação E_{cs} versus f_c – Resultados experimentais versus equação prescrita pela NBR 6118/2007 e equação proposta

A análise da figura 4.6 revela uma diferença significativa entre a estimativa do valor do módulo calculado por meio da equação da NBR 6118 (2007) em relação a equação proposta no estudo. A equação proposta parece estar mais perto da curva média dos resultados experimentais, enquanto a equação da NBR 6118 (2007) mostra resultados conservativos ficando significativamente abaixo do ponto médio da distribuição de pontos.

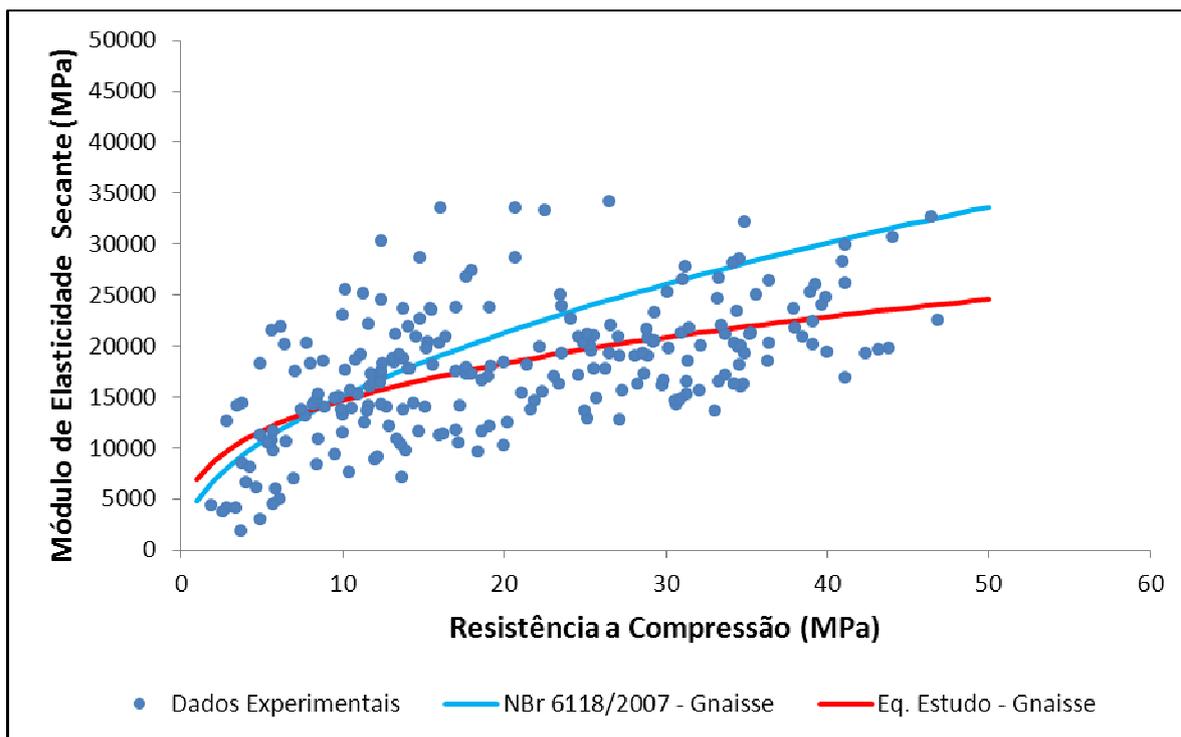


Figura 4.7 – Agregado de gnaiss - Relação E_{cs} versus f_c – Resultados experimentais versus equação prescrita pela NBR 6118/2007 e equação proposta

A análise da figura 4.7 mostra que para o agregado de gnaiss a equação proposta apresenta uma diferença significativa em relação à equação da NBR 6118 (2007) principalmente a partir da resistência a compressão de 10 MPa. A partir deste ponto as equações invertem a tendência dos valores para estimativa do módulo de elasticidade secante, ficando a equação proposta com resultados conservativos que se aproximam mais da curva média dos resultados experimentais. Os resultados para concretos de resistência à compressão usuais (entre 20 e 40 MPa) revelam para o módulo de elasticidade secante valores inferiores aos previstos pela NBR 6118 (2007).

Para agregados de basalto, a análise da figura 4.8 revela uma diferença pouco significativa entre a estimativa do valor do módulo calculado por meio da equação da NBR 6118 (2007) em relação a equação proposta no estudo.

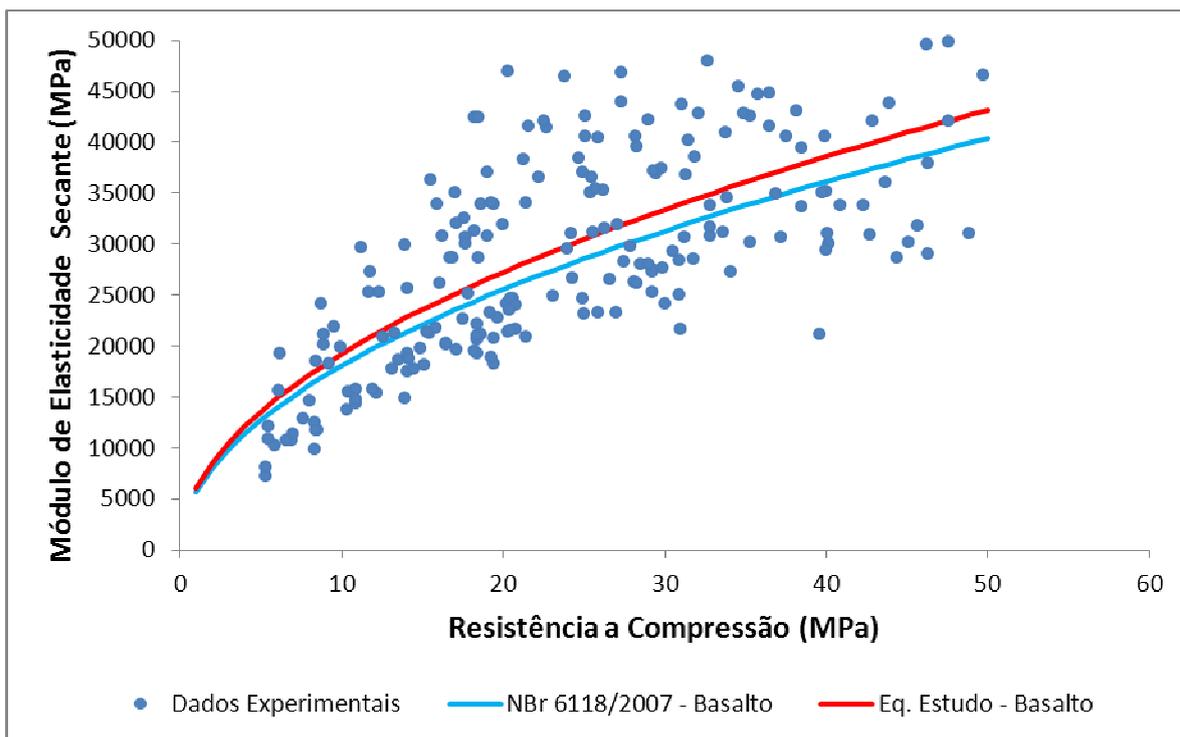


Figura 4.8 – Agregado de basalto - Relação E_{cs} versus f_c – Resultados experimentais versus equação prescrita pela NBR 6118/2007 e equação proposta

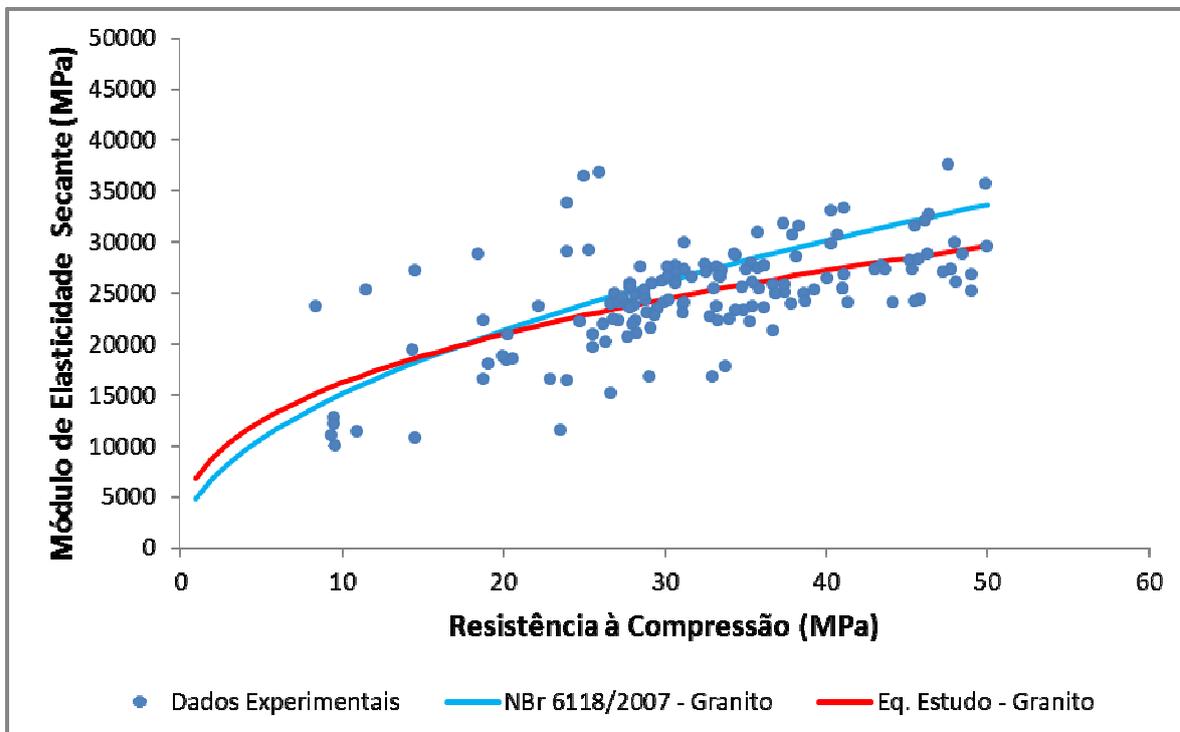


Figura 4.9 – Agregado de granito - Relação E_{cs} versus f_c – Resultados experimentais versus equação prescrita pela NBR 6118/2007 e equação proposta

A análise da figura 4.9 mostra para agregados de granito que a equação proposta apresenta uma diferença significativa em relação à equação da NBR 6118 (2007) principalmente a partir da resistência a compressão de 15 MPa. A partir desta resistência as equações invertem a tendência dos valores para estimativa do módulo de elasticidade secante, ficando a equação proposta com resultados conservativos que se aproximam mais da curva média dos resultados experimentais. Os resultados para concretos de resistência à compressão usuais (entre 20 e 40 MPa) revelam valores do módulo de elasticidade secante estimados pela NBR 6118 (2007) em geral superiores aos medidos experimentalmente.

4.4.3 – Relação resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão

A Tabela 4.8 apresenta a análise estatística do erro do modelo ξ para a relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão. As equações da NBR 6118/2007 e do Eurocode 2 para estimativa da resistência à tração por compressão diametral apresentam resultados idênticos por serem relações iguais.

Tabela 4.8- Análise estatística do erro do modelo ξ para estimativa da resistência à tração por compressão diametral

<i>Erro do modelo ξ</i>	Equação proposta	ACI 318 (2008)	NBR 6118 (2007)	Eurocode 2 (2004)
<i>M</i>	1,050	0,931	0,983	0,983
<i>Md</i>	1,036	0,919	0,950	0,950
<i>DP</i>	0,214	0,190	0,209	0,209
<i>COV</i>	20,4 %	20,4 %	21,3 %	21,3 %
<i>valor mínimo</i>	0,661	0,586	0,626	0,626
<i>valor máximo</i>	1,695	1,504	1,774	1,774

A equação proposta é a única com média acima da unidade, ou seja, com valores previstos em média menores que os reais medidos nos ensaios. A equação prescrita pelo ACI 318, em relação aos resultados do banco de dados, é a menos conservativa na média. Com relação ao coeficiente de variação, a equação proposta apresenta melhor desempenho.

A figura 4.10 apresenta uma visão qualitativa do estudo comparativo entre os valores medidos experimentalmente e os previstos pelas diferentes normas bem como pela equação proposta neste estudo para a relação f_{ctsp} versus f_c . A análise da figura revela resultados similares aos da NBR 6118 para resistências à compressão do concreto de até aproximadamente 30 MPa; para resistências maiores, a equação proposta é mais conservativa. A relação prescrita pelo ACI 318 apresenta valores sempre iguais ou maiores que os previstos pelas demais normas.

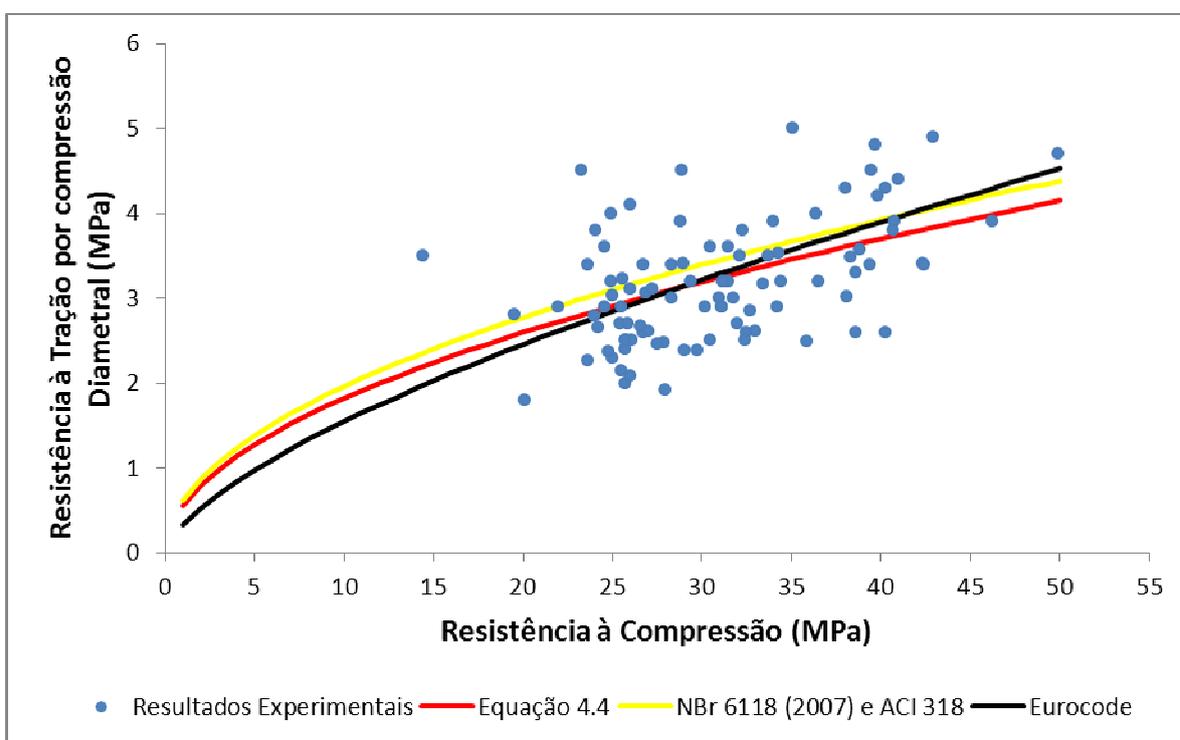


Figura 4.10 - Relação f_{ctsp} versus f_c – Resultados experimentais versus equações normativas e equação proposta

Com base nos resultados encontrados em relação à resistência à tração por compressão diametral, pode se dizer que a equação proposta é melhor que a existente na NBR 6118: média mais próxima da unidade e coeficiente de variação menor.

5

CONCLUSÃO

5.1 – Introdução

O objeto deste trabalho foi apresentar mais um estudo da correlação entre as propriedades mecânicas do concreto. Para este estudo, foi criado um banco de dados contendo resultados de ensaios, realizados em todo território nacional, referentes à resistência à compressão, o módulo estático de deformação secante e a resistência à tração por compressão diametral do concreto. Com base nos resultados do banco de dados, as equações de correlação entre módulo de deformação secante versus resistência à compressão e entre a resistência à tração por compressão diametral versus resistência à compressão tiveram como ponto de partida a equação de uma reta. Na equação desta reta o valor da resistência à compressão esteve sempre elevado a algum expoente. Para se chegar a melhor equação de correlação foram realizadas diversas tentativas com o auxílio de uma planilha eletrônica para se minimizar o erro por meio do método dos mínimos quadrados. Para o módulo de deformação estático secante ainda foram geradas equações específicas para diferentes tipos de agregado: calcário, gnaisse, basalto e granito. A partir destas equações elaborou-se um programa estatístico para se verificar a relação existente entre os resultados obtidos na literatura e as equações prescritas, além de subsidiar comparações entre os modelos normativos da NBR 6118/2007, EUROCODE 2 (2004) e ACI 318 (2008) e as equações formuladas neste trabalho.

5.2 – Equações Propostas

As equações propostas que se apresentam como alternativas a serem consideradas para as próximas revisões normativas A equação 5.1 apresenta a relação entre a resistência à compressão e o módulo de deformação secante de forma geral, enquanto a tabela 5.1 mostra os valores dos coeficientes β e θ .

$$E_{cs} = 6418 \beta \cdot (f_c)^{0,414 \theta} \quad (5.1)$$

Tabela 5.1- Coeficientes de ajuste β e θ para cada tipo de agregado

Coeficientes	Equação obtida				
	$E_{cs} = 6418 \beta \cdot (f_c)^{0,414 \theta}$				
	Desconhecido	Calcário	Gnaisse	Basalto	Granito
β	1,00	1,15	1,09	0,94	1,06
θ	1,00	0,92	0,78	1,21	0,91

A equação 5.2 apresenta a relação entre a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral.

$$f_{ctsp} = 0,55 (f_c)^{0,512} \quad (5.2)$$

Em ambas as equações, a resistência à compressão está em MPa. É importante frisar também que os termos multiplicadores da resistência característica do concreto mostrados nas expressões acima não são adimensionais. Suas dimensões devem ser tais que tornem cada expressão correta do ponto de vista dimensional.

5.3 – Conclusões

A análise comparativa dos valores obtidos em ensaios do módulo de deformação secante com as equações normativas da NBR 6118, do ACI 318, revela que estas são conservativas, enquanto que o EUROCODE 2 superestima os resultados gerando valores sempre maiores que os obtidos na literatura.

A equação proposta para o módulo de deformação secante se compara com as prescritas pela NBR 6118 e pelo ACI 318: as três relações parecem estar mais perto da curva média dos resultados coletados na literatura, enquanto que a equação do EUROCODE 2 (2004) superestima os valores medidos.

A equação proposta para o módulo de deformação secante é a que apresenta maior precisão dos resultados comparando os com os obtidos na literatura, além de apresentar menor grau de dispersão e seu valor médio é o mais próximo da unidade em módulo.

As expressões propostas pela NBR 6118:2007 para avaliação do módulo de deformação secante dos agregados de calcário, gnaiss, basalto e granito em função da resistência à compressão não se ajustam aos resultados de ensaios distanciando se da curva média dos mesmos.

Para os concretos usuais a tendência dos valores encontrados para a equação do agregado de gnaiss e de granito é conservativa em relação às equações prescritas pela NBR 6118/2007; para o basalto a diferença dos valores é pouco significativa. Os valores apresentados para o calcário são subestimados pela norma brasileira em relação à nuvem de pontos característica deste agregado.

O agregado graúdo influencia significativamente no módulo de deformação secante do concreto como pode ser observado nas diferentes relações estabelecidas no estudo.

Para a resistência à tração por compressão diametral, a equação proposta apresenta valores médios conservativos, sendo a única em comparação com as demais com valor médio superior a unidade. Esta característica evidencia se principalmente na visão qualitativa dos resultados para os concretos usuais acima de 30 MPa.

A análise dos resultados mostra que as equações propostas apresentam boa correlação com os dados experimentais e por isso se apresentam como alternativas a serem consideradas nas próximas revisões da NBR 6118.

5.4 – Sugestões para estudos futuros

Após o estudo realizado neste trabalho inferimos algumas recomendações para trabalhos futuros que irão complementar o estudo da relação existente entre a resistência à compressão e módulo de deformação secante, bem como a resistência à tração:

- Estudo da relação da resistência à compressão e o módulo de deformação secante para concretos de alto-desempenho com valores de resistência à compressão acima de 50 MPa.
- Estudo da relação da resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral para concretos de alto-desempenho com valores de resistência à compressão acima de 50 MPa.
- Proposição de equações de correlação empregando um maior número de parâmetros além da resistência à compressão, visto que com mais parâmetros as equações muito provavelmente se adequarão melhor aos resultados experimentais.
- Estudo da relação da resistência à compressão e a resistência à tração na flexão com base em um amplo banco de dados.

6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P-C. Concreto de alto desempenho. Tradução: Geraldo G. Serra. Ed. Pini. São Paulo, 2000. p.667;

ALHADAS, Miguel Fernando Schettini, “Estudo da Influência do Agregado Graúdo de Diferentes Origens Mineralógicas nas Propriedades Mecânicas do Concreto” – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Grauação de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C 469, 1987, “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression”, Philadelphia.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (2005). ACI 318R-95 – Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118:2003, 2004, “Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento”, Rio de Janeiro-RJ.

COUTINHO, A. S.; GONÇALVES, A., 1994, “Fabrico e Propriedades do Betão”, Vol III, LNEC, Lisboa, Portugal.

DAL MOLIN, D. C. C., 1995 “Contribuição ao Estudo das Propriedades Mecânicas dos Concretos com e sem Adição de Microssílica”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Departamento de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 286p.

EUROCODE 2 European Standard – Design of concrete structures-Part 1-1:General rules and rules of buildings

GONCALVES, J. R., ALMEIDA, I.R., SHEHATA, L. C. D., 1994, “Influência do Tipo de Agregado Graúdo nas Propriedades do Concreto de Alta Resistência”, Anais, 36^a Reibrac – Instituto Brasileiro do Concreto, Porto Alegre-RS, Setembro, pp. 339-352.

HELENE, Paulo R. L., 2002, “Estudo da Influência do MetacaulimHP como Adição de Alta Eficiência em Concretos de Cimento Portland”, Relatório EPUSP, São Paulo- SP, Outubro.

METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MELO NETO A. A.; HELENE, Paulo R. L., 2002, “Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade de Concretos”, 44^o Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, Belo Horizonte-MG, agosto.

NEVILLE, A. M.; 1997, Propriedades do concreto, tradução Salvador E. Giammusso, ed. 2^a, São Paulo-SP, PINI.

NUNES, F.W.G., “Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro” – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

PACHECO, Ronaldo Feu Rosa, “Análise do Módulo de Elasticidade e Resistência à Compressão de concretos Produzidos em Centrais na Grande Vitória. Experimentos e Estatística” – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, 2006.

GONÇALVES, Andréia Barbosa, et al. Avaliação do módulo elasticidade do concreto C30 convencional com seixo rolado da região norte. In: 48^o Congresso Brasileiro do Concreto CBC 2006. IBRACON, Rio de Janeiro, 2006. Anais.

SOUZA, Adriana Aparecida Ambrosio de Souza; MORENO JÚNIOR, Armando Lopes; BIZZO, Laura Brum Prata. Recuperação da resistência mecânica de concreto submetido à temperatura máximo de 600° C. In: 48° Congresso Brasileiro do Concreto CBC 2006. IBRACON, Rio de Janeiro, 2006. Anais.

SOUZA, Paulo Sérgio Lima & DAL MOLIN, Denise C. C. Avaliação do módulo de elasticidade em concreto com metacaulim de alta reatividade, proveniente de rejeito industrial. In: 46° Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Florianópolis, SC 2004. Anais

ALLENDE, Kátia Araújo; FREITAS, Itamar Messias de; CORTÊS, Rogério; DARWISCH, Fathi Aref Ibrahim. Avaliação do módulo de elasticidade de concretos produzidos com pedra granítica em Niterói R.J. In: VI Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo, 2006. pp. 635-644. Anais.

COSTA JÚNIOR, Milton Paulinho; et al. Influência de altos teores de escória de alto-forno em concreto: avaliação de propriedades físicas e mecânicas. In: 48° Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, Rio de Janeiro, 2006. Anais.

SILVA, Daiane dos Santos & PELISSER, Fernando. A influência do tipo de agregado, do cimento e da relação água/cimento no módulo de elasticidade do concreto. In: 47° Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Recife, PE, 2005. Anais.

GEYER, André Luiz Bortolacci; SENA, Adriana de Moraes. Avaliação do comportamento mecânico do concreto auto adensável com relação ao concreto convencional. In: 44° Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Belo Horizonte – MG, 2002. Anais.

NETO, P. M. P; DJANIKIAN, J. G. Algumas características do módulo de elasticidade de concretos de alta resistência. In: 37ª REIBRAC – (IBRACON). Vol. 1. Goiânia – GO, 1995 p. 387-400. Anais.

SENA RODRIGUES, Giana Souza; FIGUEIREDO, Enio José Pazini. Estudo dos fatores influentes sobre os resultados de módulo de deformação estático do concreto. In: Anais 46° Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, SC, 2004. pp. II. 956-II. 971. Anais.

P. ROSSI et AL., Effet d'échelle sur le comportement du béton en traction, Bulletin Liaison Laboratoires des Ponts et Chaussées, 182, pp. 11- 20, 1992.

ANDRADE, Walton Pacelli, Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades/autores Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Departamento de Apoio Técnico e Controle Técnico – São Paulo: Pini, 1997.

LUCZYNSKI, Mikhail et. al., Efeitos do Tipo, Tamanho e Teor de Agregados Graúdos na Resistência do Concreto e Energia de Fratura. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, Rio de Janeiro, 2006. Anais.

GUIMARÃES, Cristiano Oliveira, Correlação Entre o Módulo de Elasticidade Estático e o Módulo de Elasticidade Dinâmico para Análise de Estruturas de Concreto Armado, In: VI Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo, 2006. Anais

COSTA, Marcell Alexandre de Oliveira et. al., Avaliação das Propriedades Mecânicas do Concreto com Diferentes Tipos de Aditivos Superplastificantes, In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Salvador - BA, 2008. Anais.

CUPERTINO, Marco Aurélio Lima, et. al., Análise da Influência da Dimensão Básica do Corpo de Prova no Módulo de Elasticidade, In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Salvador - BA, 2008. Anais.

BECK, Sílvio M. et. al., Estudo das Propriedades Mecânicas, Elásticas e de Deformação em Concretos com Altos Teores de Escória, Cinza Volante e Cal Hidratada, In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Salvador - BA, 2008. Anais.

REIS e VASCONCELOS, Influência do Beneficiamento, por Peneiramento, de Areias de Rio e Artificiais, nas Características Mecânicas do Concreto de Cimento Portland. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Florianópolis, SC, 2004. Anais.

CAVALCANTI FILHO, Antônio Nereu. Estudo de propriedades mecânicas de concretos estruturais em cura acelerada com temperatura moderada. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Curitiba – PR, 2009. Anais.

SIMÃO et. al., Avaliação de propriedades de concretos produzidos com três tipos de cimentos na região Agreste de Pernambuco. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Curitiba – PR, 2009. Anais.

SAID, Mustaf et. al., Avaliação das Resistências à Tração do Concreto de Cimento Portland Utilizado na Cidade de Manaus. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Florianópolis, SC, 2004. Anais

TERNI, Antonio Wanderley et. al., Dosagem para o Concreto de Alto Desempenho com os Materiais do Médio Vale do Paraíba. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto – (IBRACON). Recife, PE, 2005. Anais.

MARTINS, Danilo Gomes: “Influência do Tamanho do Corpo de Prova nos Resultados de Ensaios de Módulo de Deformação e Resistência à Compressão e suas Correlações para Concretos Produzidos em Goiânia” Dissertação de Mestrado Programa de Pós Graduação de Engenharia a Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, 2008.

ZAIN, et al., Prediction of splitting tensile strength of high-performance concrete. In: Cement and Concrete Research, 2002;

SANDEMIR, Mustafa, Empirical modeling of splitting tensile strength from cylinder compressive strength of concrete by genetic programming. In: Expert Systems with Applications, 2011.

ANEXO A

Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa).

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias														
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365				
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	15 x 30					39,31										
									41,37										
									38,71										
									28,78										
									28,78										
									36,93										
								10 x 20				48,5							
									48										
									47,73										
									45,17										
									46,27										
									49,94										
									45,52										
									46,16										
									43,41										
									41,09										
									45,32										
									47,73										
								45,73											
								15 x 30				43,67							
									43,01										
				44,15															
				47,24															
				41,08															
								48,07											

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	15 x 30					49						
									49,02						
									45,79						
									45,84						
									45,55						
									41,08						
									40,08						
Gever e Sena (2002)	Granito	CP II 32 F	8,4 a 38,3	10 x 20					38,3						
									31,2						
									25,3						
									18,5						
									14,6						
									11,5						
									8,4						
Neto e Helene (2002)	Granito	CP II 32 E	20,32 a 27,92	10 x 20					24,74						
									27,92						
									20,32						
									24						
									24						
Silva et al (2009)	Granito	CP III 40	24 a 26	10 x 20					26						
		CP IV 32						24							
		CP II 32 F						25							

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Reis e Vasconcelos (2004)	Calcário	CP II 32	24,6 a 34,4	10 x 20			25		33,7						
							25,7		31						
							25,8		31,1						
							25,7		34,4						
							26,1		31,2						
							24,6		30,5						
							26,7		32,1						
							25,4		31,5						
							25,9		31,2						
							25,7		31,8						
		25,5		31,5											
Cunha et al (2006)	Granito	CP II 32 Z	30,9 a 43,2	10 x 20					43,2						
									36,35						
									30,9						
Gonçalves et al (2006)	Granito	CP II 32 Z	39,03 a 39,36	15 x 30					39,36						
									39,03						
Luczynski et al (2006)	Basalto	CP V ARI	12,7 a 31,5	10 x 20		22,9	26,2		31,5				31,5		
						18,7	21,2		24,7				12,7		
						12,7	14,3		18						
Beck et al (2008)	Basalto	CP V ARI	19,14 a 46,27	10 x 20			34,1		42,35		46,27	26,25	46,27		
							19,14		24,24		25,57		19,14		
Cupertino et al (2008)	Granito	CP II 32 F	28,2 a 41,1	15 x 30					35						
									31,8						
									32,3						
								34,3							

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias											
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365	
Cupertino et al (2008)	Granito	CP II 32 F	28,2 a 41,1	10 x 20					36							
									35							
									35,4							
									41,1							
				15 x 30				29,9								
								28,9								
								28,2								
				10 x 20				31,3								
								31,8								
								33,1								
Costa et al (2008)	Granito	CP II 32 F	9,4 a 33,4	10 x 20					9,6	20,2	26,2					
									9,4	20	26,4					
									9,5	20,6	27,7					
									9,5	18,8	22,2					
									11	19,1	25,6					
Guimarães et al (2006)	Calcário	CP III 40 RS	25,4 a 39,12	10 x 20					25,4							
									27,99							
									26,82							
									27,03							
									32,16							
									39,12							
									37,28							
									37,32							

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaios Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaios de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias												
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365		
Allende et al (2006)	Granito	CP II	25,35 a 46,6	10 x 20					28								
									31,1								
									28,6								
									43,4								
									46,6								
									43,5								
									33,66								
									32,92								
					CP I							31,97					
												34,18					
												36,34					
												35,34					
												25,35					
												35,92					
												27,55					
												33,94					
Magalhães (1999)	Gnaisse	CP II 32 E	13,9 a 48,3	10 x 20		18,3	27,7	32,3	35,6	40,4			43,2	48,3			
		CP III 32				13,9	21,5	27,5	35,6	40,1		45,7	13,9				
		CP II 32 E				26,3	33	39,7	42,7	46,9		48,1					
		CP III 32				17,7	26,3	34,3	42,5	44,7		48,3					

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaios Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Gnaisse	Não Informado	2,8 a 49,8	15 x 30		18,2	31,3		43,8		42,5		34,3		34,6
						23	34,5		41,1		34,7		33,3		36,3
						18,3	30,7		35,3		31,3		41,1		34,9
						13,7	21,4		31		34,6		31,1		34,2
						11	17,7		40		30,1		39,1		39,7
						15	23,4		46,9		35,2		34,3		33,7
						22,8	34,3		43,2		30,9		33,2		33,3
						14	29,8		34,7		29,3		28,1		29,2
						16,7	26,3		30,6		24,6		32,2		31,5
							21,7		27,2		28,9		28,3		28,7
							17		31,2		25,3		42,4		39,1
							23,5		24,1		34,8		36,4		25,6
							16		25,4		34,9		26,5		25,7
							19,2		25,2		24,9		25		34,4
							18,4		24,6		23,6		33,5		25,2
							17,7		21,9		33,1		28,6		13,5
							13,8		23,1		26,6		14,6		17,7
							17,3		20,2		14,1		18		15,5
							13,9		32,1		17		14,1		41,1
							19,1		29,9		15,2		39		38
		16		21,1		37,9		33,7		28,8					
		12,9		20		31,4		27,1		12,5					
		13,7		27,2		22,2		12,4		13,8					
		20		22,4		11,8		15,6		12,4					
		15,1		11,7		12,7				12,4					

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaios Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Gnaiss	Não Informado	2,8 a 49,8	15 x 30			7,7		13,8		10,8				18,6
							8,8		11		11,6				14,4
							4,9		29,3		10,2				18,6
							19		27,3		14,8				20,7
							14,7		18		5,6				20,7
							10,6		8,4		7,8				13,3
							5,5		9,5		11,6				12,3
							5,9		8		12,4				
							3,8		8,5		13,6				
							3,8		10		13,4				
							7,1		12,4		16,2				
							8,2		4,9		14,8				
							2,8		6,2		19,1				
							3,5		6,5		11,5				
							4,3		8,5		10				
							4,7		12						
							6,1		10,4						
							5,7		12,2						
							7		11,3						
			6,4		15,3										
		9,8		8,4											
		4,9		5,4											
		3,7													
	Calcário				27	34,2		38,9							

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaios Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaios de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Basalto	Não Informado	2,8 a 49,8	15 x 30		14,1	33,6		46,3		40,1		48,9		
						18,4	25,9		34,1		29,9		31,5		
						18,6	20,8		19		40,2		33,8		
						20,2	9,5		18,2		40		44,4		
						16,5	8,9		27		39,8		42,7		
						20,6	14,2		28,5		26,2		45,1		
						10,4	17,5		28,1		27,9		29,3		
						12,2	15,4		17,7		18,5		31,3		
						5,9	9,9		16,7		18,5		25,7		
						5,3	8,9		12,6		32,8		20		
						5,5	6,1		11,7		36,5		38,2		
						5,3	6,2		24,7		26,6		36,9		
						6,9	17,7		24		23,8		28,2		
						7	14,1		18,6		46,2		24,3		
						6,6	11,2		15,3		42,9		47,6		
						7,6	8,4		39,9		35,8		36,5		
						8,5	38,5		31,1		31		34,6		
						14,9	21,4		28,3		19		19,3		
						14,1	16,9		24,9		22,5		25,9		
						13,5	16,1		9,2		43				
	13,1	5,5		15,9		49,7									
		8,7		33,9		47,6									
		30		45,7		43,9									
		30,5		37,2		37,5									
		27,5		40,9		39,6									

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Basalto	Não Informado	2,8 a 49,8	15 x 30			30,9		35,3		19,4				
							25		38,5		17,8				
							30,9		29,2		18,4				
							16,5		31,8		20,5				
							19,7		14,5		19,2				
							8,3		13,9		20,8				
							8,3		13,3		20,4				
							8		15,1		23,1				
							8,4		18,4		31,2				
							10,9		15,8		32,8				
							10,9		17,1		32,8				
							10,3		18,2		29				
							10,9		19,4		43,7				
							11,9		29,2		31,9				
							21,4		28,3		27,3				
							20,3		29,2		32,1				
							20,5		24,9		25,1				
							18,4		40		22,2				
							27,1		25,5		19,3				
							17,1		21,3		34,9				
		12,3		29		32,7									
		22,7		21,6		29,5									
		17		19,4		27,2									
		13,9		16,2											
		11,8		35,3											

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias											
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365	
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	15 x 30					22220							
									22300							
									23080							
									23740							
									22350							
									23980							
									23470							
									23390							
									21830							
									23930							
									23970							
									24510							
									25370							
								24810								
								21040								
								22710								
								27260								
								27060								
								27290								
								27170								
								27620								
								28630								
								28590								
				25500												
				25460												

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias													
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365			
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	10 x 20					24980									
									25970									
									30640									
									30930									
									28750									
									32620									
									30660									
									31820									
									26470									
									27550									
								27620										
								15 x 30					23250					
													22650					
													23620					
													23240					
													24850					
													23910					
													24950					
													22180					
													22400					
									21230									
								22320										
								25740										

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias													
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365			
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	15 x 30					25730									
									23540									
									25330									
									24040									
									24140									
									24730									
				10 x 20								25290						
												24850						
												28750						
												29950						
												27220						
												28110						
												28740						
												29490						
												31500						
												31990						
				15 x 30								27700						
												26750						
												27290						
												27220						
												28220						
								27220										
								27260										
								24010										

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias											
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365	
Martins (2008)	Granito	CP II 32 F	26,71 a 49,94	15 x 30					27070							
									25420							
									26030							
									25190							
									26760							
									24250							
									24430							
									24090							
									25420							
Gever e Sena (2002)	Granito	CP II 32 F	8,4 a 38,3	10 x 20					31530							
									29930							
									29100							
									28800							
									27100							
									25300							
									23700							
Neto e Helene (2002)	Granito	CP II 32 E	20,32 a 27,92	10 x 20					22190							
									25540							
									20890							
									16380							
Silva et al (2009)	Granito	CP III 40	24 a 26	10 x 20					28970							
		CP IV 32						36770								
		CP II 32 F						33730								
								36410								

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Reis e Vasconcelos (2004)	Calcário	CP II 32	24,6 a 34,4	10 x 20			25900		29900						
							22800		29900						
							24700		28000						
							26700		28900						
							26100		29300						
							25700		29600						
							22900		27400						
							23200		28200						
							24900		30300						
							24400		28100						
		25200		29000											
Cunha et al (2006)	Granito	CP II 32 Z	30,9 a 43,2	10 x 20					48700						
									43300						
									36767						
Gonçalves et al (2006)	Granito	CP II 32 Z	39,03 a 39,36	15 x 30					42983						
									43050						
Luczynski et al (2006)	Basalto	CP V ARI	12,7 a 31,5	10 x 20		22900	26200		31500						
						18700	21200		24700						
						12700	14300		18000						
Beck et al (2008)	Basalto	CP V ARI	19,14 a 46,27	10 x 20			33730		37970			42750	44721		
							31070		31170			31490			
Cupertino et al (2008)	Granito	CP II 32 F	28,2 a 41,1	15 x 30					25900						
									25600						
									26100						
									25800						

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias														
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365				
Allende et al (2006)	Granito	CP II	25,35 a 46,6	10 x 20					21200										
									23600										
									21700										
									26500										
									27700										
									30400										
					CP I							26240							
												26580							
												22820							
												23690							
												29790							
												25350							
												19650							
												27540							
												23590							
												27550							
												26340							
												27450							
							24560												
							21590												
Magalhães (1999)	Gnaisse	CP II 32 E	13,9 a 48,3	10 x 20		15800	17900	19500	19800	22700			23800						
		CP III 32				14600	16800	18700	21200	22800			24500						
		CP II 32 E				17400	18300	20800	20800	22500			25600						
		CP III 32				15400	18400	19300	22200	24000			26300						

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Gnaisse			15 x 30		16800	16500		19700		23300		16300		18100
						16300	19900		16900		16000		16500		18500
						11600	14200		21300		15200		29900		32200
						15000	18100		21300		28500		26500		28200
						14500	17200		19400		25300		22400		24000
						13300	16300		22500		21200		16200		17100
						16800	20300		19600		14700		24600		26600
						14500	16100		20000		23300		19000		20400
						15200	17800		14600		17100		20000		21800
							13800		12800		19000		16300		17200
							11700		27800		20000		19300		20100
							25000		22700		16300		20200		21000
							20200		19500		19300		19200		14900
							18000		12900		20200		13600		23400
							9600		20900		19200		22000		21100
							17900		14600		13600		19200		19100
							13800		17000		22000		20900		26800
							14100		12500		17800		27400		23500
							9700		15600		23800		21900		26200
							12100		16600		19800		25300		21800
		11200		15400		23600		21200		21700					
		12100		10200		18500		20900		18200					
		7100		19000		19900		17500		23600					
		18400		15500		17300		18100		24500					

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaios Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Gnaiss			15 x 30			14000		16000		14000				30300
							13100		18800		18600				11600
							18500		15300		22100				14400
							11300		20500		25500				16600
							17000		15600		22700				33600
							11600		17200		21500				28600
							13900		14800		20200				21200
							10500		9300		14100				16400
							6000		18300		14300				
							14400		15200		10400				
							8500		23000		10900				
							17500		17000		11400				
							14200		18200		28600				
							12600		21900		23800				
							14100		10600		13600				
							8100		10900		11500				
							6100		8900						
							5000		7600						
							4500		9100						
							7000		25200						
							20100		20400						
							15000		8400						
			3000		10500										
		1900													
	Calcário				24500	29000		33600							

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Basalto			15 x 30		17500	31100		29000		31000		31000		
						20600	23300		27300		37400		40200		
						21200	21700		30800		27700		40900		
						24200	21900		31300		30000		28700		
						20100	20100		23300		29400		30900		
						24700	18800		28000		35100		30200		
						15500	22700		26300		35300		37200		
						15400	21300		30000		29800		36800		
						10300	19900		28600		28700		35400		
						7200	21100		20900		42400		31900		
						10900	15600		25300		33800		43100		
						8100	19300		38400		41500		34900		
						10800	30600		29500		26500		40500		
						11400	25600		33900		46400		26700		
						10700	29600		21400		49600		49800		
						12900	18500		40600		42000		44800		
						11800	39400		43700		44700		45500		
						19800	34000		39600		21700		18900		
						19300	28600		37100		37000		40400		
						18600	26100		18300		42100				
	17700	12100		33900		50300									
		24100		34600		46600									
		24200		31800		40700									
		29300		30700		39500									
		28300		33800		40600									

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias										
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365
Andrade (1999)	Basalto			15 x 30			28400		30100		21200				
							23100		33700		18300				
							25000		27500		22200				
							20200		28500		24600				
							22800		17800		23300				
							12500		14900		24000				
							9900		21300		23500				
							14600		18100		24900				
							11700		21000		30600				
							15700		21800		30800				
							14400		19600		31700				
							13700		19500		28000				
							14800		20700		36000				
							15700		27300		38500				
							20900		26100		44000				
							21400		25300		42800				
							21500		24600		42600				
							19200		35200		36600				
							31900		36600		34000				
							32100		38300		42800				
		25300		42200		47900									
		41400		41500		36900									
		35100		33900		50500									
		29900		30800											
		27300		42600											

Anexo A – Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Módulo de Elasticidade (Mpa)

Pesquisador	Mineralogia do Agregado Graúdo	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio do Módulo de Elasticidade (Mpa) - Dias													
					1	3	7	14	28	56	90	91	180	300	365			
Andrade (1999)	Basalto			15 x 30			40600		46800									
							42400		35000									
							32500		47000									
							36300											
	Granito								12500	16500		19800		22200				
									10700	16700		18900		21100				
									12400	16800		19900		28800				
										17800		20400		25200				
										11500		17800		17700				
										23600		25600		18700				
										20900		23700		23100				
										15100		18100		23500				
										10800		15300						
										18400		17200						
										18100		21200						
												21400						

ANEXO B

Banco de Dados dos Ensaio Obtidos na Literatura: Resistência à Compressão (Mpa) e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaio Obtidos nos Ensaio: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Cavalcanti Filho (2009)	CP II 32 F	23,6 a 42,4	15 x 30	24,1	38,6	40,7	
				26	31,1	35,1	
				28,3	30,2	38,6	
				27,2	32,5	39,4	
				28,9	36,5	42,4	
				28,8	40,8	39,8	
				24,6	34,2	39,7	
				28,3	40,3	39,5	
				23,6	29,4	36,4	
		23,3	32,4	38			
Simão et al (2009)	CP III 40	24 a 26	10 x 20		26		
	CP IV 32				24		
	CP II 32 F				25		
Reis e Vasconcelos (2004)	CP II 32	25 a 34,4	Não Especificado	25	33,7		
				25,7	31		
				25,8	31,1		
				25,7	34,4		
				26,1	31,2		
				24,6	30,5		
				26,7	32,1		
				25,4	31,5		
				25,9	31,2		
				25,7	31,8		
				25,5	31,5		
Temi et al (2005)	CP V ARI	16,95 a 49,25	10 x 20	36,5	49,25		
				23,75	35,45		
				16,95			

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaio Obtidos nos Ensaio: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Beck et al (2008)	CP V ARI	19,14 a 46,27	10 x 20	34,1	42,35	46,27	26,25
				19,14	24,24	25,57	
Luczynski et Al (2006)	CP V ARI	26 a 43,2	10 x 20		28,97		
					33,44		
					26,9		
					38,1		
					27,93		
					26,62		
					29,75		
					27,88		
					34,3		
					38,8		
					29		
					33		
					38,3		
					43,2		
					26		
					25,5		
					35,9		
					32,7		
					41,7		
					42,3		
	23,6						
	24,8						
	27,5						
	27						

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaio Obtidos nos Ensaio: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Compressão (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Said et al (2004)	CP II 32 F	19,5 a 42,9	Não Especificado		19,5		
					26,7		
					41		
					42,9		

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaio Obtidos nos Ensaio: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Cavalcanti Filho (2009)	CP II 32 F	23,6 a 42,4	15 x 30	3,8	3,3	3,8	
				4,1	2,9	5	
				3	2,9	2,6	
				3,1	2,6	3,4	
				4,5	3,2	3,4	
				3,9	3,9	4,2	
				3,6	2,9	4,8	
				3,4	2,6	4,5	
				3,4	3,2	4	
				4,5	2,5	4,3	
Simão et al (2009)	CP III 40	24 a 26	10 x 20		3,1		
	CP IV 32				2,79		
	CP II 32 F				3,03		
Reis e Vasconcelos (2004)	CP II 32	25 a 34,4	Não Especificado	2,3	3,5		
				2	3		
				2,5	2,9		
				2,4	3,2		
				2,5	3,2		
				2,9	3,6		
				2,6	3,5		
				2,7	3,2		
				2,7	3,2		
				2,5	3		
2,9	3,6						
Temi et al (2005)	CP V ARI	16,95 a 49,25	10 x 20	3,65	4,93		
				2,38	3,51		
				1,7			

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaios Obtidos nos Ensaios: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaios de Resistência a Tração por Compressão Diametral (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Beck et al (2008)	CP V ARI	19,14 a 46,27	10 x 20	2,97	3,41	3,9	3,32
				2,01	2,65	3,22	
Luczynski et Al (2006)	CP V ARI	26 a 43,2	10 x 20		3,41		
					3,17		
					3,06		
					3,01		
					1,92		
					2,67		
					2,39		
					2,47		
					3,53		
					3,58		
					2,38		
					2,61		
					3,48		
					3,65		
					2,08		
					2,14		
					2,49		
					2,85		
					3,12		
					3,31		
	2,27						
	2,37						
	2,46						
	2,61						

Anexo B - Banco de Dados dos Ensaio Obtidos nos Ensaio: Resistência à Compressão (Mpa)
e Resistência à Tração por Compressão Diametral (Mpa)

Pesquisador	Tipo de Cimento	Faixa de Resistência a Compressão do Concreto (Mpa)	Tamanhos dos Corpo de Prova	Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral (Mpa) - Dias			
				7	28	91	300
Said et al (2004)	CP II 32 F	19,5 a 42,9	Não Especificado		2,8		
					3,4		
					4,4		
					4,9		