

Concretos de consistência seca – conceitos, aplicações e cuidados executivos

PAULO FERNANDO A. SILVA – DOUTOR, DIRETOR EXECUTIVO (paulo.fernando@concremat.com.br) – CONCREMAT ENGENHARIA - CCCC

RESUMO

OS CONCRETOS DE CONSISTÊNCIA SECA SÃO CONCRETOS CUJO ABATIMENTO (“SLUMP”) É MENOR OU IGUAL A 6 MM. ESSES CONCRETOS SÃO COMPOSTOS POR CIMENTO, AGREGADO MIÚDO, BRITA E ÁGUA, E, ÀS VEZES, ADITIVO (POLIFUNCIONAL OU RETARDADOR DE PEGA). COMO EXEMPLO DESTES TIPOS DE CONCRETO TEM-SE O CCR (CONCRETO COMPACTADO COM ROLO) E A BGTC (BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO). ESTES TIPOS DE CONCRETO TÊM SIDO UTILIZADOS EM PAVIMENTOS (RÍGIDOS, FLEXÍVEL E INVERTIDO) E EM BARRAGENS. ESTE TRABALHO TEM POR OBJETIVO APRESENTAR OS PRINCIPAIS CONCEITOS A SEREM OBSERVADOS QUANDO DO ESTUDO DE CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA, SUAS APLICAÇÕES E CUIDADOS EXECUTIVOS.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA, COMPACTAÇÃO, RESISTÊNCIA MECÂNICA.

1. INTRODUÇÃO

Os concretos de consistência seca são concretos cujo abatimento (“Slump”) é menor ou igual a 6mm [1]. Esses concretos são compostos por cimento Portland, agregado miúdo, brita e água, e, às vezes, aditivo (polifuncional ou retardador de pega). Como exemplo deste tipo de concreto tem-se o CCR (Concreto Compactado com Rolo) e a BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) (Figura 1).

Segundo a Especificação de Serviço do DNIT - ES 056/2013 [2], o Concreto Compactado com Rolo, CCR, é um concreto simples com baixo consumo de cimento e consistência seca, permitindo a compactação com rolos compactadores ou equipamento similar. A ES 056/2013 li-

mita o consumo de cimento entre 80 kg/m³ e 120 kg/m³, e cita que o CCR é utilizado para sub-base de pavimento rígido. Esta norma do DNIT exige um f_{ck} mínimo de 5,0 MPa aos 7 dias de idade.

A definição mais geral é que o CCR consiste em uma mistura de cimento, agregados bem graduados (curva granulométrica contínua), água, e, às vezes, aditivo. No Brasil, o consumo de cimento varia de 85 kg/m³ (barragem e camada de pavimento) a 200 kg/m³, e no exterior até 360 kg/m³, em função do tipo de aplicação. Há também o CCR de alto desempenho, desenvolvido na metade da década de 90, para áreas de alto impacto e cargas abrasivas [1]. Para este caso, se utiliza sílica ativa em sua composição.

O Concreto de Consistência Seca (CCR e BGTC) é transportado utilizando-se caminhões basculantes cobertos, para evitar a perda da umidade, espalhado com vibro acabadora (exceto para CCR empregado em barragem), e compactado com rolo liso vibratório, sendo seu acabamento realizado com rolo de pneu.

No passado, o CCR era conhecido como Concreto “Pobre Rolado”, em referência ao seu baixo consumo de cimen-



FIGURA 1
ESPALHAMENTO, COMPACTAÇÃO E ACABAMENTO DE CONCRETO DE CONSISTÊNCIA SECA

to. A seguir, é apresentado um exemplo de composição de CCR para Barragem:

- ▶ Areia artificial = 1075 kg/m³;
- ▶ Brita 12,5 mm = 145 kg/m³;
- ▶ Brita 25 mm = 214 kg/m³;
- ▶ Brita 50 mm = 700 kg/m³;
- ▶ Cimento = 119 kg/m³;
- ▶ Água = 139 kg/m³;
- ▶ Aditivo polifuncional = 1,76 kg/m³;
- ▶ Relação água/cimento = 1,16 l/kg.

Segundo a ET-DE-P00/009, do DER do Estado de São Paulo [3], a Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) é o produto resultante da mistura, em usina, de pedra britada, cimento Portland, água, e, eventualmente, aditivos, em proporções determinadas experimentalmente. Após a mistura, espalhamento, compactação e cura, este concreto adquire propriedades físicas específicas, para atuar como camada de base ou sub-base de pavimento.



FIGURA 2
VISTA DA USINA DE “SOLOS”

Os agregados são bem graduados e sua faixa granulométrica é contínua. Como referência, o teor de cimento utilizado em uma BGTC está compreendido entre 2,5% e 4,0%. Cumpre salientar que um baixo teor de cimento (inferior a 3,5%) tende a gerar uma mistura mais heterogênea e com baixa resistência mecânica. O teor de cimento, em massa, consiste na relação entre a massa de cimento e a massa de agregados. A seguir, é apresentado um exemplo de composição de uma BGTC (com percentuais em massa):

- ▶ Pó-de-pedra = 30%;
- ▶ Brita 12,5 mm = 19%;
- ▶ Brita 19 mm = 28%;
- ▶ Brita 25 mm = 20%;
- ▶ Cimento = 3%.

A mistura do CCR ou da BGTC pode ser feita em usina de “solos” (onde se utiliza misturador do tipo “pugmill”) (Figuras 2 e 3) ou em usina com misturador de eixo vertical (mais utilizada para fabricação de CCR). Apesar de, até o início dos anos 90, a mistura do CCR, para camada de pavimento, ter sido feita em caminhão betoneira, não se recomenda tal procedimento, pois não se obtém uma boa homogeneização do concreto.

Os concretos de consistência seca têm que ser trabalháveis, a fim de ser lançado e compactado. Devido à consistência do CCR e da BGTC ser seca, o tempo de mistura deverá ser maior do que para concreto plástico convencio-

nal, e deve-se usar de 60% a 70% da capacidade nominal do misturador.

Em face do tema em questão, que remonta concretos especiais de grande importância e aplicabilidade, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os principais conceitos a serem observados quando do estudo do Concreto de Consistência Seca,

suas aplicações, dosagem e cuidados executivos.

2. PROJETO DE DOSAGEM RACIONAL

As principais aplicações dos concretos de consistência seca são:

- ▶ Camada de base para pavimento semi-rígido: BGTC;
- ▶ Camada de sub-base para pavimento invertido: BGTC;
- ▶ Camada de sub-base para pavimento rígido: CCR;
- ▶ Camada de Revestimento (utilizada no exterior): CCR;
- ▶ Barragem de concreto com emprego de CCR.

As principais diferenças entre o CCR para aplicação em barragem ou em camada de pavimento se dão na dimensão máxima característica do agregado, no equipamento de moldagem dos corpos de prova (cp), na espessura aplicada (em camada de pavimento, a espessura é menor do que em barragem), e na forma de espalhamento.

Em barragem, emprega-se agregado de dimensão

máxima característica ($D_{máx}$) maior do que para camada de pavimento, como, por exemplo, $D_{máx}$ igual a 50 mm.

A norma DNIT 056/2013-ES cita que a dimensão máxima característica do agregado no concreto não deve exceder a 1/3 da espessura da sub-base ou 32 mm, obedecido o menor valor. Contudo, na prática, tanto para CCR quanto para BGTC, é recomendável não se utilizar agregado com $D_{máx}$ superior a 19 mm, a fim de reduzir a segregação e melhorar o empacotamento do concreto (das partículas). A faixa granulométrica é definida com base na equação desenvolvida por vários pesquisadores (Fuller, Talbot e outros), para misturas bem graduadas e densas:

$$[1] \quad p = 100 * (d / D_{máx})^n$$

Onde:

p = porcentagem que passa na peneira de abertura d;

d = abertura da peneira, em mm;

$D_{máx}$ = dimensão máxima característica do agregado no concreto, em mm;

n = Coeficiente de Talbot.

O Coeficiente de Talbot, n, adotado pela norma DNIT 056/2013-ES é igual a 0,33, que é o mesmo adotado em CCR para barragem. Quanto menor for o valor de n tanto mais fina será a mistura. Há outras especificações que adotam valores de n diferentes de 0,33, e que podem gerar misturas com maior resistência mecânica.

A moldagem dos corpos de prova, para CCR (para pavimento) ou BGTC,



FIGURA 3
VISTA DO MISTURADOR E CARREGAMENTO DO CONCRETO



FIGURA 4
MOLDAGEM DE CP COM SOQUETE DE PROCTOR

é feita com emprego do soquete de Proctor (Figura 4), e deve ser utilizada a Energia de Compactação Modificada, apesar das normas brasileiras estabelecerem a Energia Normal (CCR para pavimento) ou Intermediária (BGTC) [4]. Por imprimir maior esforço na compactação, o emprego da energia modificada aumenta a massa específica aparente seca máxima e, por conseguinte, aumenta as resistências à compressão axial, à tração e à fadiga, e por último, mas não menos importante, reduz o consumo de cimento. Um exemplo real disto ocorreu em uma importante obra viária no Estado de São Paulo, onde se em-

maior for a energia, tanto maior será o esforço de compactação. A energia de compactação é dada em $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$. A Energia Normal (ensaio normal de Proctor) é de, aproximadamente, $6 \text{ kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$, enquanto a Energia Modificada (ensaio modificado de Proctor) é de, aproximadamente, $25 \text{ kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$. Proctor era um engenheiro norte-americano, que, em 1933, propôs o ensaio original para determinar a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima. No caso de CCR para



FIGURA 5
MOLDAGEM DE CP EM MESA VIBRATÓRIA

pregou a Energia Modificada no lugar da Energia Normal, pois, no primeiro caso, o consumo de cimento foi igual a $95 \text{ kg}/\text{m}^3$ e, no segundo caso, o consumo de cimento foi igual a $165 \text{ kg}/\text{m}^3$ (este consumo superava o limite máximo estabelecido na Especificação, que era de $120 \text{ kg}/\text{m}^3$). Quanto

barragem, a moldagem é feita em mesa vibratória com frequência de 3500 rpm (Figura 5).

O controle da consistência do concreto é feito pelo ensaio de “Cannon Time” (Figura 6), com o emprego do equipamento Vebê. Por meio do ensaio “Cannon Time”, determina-se o tempo, em segundos, que uma fina camada de argamassa do concreto em análise leva para envolver toda a lateral da amostra e apareça (aflore) na superfície do concreto.

3. CUIDADOS EXECUTIVOS E CONTROLE DA QUALIDADE

A mistura do CCR ou da BGTC pode ser feita em usina de “solos” (onde se utiliza misturador do tipo “pugmill”) (Figura 2 e 3) ou em usina com misturador de eixo vertical (mais utilizada para fabricação de CCR). Deve-se evitar utilizar mistura muito seca, o que aumenta o risco de segregação, dificulta a compactação e pode gerar trincas na superfície do concreto [5]. Não é permitido produzir o CCR ou a BGTC e estocá-los, pois a partir do instante do contato da água

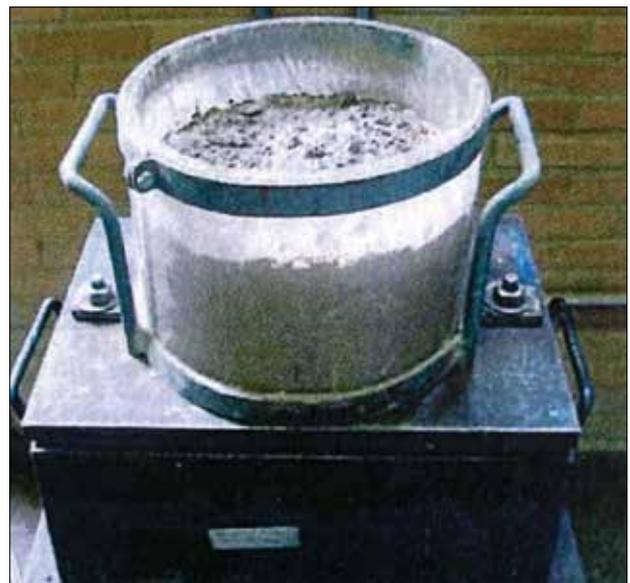


FIGURA 6
ENSAIO DE CONSISTÊNCIA DO CONCRETO
(ENSAIO DE *CANNON TIME*)

com o cimento, inicia-se o processo de hidratação do cimento e se o concreto não for aplicado dentro do prazo estabelecido, com base nos ensaios de laboratório, haverá uma redução da resistência mecânica, pela quebra das ligações iônicas, que são fortes. Isto é decorrente do manuseio do concreto após a hidratação do cimento, especificamente depois do tempo de início de pega, em que ocorre enrijecimento ou solidificação da pasta, o que provoca quebra de ligações e desagregação dessa consolidação inicial.

Os concretos de consistência seca deverão ser transportados por caminhão basculante, e o tempo máximo admissível desde a adição de água à mistura até o término da compactação deverá ser inferior ao tempo de início de pega do cimento (ET-DE-P00/009, do DER-SP). Já, a norma DNIT 056/2013-ES define como tempo máximo admissível desde a adição de água à mistura e o término da compactação em duas (2) horas. O tempo de transporte deverá ser o menor possível, e no máximo igual a 45 minutos [6].

O lançamento do concreto deverá ser feito de tal forma que não se formem pilhas cônicas e que haja a sobreposição de uma pequena camada sobre uma já basculada, a fim de se evitar a segregação.

O espalhamento do Concreto de Consistência Seca para pavimento (BGTC e CCR) deve ser feito obrigatoriamente com o uso de vibro acabadora, para evitar a segregação. Já, no caso de CCR para barragem, utilizam-se tratores esteira. Misturas com menores consumo de cimento ou que utilizem faixas gra-

nulométricas mais grossas (maior valor do Coeficiente de Talbot, n) tendem a ser mais susceptíveis à segregação, logo, maiores deverão ser os cuidados na mistura, transporte e espalhamento.

Para a compactação do CCR ou da BGTC, são empregados rolos lisos vibratórios e, especificamente para camada de pavimento, rolos de pneus (para dar acabamento). A compactação deverá ser contínua até que se atinja um Grau de Compactação de 100%. Se durante a execução do concreto, a temperatura ambiente for superior a 25°C, deverá ser aplicado o "Fog Spray", pelo tempo necessário para manter a umidade relativa acima de 85%, se possível, e desta forma minimizar o risco de fissuração.

Imediatamente após a compactação, deverá ser iniciada a cura do concreto. Os processos de cura normalmente empregados são:

- ▶ Aplicação de uma camada de Emulsão RR-2C, para concreto seco utilizado em camada de pavimento;
- ▶ Aplicação de produto de cura químico, para concreto seco utilizado em pavimento rígido;
- ▶ "Fog-Spray".

Deverá ser feito o Controle Tecnológico dos materiais e do concreto propriamente dito, além de um controle de qualidade mais amplo, com foco, principalmente, nos seguintes pontos:

- ▶ Granulometria da mistura (concreto);
- ▶ Resistência à compressão axial do cimento;
- ▶ Área específica "Blaine" do cimento;
- ▶ Teor de SO_3 do cimento;

- ▶ Consistência do concreto ("Cannon Time");
- ▶ Umidade do concreto;
- ▶ Tempo de transporte;
- ▶ Presença de material segregado no caminhão basculante ou no local de aplicação;
- ▶ Moldagem de corpo de prova, para determinação da resistência mecânica;
- ▶ Espessura da camada;
- ▶ Determinação do Grau de Compactação; e
- ▶ Início da cura.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Concretos de Consistência Seca são concretos cujo abatimento ("Slump") é menor ou igual a 6 mm [1]. Esses concretos são compostos por cimento Portland, agregado miúdo, brita e água, e, às vezes, aditivo (polifuncional ou retardador de pega). Como exemplo deste tipo de concreto tem-se o CCR (Concreto Compactado com Rolo) e a BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento). O CCR é utilizado tanto em camadas de pavimento quanto em construção de barragem. A BGTC é utilizada em camadas de pavimento. A principal diferença entre o CCR e a BGTC está no consumo de cimento e nas resistências mecânicas especificadas. No passado, afirmava-se que as curvas granulométricas da BGTC eram mais restritivas do que as do CCR.

O CCR e a BGTC, se bem executados, permitem a redução de custo da obra, reduzem o tempo de execução e aumentam a Vida de Serviço do pavimento. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Portland Cement Association. Design and Control of Concrete Mixture. Décima Quinta edição. Illinois, USA 2011, 460 p.
- [2] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT - NORMA DNIT 056/2013-ES - Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2013.
- [3] DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER-SP - ET-DE-P00/009- Sub-base ou Base de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC. São Paulo, 2005.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT - ABNT NBR 12262- Sub-base ou Base de Brita Graduada Tratada com Cimento. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] Portland Cement Association. Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements. Illinois, USA 2010, 114 p.
- [6] Silva, P. F. A. Manual de Concreto Projetado. São Paulo: Editora Arte Ensaio, 2022, 176 p.