

Influência do Tipo de Medição e da Velocidade de Carregamento e Descarregamento da Máquina de Ensaio na Determinação do Módulo Estático de Elasticidade do Concreto

Suélcio da Silva Araújo¹
Gilson Natal Guimarães^{2}*
André Luiz Bortolacci Geyer^{3}*

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos para o ensaio do módulo de elasticidade, por meio de um programa interlaboratorial de ensaios em concreto endurecido, desenvolvido em dois laboratórios de Goiânia, Goiás, Brasil, para identificar e avaliar a influência de alguns fatores intervenientes nos resultados do ensaio módulo de elasticidade. Esses ensaios foram executados conforme a NBR 8522:2008, plano de carga módulo de elasticidade tangente inicial, caracterizando a deformabilidade do concreto submetido às tensões entre 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura. Buscou-se verificar no resultado de módulo, a influência do tipo de medidor de deformação (compressômetro mecânico, extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa) e da velocidade de carregamento (0,3 e 0,6 MPa/s) em corpos de prova cilíndricos de dimensão 150 mm x 300 mm no concreto Classe C30. Foram realizados 60 ensaios considerando-se os resultados com desempenho satisfatório nas técnicas estatísticas do programa. Concluiu-se que o tipo de medidor de deformação e a velocidade de carregamento influenciaram significativamente os resultados de módulo de elasticidade. Ressalta-se que os corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm do concreto Classe C30, ensaiados com velocidade de carregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s apresentaram os resultados com as maiores dispersões.

Palavras-chave: Medidor; Velocidade de Carregamento e Descarregamento; Módulo de Elasticidade; Concreto; Interlaboratorial; Dispersão.

1 Introdução

A pesquisa tem o objetivo de estudar e avaliar a influência das variáveis: influência do tipo de medidor de deformação (compressômetro mecânico,

extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa) e da velocidade de carregamento (0,3 e 0,6 MPa/s) em corpos de prova cilíndricos de dimensão 150 mm x 300 mm no concreto Classe C30; no resultado do módulo estático

-
- 1 Professor Adjunto da Universidade Paulista – Campus Brasília – Distrito Federal – Brasil e Professor do Centro Universitário UNIEURO (Instituto Euroamericano de Educação, Ciência e Tecnologia) – Distrito Federal – Brasil (suelio.araujo@gmail.com). Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás, Brasil (2011), Escola de Engenharia Civil, Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil. Ex-Bolsista do CNPq – Brasil. Ex-Professor da Universidade de Brasília. Pesquisador de Mestrado. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Engenheiro Civil. Tecnólogo Superior em Planejamento e Construção de Edifícios. Escritor Brasileiro. Endereço para correspondência: Rua Maria Senhorinha de Jesus, Quadra 14-A, Lote 10, Setor Oriente Ville, CEP: 74.355-666, Goiânia – Goiás – Brasil.
 - 2 Professor Titular da Universidade Federal de Goiás, Brasil (rgilson.natal@gmail.com). Doutorado em Civil Engineering pela University of Texas System, Estados Unidos (1988).
 - 3 Professor Associado II da Universidade Federal de Goiás, Brasil (andre.geyer@hotmail.com). Doutorado em Engenharia Civil Construção Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2001). Rua Serynes Pereira Franco, nº 13, Pontal de Camburi, Vitória, ES – CEP: 29062-060. Email: ecalves1@yahoo.com.br; sauloaoviana@gmail.com.
- * Endereço para correspondência: Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Laboratório de Materiais de Construção. Av. Universitária, Pça. Universitária, s/n, Setor Universitário, CEP 74640-220, Goiânia – Goiás – Brasil.

de elasticidade em concreto endurecido e verificar a variabilidade do resultado experimental.

2 Materiais e Programa Experimental

Foram identificados alguns fatores de ensaio que podem interferir no resultado experimental do módulo estático de elasticidade. Estes fatores estão ilustrados na Figura 2.1.

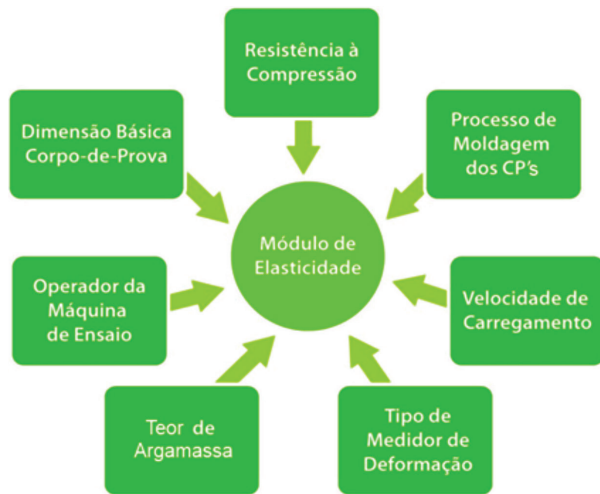


Figura 2.1 – Fatores de ensaio que interferem no resultado experimental.

O programa experimental foi desenvolvido a partir de uma avaliação interlaboratorial de módulo estático de elasticidade do concreto, desenvolvido em dois diferentes laboratórios de concreto localizados na região de Goiânia, Goiás, Brasil.

Considerando-se as características do programa interlaboratorial, onde não é possível fixar todas as variáveis independentes, resolveu-se então pela seguinte situação de estudo:

- tipo de concreto (em um nível: classe C30);
- tipo de medidor de deformação (em três níveis: compressômetro mecânico, extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa);
- dimensões dos corpos de prova em um nível 150 mm x 300 mm;
- velocidade de carregamento (em dois níveis: 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s) em corpos de prova cilíndricos de dimensão 150 mm x 300 mm no concreto Classe C30.
- tipo de laboratório (em dois níveis: laboratório A e laboratório B).

A Figura 2.1 apresenta o organograma do estudo experimental, exibindo os tipos de medidores de deformação, dimensão dos corpos de prova, velocidades de carregamento e quantidade de corpos de prova ensaiados (CP).

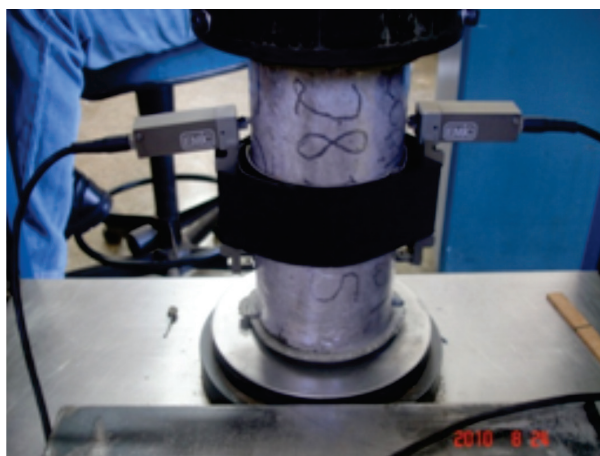
Na Figura 2.3 a-c são mostrados os tipos de medidores de deformação utilizados no estudo.



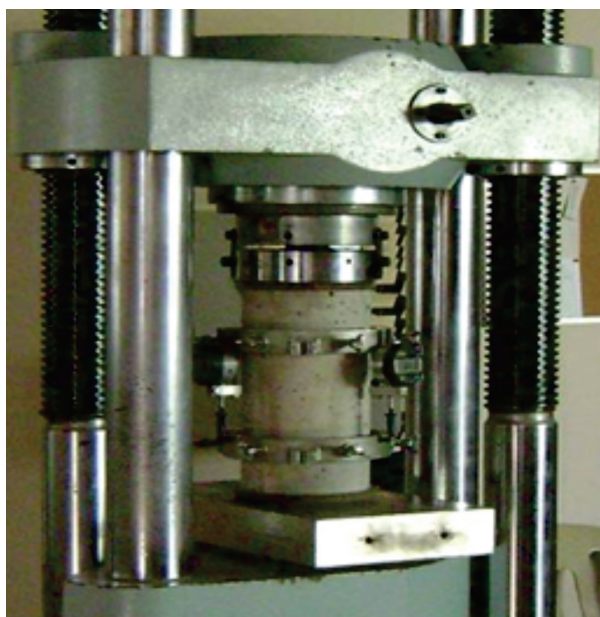
Figura 2.2 – Programa Experimental: Módulo de Elasticidade.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.3 – Extensômetro elétrico de colagem superficial (a), extensômetro elétrico de fixação externa (b), compressômetro mecânico (c).

Como fatores limitantes do estudo têm-se:

- mantiveram-se todos os corpos de prova na mesma condição de umidade;
- máquina de ensaio com controle de carregamento, com velocidade de aplicação de 0,3 e 0,6 MPa/s, na fase do estudo;
- materiais utilizados na fabricação do concreto: cimento Portland CP V ARI (Alta Resistência Inicial), litologia e dimensão do agregado graúdo (granito de dimensão máxima de 19 mm) e tipo de areia (areia artificial);
- resistência à compressão f_c (28 dias) de 30 MPa;
- tipo de acabamento do topo dos corpos de prova (capeamento com enxofre).

Para reduzir a influência da umidade dos corpos de prova, os quais foram desmoldados 24 horas após a mistura, identificados e armazenados em tanques de armazenamento por 28 dias, com umidade e temperatura controladas conforme especificado pela NBR 5738:2008. Vencido esse prazo de armazenamento, os corpos de prova foram retirados do tanque de armazenamento e estocados em um ambiente seco, à temperatura ambiente.

Em relação à velocidade de carregamento, a norma NBR 8522:2008 fixa a velocidade de carregamento do ensaio de módulo de elasticidade na faixa de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s.

A dosagem de concreto definida para a amostra concreto Classe C30 foi obtida por ajustes de traços de concreto com resistência (f_c) na ordem de 30 MPa. Ressalta-se que o concreto foi dosado em uma betoneira com capacidade para 160 litros, em duas betonadas, eliminando assim o efeito desse fator nos resultados.

Foram moldados 10 corpos de prova para a propriedade módulo de elasticidade para cada medidor de deformação e para cada velocidade de carregamento da máquina de ensaio, visando atender os métodos de ensaio NBR 5739:2007 e NBR 8522:2008.

Com os gráficos de comportamento do concreto foi obtido o traço para concreto com resistência estimada aos 28 dias em 30 MPa. Esse traço está apresentado na Tabela 2.1.

Aplicou-se a técnica de análise estatística de variância (ANOVA), contido no *software* Statsoft Estatística 7®, para os resultados individuais encontrados nos laboratórios A e B para as amostras de concreto Classe C30, separadamente e em conjunto. A metodologia do teste consiste na aplicação do Teste de Fisher (F).

3 Resultados e Discussões

De modo a avaliar a homogeneidade do concreto estudado, os corpos de prova foram levados à ruptura por compressão axial após a execução do ensaio de módulo de elasticidade. Esses resultados de resistência à compressão foram analisados por métodos estatísticos para verificação da homogeneidade, de modo a identificar possíveis variações dos resultados

e verificar a “normalidade” no comportamento da distribuição dos resultados (histograma).

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam respectivamente os histogramas de distribuição dos resultados de resistência à compressão dos laboratórios A e B, após serem submetidos ao ensaio de módulo estático de elasticidade.

Os resultados de resistência à compressão do concreto Classe C30 dos laboratórios A e B, exibidos no histograma da Figura 3.1 e no histograma da Figura 3.2,

Tabela 2.1 – Traço do concreto de $f_c = 30$ MPa.

Proporção dos materiais (C30 $f_c = 30,0$ MPa) por m^3 de concreto	
Materiais	Concreto convencional vibrado (CCV) Quantidade por m^3
Cimento CP V ARI	236 kg
Areia artificial	891 kg
Brita 1 (19 mm)	999 kg
Água	172 kg
Aditivo polifuncional	1,65 kg (0,7% da massa do cimento)
Aditivo superplastificante	0,94 kg (0,4% da massa do cimento)
Adição de sílica ativa	18,9 kg (como substituição de 8% da massa do cimento)
Ensaio concreto fresco:	
Consistência	130 mm
Ar incorporado	2 %

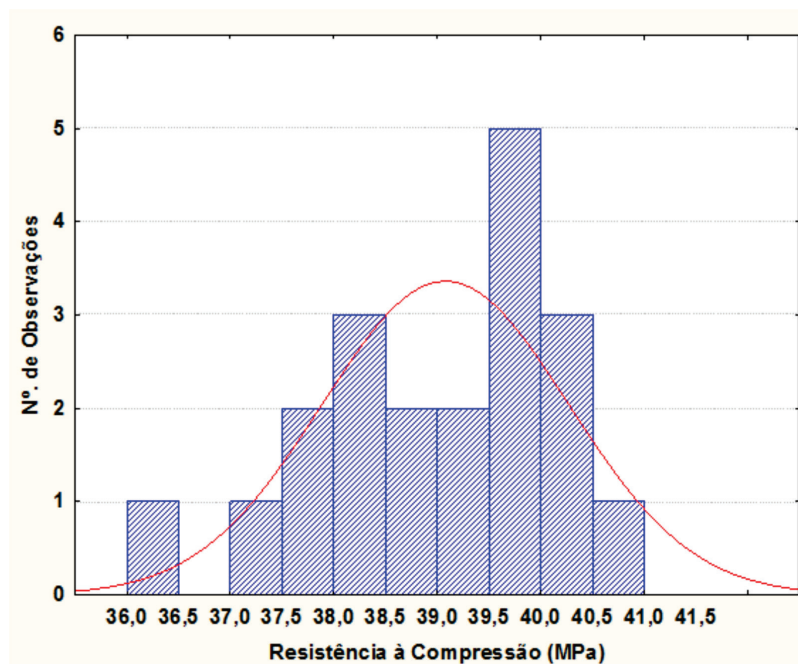


Figura 3.1 – Histograma dos resultados de resistência à compressão dos corpos de prova do concreto Classe C30 do Laboratório A, após serem submetidos ao ensaio de módulo estático de elasticidade.

apresentaram respectivamente média de 39,1 MPa com coeficiente de variação de 3% e média de 31,5 MPa com coeficiente de variação de 3%. A aderência entre os histogramas e a curva de distribuição Normal foi comprovada pelos métodos de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado.

Na Tabela 3.1 estão apresentadas as médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos resultados para todas as situações de estudo obtidos para a amostra concreto Classe C30, com intervalo de confiança da média (para 95% de confiança) e com um nível de significância de 5% para a propriedade módulo elástico de elasticidade.

A Tabela 3.1 mostra que os tipos de medidores de deformação que apresentam as menores dispersões foram os do tipo compressômetro mecânico e extensômetro elétrico de fixação externa, porque os coeficientes de variação total destes medidores foram respectivamente de 2,2% e 2,6% e o coeficiente de variação total do medidor extensômetro elétrico de colagem superficial foi de 6,3%.

A Tabela 3.1 mostra também que os corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s apresentam a maior dispersão de resultado, pois o coeficiente de variação total deste corpo de prova ensaiado com essa velocidade foi de 8,8% e o coeficiente de variação total do corpo de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiado com velocidade de carregamento e descarregamento da

máquina de ensaio de 0,6 MPa/s foi 8,6%, ou seja, o corpo de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s apresentou 0,2% a mais de coeficiente de variação, comparado com o corpo de prova 150 mm x 300 mm ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,6 MPa/s.

Foi realizada uma análise estatística de variância (ANOVA) dos resultados individuais de módulo elástico de elasticidade, para determinar os fatores estatisticamente significativos com nível de significância de 5% (isto é, nível de confiança de 95%). Alguns valores foram retirados das amostras, pois estão fora do intervalo de confiança e os mesmos foram considerados espúrios pelo critério de Chauvenet.

Na Tabela 3.2 encontra-se a análise de significância dos fatores em estudo para a propriedade módulo elástico de elasticidade.

A análise de variância da resistência à compressão mostrou que o valor resultante do coeficiente de determinação do modelo adotado (R^2) = 0,85, o que significa dizer que 85% da variação total dos dados de módulo elástico de elasticidade pode ser explicada pelas variáveis adotadas. Portanto, os fatores não controlados foram responsáveis por aproximadamente 15% das variações observadas no estudo.

Com respeito à intensidade de influência dos fatores, tomando-se como base a magnitude dos valores de F, pode-se constatar a grande influência do medidor de deformação e da velocidade de carregamento e

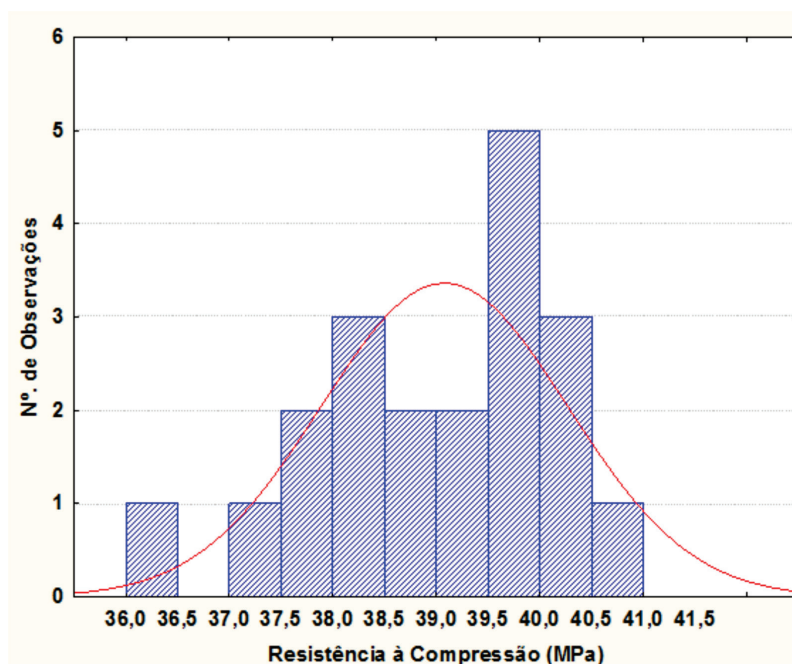


Figura 3.2 – Histograma dos resultados de resistência à compressão dos corpos de prova do concreto Classe C30 do Laboratório B, após serem submetidos ao ensaio de módulo elástico de elasticidade.

Tabela 3.1 – Análise estatística dos resultados de ensaio – Módulo Elástico de Elasticidade.

Dimensões (mm)	Situação de Estudo			Nº de Corpos de Prova	Módulo Elástico de Elasticidade (GPa)		
	Medidor de Deformação	Tipo de Concreto	Velocidade da Máquina de Ensaio (MPa/s)		Média (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	Coefficiente de Variação (%)
—	—	—	—	57	24,5	2,2	8,8
—	Compressômetro Mecânico	—	—	19	26,6	0,58	2,2
—	Extensômetro Elétrico de Colagem Superficial	—	—	18	25,0	1,6	6,3
—	Extensômetro Elétrico de Fixação Externa	—	—	20	22,1	0,58	2,6
—	—	—	0,3	29	25,0	2,2	8,8
—	—	—	0,6	28	24,0	2,1	8,6
150 x 300	Compressômetro Mecânico	C30	0,3	10	26,8	0,43	1,6
	Compressômetro Mecânico		0,6	9	26,4	0,68	2,6
	Extensômetro Elétrico de Colagem Superficial		0,3	9	25,9	1,5	5,8
	Extensômetro Elétrico de Colagem Superficial		0,6	9	24,1	1,1	4,7
	Extensômetro Elétrico de Fixação Externa		0,3	10	22,3	0,66	2,9
	Extensômetro Elétrico de Fixação Externa		0,6	10	21,9	0,37	1,7

OBS.: – Tipo de concreto: concreto Classe C30 para dimensão 150 mm x 300 mm.

– Três dos resultados individuais foram considerados como valores espúrios.

Tabela 3.2 – ANOVA, Análise Global do Experimento: Módulo Elástico de Elasticidade.

Fatores Estudados	SQ	F	p	Resultado
Modelo de Estudo	222,34	58,38	0,000	significativo
Erro (resíduo)	38,85	—	—	—
Total	261,19	—	—	—
Coeficiente de Determinação do Modelo (R^2) = 0,85				
Velocidade da Máquina de Ensaio	—	14,56	0,000	significativo
Medidor de Deformação	—	134,61	0,000	significativo
Velocidade x Medidor de Deformação	—	3,73	0,031	significativo

Onde: SQ = soma dos quadrados; F = parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos; p = probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado observado como válido, isto é, como representativo da amostra; Resultado = resultado da análise, com a indicação se o efeito é significativo ou não, $R^2 = (1 - SQ_{\text{erro}}/SQ_{\text{total}})$.

descarregamento da máquina de ensaio nos resultados de módulo de elasticidade.

As interações dos efeitos também foram estatisticamente significativas, isto é, para cada medidor de deformação utilizado, dependendo da velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio, o módulo de elasticidade do concreto apresenta diferença de resultado (comportamento distinto).

Na coluna dos valores F da Tabela 3.2, as interações que envolvem o efeito da velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio apresentaram os menores valores, indicando a menor influência dessa variável nos resultados de módulo estático de elasticidade. Destaca-se, inclusive, que as velocidades de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio estudadas (0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s), interagidas com medidor de deformação, influenciaram significativamente os resultados.

Em decorrência da ANOVA – Módulo Estático de Elasticidade (Tabela 3.2) ter revelado os efeitos estatisticamente significativos das variáveis velocidade e medidor de deformação, realizou-se o agrupamento das médias homogêneas pelo método de Duncan, de forma a observar as semelhanças e diferenças dos resultados obtidos.

Nesse método ficou demonstrado para as duas velocidades estudadas que as mesmas influenciam os valores do módulo de elasticidade do concreto, porque

as médias gerais de módulo estático de elasticidade dos corpos de prova 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidades de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s foram, respectivamente, de 25,0 GPa e 24,1 GPa, isto é, o corpo de prova 150 mm x 300 mm ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s teve 4% a mais de média geral de módulo estático de elasticidade em relação ao corpo de prova 150 mm x 300 mm ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,6 MPa/s.

Depois de realizar o agrupamento de médias por tipo de medidor de deformação pelo método de Duncan, ficou comprovado que os três medidores de deformação apresentam resultados diferentes (comportamentos distintos), pois as médias gerais dos medidores de deformação compressômetro mecânico, extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa foram respectivamente de 26,6 GPa, 25,0 GPa e 22,1 GPa. Portanto, dependendo do tipo de medidor de deformação utilizado no ensaio o valor do módulo de elasticidade é diferente.

A Figura 3.3 apresenta a análise gráfica do estudo, exibindo os resultados para cada variável analisada.

A Figura 3.3 mostra que os valores de módulo de elasticidade apresentam-se dispersos, exibindo um comportamento ascendente e descendente entre os equipamentos de medição medidores de deformação extensômetro elétrico de colagem superficial, compres-

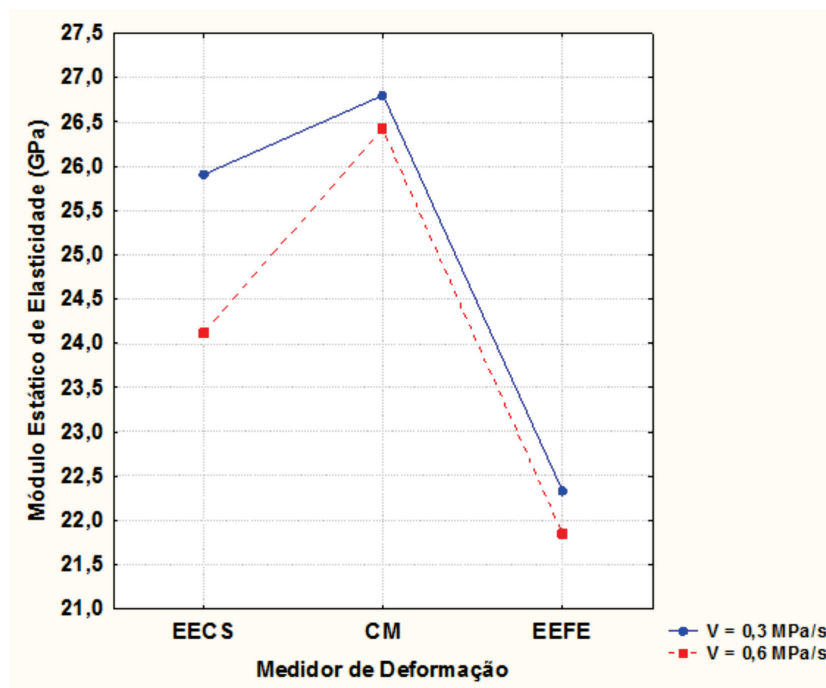


Figura 3.3 – Apresentação gráfica das situações de estudo divididas por velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio e medidor de deformação, sendo extensômetro elétrico de colagem superficial (EECS), compressômetro mecânico (CM) e extensômetro elétrico de fixação externa (EEFE).

sômetro mecânico e extensômetro elétrico de fixação externa.

Quanto aos corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidades de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s, os resultados de módulo de elasticidade no medidor de deformação tipo extensômetro elétrico de colagem superficial, exibidos na Figura 3.3, apresentaram médias de 25,9 GPa e 24,1 GPa e os respectivos coeficientes de variação foram de 5,8% e 4,7%. No medidor de deformação compressômetro mecânico os corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidade da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s apresentaram médias de módulo de elasticidade de 26,8 GPa e 26,4 GPa e os respectivos coeficientes de variação foram de 1,6% e 2,6%. No medidor de deformação extensômetro elétrico de fixação externa, os resultados de módulo de elasticidade dos corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidade da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s apresentaram médias de 22,3 GPa e 21,9 GPa e os respectivos coeficientes de variação foram de 2,9% e 1,7%.

Quanto à dimensão 150 mm x 300 mm ensaiada com velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s, verificou-se que apresentou maior dispersão nos medidores de

deformação extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa.

Quanto à dimensão 150 mm x 300 mm ensaiada com velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,6 MPa/s, verificou-se que apresentou maior dispersão nos medidores de deformação extensômetro elétrico de colagem superficial e compressômetro mecânico.

Quanto ao medidor de deformação compressômetro mecânico utilizado, ressalta-se que o equipamento apresentou os maiores resultados de módulo estático de elasticidade. Porém, quanto à alteração da velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio, verificou-se que o medidor de deformação extensômetro elétrico de colagem superficial apresentou as maiores dispersões.

Devido os corpos de prova de dimensão 150 mm x 300 mm ensaiados com velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s apresentarem as maiores dispersões de resultados, a variável velocidade foi destacada na análise subsequente, apresentada pela Figura 3.4.

A Figura 3.4 mostra o efeito significativo do medidor de deformação, apresentando o comportamento explicado anteriormente e efeito significativo da velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio, tendo o medidor de deformação

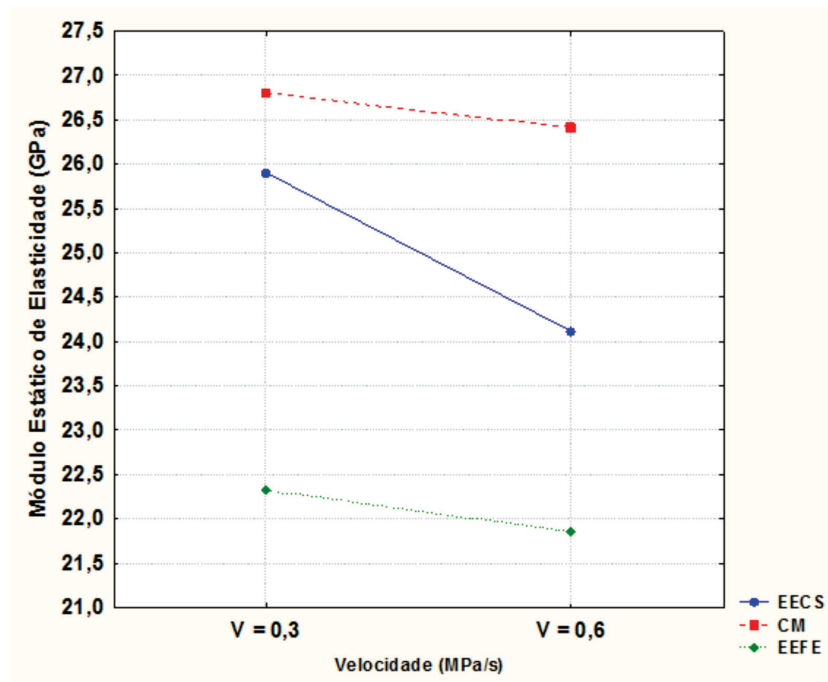


Figura 3.4 – Efeito da velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio e do medidor de deformação englobando os valores médios obtidos por todos os medidores de deformação, sendo extensômetro elétrico de colagem superficial (EECS), compressômetro mecânico (CM) e extensômetro elétrico de fixação externa (EEFE).

compressômetro mecânico apresentou os resultados médios de módulo elástico de elasticidade superiores. Mais uma vez devem ser ressaltadas as altas dispersões apresentadas no medidor de deformação do tipo extensômetro elétrico de colagem superficial quanto à velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio.

4 Conclusões

O verdadeiro escopo de uma pesquisa consiste em fornecer dados capazes de subsidiar respostas e soluções para as incógnitas existentes nos vários campos do conhecimento humano. Assim, as considerações finais visam compilar as informações mais importantes, arrematar os resultados e assentar os aspectos práticos do estudo, facilitando o acesso do meio técnico às descobertas científicas.

As considerações finais retiradas da apresentação e análise dos resultados expostos anteriormente, consideraram: a influência do tipo de medidor de deformação e a velocidade de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio, bem como a comparação entre estas variáveis obtidas no estudo e sua aplicabilidade na análise e inspeção das estruturas de concreto.

O conhecimento do módulo elástico de elasticidade do concreto é matéria de fundamental importância tanto nas etapas de projeto e execução, como no caso de avaliações sobre a qualidade das estruturas em uso. Faz-se necessário compreender os conceitos relativos, as prescrições de ensaio e as variáveis que exercem influência, para interpretar os resultados e descartar possíveis discrepâncias ocasionadas por deficiências do equipamento de ensaio ou do operador.

1. No método de Duncan ficou comprovado que as duas velocidades de carregamento e descarregamento estudadas influenciam os valores do módulo de elasticidade do concreto porque as médias gerais de módulo elástico de elasticidade dos corpos de prova ensaiados com velocidades de carregamento e descarregamento da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s foram, respectivamente, de 25,0 GPa e 24,1 GPa. Ou seja, o corpo de prova ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,3 MPa/s teve 4% a mais de média geral de módulo elástico de elasticidade em relação ao corpo de prova ensaiado com velocidade da máquina de ensaio de 0,6 MPa/s.
2. Quando utilizadas duas velocidades de carregamento e descarregamento, depois de realizar o agrupamento de médias por tipo de medidor de deformação pelo método de Duncan, ficou comprovado que os três medidores de deformação apresentam resultados diferentes (comportamentos distintos), pois as médias gerais dos medidores de deformação compressômetro mecânico, extensômetro elétrico de colagem superficial e extensômetro elétrico de fixação externa foram respectivamente de 26,6 GPa, 25,0 GPa e 22,1 GPa. Portanto, dependendo do tipo de medidor de deformação utilizado no ensaio o valor do módulo de elasticidade apresenta pequenas variações apuradas dentro dos limites de tolerância estipulados pelo item 8.2 da NBR 8522:2008, que admite variações de resultados que não sejam maiores que 10%.
3. Quando utilizadas duas velocidades de carregamento e descarregamento, os maiores resultados de módulo elástico de elasticidade aconteceram quando foi utilizado o compressômetro mecânico. Porém, o medidor de deformação extensômetro elétrico de colagem superficial apresentou as maiores dispersões.
4. O comportamento dos resultados dos ensaios executados com uso concomitante do compressômetro mecânico e extensômetro elétrico de colagem superficial indicou regularidade e proximidade das leituras de deformação.
5. O extensômetro elétrico de fixação externa tem a vantagem de fornecer medidas de deformação longitudinal e transversal, possui mostrador para leitura digital das deformações e apresenta-se menos suscetível a variações na calibração. O extensômetro elétrico de fixação externa pode ser reutilizado várias vezes e sua montagem junto ao corpo de prova transcorre sem dificuldades e sem necessidade de grande perícia pelo operador do ensaio.
6. Os dois medidores extensômetros elétricos resistivos mostraram vantagens importantes como a menor necessidade de influência externa no decorrer do ensaio e minimização da possibilidade de erros de leitura por parte do operador. No caso do extensômetro

elétrico de colagem superficial, para colagem do mesmo na superfície do concreto, vários aspectos devem ser resguardados para preservar as leituras de deformações, dificultando o uso. Além disso, esse tipo de transdutor deve ser descartado após o ensaio, não servindo para uma segunda colagem.

Como todos os ensaios foram realizados seguindo de forma criteriosa as prescrições da NBR 8522:2008, ficaram nítidas as limitações do ensaio, as influências dos medidores de deformação e os cuidados necessários tanto na execução como na interpretação dos ensaios para determinação do módulo estático de elasticidade do concreto.

Os ensaios de módulo de elasticidade com uso de diferentes tipos de medidores de deformação comprovaram que, mesmo seguindo os critérios propostos na ABNT NBR 8522:2008, as variações nos resultados dos ensaios são relativamente significativas.

De um modo geral, as etapas de inspeção das estruturas de concreto envolvem uma série de atividades que vão desde a análise e coleta de projetos e especificações, até o planejamento e desenvolvimento da metodologia de investigação. Além disso, a eficácia da avaliação depende de conhecimento e experiência por parte do investigador. O sucesso da aplicação das correlações obtidas neste estudo está profundamente associado à perícia do profissional e ao conhecimento prévio sobre o método de determinação do módulo estático de elasticidade do concreto.

Salienta-se que os resultados obtidos são válidos para os materiais e condições de ensaios adotadas, portanto, deve-se considerar este limite da pesquisa.

5 Agradecimentos

A todos do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, à Empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Ltda., à Furnas Centrais Elétricas, à Empresa Realmix Concreteira, à Pedreira Anhanguera. Esta pesquisa foi realizada com os apoios da Universidade Federal de Goiás e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

6 Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [2] _____. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- [3] _____. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão e Diagrama Tensão-Deformação – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.