

## **CONSUMO DE CIMENTO EM CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND: A INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS**

**Vicente Coney Campiteli (1); Sérgio Luiz Schulz (2)**

(1) Universidade Estadual de Ponta Grossa, [vicente@uepg.br](mailto:vicente@uepg.br)

(2) Universidade Estadual de Ponta Grossa, [slschulz@uepg.br](mailto:slschulz@uepg.br)

### **RESUMO**

O método de dosagem de concretos de cimento Portland conhecido como método do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) se funda nas relações entre a coesão e o teor de argamassa seca, entre as propriedades mecânicas e a relação água-cimento e entre a consistência e a relação água-materiais secos. Com base em uma adaptação deste método de dosagem e na equação do consumo, estudou-se a relação entre o consumo de cimento em concretos normais e a razão entre as massas específicas dos agregados graúdo e miúdo. Estudou-se a influência de algumas características sobre esta relação, tais como: da massa específica do agregado miúdo, da massa específica do cimento, da relação água-cimento, da dimensão máxima característica do agregado graúdo, do abatimento do tronco de cone - "slump" e do teor de argamassa seca -  $\alpha$ . Este estudo possibilita a minimização do consumo a partir de uma escolha adequada dos agregados. Exercícios sobre tal influência acompanha o trabalho.

Palavras-chave: concreto, consumo de cimento, dosagem, massa específica, agregados.

### **1. INTRODUÇÃO**

O consumo de cimento em concretos de cimento Portland, como parte das preocupações do tecnologista de concreto, deve merecer sempre considerações especiais. Neste contexto, sempre alguma informação adicional que leve à sua minimização será oportuna. A escolha dos materiais que deverão compor o concreto faz parte das preocupações do tecnologista, na medida em que podem afetar significativamente o consumo de cimento (Tango, 1979), bem como as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido. No caso dos agregados, não só a granulometria, a forma das partículas, a sanidade, o grau de pureza e as suas propriedades mecânicas podem afetar as propriedades dos concretos, mas também a massa específica dos agregados pode ter influência significativa. Baseado no método de dosagem de concretos conhecido como método do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), pode-se constatar a influência e a magnitude da relação entre as massas específicas dos agregados no consumo de cimento em concretos.

O trabalho apresenta uma adaptação do método de dosagem do IPT e, baseado em seus termos, um estudo da influência da relação entre as massas específicas dos agregados no consumo de cimento em concretos de massa normal. A influência de algumas características do concreto nesta relação tais como da massa específica do agregado miúdo, da massa

específica do cimento, da relação água-cimento, da dimensão máxima característica do agregado graúdo, do abatimento do tronco de cone - "slump" e do teor de argamassa seca -  $\alpha$ , compõe o trabalho.

### 1.1 Considerações sobre o método de dosagem

Considerando um traço de concreto em massa, dado por 1: a: p: x (cimento: areia: pedra: água), é necessário relacionar cada parcela às propriedades que se deseja obter para o concreto a ser dosado. Três propriedades importantes podem ser relacionadas: a consistência a coesão e a resistência à compressão, que, em geral, são balizadoras para a dosagem dos concretos. A consistência se relaciona com os termos do traço através da relação água-materiais secos (H), baseado na lei de Lyse. A coesão se relaciona com os termos do traço através do teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) e a resistência à compressão ( $f_{cj}$ ) pela relação água-cimento (x) através da equação de Abrams.

A **consistência** do concreto é influenciada principalmente pela relação água-materiais secos (H), pela dimensão máxima característica e pela massa específica do agregado graúdo (Giannusso, 1992, p.67). Um modelo matemático relacionando a consistência do concreto (abatimento do tronco de cone ou "slump") com os fatores destacados acima pode ser (Campiteli, 1994):

$$H = \frac{783 \cdot (148 - DMC) + (163 - DMC) \cdot S}{4410 \cdot \gamma} \quad [1]$$

onde:

S = "slump" em mm;

H = relação água-materiais secos em %;

DMC = Dimensão Máxima Característica em mm;

$\gamma$  = massa específica do agregado graúdo em kg/dm<sup>3</sup>.

O valor de H pode ser relacionado com os termos do traço da seguinte maneira:

$$H = \frac{x}{1+a+p} \times 100 \text{ (%)}, \text{ mas, considerando } m = a + p, \text{ fica } H = \frac{x}{1+m} \times 100 \text{ (%)} \quad [2]$$

A **coesão**, definida pelo teor de argamassa seca (a) do concreto, depende principalmente do módulo de finura do agregado graúdo (Tabela 1). Esta característica pode ser relacionada com o traço através da expressão a seguir:

$$\alpha = \frac{1+a}{1+a+p} \times 100 \text{ (%)} \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{1+a}{1+m} \times 100 \text{ (%)} \quad [3]$$

Tabela 1: Teores de argamassa seca ( $\alpha$ ) do concreto.

Módulo de Finura do Agregado Miúdo	DMC do agregado graúdo (mm)							
	9,5	19	25	38	50	76	102	152
2,0 a 2,4	55	50	46	43	37	33	30	27
2,5 a 2,8	57	52	48	44	39	34	31	28
2,9 a 3,2	59	54	50	46	40	36	32	29

A **resistência à compressão**, para os mesmos materiais varia inversamente com a relação água-cimento (x), de acordo com a equação de Abrams:

$$f_{cj} = \frac{A}{B^x} \quad [4]$$

onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão à idade de j dias (MPa);  $x$  = relação água-cimento (l/kg); A e B = constantes que dependem dos materiais.

Com isto, as principais propriedades de interesse no concreto, a consistência, a coesão e a resistência à compressão, ficam relacionadas com o traço através das características H,  $\alpha$  e x, respectivamente. Dado o traço em massa como sendo 1: a: p: x,

Da equação 3, tem-se  $a = \frac{\alpha}{100} \times (1 + m) - 1$  [5]

e, da equação 2,  $m = \frac{100}{H} \cdot x - 1$  [6]

Substituindo 5 em 6 fica  $a = \frac{\alpha \cdot x}{H} - 1$  [7]

e de 2, tem-se que  $p = m - a$ , então, substituindo m e a pelas expressões 6 e 7 fica:

$$p = \frac{x}{H} \cdot (100 - \alpha) \quad [8]$$

Com isso, o traço de concreto (Campiteli, 1993) pode ser expresso em função de suas características H,  $\alpha$  e x, que por sua vez se referem às propriedades de interesse:

$$1 : \left( \frac{\alpha \cdot x}{H} - 1 \right) : \left[ \frac{x}{H} \cdot (100 - \alpha) \right] : x \quad [9]$$

Assim, com os valores de  $\alpha$ , H e x, tem-se o traço de concreto com as propriedades especificadas, seja pelo projeto estrutural ( $f_{cj}$ ), através de x, seja pelas exigências de execução (“slump” e coesão) através de H e de  $\alpha$ .

Os valores de x, de H e de  $\alpha$  são escolhidos de expressões como [1], tabelas ou dados obtidos de experiências anteriores;  $\alpha$  pode ser adotado de tabelas como a Tabela 1 ou determinado diretamente em laboratório e x pode ser obtido de equações de Abrams anteriores, de concretos feitos com os mesmos materiais ou semelhantes. Com isto tem-se um traço piloto a partir do qual se mistura o concreto em laboratório, onde é feito o ajuste de H,  $\alpha$  e x e finalmente faz-se as adaptações do traço às condições de obra, liberando-se então o traço definitivo para a execução.

## 1.2 Consumo de cimento

Sendo o traço de concreto em massa dado por 1: a: p: x, o consumo de cimento por metro cúbico de concreto pode ser expresso por:

$$C \cdot \left( \frac{100}{100 - ar} \right) = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x} \quad [10]$$

onde:

$$C = \text{consumo de cimento em kg/m}^3; \quad \gamma_a = \text{massa específica do agregado miúdo em kg/dm}^3;$$

$$ar = \text{ar aprisionado em \%}; \quad \gamma_p = \text{massa específica do agregado graúdo em kg/dm}^3;$$

$$\gamma_c = \text{massa específica do cimento em kg/dm}^3.$$

Substituindo na expressão 10 os valores de  $a$  e de  $p$  descritos pelas expressões 7 e 8 respectivamente, e adequando-a, tem-se:

$$C \cdot \left( \frac{100}{100 - ar} \right) = \frac{1000 \cdot \gamma_c \gamma_a \gamma_p}{\gamma_c \gamma_a \gamma_p + \gamma_c \gamma_p \cdot \left( \frac{\alpha x}{H} - 1 \right) + \gamma_c \gamma_a \cdot \left[ \frac{x}{H} \cdot (100 - \alpha) \right] + \gamma_c \gamma_a \gamma_p \cdot x} \quad [11]$$

Da expressão 11 conclui-se que:

- a) aumentando-se o valor de  $H$ , aumenta-se o consumo de cimento e vice-versa;
- b) aumentando-se o valor de  $x$ , diminui-se o consumo de cimento e vice-versa;
- c) sobre a variação de  $\alpha$  tem-se:

Isolando  $\alpha$  no denominador fica:

$$y = \left[ \frac{x}{H} \cdot (\gamma_p - \gamma_a) \cdot \gamma_c \right] \cdot \alpha + x \cdot \left[ \gamma_c \cdot \gamma_a \cdot \left( \frac{100}{H} + \gamma_p \right) \right] + \gamma_c \cdot \gamma_p \cdot (\gamma_a - 1) \quad [12]$$

Observa-se que se trata de uma reta ( $y = s \cdot \alpha + t$ ). Como  $x$ ,  $H$ ,  $\gamma_c$ ,  $\gamma_a$  e  $\gamma_p$  são positivos e  $\gamma_a > 1$ , o coeficiente linear da reta será sempre positivo. Assim, para a análise da influência de  $\alpha$  no consumo, basta que se analise o coeficiente angular da reta.

$$s = \left[ \frac{x}{H} \cdot (\gamma_p - \gamma_a) \cdot \gamma_c \right] \quad [13]$$

Da observação da expressão 13 conclui-se que para valores constantes de  $x$  e  $H$ , o coeficiente angular depende de  $\gamma_p$  e de  $\gamma_a$ :

- 1 – se  $\gamma_p > \gamma_a \Rightarrow s > 0$ , logo, a função será crescente, ou seja, com o aumento de  $\alpha$ , aumenta  $y$  e como consequência, reduz  $C$ ;
- 2 – se  $\gamma_p = \gamma_a \Rightarrow s = 0$ , logo, a função será constante, ou seja, para qualquer variação de  $\alpha$ , o valor de  $y$  não se altera e o valor de  $C$  permanece constante;
- 3 – Se  $\gamma_p < \gamma_a \Rightarrow s < 0$ , logo, a função será decrescente, ou seja, com o aumento de  $\alpha$ , diminui  $y$  e como consequência aumenta  $C$ .

A tabela 2 apresenta um resumo das influências das modificações de  $H$ ,  $\alpha$  e  $x$  no consumo de cimento.

Tabela 2: Quadro resumo das influências das variações de  $H$ ,  $x$  e  $\alpha$  nos consumos de cimento em concretos.

Mantendo constante	Aumentando	O Consumo de cimento
$\alpha$ e $H$	$H$	aumenta
$H$ e $\alpha$	$x$	diminui
$H$ e $x$	$\alpha$	$\gamma_p > \gamma_a$ diminui
		$\gamma_p = \gamma_a$ não altera
		$\gamma_p < \gamma_a$ aumenta

Da análise da Tabela 2 conclui-se que para um consumo mínimo de cimento é preciso que H seja mínimo, x seja máximo e  $\alpha$  depende de  $\gamma_p$  e de  $\gamma_a$ . Considere-se contudo, que a alteração de uma característica pode influir em outra. Assim, esta tabela não é absoluta, mas indicativa de uma tendência.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Para verificar a ordem de grandeza das indicações da Tabela 2, fez-se uma combinação das equações [1], [9] e [10], adotando-se valores usuais em tecnologia do concreto, para as diversas variáveis. A equação [1] foi obtida a partir de dados experimentais (Campiteli, 1994). Para as informações a seguir, em gráficos, adotou-se MEp como sendo a massa específica do agregado graúdo em  $\text{kg/m}^3$ , substituindo  $\gamma_p$  das equações; MEa é a massa específica do agregado miúdo em  $\text{kg/dm}^3$ , substituindo  $\gamma_a$ ; MEc é a massa específica do cimento em  $\text{kg/dm}^3$ , substituindo  $\gamma_c$ ; DMC é a Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo, em mm; o "slump" é o abatimento do tronco de cone, em mm; para a relação água-cimento utilizou-se x em l/kg.

Os dados apresentados nas tabelas e gráficos a seguir foram obtidos da seguinte maneira:

- variando a relação água-cimento (x) desde 0,400 l/kg até 0,700 l/kg;
- variando o teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) de 40 até 60%;
- variando a massa específica do agregado miúdo (MEa) de 2,55  $\text{kg/dm}^3$  até 2,75  $\text{kg/dm}^3$ ;
- variando a massa específica do agregado graúdo (MEp) de 2,40  $\text{kg/dm}^3$  até 3,00  $\text{kg/dm}^3$ ;
- variando a massa específica do cimento (MEc) de 3,00  $\text{kg/dm}^3$  até 3,15  $\text{kg/dm}^3$ ;
- variando o DMC do agregado graúdo de 9,5 mm até 38 mm;
- variando o "slump" de 0,0 mm até 150 mm (variando o valor de H na equação [1]).

Fez-se as determinações do consumo de cimento - C - em  $\text{kg/m}^3$  e suas relações com a razão MEp/MEa, sob a influência das diversas variáveis, na medida em que a análise da equação [11] acusou a importância desta relação, detalhada na Tabela 2.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 - Influência da relação MEp/MEa no consumo de cimento, com a variação de MEa:

Tabela 3: Valores de **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50mm, para diferentes valores de MEp/MEa, agregado graúdo com DMC = 25 mm, x=0,600 l/kg,  $\alpha$  = 52%, MEc = 3,10  $\text{kg/dm}^3$ , em relação a MEa.

MEp/MEa	Consumo ( $\text{kg/m}^3$ )		
	Para MEa ( $\text{kg/dm}^3$ )		
	2,55	2,65	2,75
0,87			338,6
0,91		335,2	
0,94	331,6		
0,96			325,3
1,00		321,7	
1,04	317,8		
1,09			308,3
1,13		304,4	
1,18	300,4		
Maior diferença	31,2	30,8	30,3
%	10,4	10,1	9,8
$\Delta C$ ( $\text{kg/m}^3$ )	-129,6	-139,5	-137,2
		Diferença 0,9 $\text{kg/m}^3$	3,0 %

$\Delta C$  = variação relativa do consumo em  $\text{kg/m}^3$ , para cada MEp/MEa = 1,00. Dado pelo coeficiente angular da reta (vista no gráfico).

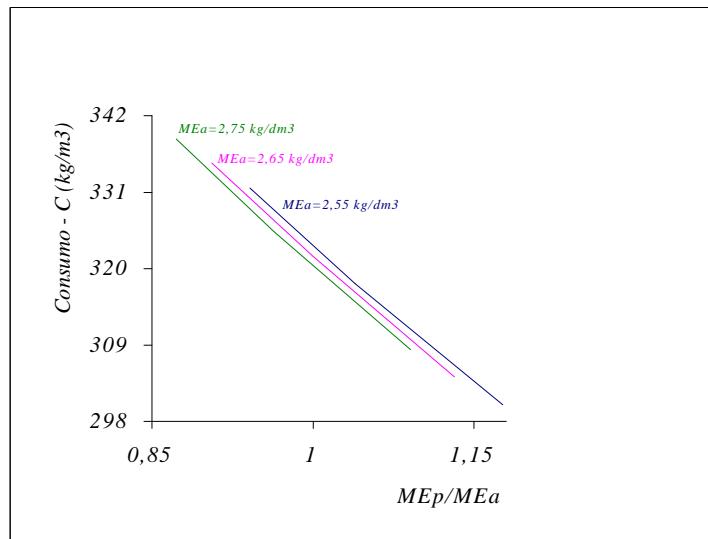


Figura 1: Variação do **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, com a relação MEp/MEA, para agregado graúdo de DMC = 25 mm,  $x = 0,600$ ,  $MEc=3,10 \text{ kg}/\text{dm}^3$  e  $\alpha=52\%$ , para **diferentes valores de MEa ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )**.

Constata-se que o consumo diminui com o aumento da relação MEp/MEA e que, para um mesmo valor de MEp/MEA, aumentando MEa, reduz o consumo de cimento. A variação do consumo com a relação MEp/MEA ( $\Delta C$ ) é expressiva, podendo chegar a  $-139,5 \text{ kg}/\text{m}^3$ , ou seja, para a variação de MEp/MEA considerada na Tabela, (de 0,91 a 1,13) a variação (redução) do consumo pode chegar a  $30,8 \text{ kg}/\text{m}^3$ , o que equivale a 10,4% em relação ao menor valor de consumo considerado (Tabela 1). Porém a influência da MEa, no consumo é pequeno, podendo, para efeitos práticos ser considerado desprezível.

### 3.2 - Influência da relação MEp/MEA no consumo de cimento, com a variação da relação água-cimento (x):

Tabela 5: Valores **de consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, para diferentes valores de MEp/MEA, agregado graúdo com DMC = 25 mm, para  $\alpha=52\%$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg}/\text{dm}^3$ ,  $MEa = 2,65 \text{ kg}/\text{dm}^3$ , em relação a x em (l/kg).

MEp/MEA	Consumo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) para x (l/kg)				Maior diferença	%
	0,4	0,5	0,6	0,7		
0,91	507,5	403,7	335,2	286,6	220,9	77,1
1,00	486,8	387,3	321,7	275	211,8	77,0
1,13	460,5	366,5	304,4	260,3	200,2	76,9
Maior diferença	47,0	37,2	30,8	26,3		
%	10,2	10,2	10,1	10,1		
$\Delta C (\text{kg}/\text{m}^3)$	-212,8	-168,4	-139,5	-119,1		

Neste caso, também é expressiva a variação (redução) do consumo ( $\Delta C$ ), podendo chegar a produzir reduções no consumo de até  $47,0 \text{ kg}/\text{m}^3$  (Tabela 5), porém a sua magnitude depende do valor da relação água-cimento (x), sendo maior a variação de  $\Delta C$ , para menores valores de x. A variação do consumo com a variação da relação água-cimento é bastante acentuada, confirmando o que se conhecia.

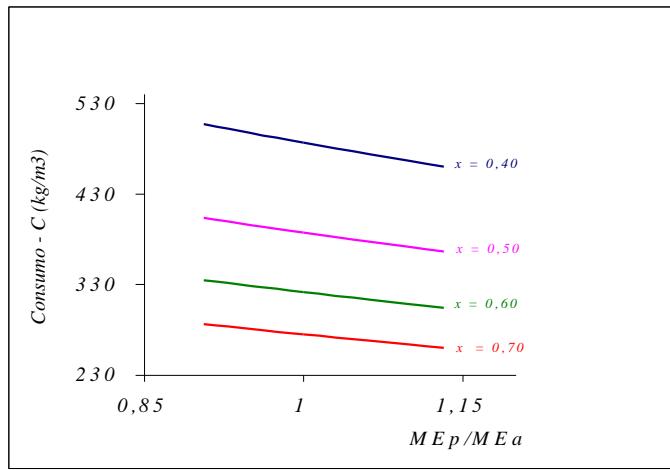


Figura 3: Variação do **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, com a relação MEp/MEA, para agregado graúdo de DMC = 25 mm,  $\alpha=52\%$ ,  $MEc=3,10 \text{ kg/dm}^3$  e  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$  para **diferentes relações água-cimento - x (l/kg)**.

### 3.3 - Influência da relação MEp/MEA no consumo de cimento, com a variação de MEc:

Tabela 4: Valores de **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, para diferentes valores de MEp/MEA, agregado graúdo com DMC = 25 mm,  $x=0,600 \text{ l/kg}$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$ , **em relação a MEc**.

MEp/MEA	Consumo ( $\text{kg/m}^3$ ) para $MEc (\text{kg/dm}^3)$			Maior diferença	%
	3,00	3,10	3,15		
0,91	334,0	335,2	335,8	1,8	5,4
1,00	320,5	321,7	322,2	1,7	5,3
1,13	303,4	304,4	304,9	1,5	4,9
Maior diferença	30,6	30,8	30,9		
%	10,1	10,1	10,1		
$\Delta C (\text{kg/m}^3)$	-139,6	-139,5	-139,9		

A variação do consumo ( $\Delta C$ ) é da mesma ordem de grandeza do caso anterior, sendo que a variação do consumo com a variação da  $MEc$  pode ser considerada desprezível.

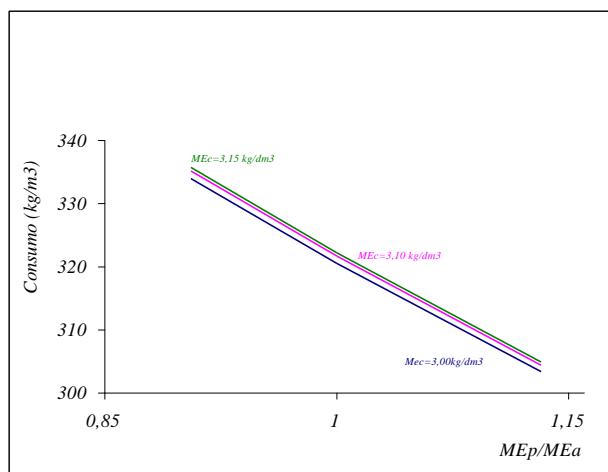


Figura 2: Variação do **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, com a relação MEp/MEA, para agregado graúdo de DMC = 25 mm,  $x = 0,600$ ,  $MEA=2,65 \text{ kg/dm}^3$  e  $\alpha=52\%$ , para **diferentes valores de MEc ( $\text{kg/dm}^3$ )**.

### 3.4 - Influência da relação MEp/MEA no consumo de cimento, com a variação da Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo - DMC (mm):

Tabela 6: Valores de **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, para diferentes valores de MEp/MEA, para  $x = 0,600 \text{ l/kg}$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg/dm}^3$ ,  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$ , **em relação ao DMC em mm.**

MEp/MEA	Consumo ( $\text{kg/m}^3$ ) Para DMC (mm)				Maior diferença	%
	9,5	19	25	38		
0,91	367,3	347,1	334	304,9	62,4	20,5
1,00	352,8	333,2	320,5	292,4	60,4	20,7
1,13	334,3	315,5	303,4	276,5	57,8	20,9
Maior diferença	33,0	31,6	30,6	28,4		
%	9,9	10,0	10,1	10,3		
$\Delta C (\text{kg/m}^3)$	-149,5	-143,1	-138,6	-128,6		

A influência de MEp/MEA na variação do consumo ocorre da mesma maneira que no caso da relação água-cimento, é expressiva a variação (redução) do consumo ( $\Delta C$ ), podendo chegar a produzir reduções no consumo de até 33,0  $\text{kg/m}^3$  (Tabela 6), porém a sua magnitude depende do valor da DMC, sendo maior a variação de  $\Delta C$ , para menores valores da DMC. A variação do consumo com a variação da DMC é bastante acentuada.

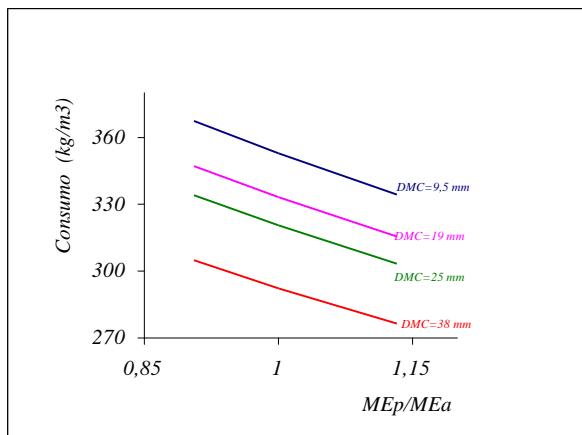


Figura 4: Variação **do consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, com a relação MEp/MEA, com  $x = 0,600$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg/dm}^3$  e  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$ , para diferentes valores de DMC (mm).

### 3.5 - Influência da relação MEp/MEA no consumo de cimento, com a variação do abatimento do tronco de cone - "slump" (mm):

Tabela 7: Valores de **consumo de cimento** em concretos de DMC = 25 mm, para diferentes valores de MEp/MEA, para  $x = 0,600 \text{ l/kg}$ ,  $\alpha = 52\%$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg/dm}^3$ ,  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$ , **em relação ao "slump" em mm.**

MEp/MEA	Consumo ( $\text{kg/m}^3$ ) para os "slump" (mm)				Maior diferença	%
	0	50	100	150		
0,91	316,7	335,2	353,3	371,0	54,3	17,1
1	303,7	321,7	339,2	356,3	52,6	17,3
1,13	287,2	304,4	321,2	337,6	50,4	17,5
Maior diferença	29,5	30,8	32,1	33,4		
%	10,3	10,1	10,0	9,9		
$\Delta C (\text{kg/m}^3)$	-133,6	-139,5	-145,4	-151,3		

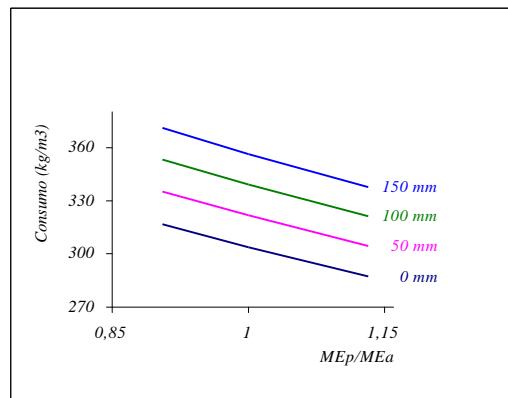


Figura 5: Variação do **consumo de cimento** em concretos com a relação MEp/MEA, para DMC = 25 mm,  $x = 0,600$ ,  $\alpha=52\%$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg/dm}^3$  e  $MEA=2,65\text{kg/dm}^3$ , **para diferentes valores de "slump" (mm).**

A variação (redução) do consumo ( $\Delta C$ ), repetindo a ocorrência dos casos anteriores, pode chegar a produzir reduções no consumo de até 33,4 kg/m<sup>3</sup> (Tabela 7), porém a sua magnitude depende do valor de "slump", sendo maior a variação de  $\Delta C$  para maiores valores de "slump". A variação do consumo com a variação do "slump" é bastante acentuada.

### 3.6 - Influência da relação MEp/MEA no consumo de cimento, com a variação do teor de argamassa seca - a (%):

Tabela 8: Valores de **consumo de cimento** em concretos de "slump" = 50 mm, DMC=25mm, para diferentes valores de MEp/MEA, para  $x = 0,600$  l/kg,  $\alpha=52\%$ ,  $MEc=3,10 \text{ kg/dm}^3$ ,  $MEA = 2,65 \text{ kg/dm}^3$ , **em relação ao teor de argamassa seca em %.**

Teor de argamassa seca (%)	Consumo (kg/m <sup>3</sup> ) para MEp/MEA			Maior diferença	%	$\Delta C$ (kg/m <sup>3</sup> )
	0,91	1,00	1,13			
40	332,0	321,7	308,2	23,8	7,7	-107,9
44	333,1	321,7	306,9	26,2	8,5	-118,7
48	334,1	321,7	305,7	28,4	9,3	-128,7
52	335,2	321,7	304,4	30,8	10,1	-139,5
58	336,9	321,7	302,5	34,4	11,4	-155,7
60	337,4	321,7	301,9	35,5	11,8	-160,7
Maior diferença	+ 5,4	0,0	- 6,3	11,7		
%	1,6	0,0	2,1			

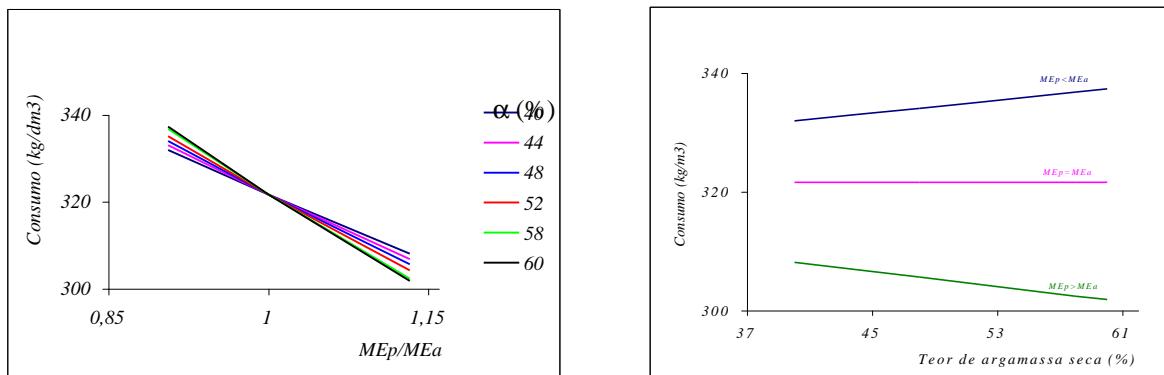


Figura 6: Variação do **consumo de cimento** em concretos com "slump" = 50 mm, com a relação MEp/MEA, para DMC = 25 mm,  $x = 0,600$ ,  $MEc = 3,10 \text{ kg/dm}^3$  e  $MEA=2,65\text{kg/dm}^3$ , para **diferentes teores de argamassa seca - a (%)**.

A variação do consumo ( $\Delta C$ ) se apresenta tão expressiva quanto nos casos anteriores, podendo produzir reduções de até  $35,5 \text{ kg/m}^3$  para  $\alpha = 60\%$  e quanto maior o valor de  $\alpha$ , maiores serão as reduções no consumo.

A variação do consumo de cimento com a variação do teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) para uma mesma relação MEp/MEa é pouco expressiva, como mostram os gráficos da Figura 6. O gráfico da Fig. 6 a, confirma o disposto na Tabela 2, ou seja, para  $MEp < MEa$ , aumenta o consumo, permanecendo constante para  $MEp=MEa$  e, para  $MEp > MEa$  o consumo diminui. Ocorre, porém que esta variação é pequena e pouco expressiva, podendo ser desconsiderada como estratégia para a redução do consumo de cimento em concretos. O aumento excessivo do  $\alpha$  pode acarretar excesso de finos no concreto, levando a retração hidráulica acentuada e prejudicial ao concreto.

Comparando-se as variações das propriedades:  $x$ , DMC e “slump”, constata-se variações no consumo de até  $77,1 \text{ kg/m}^3$ , de  $20,9 \text{ kg/m}^3$  e de  $17,5 \text{ kg/m}^3$  respectivamente, porém, em geral, não se promove variações de  $x$ , de DMC e de “slump” para se conseguir reduções de consumo pois há imposições limitantes como a resistência mecânica e a durabilidade para o  $x$ , espaçamento entre paredes de formas e distâncias entre barras das armaduras para a DMC e também as condições de mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto para o “slump”.

#### **4.CONCLUSÃO**

Para os estudos desenvolvidos neste trabalho, fez-se abstração da granulometria, da forma e rugosidade dos agregados. Os números indicados nas tabelas e os valores apresentados nos gráficos têm valor apenas indicativo e não absoluto, podendo contudo serem considerados como tendência geral e consistentes para os materiais usuais para a confecção dos concretos de peso normal.

Para concretos com condições de dosagem pré-fixadas como a relação água-cimento (função do  $f_{ck}$ ), do DMC do agregado graúdo, do tipo de areia, do “slump”, do teor de argamassa seca -  $\alpha$  (pré-definido para a dosagem) e do tipo de cimento, a utilização de agregados graúdos com maiores valores de massa específica se produzem concretos com menores consumos de cimento.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**CAMPITELI, V.C. Alterações controladas dos concretos durante o andamento da obra.** Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações – ANTAC, 1993, São Paulo.

**CAMPITELI, V.C. Controle de produção de concreto: práticas para alterações em serviço.** 36<sup>a</sup> REIBRAC – IBRACON, 1994, Porto Alegre.

**GIAMMUSSO, S.E.. Manual do Concreto.** São Paulo: Pini, 1992.

**TANGO, C.E.S.; HELENE, P.R.L.** A influência dos agregados no custo do  $\text{m}^3$  de concreto. In: SIMPÓSIO SOBRE AGREGADOS PARA CONCRETO. (1979: São Paulo). Anais. São Paulo: IBRACON, 1979.