



## **ANALISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO PARA DIFERENTES DOSAGENS DE CONCRETO**

*Analysis of Modulos of Elasticity Static and Dinamic for Different Strengths of Concrete*

André Miranda dos Santos (1), Larissa Marques Cunha Cabral (2), Eliana Barreto Monteiro (3),  
Paulo Roberto do Lago Helene (4)

(1) *Engenheiro Civil, Universidade Católica de Pernambuco*

(2) *Engenheira Civil, Universidade Católica de Pernambuco*

(3) *Professora Doutora, Departamento de Engenharia Civil Universidade Católica de Pernambuco/  
Universidade de Pernambuco*

(4) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil Universidade Católica de Pernambuco/  
Universidade de São Paulo*

[andrems@unicap.com](mailto:andrems@unicap.com) / [larissacabral@outlook.com](mailto:larissacabral@outlook.com)

### **Resumo**

O concreto endurecido é um material que pode ser considerado como um pseudo-sólido, pois contém esqueleto sólido, água e ar. Estes dois últimos componentes respondem por parcelas importantes de suas propriedades, nas quais estão incluídas as deformações sob as cargas, tanto a imediata como a lenta, e as deformações independentes da ação de cargas como a retração hidráulica.

Sob a ação de cargas externas e, também, do peso próprio, o concreto apresenta deformações e, ao contrário do aço, não obedece a Lei de Hooke, conduzindo a um diagrama tensão – deformação curva.

Assim, são considerados três tipos de módulo de elasticidade: o estático tangente inicial e secante e o módulo dinâmico.

Para o trabalho, utilizou-se o módulo estático tangente inicial e módulo dinâmico, realizando uma análise comparativa entre os resultados experimentais entre eles que seguiu os procedimentos da ABNT NBR 8522:2003 e a norma britânica B-1881 parte 203:1986, respectivamente. Para complementar o ensaio foram produzidos três traços diferentes, sendo mantido constante o abatimento.

Por fim, foi observado que à medida que o módulo tangente inicial aumenta o  $f_{ck}$  diminui e, já para o módulo dinâmico, por ser baseado na massa específica do concreto, o resultado não é considerado preciso.

*Palavra-Chave: Módulo de Elasticidade, Concreto e Deformação*

### **Abstract**

The hardened concrete is a material which can be regarded as a pseudo-solid, since solid skeleton contains water and air. These last two components account for major portions of their properties, which are included in the deformation under loads, both immediate and slow, and the deformations are independent of action of loads such as hydraulic retraction.

Under the action of external loads, and also the self-weight, the concrete shows deformations and, unlike the steel does not obey Hooke's Law, leading to a diagram stress-strain curve. Thus, three kinds are considered elastic modulus of the static initial tangent and secant modulus and dynamic.

For work, used the static initial tangent modulus and dynamic module by performing a comparative analysis of experimental results between them, following the procedures of ABNT NBR 8522:2003 and British Standard 203:1986 Part B-1881, respectively. To complete the test were produced three different traits, the rebate being held constant.

Finally, it was observed that as the initial tangent modulus decreases and increases  $f_{ck}$ , the module has to be based on a dynamic bulk density of the concrete result is not considered necessary.

*Keywords: Sustainability, Concrete, Yield*

## 1 Introdução

Segundo VASCONCELOS (2009), o concreto é um material não homogêneo fabricado artificialmente pelo homem. Seu caráter não homogêneo permite explicar algumas de suas propriedades que lembram certos comportamentos dos materiais vivos. A velocidade do carregamento é uma dessas influências.

Nos seres vivos, à medida que se desenvolvem as deformações, o material vai se modificando. Por exemplo, fibras enroladas vão se tornando retilíneas.

No concreto, existindo alguma sollicitação, os poros cheios de ar ou água se comprimem (ou se distendem, conforme o caso) e tendem a produzir um fluxo desses fluidos. Isso demora algum tempo e, se o carregamento for lento, haverá tempo para o escoamento dos fluidos que ocupam os poros, como no caso dos seres vivos, haverá tempo para o desenrolamento das fibras (ou seu deslizamento). Se o carregamento for muito rápido, as condições em que se processam aqueles escoamentos, desenrolamentos, deslizamentos ou o que for, são diferentes e os resultados podem não ser os mesmos. Os resultados ocorrem no final do nível das cadeias moleculares, que são solicitadas diferentemente, conforme o tipo de carregamento.

O concreto, constituído pelos mesmos materiais, apresenta um diagrama curvo desde o início do carregamento. Isto pode eventualmente explicar-se pelo fluxo de fluidos nos poros do concreto. Inicialmente é o agregado, mais rígido, que absorve quase todo o carregamento. À medida que o agregado se deforma, ele vai transferindo uma parte de seu carregamento para a pasta de cimento, que começa a se destacar do agregado. A deformação do concreto será sempre intermediária entre as deformações do agregado e da pasta. Sendo no início mais próximo da deformação do agregado, tendendo, depois, para a deformação da pasta, conforme observa-se na figura 1.

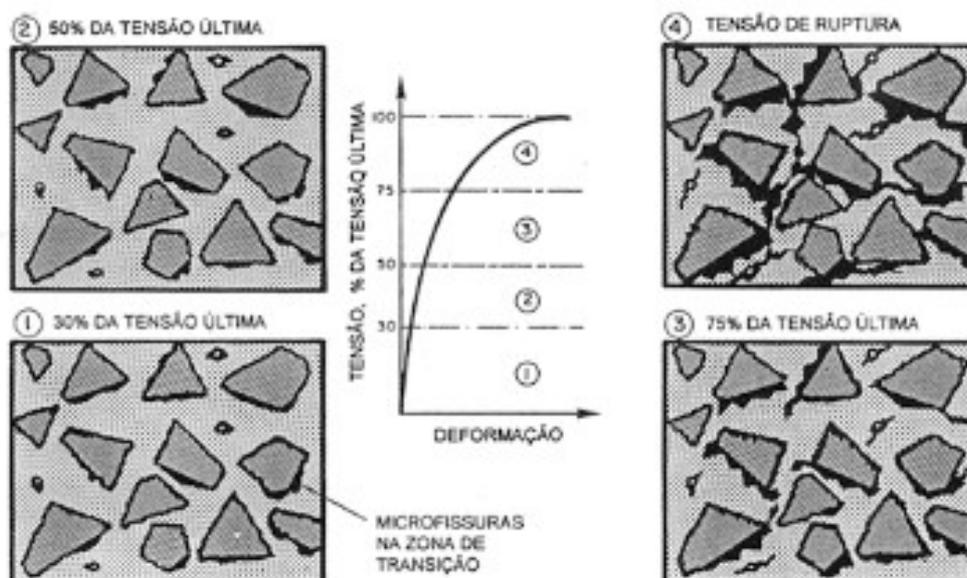


Figura 1 - Representação do comportamento tensão–deformação sob compressão simples (METHA et. al. (2006))

## 2 Módulo de Elasticidade



Quando submetemos um corpo de prova de um dado material a tensões crescentes de tração ou de compressão, tipicamente se verifica que até determinado limite superior de tensão, as tensões ( $\delta$ ) são proporcionais às deformações específicas correspondentes ( $\epsilon$ ), entendendo como deformação específica; o quociente entre o alongamento ou encurtamento do corpo de prova e o comprimento inicial deste. É a conhecida Lei de Hooke ( $\delta = E * \epsilon$ ). A constante de proporcionalidade ( $E$ ) é uma propriedade característica do material e é denominada de Módulo de Elasticidade.

Geometricamente, o módulo é a tangente do menor ângulo que o trecho retilíneo do diagrama tensão – deformação forma com o eixo das deformações. Decorre que quanto mais próximo da vertical (eixo das tensões) estiver o diagrama tensão – deformação, maior o módulo da elasticidade do material.

Em vista disso, o módulo de elasticidade é uma das propriedades mecânicas do concreto endurecido, além da resistência a compressão e resistência à tração. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente os ensaios são realizados para controle de qualidade e atendimento as especificações.

Segundo HELENE & NETO (2002), as propriedades mecânicas do concreto são a base para que seja dimensionado uma estrutura de concreto armado. A maioria dos projetos estruturais são feitos com base na resistência a compressão, sendo esta determinada através de ensaio. Mas, para um cálculo estrutural a fim de se aproximar de uma maneira mais realista do comportamento do material é de grande importância o conhecimento das propriedades da deformação deste a ser utilizado, não só a resistência a compressão, é interessante conhecer com precisão o módulo de elasticidade, a retração, a fluência, e outros parâmetros que expressem as condições dos estados limites de serviço.

Assim, a ABNT NBR 8522:2003 – concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama tensão x deformação – Método de Ensaio, o módulo de elasticidade do concreto é dado pela declividade da curva tensão –deformação sob um carregamento uniaxial.

Os módulos de elasticidade do concreto, que são vários em consequência do diagrama tensão deformação não linear, são os seguintes:

- Módulos estáticos
  - a) Módulo tangente na origem: é dado pela declividade de uma linha traçada de forma tangente à curva de tensão – deformação em qualquer ponto da curva. Ou ainda, segundo o que prescreve HELENE (2002), do ponto de vista prático do ensaio corresponde ao módulo de elasticidade cordal entre  $0,5 \text{ MPa}$  e  $0,3 f_c$  e ao módulo de elasticidade secante a  $0,3 f_c$ .
  - b) Módulo secante: é dado pela declividade de uma linha traçada a origem até um ponto da curva, que corresponde à tensão de 40% da carga da ruptura. E, ainda, conforme HELENE (2002), em geral trabalha-se com o módulo cordal entre  $0,5 \text{ MPa}$  e  $0,4 f_c$ , que é equivalente ao módulo de elasticidade secante a  $0,4 f_c$ .
  - c) Módulo cordal: é dado pela inclinação de uma linha traçada entre dois pontos da curva tensão – deformação, do ponto de vista prático de projeto é pouco utilizado.

- Módulos dinâmicos

De acordo com METHA (2006), este módulo corresponde a uma deformação instantânea muito pequena, é dado aproximadamente pelo módulo tangente inicial que é o módulo

tangente para uma linha traçada a partir da origem. É geralmente 20, 30 e 40% mais alto do que o módulo de elasticidade estático para concretos de alta, média e baixa resistência, respectivamente.

Os maiores transtornos que ocorrem em estruturas são causados pela não consideração das deformações e dos deslocamentos corretos em idades pequenas. Desformas prematuras causam flechas excessivas em lajes. Protensões aplicadas quando a resistência é satisfatória mas os módulos de elasticidade ainda são muito pequenos acarretam contra flechas que não serão anuladas pelo carregamento futuro. Concretagens feitas em finais de tardes muito quentes e a queda de temperatura durante a noite também são fontes de distúrbios. Tudo isso mostra a necessidade de conhecer bem a relação entre o módulo e a resistência, não somente para a idade de 28 dias, mas principalmente para idades menores do concreto.

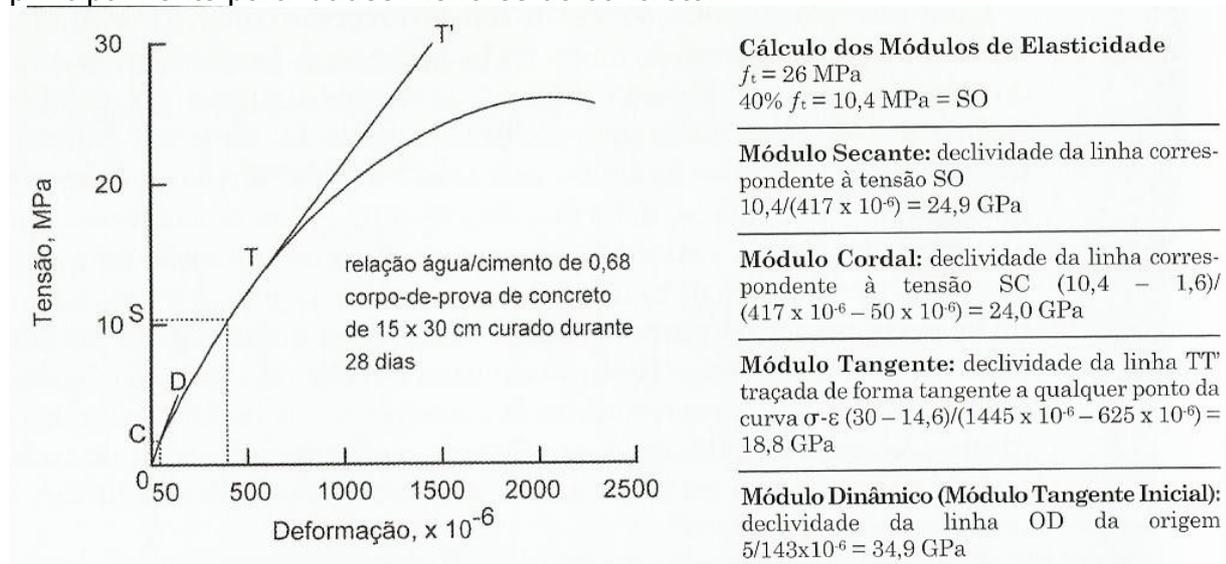


Figura 2 - Diferentes tipos de Módulos de Elasticidade e método que se determina (METHA et. al. (2006))

## 2.1 Fatores que afetam o Módulo de Elasticidade

Como já vimos o concreto é um material heterogêneo, logo o que determina o seu comportamento elástico são a fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes, além das características da zona de transição na interface. Uma vez que a densidade é inversamente proporcional à porosidade, naturalmente os fatores que afetam a porosidade do agregado, da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface são importantes. No concreto a relação direta entre resistência e módulo de elasticidade advém do fato de que ambos são afetados pela porosidade das fases constituintes, porém não no mesmo grau.

### 2.1.1 Agregado

Uma das características que afetam o módulo de elasticidade do concreto, em relação ao agregado graúdo é a porosidade, considerada mais importante, ou seja, a porosidade do agregado determina a sua rigidez, que por sua vez, controla a capacidade do agregado de restringir a deformação da matriz.



Agregados densos possuem um módulo de elasticidade alto. Em geral, quanto maior a quantidade de agregados graúdos com alto módulo de elasticidade em uma mistura de concreto, maior será o módulo de elasticidade do concreto.

De acordo com METHA (2006), ensaios com amostras de rocha demonstram que o módulo de elasticidade de agregados naturais de baixa porosidade, como granito, rochas vulcânicas e basalto, encontra-se na faixa de 70 a 140 GPa, ao passo que em arenitos, calcários e cascalhos de variedade porosa, pode ser de 21 a 49 GPa. Agregados leves são altamente porosos. Dependendo da porosidade, o módulo de elasticidade de um agregado leve pode ser de apenas 7 GPa ou chegar a 28 GPa. Em geral, o módulo de elasticidade do concreto com agregado leve varia de 14 a 21 GPa, que está entre 50 a 75% do módulo para concreto de densidade normal com a mesma resistência.

### 2.1.2 Pasta de cimento

O módulo de elasticidade da matriz da pasta de cimento também é determinado pela sua porosidade. Os fatores que controlam a matriz são relação água/cimento, teor de ar, adições minerais e grau de hidratação do cimento.

## 3 Procedimento Experimental

### 3.1 Materiais e dosagens

#### 3.1.1 Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado Cimento Portland Pozolânico CP IV 32RS com características físicas e mecânicas de acordo com a ABNT NBR 5736:1991 apresentadas na tabela 1.

Foi utilizado um agregado miúdo natural de origem quartzosa extraído do rio que no momento da sua utilização tinha umidade de 2,5%, processo realizado através da queima ao fogo de acordo com a ABNT NBR 7211:2005. O agregado graúdo usado para a produção do concreto foi de origem granítica, também de acordo com a ABNT NBR 7211:2005. As tabelas 2 e 3 apresentam a caracterização dos mesmos. Foi utilizada água potável do abastecimento da Compesa e não foi utilizado nenhum tipo de aditivo durante a realização dos experimentos.

Tabela 1 – Característica física e mecânica do Cimento Portland Pozolânico – CP IV 32 RS.

Ensaio	Resultados	Limites NBR
Finura – Resíduo na peneira 75µm	0,2	< 8%
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,95	****
Início de Pega (h:min)	03:36	≥ 1h
Fim de Pega (h:min)	04:44	≤ 12h
Expansibilidade de Le Chantelier – a Quente (mm)	-	≤ 5 mm
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	≤ 10 MPa
	7 dias	≤ 20 MPa
	28 dias	≤ 32 MPa

Tabela 2 - Característica física da areia

Composição Granulométrica – Percentagem Retida em massa		
Peneira ABNT	Individual (%)	Acumulada (%)

6,3	0,0	0,0
4,8	0,1	0,1
2,4	0,3	0,4
1,2	1,5	1,9
0,6	8,9	10,8
0,3	41,0	51,8
0,15	36,7	88,4
Fundo	11,6	100
Dimensão máxima característica		2,4
Módulo de Finura		1,53
Teor de Material Pulverulento (%)		2,6
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		2,66
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )		1,45

### 3.1.2 Dosagens

O método de dosagem utilizado para o desenvolvimento dos traços foi o da EPUSP/ IPT (Escola Politécnica da USP e Instituto de Pesquisa Tecnológico). Todos os materiais empregados na confecção dos traços foram dosados em peso com o auxílio de uma balança digital e misturados numa betoneira com capacidade nominal de 150 litros.

As misturas das dosagens foram realizadas de modo que fossem obtidos 3 traços. Inicialmente foi dosado o traço 1:5 a fim de se obter a argamassa ideal fixando o abatimento do tronco de cone em 120 + 20 mm.

Após foram dosadas mais 2 misturas variando o a/c e fixando o abatimento de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998. A tabela 4 mostra todos os traços produzidos.

Para todos os traços, o teor de argamassa (cimento + areia)/(cimento + areia + brita) foi mantido constante em 51%, contudo admitindo perda de argamassa de 3% a argamassa utilizada, considerada constante foi de 54%. A massa específica foi medida de modo a compará-la com a teórica. E, ainda os corpos de prova só foram curados até 7 dias.

Tabela 3 - Característica física da brita

Composição Granulométrica – Percentagem Retida em massa		
Peneira ABNT	Individual (%)	Acumulada (%)
25		
19	3,1	3,1
12,5	68,1	71,2
9,5	17,9	89,1
6,3	8,8	97,9
4,8	1,0	98,9
2,4		98,9
Fundo		100
Dimensão máxima característica		19,0
Módulo de Finura		6,89
Teor de Material Pulverulento (%)		0,42
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )		2,70
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )		1,55
Absorção (%)		0,5

Tabela 4 – Dosagens dos concretos

Traços de concretos frescos			
Componentes	Traço 1	Traço 2	Traço 3
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	352	417	298
Areia (kg/m <sup>3</sup> )	802	709	828

Brita (kg/m <sup>3</sup> )	959	959	959
Água (kg/m <sup>3</sup> )	211	209	196
a/c (kg/kg)	0,60	0,50	0,66
m (kg/kg)	5	4	6
Slump (mm)	110	110	110
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2336	2342	2326
Traço Unitário em massa	1,0:2,28:2,72	1,0:1,70:2,30	1,0:2,78:3,22

#### 4 Método de Ensaio

Para estes ensaios foram moldados e retificados 4 corpos de prova cilíndricos 100x200 mm para cada traço, com 2 corpos-de-prova sendo ensaiados para determinação da resistência a compressão aos 28 dias, conforme a ABNT NBR 5739:2007 no laboratório de materiais da UNICAP – Universidade Católica de Pernambuco em prensa com capacidade para 100 toneladas, para que tivéssemos uma previsão da tensão de ruptura à compressão, de acordo com a recomendação da ABNT NBR 8522:2003. Com os dados de tensão de ruptura à compressão, podemos calcular o percentual de carga última adequado ao tipo de determinação do módulo de elasticidade. Para esse trabalho foi utilizado à determinação através do Módulo Tangente Inicial.

Para atender esta especificação, foi aplicado um plano de carga variando de 0,5 MPa até 30% da carga última, sendo utilizado apenas 2 corpos-de-prova irmãos, não seguindo a recomendação da ABNT NBR 8522:2003. A cura dos corpos de prova foi realizada em tanque de cura saturado em cal, segundo a ABNT NBR 5738:2008. A prensa possui um sistema de controle de carga aplicada, possibilitando uma maior precisão e facilidade na leitura das deformações.

Além disso, para o ensaio de módulo dinâmico foi adotado o método da norma britânica BS – 1881 part 203:1986, que descreve o procedimento similar ao da norma brasileira NBR15630:2008, utilizando a equação abaixo descrita:

$$E_d = \rho \cdot v^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$\rho$  = densidade de massa no estado endurecido do concreto (kg/m<sup>3</sup>);

$V$  = velocidade que a propagação da onda ultrassônica leva para percorrer o corpo-de-prova de concreto em seu sentido longitudinal (em km/s);

$\nu$  = coeficiente de Poisson, que segundo Callister (2002), é a razão entre a deformação transversal e longitudinal quando um determinado corpo-de-prova é submetido a uma carga em seu sentido axial. De acordo com carneiro esses coeficiente varia entre 0,10 a 0,20, foi adotado para esta pesquisa o valor de 0,20. No ensaio não destrutivo é obtido através da equação:  $\nu = \Delta s / \Delta t$  (km/s), onde  $\Delta s$  é a altura do corpo de prova (em km); e  $\Delta t$  é o tempo que a onda se propaga com relação a distancia  $\Delta s$ , que é a altura do corpo-de-prova, obtida através do equipamento PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester*), como ilustra as figuras 3, 4, 5,6.



Figura 3 – Equipamento PUNDIT

## 5 Resultados e Discussões

### 5.1 Análise dos Resultados

Segundo NETO & HELENE (2002), tanto para o estudo do módulo de elasticidade estático tangente inicial como para o módulo de elasticidade dinâmico é necessário analisar alguns fatores que podem influenciar os ensaios como: natureza do agregado graúdo, diâmetro nominal do agregado graúdo, velocidade de aplicação da carga, dimensão dos corpos-de-prova, temperatura do ensaio entre outros.

Para este trabalho foram avaliados os seguintes fatores que podem influenciar nos módulos: diferente relação água/ cimento, diferentes consumos de cimento, diferentes resistências à compressão. Os resultados obtidos para a resistência a compressão e os módulos de elasticidade estático tangente inicial e dinâmico estão apresentados na tabela 5.



Figura 4 – Calibração do equipamento PUNDIT



Figura 5 - Preparação das amostras para análise

De acordo com os resultados obtidos foram feitos diagramas de dosagem, tanto para resistência à compressão como para módulo de elasticidade tangente inicial e dinâmico, segundo MONTEIRO & HELENE (1993). Estes são apresentados com suas respectivas equações de Lei de ABRAMS, Lei de LYSE e Lei de MOLINARE obtidas através da regressão linear, como demonstram as figuras 7, 8 e 9.



Figura 6 - Leitura do tempo de propagação da onda nos corpos de prova em estudo

Tabela 5 – Resultados experimentais aos 28 dias

Traços	1	2	3
$f_{c28}$ (MPa)	27,1	33,4	24,6
$E_{ci28}$ (GPa)	29,1	32,3	27,7
$E_d$ (GPa)	47,0	50,6	43,9
Velocidade (km/s)	4,739	4,911	4,578
Coefficiente de Poisson	0,2	0,2	0,2
a/c (kg/kg)	0,60	0,50	0,66
m (kg/kg)	5	4	6
Slump (mm)	110	110	110
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2,336	2,342	2,326
Consumo de cimento	352	417	298

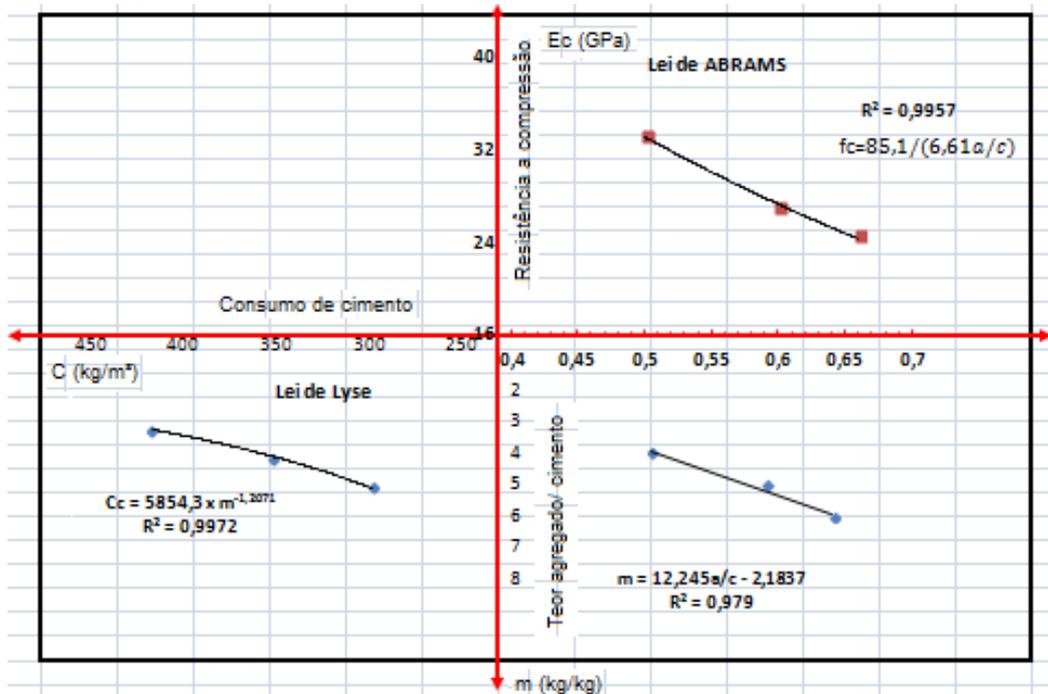


Figura 7 – Diagrama de dosagem para resistência a compressão (abatimento constante)

### 5.1.1 Influência da relação água/cimento

Admitindo-se uma variação no fator água/cimento e mantendo o abatimento constante, ocorrerá variação no teor de agregado, logo quanto menor a relação água/cimento maior será o módulo de elasticidade. Já que neste caso prevalece a relação água/cimento e não a quantidade de agregado.

Assim, se analisarmos detalhadamente a tabela 5 com base na resistência à compressão, quanto maior a resistência a compressão maior o módulo de elasticidade tanto estático como dinâmico.

### 5.1.2 Influência do consumo de cimento

No nosso trabalho consideramos abatimento constante onde ocorre quanto maior o consumo de cimento maior o módulo, ou seja, em razão da diminuição do a/c há um aumento do módulo da pasta de cimento, que irá prevalecer o aumento neste caso. Se tivéssemos considerado o a/c constante haveria uma redução de agregado e a situação seria totalmente inversa, mas este não é o foco do estudo.

### 5.1.3 Influência do teor de agregado

Para as misturas das dosagens de abatimento constante, observa-se uma diminuição do módulo de elasticidade com o aumento do teor de agregados. Num primeiro momento pode parecer incoerente. A explicação para isto, segundo MONTEIRO & HELENE (1993), é que o aumento do teor de agregados tem seu efeito positivo prejudicado pelo aumento do fator a/c para manter um abatimento constante, o que resultará uma pasta de cimento mais fraca, diminuindo o módulo.

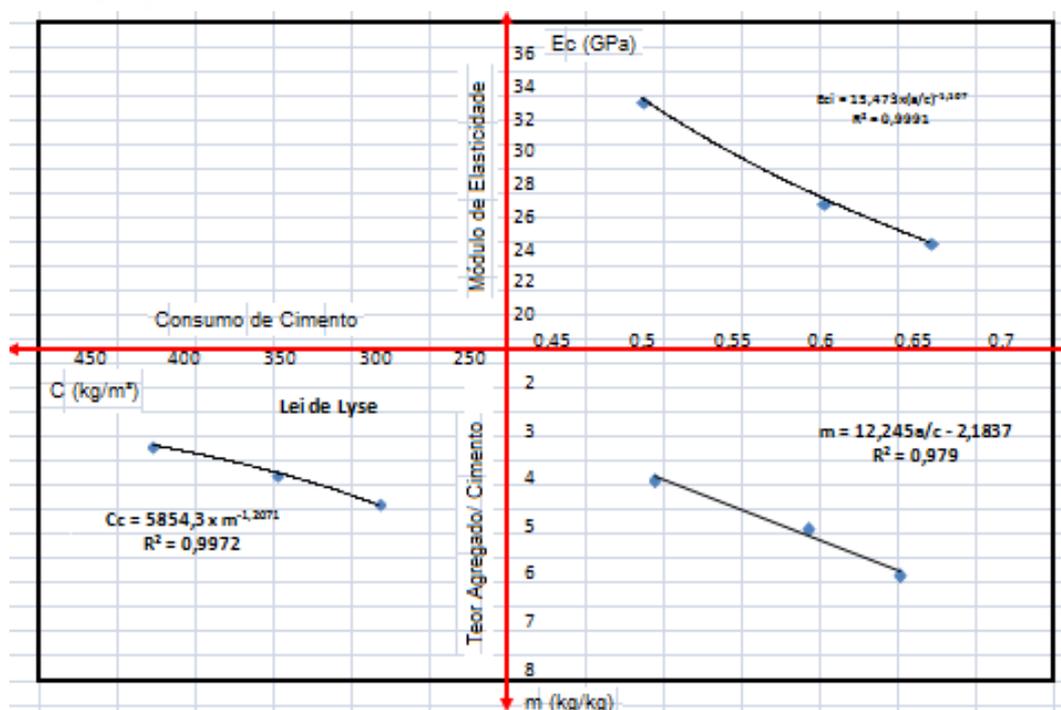


Figura 8 – Diagrama de dosagem para Módulo de Elasticidade Tangente Inicial (abatimento constante)

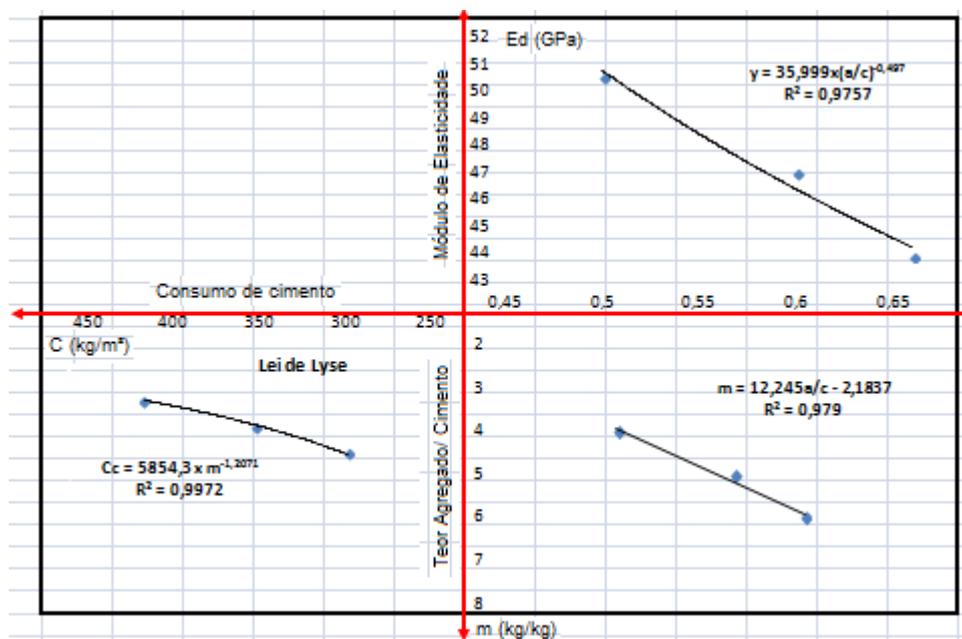


Figura 9 – Diagrama de dosagem para Módulo de Elasticidade Dinâmico (abatimento constante)

## 6 Conclusão

A pesar das diversas variáveis que existem no concreto o estudo do módulo de elasticidade estático tangente inicial e dinâmico se mostraram coerentes com os materiais e dosagens para análise sob variação da relação água/ cimento com abatimento constante.



Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2013  
Outubro / 2013



@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Assim, podemos perceber que quanto menor a relação a/c maior é o módulo de elasticidade, apesar do módulo do agregado ser maior o que prevalece é o da pasta. Por conseguinte o consumo de cimento aumentará reduzindo a relação e aumentando o módulo.

E, analisando o traço mais pobre (1:6) apesar de haver uma quantidade maior de agregado a pasta está enfraquecida, levando a um resultado de módulo baixo quando se trata do abatimento constante.

O módulo de elasticidade estático é feito para avaliar o comportamento real da estrutura, ou seja, tender a se aproximar de forma mais realista do comportamento do material a ser utilizado.

O módulo dinâmico através do método de propagação de ondas ultrassônicas analisou o grau de compacidade do material a fim de verificar a porosidade do concreto, onde se constata os resultados obtidos, quanto menor a relação água cimento mais poroso é o concreto e menor é o módulo.



## 7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS E SERVIÇOS DE CONCRETAGEM – ABESC. Informe técnico 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738: Concreto. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: Concreto. Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522: Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama tensão x deformação – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto - especificação.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15630: Argamassa para Assentamento e Revestimento de paredes e tetos – Determinação do Módulo de Elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 2008.

BRITISH STANDARD ASSOCIATION. **BS 1881 Part 203: Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.** 1986.

HARTMANN, C.; HELENE, P. HPC in Brazilian Office Tower. **Concrete International. ACI**, American Concrete Institute, v. 25, n. 12, p. 64-68, 2003.

NETO, A; HELENE, P. R. **Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade do Concreto.** In: IBRACON 44º Congresso Brasileiro do Concreto.

METHA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª edição, Ed Ibracon. 2006.

ISAIA, G. **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realização.** Vol 1 e 2. Ed Ibracon. 2005.