

EFEITOS NAS PROPRIEDADES ELÁSTICAS EM CONCRETOS COM ALTOS TEORES DE ESCÓRIA E CINZA VOLANTE.

Bibiane Batista da Silva¹, Jardel Ricco², Sílvio Maurício Beck³, Cristiano Seger⁴

¹ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. (bibianebs@hotmail.com)

² Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. (jardeljr1@hotmail.com)

³ Universidade Federal de Santa Maria. (projesa@ibest.com.br)

⁴ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. (cristiano_seger@yahoo.com.br)

Resumo

A substituição parcial do cimento por subprodutos e resíduos é uma alternativa sustentável, econômica e durável para a construção civil. Esta pesquisa faz uma análise das propriedades elásticas em concretos com elevados teores de escória granulada de alto-forno e cinza volante em substituição ao cimento Portland. Foram estudadas três misturas de concreto: uma sem adições minerais, somente com cimento Portland (CP V-ARI), tomada como referência, com relações a/c 0.40, 0.60 e 0.83, e duas misturas com adições minerais em substituição ao cimento em igual massa, com 70% de escória e 20% de cinza volante, sendo uma delas com adição de 20% de cal hidratada em relação à massa de aglomerantes em adição ao cimento, ambas para relações a/mc 0.30/0.33, 0.40 e 0.49, as quais foram renomeadas como R, EV e EVC. Foram realizados ensaios de módulo de elasticidade aos 28, 91 e 300 dias. Também se correlacionou os resultados das resistências elásticas com algumas prescrições normativas existentes. Para o módulo de elasticidade, aos 28 dias, o concreto EV apresentou 82% e o EVC 70% do resultado obtido pela mistura referência, mantendo-se esta proporção até a idade final (300 dias). A observação dos resultados obtidos demonstra uma satisfatória relação entre os diferentes traços estudados, viabilizando o uso de elevados teores de adições minerais em substituição a grande parcela de cimento em massa.

Palavras-chaves: Cimento, cinza-volante, escória, cal hidratada, módulo de elasticidade.

EFFECTS IN ELASTIC PROPERTIES OF CONCRETE WITH HIGH LEVELS OF SLAG AND GRAY STEERING WHEEL.

Abstract

The partial replacement of cement by products and waste is a sustainable, economical and durable alternative to the construction industry. This research is an analysis of the concrete elastic properties with high levels of granulated slag from blast furnace and fly ash to replace Portland cement. Three concrete mixtures were studied: one without mineral additions, only with Portland cement (CP V-ARI) taken as a reference, with relations water / cement 0.40, 0.60 and 0.83, and two mixtures with mineral additions in cement replacement in the same mass, with 70% slag and 20% fly ash, and one with addition of 20% of hydrated lime on the mass of binder in addition to cement, both for relationships a / mc 0.30 / 0.33, 0.40 and 0.49, which were renamed as R, EV and EVC. Modulus of elasticity tests were performed at 28, 91 and 300 days. The research has also correlated the results of elastic resistance with some existing prescriptive requirements. For the tensile modulus at 28 days, the concrete EV showed 82% and 70% of EVC result obtained from the reference mixture, keeping this rate until the final age (300 days). The observation of the results shows a satisfactory relationship between different traits studied, enabling the use of high levels of mineral additions to replace large portion of bulk cement.

Key words: Cement, fly ash, slag, hydrated lime, modulus of elasticity.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problema analisado

Atualmente, o uso indevido e, até então, necessário de recursos naturais está se tornando preocupante para a sociedade como um todo. Dentre os problemas causados pelo enorme crescimento industrial, pode se citar o efeito estufa, conseqüentemente o aquecimento do planeta, o aumento do buraco na camada de ozônio, a poluição das águas, bem como do ambiente em geral. Com isso, cada setor busca alternativas para minimizar esses efeitos. A indústria da construção civil vem estudando a produção de concretos mais sustentáveis.

Sabe-se que para obter concreto sustentável é preciso analisar-se o cimento, deveria ser com menor utilização de clínquer, conseguido através do uso de cimentos com adições minerais, ou mesmo substituição com o uso direto destas adições ao concreto, e menor consumo de energia.

De acordo com o CEMBUREAU, *apud* AÏTCIN (2000), mais de 1 bilhão de toneladas de cimento foram produzidas a cada ano entre 1990 e 1995, podendo-se estimar a produção de aproximadamente 4.4 bilhões de metros cúbicos de concretos por ano neste período, isto é, mais de 2 toneladas de concreto por pessoa por ano. Conforme Aïtcin (2000), apenas a água doce foi mais largamente utilizada durante o mesmo período de tempo.

A substituição de parte do cimento Portland por uma ou mais adições minerais, visam reduzir significativamente a poluição ambiental por emissão de CO₂, pois a produção de clínquer seria diminuída ou estabilizada, assim como o consumo de energia, sendo este muito elevado na sua produção. Além de todo o benefício causado pela diminuição da agressão ao meio ambiente, ainda pode-se mais, ao utilizar como adição os subprodutos industriais como a escória granulada de alto-forno (origem está na produção de ferro-gusa) e a cinza volante (resultante da queima de carvão), rejeitos poluidores, diminuiriam o consumo de cimento por m³, além de dar destino e utilização a estes materiais geralmente descartados no meio ambiente.

O uso destas adições mostra-se ainda mais vantagens – o melhoramento das características do concreto, como permeabilidade, diminuição da porosidade capilar, aumento da resistência a sulfatos, redução do calor de hidratação, entre outras. Em ensaios com substituições de 60% a 70% de cinza volante ou escória em concretos, Metha obteve resultados com altas resistências e durabilidade a idades precoces., notando assim um fator importantíssimo nos dias atuais: a durabilidade.

1.1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo básico avaliar a influência de adições minerais como a cinza volante e escória granulada de alto forno, quando utilizadas em substituição de parte do cimento, sobre as propriedades elásticas, através do ensaio de módulo de elasticidade, bem como comparar os resultados obtidos entre as misturas de referência e aquelas com alto teor de adições minerais, com e sem a incorporação de cal hidratada, introduzida com o objetivo de ativar estas adições, visando aumentar as resistências iniciais e finais.

2 RESISTÊNCIA ELÁSTICA DO CONCRETO COM ADIÇÕES MINERAIS E CAL HIDRATADA

2.1 Adições minerais e cal hidratada

De acordo com Levy (2005) agregar adições minerais ao concreto, como substituição de parte do cimento, se reduz significativamente a emissão de CO₂, assim como o consumo de energia utilizado na produção de cimento. Deste modo, com a redução da produção de clínquer, utiliza-se uma quantidade menor de calcário, minimizando a emissão de gás carbônico liberado para a atmosfera. Ou seja, além de reduzir o impacto ambiental produzido por outras indústrias, se reduz o consumo de matérias-primas. As adições minerais, através das reações pozolânicas, reduzem a porosidade e a permeabilidade da pasta de acordo com sua reatividade como hidróxido de cálcio (GASTALDINI, 1996).

2.2 Concreto com altos teores de adições minerais

A utilização de adições minerais, de acordo com Dal Molin (2005), podem influenciar beneficemente muitas propriedades do concreto. A eficiência de uma adição mineral pode variar em função da quantidade utilizada e das condições de cura, bem como em função da sua composição química, mineralógica e granulométrica, sendo estas duas últimas as responsáveis pela ação diferenciada das adições no comportamento do concreto. Este estudo considera a substituição parcial do cimento por adições minerais como de altos teores, por estas representarem 90% de substituição do cimento Portland em massa.

2.2.1 Módulo de elasticidade

O módulo é calculado baseado em modelos que supõem representar o comportamento elástico do material, envolvendo o agregado e a pasta de cimento hidratado, no qual acredita-se que os constituintes suportem a mesma deformação ou desenvolvam a mesma tensão.

O crescimento do módulo de elasticidade é progressivamente menor do que o crescimento da resistência à compressão. Observa-se também, que o módulo não é influenciado pelas condições de cura, mas sim pelo módulo de deformação do agregado graúdo do concreto. A aderência entre a pasta e o agregado torna-se muito importante em concretos de alto desempenho, podendo influenciar o módulo quando esta for muito elevada. Como agregados normais apresentam um módulo de elasticidade maior que a pasta de cimento hidratada, um teor maior de um agregado resulta em um valor maior de módulo para uma mesma resistência. Em termos absolutos, o módulo de elasticidade dos CAD podem chegar a 50 GPa, embora se situem na faixa de 30 GPa a 40 GPa.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Introdução

A substituição de parte do cimento por adições minerais, materiais de baixo valor agregado contribuem para a redução dos custos totais envolvidos na execução das estruturas, trazendo deste modo benefícios econômicos. Ressalta-se também, que o uso de altos teores de adições minerais diminui os custos da produção do concreto pelo uso de subprodutos industriais, reduzindo o consumo de clínquer, e respectivamente, de energia utilizada em sua fabricação. Os resultados obtidos nos ensaios realizados visam contribuir no embasamento de diretrizes para a utilização de estruturas de concreto com o uso de altos teores de adições minerais, em substituição parcial do cimento.

3.2. Caracterização dos materiais

3.2.1. Cimento e Adições minerais

O cimento foi selecionado entre os disponíveis no mercado, optando-se pelo cimento Portland de alta resistência inicial, CP V- ARI (NBR 5733/ABNT, 1991).

As pozolanas utilizadas foram as seguintes: cinza volante proveniente de termoeletrica regional (Candiota/RS), utilizada conforme fornecida; escória granulada de alto forno, proveniente de siderúrgica nacional (Companhia Siderúrgica de Tubarão /ES), moída por 01 hora em moedor de bolas do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC); Cal hidratada do tipo cálcica, de origem nacional, moída em moedor de bolas por 01 hora no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC).

3.4. Proporção e dosagem dos concretos

Devido ao aumento de argamassa resultante da substituição parcial do cimento por adições minerais devido à menor massa específica destes materiais, corrigiu-se os volumes dos aglomerantes reduzindo o volume do agregado fino (areia), de modo a evitar

uma maior demanda de água. Assim, manteve-se constante o teor de argamassa seca em aproximadamente 52% para todos os traços estudados.

A presente pesquisa estudou três misturas com três relações água/aglomerante cada, sendo uma mistura composta apenas com cimento Portland (100%), para relações a/c 0.400, 0.600 e 0.827.

Na segunda mistura, substituiu-se parcialmente o cimento Portland por escória granulada de alto forno na razão de 70% e cinza volante em 20%, sendo a parcela de cimento existente de 10%, totalizando 90% de substituição em igual massa. As relações a/mc especificadas foram 0.302, 0.402 e 0.491.

Para a terceira mistura, repetiu-se a substituição de 90% do cimento por adições minerais em igual massa, como efetuado na segunda mistura, sendo que nesta foram acrescentados 20% de cal hidratada em relação à massa de aglomerantes em adição ao cimento Portland e substituição de parte do agregado miúdo. Para estas misturas foram utilizadas relações a/mc iguais a 0.331, 0.402 e 0.491.

Os consumos de materiais utilizados nas misturas estudadas estão indicados na *figura 3.1*.

Mistura	a/mc	CP V-ARI	E	CV	Cal	Areia	Pedra	Água	Aditivo	Slump
		Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	mm
R	0.400	462	-----	-----	-----	637	1014	185	-----	75
R	0.600	313	-----	-----	-----	792	980	188	-----	95
R	0.827	227	-----	-----	-----	914	933	188	-----	65
EV	0.302	66	462	132	-----	371	1001	198	2,1	145
EV	0.402	47	332	95	-----	564	1009	189	1,2	95
EV	0.491	38	265	76	-----	690	987	185	0,8	100
EVC	0.331	65	457	131	131	194	989	209	9,8	155
EVC	0.402	47	331	94	95	455	1007	186	5,5	140
EVC	0.491	37,7	264,2	75,5	75,5	581,9	1006.4	183,8	2,0	100

Figura 3.1 - Consumo de materiais por m³ de concreto.

Na *figura 3.2* resumem-se os teores de cimento e adições substituídas, relações a/ag e nomenclatura utilizada.

Mis	a	CP	V-	Escór	Cin	Cal
R	0	1		--	----	----
R	0	1		--	----	----
R	0	1		--	----	----
EV	0	1		7	2	----
EV	0	1		7	2	----
EV	0	1		7	2	----
EV	0	1		7	2	2
EV	0	1		7	2	2
EV	0	1		7	2	2

Figura 3.2 - Nomenclatura, relação a/mc e teores substituídos.

3.4.1. Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem e cura dos corpos de prova para o ensaio do módulo de elasticidade foram efetuadas de acordo com a NBR 5738/2003: Concreto.

Os corpos-de-prova para ensaios de módulo de elasticidade foram moldados nas dimensões de 10 x 20 cm, e ensaiados nas idades de 28, 91 e 300 dias, de acordo com a NBR 8522/2003.

A moldagem foi realizada em duas camadas, utilizando-se mesa vibratória. Após, os corpos de prova tiveram seu topo arrasado com argamassa da moldagem para regularização da superfície, foram cobertos com estopa úmida e mantidos desta maneira por 24 horas. Desformados, estes foram identificados e armazenados na câmara úmida do LMCC, sob uma temperatura média de 25 °C e umidade relativa média de 95%, até as idades de ensaio.

3.5. Experimentos

Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados de acordo com a NBR 8522/2003: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Para esta pesquisa, optou-se pela determinação do módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial (ou à origem) - E_{ci} - considerado equivalente ao módulo de deformação secante ou cordal entre 0.5 MPa e 30% f_c , utilizado para caracterizar a deformabilidade do concreto, e o plano de carga tipo II da norma em uso. Os ensaios foram realizados aos 28, 91 e 300 dias, sendo utilizados 03 corpos-de-prova para cada idade.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Abordagem dos resultados

Neste item será realizada a análise, assim como comentários e discussão dos resultados obtidos. Todos os índices percentuais apresentados referem-se à média obtida entre as resultantes dos experimentos, dentro do desvio padrão adotado.

O gráfico da *figura 4.1* apresenta os resultados obtidos das misturas referências. Como observado, o traço R 0.40 obteve um aumento pouco expressivo entre 07 e 300 dias. Já o traço R 0.60 obteve um significativo incremento de 26.5% em média entre o primeiro e o último ensaio. Contudo, o traço R 0.83 obteve um aumento insignificante entre as idades ensaiadas, o que pode ser explicado pela maior relação a/mc, visto que pastas com alta porosidade, decido a maior quantidade de água adicionada, apresentam baixos valores para o módulo de elasticidade.

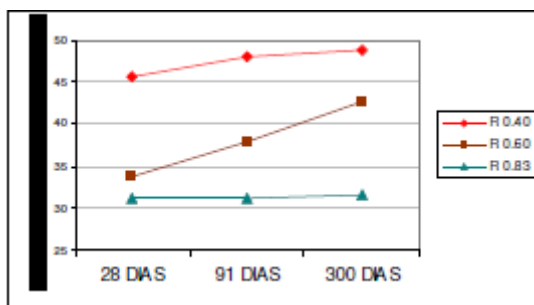


Figura 4.1 Eci das misturas referência dos 28 aos 300 dias

Na *figura 4.2*, observa-se que a mistura EV 0.30 obteve um ganho médio de 8% entre as idades inicial e final, enquanto a mistura EV 0.4 e EV 0.49 apresentaram um incremento médio de 5%.

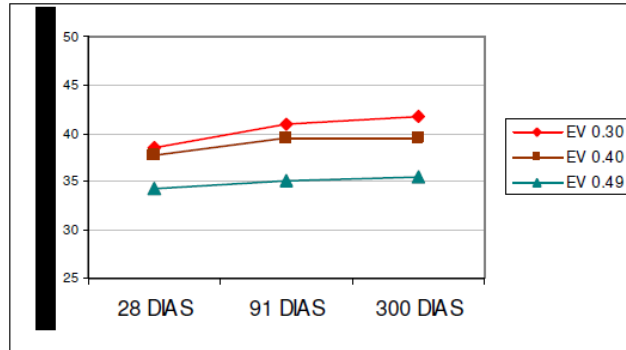


Figura 4.2 Eci das misturas com adições minerais referência dos 28 aos 300 dias

Para as misturas com substituição parcial do cimento por cinza volante e esória, com a dição de cal hidratada, obteve-se os resultados apresentados no gráfico da *figura 4.3*.

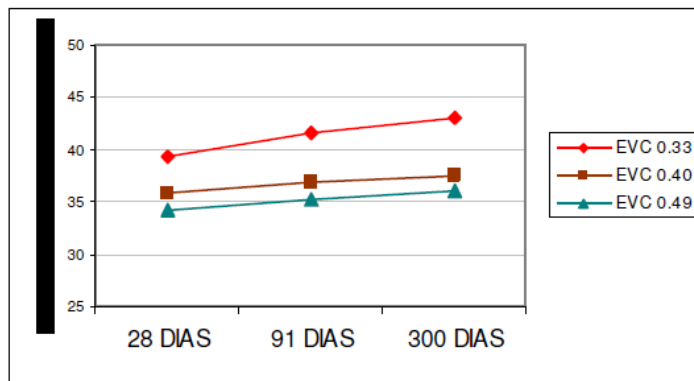


Figura 4.3 Eci das misturas com adições minerais e cal referência dos 28 aos 300 dias

Através do gráfico representado na *figura 4.4* podemos analisar os resultados obtidos pelo ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias das misturas estudadas.

Conforme apresentado, em relação ao traço de referência R 0.40, a mistura EV 0.30 obteve 90.5%, em média do valor do módulo deste, enquanto que a mistura EVC 0.33 atingiu 86%. Em relação à referência R 0.60, a mistura EV 0.40 e EVC 0.40 apresentaram módulos superiores ao de referência, na ordem de 12% e 6.5% respectivamente. As misturas EV 0.49 e EVC 0.49 apresentaram resultados, em média, 11% acima do módulo obtido pela referência R 0.827. Nota-se claramente uma melhora do módulo nos traços EV e EVC, comparado aos traços de referência.

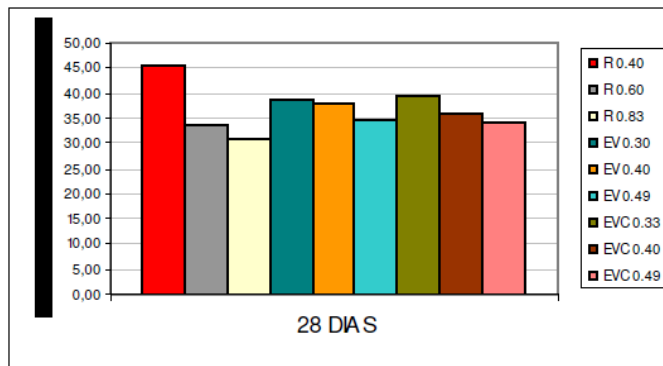


Figura 4.4 Eci das misturas aos 28 dias

Para os 91 dias, a mistura EV 0.30 apresentou uma pequena redução em relação aos 28 dias, em relação ao modulo do traço de referencia R 0.40, enquanto que a mistura EVC 0.33 manteve a media resultante aos 28 dias, conforme a *figura 4.5*.

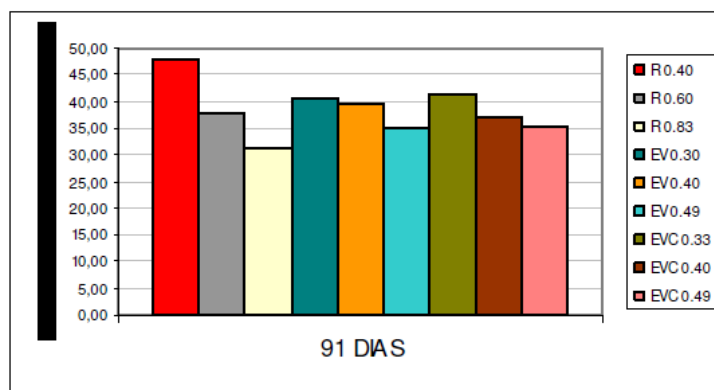


Figura 4.5 Eci das misturas aos 91 dias

Na *figura 4.6*, são representados os resultados obtidos nos ensaios aos 300 dias, e como se pode observar, as misturas EV 0.3 e EVC 0.33 mantiveram os índices médios de incremento do modulo apresentados aos 91 dias, em relação ao referencia R 0.40.

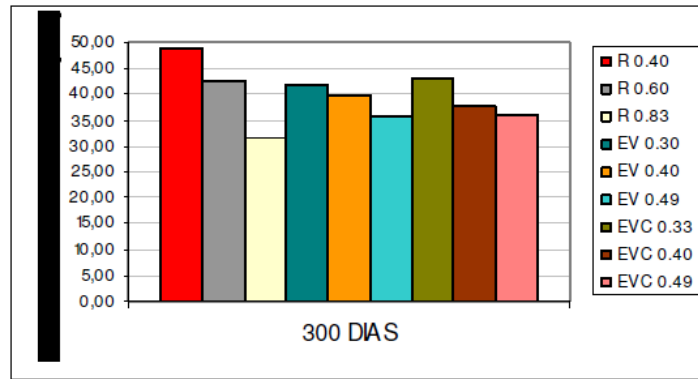


Figura 4.6 Eci das misturas aos 300 dias

4.2 Evolução do módulo de elasticidade

O gráfico da *figura 4.7* apresenta os resultados da evolução do módulo de elasticidade das misturas estudadas entre as idades de ensaios de 28 e 300 dias.

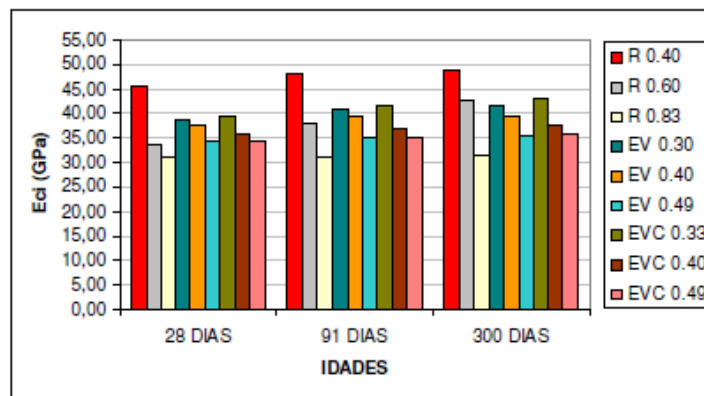


Figura 4.7 - Evolução do Eci das misturas dos 28 aos 300 dias.

Comparando os resultados de módulo de elasticidade obtidos entre as misturas com adições minerais com e sem adição de cal hidratada, podemos concluir que os dados apresentados pela mistura EV 0.30 praticamente igualam-se aos obtidos pela mistura EVC 0.33 em todas as idades estudadas, o mesmo ocorrendo para as misturas EV 0.49 e EVC 0.49. Porém a mistura EV 0.40 manteve-se ligeiramente superior ao EVC 0.40 em todas as idades, conforme *figura 4.8*.

O que ocorre é um acréscimo do módulo nas primeiras idades, principalmente para as misturas com maior relação a/mc , que devido a maior disponibilidade de água, facilita um desenvolvimento mais rápido das reações de hidratação, além do refinamento dos

poros consequentes do uso da escória e cinza volante, resultando numa pasta com maior resistência, similar à apresentada pelo agregado graúdo.

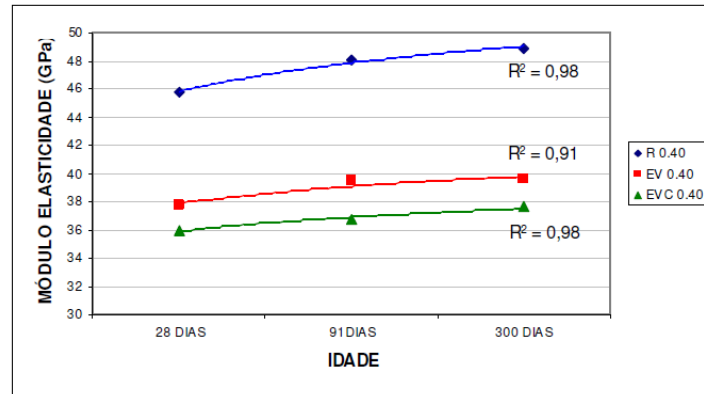


Figura 4.8 - Módulo de elasticidade em igualdade de relação a/mc 0.4.

Em relação ao referência R 0.40, as misturas EV 0.40 e EVC 0.40 apresentaram em média, 82.5% e 70.5% aos 28 dias. Esta relação entre as misturas manteve-se praticamente estável para cada idade ensaiada.

De acordo com Isaia (1995), o efeito da pozolanas sobre o módulo de elasticidade pode ser explicado pelo aumento do volume da pasta devido ao acréscimo das adições minerais, assim como o reforço da interface pasta agregado pelo efeito filer e pozolânico.

4.3 Correlação entre Módulo de Elasticidade x CEB x ACI x NBR 6118

Comparou-se os resultados dos ensaios com os resultados obtidos através de cálculos utilizando as diretrizes do CEB/90, do ACI e da NBR 6118. Cabe salientar que o CEB/90 utiliza em sua fórmula um coeficiente que corresponde a uma correção relativa ao tipo de agregado utilizado na composição do concreto sendo, no caso desta pesquisa, que utilizou pedra basáltica, igual a 1.20. Deste modo, os resultados calculados pelo CEB/90 apresentam-se superior aos calculados pelo ACI e NBR. Observando-se a *figura 4.9*, com os resultados obtidos aos 28 dias, nota-se uma regularidade entre os dados apresentados, com muito pouca variação entre os módulos para cada mistura. A maior disparidade encontra-se entre as misturas com maior relação a/mc, com exceção da mistura referência R 0.60, que se mostrou inferior aos resultados calculados, e a mistura EVC 0.40, que se mostrou superior.

MISTURA	Fc (MPa)	CEB/90 (GPa)	ACI (GPa)	NBR (GPa)	ENSAIO (GPa)
	COMPRESSÃO AXIAL	MÓDULO DE ELASTICIDADE			
	28 DIAS				
R 0.40	64.10	47.93	44.55	44.83	45.72
R 0.60	42.35	41.74	36.22	36.44	33.73
R 0.83	24.24	34.66	27.40	27.57	31.07
EV 0.30	48.26	43.60	38.66	38.90	38.60
EV 0.40	44.40	42.40	37.08	37.31	37.74
EV 0.49	24.57	34.81	27.58	27.76	34.37
EVC 0.33	54.20	45.32	40.97	41.23	39.39
EVC 0.40	31.57	37.85	31.27	31.46	35.94
EVC 0.49	23.70	34.40	27.09	27.26	34.30

Figura 4.9 - Correlação entre Eci calculado pelo CEB,ACI e NBR e resultados aos 28 dias

Como observado na tabela acima, o mesmo ocorre com os resultados aos 91 dias, e demonstrados na *figura 4.10*, ou seja, para maior relação a/mc, maior a diferença entre os módulos calculados e o módulo obtido através de ensaios. Quanto aos demais traços nota-se uma clara regularidade.

MISTURA	Fc (MPa)	CEB/90 (GPa)	ACI (GPa)	NBR (GPa)	ENSAIO (GPa)
	COMPRESSÃO AXIAL	MÓDULO DE ELASTICIDADE			
	91 DIAS				
R 0.40	76.10	50.75	48.55	48.85	48.10
R 0.60	46.27	42.99	37.85	38.09	37.97
R 0.83	25.57	35.28	28.14	28.32	31.17
EV 0.30	51.55	44.57	39.96	40.21	40.84
EV 0.40	48.80	43.76	38.88	39.12	39.43
EV 0.49	29.17	36.86	30.06	30.25	35.12
EVC 0.33	56.60	45.98	41.87	42.13	41.63
EVC 0.40	39.23	40.69	34.86	35.07	36.79
EVC 0.49	29.03	36.80	29.98	30.17	35.18

Figura 4.10 - Correlação entre Eci calculado pelo CEB,ACI e NBR e resultados aos 91 dias

Conclui-se, comparando os resultados obtidos tanto pelo ensaio, como pelas formulas prescritas pelas normas em questão, que as misturas com maior relação a/mc demonstram valores de ensaio superiores aos valores calculados em ambas as idades apresentadas, sendo estes os traços R 0.83, EV 0.49, EVC 0.40 e EVC 0.49.

Para as demais relações a/mc, os resultados são similares. Ressalta-se, porém, que todos se apresentam inferiores aos dados calculados pelo CEB/90, por este ter seu valor multiplicado por 1.2, devido a correlação relativa ao agregado utilizado. Em termos gerais, há uma boa relação entre os resultados comparados.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos pelos ensaios de módulo de elasticidade, pôde-se comprovar o exposto por Mehta (1983), em que afirma ser o módulo de elasticidade pouco influenciado pelo uso de adições minerais, apresentando maior sensibilidade às variações da quantidade e rigidez do agregado, através da relação a/ag e cura. Em valores absolutos, os resultados obtidos para os módulos de elasticidades foram maiores para as misturas com baixa relação a/mc , e menores para as relações a/mc mais altas. Os valores do módulo apresentaram-se altos, entre 36.10 GPa e 41.64 GPa aos 300 dias, confirmando o exposto por Almeida (2005), que afirma que em termos absolutos, o módulo de elasticidade dos CAD podem chegar a 50 GPa, embora se situem na faixa de 30 GPa a 40 GPa.

Observa-se que ambas as misturas - com ou sem adição de cal hidratada, para todas as relações a/mc , aos 28 dias de idades - apresentavam 95% do valor do módulo final obtido aos 300 dias. Assim como ocorreu para a RCA, para a relação a/mc 0.33 a cal adicionada aumentou o valor do módulo em relação à mistura sem adição de cal, porém para a relação a/mc 0.40, a cal diminuiu o módulo, enquanto que para a relação a/mc 0.49, a adição da cal hidratada gerou um valor maior somente aos 300 dias.

Na análise dos resultados obtidos, as misturas com adições minerais, com ou sem incorporação de cal hidratada, mostraram-se, aos 300 dias, inferiores às misturas referências, na ordem de 10% em média para os traços EV 0.30 e EVC 0.33, e 15%, também em média, para o EV 0.40 e EVC 0.40, em relação ao R 0.40 e R 0.60 respectivamente. A exceção foram às misturas EV 0.49 e EVC 0.49, que se mostraram superiores à referência R 0.83, na ordem de 13% em média. Estes índices entre as misturas foram constantes para todas as idades, com exceção para as misturas com relação a/mc 0.40, que aos 28 dias mostravam-se superiores à referência e aos 300 dias resultaram em média 10% menores.

Em relação à análise em igualdade de relação $a/mc = 0.4$, a mistura EV atingiu 83% do valor apresentado pela referência aos 28 dias, enquanto que a mistura EVC chegou a 79%. Estas relações mantiveram-se nestas médias para os 91 e 300 dias. O incremento no módulo de elasticidade para ambas as misturas foi de 5%, enquanto a referência apresentou 7%, entre 28 e 300 dias.

Através da análise dos resultados obtidos para a propriedade estudada em relação às misturas investigadas, confirma-se a eficiência e benefícios do uso de adições minerais como substituto parcial do cimento Portland, assim como a incorporação de cal hidratada à mistura.

Com a conclusão desta pesquisa - na qual objetivou-se estudar os efeitos nas propriedades elásticas em concretos com altos teores de adições minerais, pôde-se observar a influência destas e da cal hidratada, e a importância de seu estudo em conjunto para uma correta determinação do comportamento do concreto em relação ao desempenho solicitado e à durabilidade exigida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AİTCIN, P. C. **Autogenous shrinkage measurement**. In: TAZAWA, E. Autogenous shrinkage of concrete. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP organized by Japan Concrete Institute. London, 1999. P 257-268.

ALMEIDA, I. R. **Concretos de Alto Desempenho**. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações/ ed. ISAIA, G. C. 1º edição. São Paulo: IBRACON, 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Building Code Requirements for reinforced concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3: Use of Concrete in Build- ings- Design. Specifications and related topics (ACI 318-89, Revised 1992)**. Detroit, Michigan, 1994.

_____. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)**. Detroit, Michigan, 1995.

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

_____. **Cimento Portland de Alta Resistência Inicial: NBR 5733**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Projeto de estruturas de concreto- procedimentos: NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação: NBR 8522**. Rio de Janeiro, 2003.

CEMBUREAU. Bruxelas, Bélgica. 2000. Disponível em :<<http://www.cembureau.be>>. Acesso em 24 Jan. 2009.

GASTALDINI, A. L. G. **Influência das adições minerais na porosidade de pastas de cimento Portland**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 1996, São Paulo. Anais. Porto Alegre: ABCP, 1996, 3v, v1, p119-136.

_____.; GASTALDINI, A. L.G. **Concreto “verde” com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, 2004. São Paulo. Anais: Escola politécnica da Universidade de São Paulo

LEVY, S. **Sustentabilidade na construção civil: a contribuição do concreto**. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações/ ed. ISAIA, G. C. 1º edição. São Paulo: IBRACON, 2005.

MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious by-products as mineral admixtures for concrete. A critical review**. In: MALHOTRA, V. M. (ed.) International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and other Mineral By-products in Concrete, 1 st, Monte Bello, 1983. *Proceedings*. Detroit: American Concrete Institute, 1983, 2V, V. 1, p. 1-46. (SP-79)