

## OBTENÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO COM MATERIAIS DA REGIÃO DE PALMAS.

A. F. Araújo

Professor Doutor da Área de Construção Civil – ETF - Palmas  
Quadra AE 310 Sul Av. NS 10 Esq. Av. LO 5, Palmas - TO  
E-mail: freire@etfto.gov.br

O. D. A. Junior

Estudante do Curso Técnico em Edificações – ETF - Palmas  
Bolsista de iniciação científica na mesma organização  
Quadra AE 310 Sul Av. NS 10 Esq. Av. LO 5, Palmas - TO  
E-mail: othon\_diogo@yahoo.com.br

F. L. Martins e P. H. B. Costa

Estudantes do Curso Técnico em Edificações – ETF - Palmas  
Estagiários na mesma organização  
Quadra AE 310 Sul Av. NS 10 Esq. Av. LO 5, Palmas – TO  
E-mail: flavio\_linux@hotmail.com e pablo\_150@yahoo.com.br

### RESUMO

Existe uma tendência à utilização em escala cada vez maior dos concretos de alto desempenho na indústria da construção civil, justificável pelas inúmeras possibilidades de melhoria das características das estruturas de concreto, e do seu processo construtivo, propiciadas por tal material. Este fato colabora para o aumento da demanda por conhecimento sobre este material relativamente novo, com comportamento ainda não totalmente conhecido, visando, principalmente, manter os níveis adequados de segurança nos projetos estruturais executados com o mesmo. Na obtenção do concreto alguns parâmetros são essenciais, tais como: cura, adensamento, qualidade dos materiais empregados (como por exemplo, os agregados graúdo e miúdo), etc. Já, na obtenção do concreto de alto desempenho (CAD) tais parâmetros têm maior influência na sua produção. O tipo de agregado graúdo utilizado exerce grande influência no resultado final, especialmente quando a alta resistência mecânica é a característica mais desejada. Isso se deve ao fato de que nesses concretos, a ruptura ocorre na rocha e não na interface agregado / pasta, como no concreto comum. Isso faz com que a resistência máxima que o concreto pode atingir seja a resistência máxima do agregado. A seleção adequada dos materiais vem se destacando como um dos primeiros passos para se produzir um concreto de alto desempenho, visto que este não só influencia nas propriedades do concreto endurecido, mas também nas propriedades do concreto fresco. Este trabalho tem como objetivo investigar a influência dos materiais (agregado graúdo e miúdo) disponíveis na região de Palmas para obtenção do concreto de alto desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: concreto de alto desempenho (CAD); resistência do concreto, agregado graúdo, agregado miúdo.

## **1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS**

A utilização do concreto de alto desempenho tem crescido devido ao desenvolvimento dos processos construtivos e de novas tecnologias dos materiais, criando novos horizontes para a construção civil em todo o mundo. No caso específico das estruturas de concreto armado, permite um melhor aproveitamento de espaço pela execução de elementos estruturais mais esbeltos e com maior capacidade portante, além de estruturas que resistem melhor e por mais tempo a intempéries, devido à reduzida da porosidade e microfissuração. Com isto o conhecimento da análise estrutural se torna ainda mais importante para que se possam avaliar as condições de carregamento e deformações da estrutura, como também, o nível de agressividade do meio frente às patologias que juntas interferem na durabilidade da estrutura.

O concreto de alto desempenho apresenta inúmeras vantagens em relação ao concreto convencional. Um edifício em CAD pode ter pilares com menores dimensões, acarretando um aumento da área útil, gerando uma economia, decorrentes do alívio das cargas nas estruturas e automaticamente nas fundações, diminuição do tempo de serviço, economia na mão de obra e na quantidade de fôrmas.

A otimização do concreto como material de construção vem sendo estudada através da redução dos custos de produção, obtida com o estudo de métodos de dosagem de concretos, ou seja, definição de traços; através da fabricação de concretos diferentes do produto tradicional (por exemplo, pela fabricação de cimentos diversos através da adição de resíduos industriais, tais como: cinza volante, escória de alto forno, etc.); pela utilização de produtos que conferem melhoria de alguma propriedade do concreto (pela utilização de aditivos, como superplasticificantes, plastificantes, aceleradores, retardadores, etc.) ou pela adição de pozolanas fortes que atuam com o hidróxido de cálcio produzido nas reações de hidratação do cimento e atuam como microfiller (material inerte muito fino), aumentando as resistências do material.

Os métodos de dosagem tem por finalidade determinar uma combinação adequada e econômica dos constituintes do concreto, que possa ser usada para a primeira mistura experimental com vistas a produzir um concreto que possa estar próximo daquele que consiga um bom equilíbrio entre as várias propriedades desejadas, ao menor custo possível. Desta forma, será sempre difícil obter um método teórico de dosagem que seja adequado ao uso de todos os cimentos, agregados, aditivos etc. O método de dosagem a ser adotado aqui nessa pesquisa será o indicado por HELENE & TERZIAN (1993).

As variáveis que interferem na determinação das resistências são inúmeras: tamanho dos corpos de prova, idade do corpo de prova, tipo, forma, e dimensão máxima do agregado, granulometria, relação água/cimento, consistência, velocidade de ensaio, tipo de carregamento, temperatura, condições de cura e umidade do corpo de prova na data do ensaio Aitcin (2000), Neville (1997).

No caso de concretos de alto desempenho, o tipo de agregado graúdo utilizado exerce grande influência no resultado final, especialmente quando a alta resistência mecânica é a característica mais desejada. Isso se deve ao fato de que nesses concretos, a ruptura ocorre na rocha e não na interface agregado / pasta, como no concreto comum. Isso faz com que a resistência máxima que o concreto pode atingir seja a resistência máxima do agregado.

## **2. OBJETIVOS**

Esta pesquisa tem como objetivo investigar a influência dos materiais (agregado graúdo e miúdo) disponíveis na região de Palmas na obtenção do concreto de alto desempenho.

De forma mais específica, o objetivo deste trabalho é realizar ensaios com a finalidade de obter informações mais detalhadas sobre as resistências à compressão do concreto.

### **3. PROGRAMA EXPERIMENTAL - MATERIAIS E MÉTODOS**

A seguir são apresentados os procedimentos para a primeira fase de estudos do concreto confeccionado com agregado graúdo do tipo seixo rolado.

#### **3.1 Materiais Utilizados**

Os materiais adotados na elaboração dos concretos foram os seguintes:

##### **3.1.1 Cimento**

O cimento utilizado na pesquisa foi o “tocantins” tipo CP II Z-32 que é o mais usado na região de Palmas, o mesmo é fornecido a granel, atendendo às prescrições das normas NBR 5732/91 e NBR 11578/91.

##### **3.1.2 Água**

A Água potável utilizada na produção dos concretos foi a fornecida pela rede de abastecimento público da cidade de Palmas.

##### **3.1.3 Agregados graúdos**

O agregado graúdo utilizado foi brita "0" do tipo seixo rolado, facilmente encontrada nas proximidades da cidade de Palmas, com módulo de finura segundo a NBR 7217/2003 igual a 4,63. O diâmetro máximo do seixo rolado foi de 9,5 mm. A massa unitária igual à  $1,4 \text{ g/cm}^3$  e específica real igual a  $2,60 \text{ g/cm}^3$ .

##### **3.1.4 Agregados miúdos**

O agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa. O agregado apresentou módulo de finura igual a 2,81, dentro do recomendável levando-se em consideração a elevada dosagem de finos provenientes do cimento. O diâmetro máximo da areia foi de 4,8 mm. A massa unitária igual à  $1,45 \text{ g/cm}^3$  e específica real igual a  $2,65 \text{ g/cm}^3$ .

### **3.2 Produção do Concreto**

##### **3.2.1 Mistura**

O procedimento adotado para a mistura dos materiais foi o de introduzir na betoneira estacionária primeiramente os agregados graúdo e miúdo, em seguida, parte da água de amassamento, por fim, o cimento e o restante da água. A figura 01 mostra a mistura referente à primeira parte dos materiais.



**Figura 01 – Mistura dos materiais.**

### **3.2.2 Abatimento**

O índice de consistência do concreto foi determinado através do ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) de acordo com o método de ensaio NBR NM-67/98. As figuras abaixo mostram o detalhe do ensaio de abatimento do tronco de cone.



**Figura 02 – Slump Test.**

### **3.2.3 Moldagem dos corpos-de-prova**

Os corpos de provas (CP's) foram moldados conforme a norma NBR-5738/94. A figura 03 mostra o detalhe da moldagem dos corpos de provas.



**Figura 03 – Moldagem dos corpos de prova.**

### **3.2.4 Cura**

Decorridas 24 horas após a moldagem dos CP's, estes foram para a câmara úmida até o momento do transporte para regularização da superfície das extremidades. Geralmente isso ocorreu 24 horas antes da realização do ensaio de resistência à compressão. A figura 04 mostra o detalhe da câmara úmida para o processo de cura do concreto.



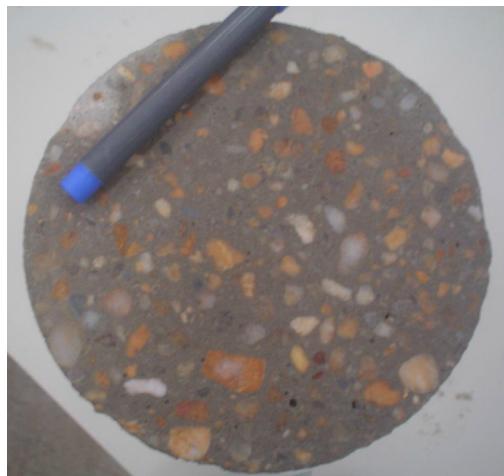
**Figura 04 – Detalhe da câmera úmida.**

### **3.3 Regularização da superfície**

Os CP's de 100 x 200mm, utilizados para resistência à compressão tiveram suas extremidades regularizadas por meio de uma máquina de corte, conforme mostrada na figura 05. A figura 06 mostra o detalhe da superfície de regularização de um corpo de prova.



**Figura 05 – Regularização da superfície dos corpos de prova.**



**Figura 06 – Superfície dos corpos de prova após a regularização.**

### **3.4 Resistência à compressão**

Os ensaios foram realizados em uma prensa hidráulica de acionamento elétrico para ensaio de concreto, modelo PC200C-EMIC, capacidade máxima de 2000 kN. A leitura, processamento e controle de dados foi feita por meio de computador. Os procedimentos de ensaio foram baseados na NBR-5739/94: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, sendo a carga máxima o parâmetro utilizado para o controle da qualidade do concreto. A avaliação das propriedades mecânicas dos concretos foi realizada através da verificação da resistência à compressão axial. A cada traço correspondeu um exemplar composto de 09 (nove) corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, os quais foram ensaiados em cada idade, 03 (três), quanto a resistência à compressão axial aos 7, 14 e aos 28 dias de idade. A figura 07 mostra a prensa hidráulica para realização do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto.



**Figura 07 – Ensaio de resistência à compressão de um corpo de prova de concreto.**

### **3.5 Método de Dosagem**

Para a dosagem experimental foi seguido o procedimento indicado por HELENE & TERZIAN (1993), o qual leva ao diagrama de dosagem do concreto confeccionado com os materiais acima especificados. Este método de dosagem parte de uma mistura experimental no traço 1:5 (cimento: agregados secos) que serve como base para confeccionar outras duas misturas definidas como traço 1: 3,5 (traço chamado de rico) e 1 : 6,5 (traço chamado de pobre). Iniciou-se o teste com um teor de argamassa de 40 % e foram acrescentados cimento e areia para aumentar o teor até quando foi encontrado a quantidade de argamassa ideal para a mistura, como também a quantidade ideal de água para o slump test, onde foi adotado para tal abatimento de  $60 \pm 10$  mm. O teor ideal de argamassa é determinado através de observações práticas. Para cada acréscimo de areia, cimento e, se necessário, água, deve-se fazer a conferência do abatimento (slump test) e consistência da mistura. A figura 08 mostra o detalhe do concreto com o teor de argamassa ideal que ficou em torno de 50%.



**Figura 08 – Teor de argamassa ideal**

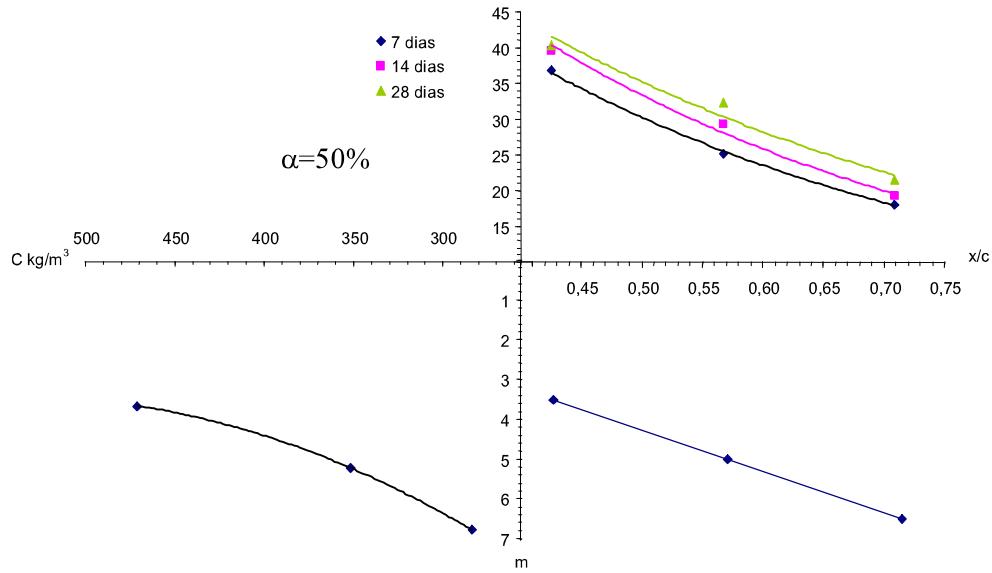
#### **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para cada traço e idade foram moldados três corpos-de-prova. Os resultados apresentados tratam-se da média aritmética destes valores e para fins de análise, não foi utilizado nenhum critério de exclusão de valor. Abaixo estão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos concretos produzidos durante a pesquisa. A tabela I apresenta os valores médios das resistências à compressão dos concretos com 07, 14 e 28 dias de idade.

**Tabela I - Resistência média à compressão do concreto (MPa).**

Traço	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	x/c	Idade		
			7	14	28
Rico (1:3,5)	471,0	0,42	36,8	39,6	40,3
Normal (1:5,0)	351,7	0,55	25,1	29,2	32,3
Pobre (1:6,5)	283,8	0,71	18,1	19,2	21,5

Analizando os resultados percebe-se que todos os concretos apresentaram evolução de resistência à compressão ao longo do tempo, mas esta evolução não foi constante para todos os traços. A seguir são apresentados os gráficos que correlacionam a resistência (MPa), fator água/cimento (x/c), traço em massa seca e consumo de cimento por metro cúbico (figura 09). A construção destas correlações dá origem ao chamado Diagrama de Dosagem, que é válido somente para os mesmos materiais utilizados e mesmo teor de argamassa, no caso de 50%.



**Figura 09 – Diagrama de Dosagem.**

Para a mesma relação água/cimento (x/c), a resistência à compressão sofreu diferenças relativas com o aumento da idade de realização dos ensaios. A maior variação ocorre para a relação água/cimento de 0,57 com valor em torno de 30% (entre as resistências aos 7 e 28 dias).

Observa-se, no entanto, que as resistências à compressão aos 14 e 28 dias, para a mesma relação x/c de 0,43, manteve-se praticamente igual, com variação que não superou os 2%. Isto pode significar que o fenômeno de aderência da pasta à superfície do agregado gráudo passa a interferir significativamente e a resistência à compressão do concreto com seixo rolado passa a ser afetada.

Outro fator de grande relevância deve ser atribuído à moldagem e preparo dos corpos de prova. Providências devem ser tomadas no preparo dos topes, a fim de que seja garantido que as faces dos mesmos sejam rigorosamente planas e paralelas. A falta desta uniformidade influencia, de modo expressivo, na resistência obtida pelos corpos de prova. Estas exigências devem ser maiores para o concreto com alta resistência.

Estes gráficos servem como referência para futuros estudos onde se adotarem os mesmos parâmetros de proporção entre agregados e os mesmo materiais (cimento e agregados). Vale salientar que o sucesso do emprego de concreto de alto desempenho com alta resistência depende principalmente do controle de qualidade, que deve ser intensivo e diferenciado daquele efetuado em estruturas de concreto de resistência até 40 MPa.

## 5. CONCLUSÕES

A seguir serão apresentadas algumas conclusões deste trabalho:

- Dos ensaios realizados observa-se uma boa distribuição dos valores obtidos em torno da média, apesar de algumas imperfeições observadas nas superfícies dos corpos de provas com a regularização das extremidades das mesmas.
- Pelos resultados obtidos pode-se verificar que é possível obter traços de concreto cuja resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) seja da ordem de 40,0 MPa aos 28 dias com os materiais cimento e agregados usualmente empregados na região de Palmas (no caso particular o seixo rolado).
- Infelizmente, apesar de ser mais abundantes na região de Palmas, o seixo rolado possui superfície lisa, devido à ação polidora dos siltes quando transportados nos fundos dos rios, resultando numa aderência pasta/agregado que pode impossibilitar a sua utilização para a obtenção de concreto com resistências acima de 40 MPa. Uma alternativa será o uso do seixo rolado na forma de seixo britado. A representatividade deve ser firmada através da execução de novas pesquisas que apresentem resultados que possam complementar e confirmar os obtidos neste estudo, uma vez que o tempo foi limitante para este trabalho.
- Vale registrar que novos estudos estão sendo realizados com o objetivo de avaliar outros materiais como seixo britado e brita e aditivos disponíveis na região de Palmas. Outras características do concreto tal como módulo de elasticidade, bem como do emprego de outros tipos de cimento (como o CP V – ARI.) e da avaliação do custo x benefício para aplicação em prédios residências e comerciais serão estudadas futuramente.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho.** Tradução de Geraldo G. Serra. São Paulo, PINI, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos de concreto.** Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7251: Agregados em estado solto - Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732 - Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578 - Cimento Portland composto .** Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Pini, 1993.
- MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.
- NEVILLE, M. Adam. **Propriedades do concreto.** Sao Paulo, PINI, 1997.