

Detalhes de execução de estruturas de concreto com fôrmas trepantes

Veja os cuidados e procedimentos para dimensionar sistemas destinados a estruturas de concreto verticais de grande altura

Redação: Gisele Cichinelli
Edição 207 - Junho/2014

Largamente utilizado na Europa e na América do Norte, o sistema de fôrmas trepantes foi concebido para permitir a execução de estruturas de concreto verticais de grande altura, em locais onde a concretagem em apenas uma etapa é inviável e a instalação de andaimes, onerosa demais. Basicamente, a técnica consiste no avanço vertical gradual da fôrma, com etapas de concretagem in loco predefinidas. O sistema de fôrma é apoiado em plataformas, compostas por mísulas metálicas, que são fixadas em ancoragens embutidas na camada inferior já executada, permitindo a execução da estrutura por meio de ciclos verticais repetidos e proporcionando uma rápida movimentação das fôrmas entre etapas. Devido a essas características, é particularmente indicada em obras de barragens, de mastros de pontes e viadutos, caixas de escada ou elevadores, pilares e paredes maciças de concreto muito elevadas e obras especiais de geometria arrojada. Com as fôrmas trepantes também é possível executar estruturas com faces inclinadas, com faces positivas e negativas (figuras 1 e 2).

Figura 1 - Sistema trepante, usado em obras de barragens, de mastros de pontes e viadutos, permite avanço vertical e gradual das fôrmas

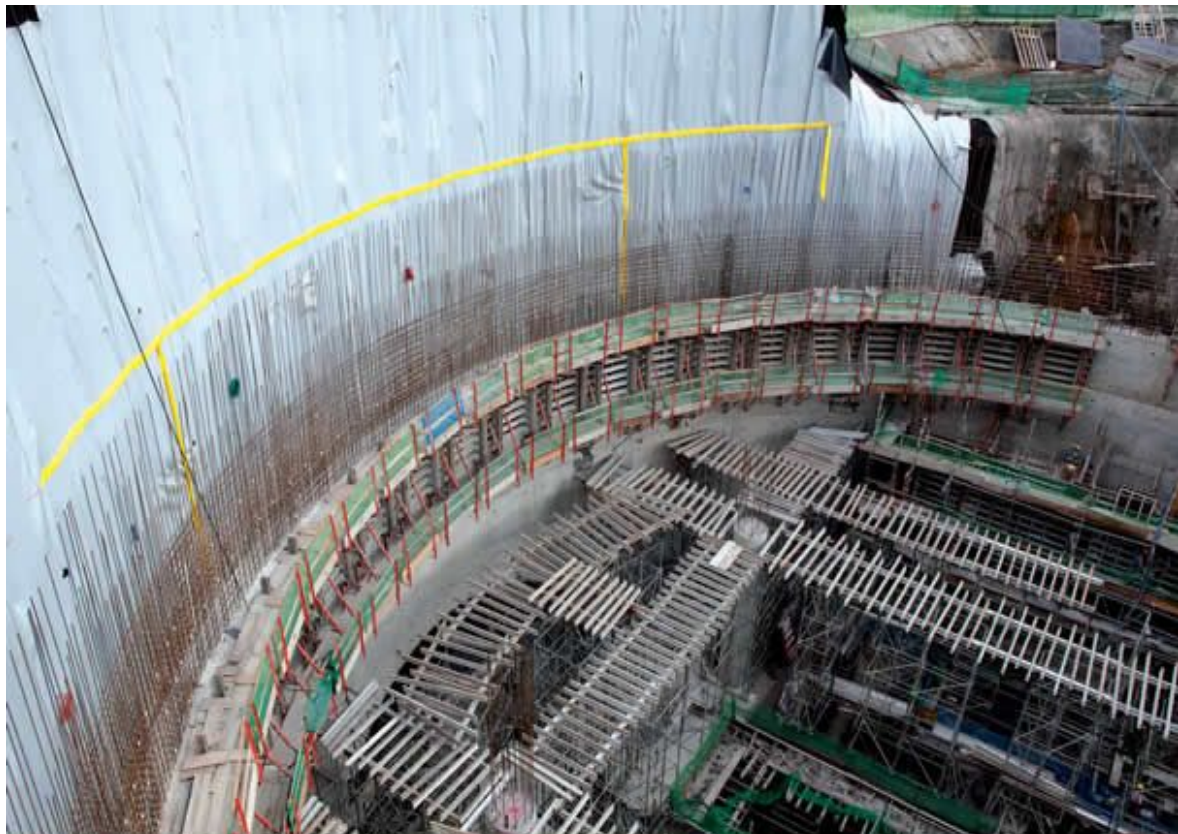




Figura 2 - Tecnologia atende estruturas de concreto verticais de grande altura, em locais onde a concretagem em apenas uma etapa é inviável e a instalação de andaimes, onerosa demais

Cuidados especiais

As dimensões dos painéis para um conjunto trepante dependerá do tipo de obra e de estrutura a ser executada. De modo geral, o sistema que permitir a instalação da maior área de painel possível num conjunto trepante, atendendo às características e aos limites de segurança dos equipamentos, é o que apresenta a melhor relação entre custo e benefício. Em situações em que as fôrmas são atirantadas, é possível obter ganhos satisfatórios com o uso de grandes áreas de painéis. Já para o uso em situações autoportantes (sem tirantes), muito comuns em barragens, os painéis devem ser dimensionados em função da resistência do conjunto das mísulas e das ancoragens, mas variam entre 5 m² e 6,5 m².

Dentre os fatores críticos para o sucesso do sistema trepante estão a análise e planejamento dos ciclos verticais e horizontais de todas as etapas da obra. O estudo deve prever o máximo de reaproveitamento dos painéis durante o avanço da fôrma, minimizando a troca e a reforma deles. O prumo deve ser controlado rigorosamente, bem como a estanqueidade dos painéis e a topografia, garantindo dessa forma a perfeita geometria estrutural dos pilares, paredes e mastros.

O projeto deve prever ainda acessos dos operários aos níveis de trabalho do sistema (tais como escadas, elevadores cremalheira) e plataformas adequadas, que permitem livre acesso e movimentação dos trabalhadores. Também deve especificar guarda-corpos e rodapés, um andaime superior de concretagem, um nível de trabalho intermediário para regulagem e ajuste da fôrma e outro inferior para retirada dos cones e acabamento da camada concretada.

Vale lembrar que o sistema deve oferecer o máximo de ajustes possíveis, tais como regulagem de prumo e movimentação dos painéis, ajuste de inclinação das mísulas e possibilidade de aperto da fôrma contra a camada já concretada (visando a garantir a sua estanqueidade). Por último, é fundamental garantir o correto dimensionamento do sistema e das ancoragens para suportar todas as cargas atuantes. Conforme a necessidade de cada obra, a pressão do concreto precisa ser avaliada e compatibilizada com os limites de utilização do equipamento.



Figura 3 - Mísula é o principal componente do sistema trepante

Componentes do sistema

Mísula

Principal componente do sistema trepante, é utilizado em todas as etapas de concretagem, exceto na primeira. Todos os outros grandes componentes são acoplados à mísula que, com a ajuda do guarda-corpo, conforma uma área de trabalho segura na sua plataforma forrada por pranchões de madeira (figura 3).

Ligações

São feitas por meio de pinos e contrapinos - para facilitar a montagem e desmontagem - ou elementos apropriados (como, por exemplo, grampos de união). Algumas ligações ocorrem por meio de parafusos, principalmente quando elas são feitas apenas uma vez, durante a montagem inicial. Parafusos também são utilizados para a fixação das peças de madeira, como chapas de compensado, assoalho e madeira serrada para proteções.

Plataformas de trabalho

O sistema descrito neste artigo possui três plataformas de trabalho, todas com guarda-corpo, atendendo aos critérios de segurança da Norma Regulamentadora no 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (NR-18). São elas: andaime superior, que permite o acesso à parte superior da concretagem que está sendo executada; andaime inferior, que permite o acesso à parte inferior da fôrma, possibilitando a retirada do cone de apoio da camada anterior e tratamento das juntas de concretagem; e plataforma principal, que possibilita o acesso à plataforma de trabalho no nível da fôrma (figura 4).

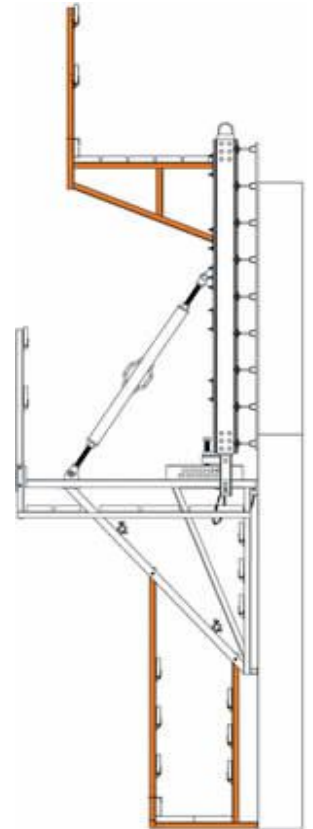


Figura 4 - Sistema trepante com plataformas de serviço

Aprumador

Tem a função de ajustar o prumo dos painéis, mesmo quando o conjunto é submetido a altas pressões do concreto fresco. O sistema de roscas invertidas possibilita que o aprumador aumente ou diminua, conforme necessidade de cada obra (figura 5).

Cones

O sistema possui dois tipos de cones, o de apoio e o de posicionamento. O cone de posicionamento deve ser fixado na fôrma na etapa de concretagem e deve ser engraxado para evitar a aderência do concreto à peça, dificultando sua retirada para a troca. O cone de apoio é usado em toda operação de avanço, após a retirada do cone de posicionamento, e serve de base para o encaixe da mísula.

Rabicho

É utilizado com o cone e tem a função de reagir com o concreto por meio do arrancamento. Há diversos tipos de rabichos no mercado, tais como ganchos, placas e outros.

Painéis

É possível utilizar diversos tipos de painéis no sistema trepante, como fôrmas modulares ou feitas sob medida. As fôrmas feitas sob medida são estruturadas com elementos fabricados em alumínio, unidos por meio de grampos e revestidas com chapas de madeira compensada. Este tipo de fôrma é o mais indicado, pois se adapta com mais facilidade a diferentes geometrias das estruturas da obra (figura 6).



Figura 5 - Aprumador dos painéis

Avanço do sistema trepante

Após uma etapa ser concretada, o sistema deve ser deslocado a fim de atingir a camada superior para a nova fase de concretagem. O deslocamento tem de seguir os seguintes procedimentos:

- Desprender a porca borboleta que fixa o tirante ao cone de posicionamento. Em seguida, soltar a cunha horizontal da mísula e a cunha vertical. Finalizar esta etapa girando as alças do aprumador, de modo a permitir uma inclinação da fôrma. Todo o processo deve ser executado sem que haja pessoas ou materiais no andaime inferior (figura 7).

- Encaixar a chave de cone no cone de posicionamento preso à estrutura concretada. Em seguida, girar a alça da chave até travar o sistema e a chave de cone para soltar o cone de posicionamento. Após retirar o cone de posicionamento, substituí-lo pelo cone de apoio (figura 8).

- Limpar o compensado com o auxílio de uma espátula e aplicar o desmoldante. Em seguida, posicionar as cunhas horizontal e vertical para içamento, retirando o pino de segurança da mísula. Por fim, içar o conjunto completo com o auxílio de uma grua (figura 9).

- Posicionar a mísula no cone de apoio, colocar o pino de segurança e girar as alças do aprumador até que a fôrma fique no prumo. Finalizar apertando apertando a cunha horizontal (figura 10).

- Ajustar o painel, girando o parafuso de ajuste e regulando-o lateralmente. Bater a cunha vertical e fixar a porca borboleta no tirante fixado ao cone de posicionamento (figura 11).

- Verificar se o pino de segurança está posicionado corretamente e travado. Checar também as cunhas verticais e horizontais e as bases em contato com a estrutura concretada. Todas as bases devem estar em contato com o concreto (figura 12).



Figura 6 - Detalhe do conjunto finalizado

Pressão atuante e admissível

Antes de checar se o sistema trepante suporta os esforços aplicados, é imprescindível calcular a modulação do painel de alumínio, que deve estar de acordo com as pressões atuantes. Vale lembrar que esse painel funciona com um escoramento na vertical, portanto deve ser calculado de acordo com a NBR 15.696:2009 - Fôrmas e Escoramentos para Estruturas de Concreto - Projeto, Dimensionamento e Procedimentos Executivos.

Cálculo da velocidade da concretagem

Supondo uma etapa de concretagem com 2 m de altura, 1 m de espessura e 21 m de comprimento e utilizando uma bomba de concretagem com vazão de 21 m³/h, a temperatura de 20°C e contendo concreto líquido (consistência C2):

Volume total

$$V = 2,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 21 \text{ m} = 42 \text{ m}^3$$

Tempo de concretagem

$$t = \frac{\text{volume total}}{\text{vazão da bomba}} = \frac{42 \text{ m}^3}{21 \text{ m}^3/\text{h}} = 2 \text{ h}$$

Velocidade vertical de concretagem

$$v = \frac{\text{altura}}{\text{tempo de concretagem}} = \frac{2 \text{ m}}{2 \text{ h}} = 1 \text{ m/h}$$

Pressão máxima de concreto conforme a NBR 15.696

Com a velocidade de concretagem conhecida ($v = 1,0 \text{ m/h}$) e sabendo que se trata de um concreto com resistência C4, a pressão atuante pode ser conhecida:

$$P = 12 \times v + 12$$

$$P = 12 \times 1 + 12$$

$$P = 24 \text{ kN/m}^2$$

Essa fórmula pode ser utilizada com um concreto com temperatura de 25°C. A cada diferença de 1°C de temperatura do concreto na hora da concretagem e durante a fase do endurecimento, adicionar 3% de pressão P (figura 13).

Fator de correção = 1,15

$P_{\text{corrigida}} = P \times 1,15 = 24 \text{ kN/m}^2 \times 1,15$

$P_{\text{corrigida}} = 27,6 \text{ kN/m}^2$

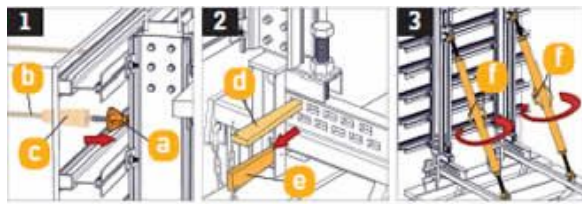


Figura 7 – Procedimento de desenforma

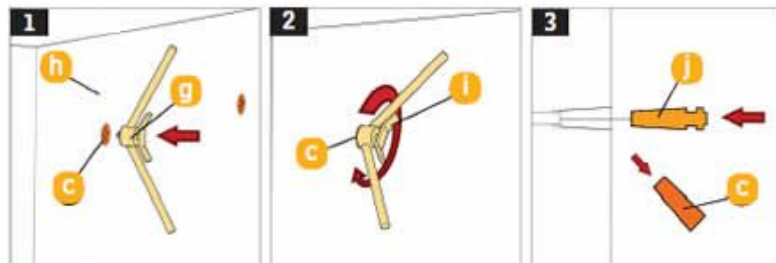
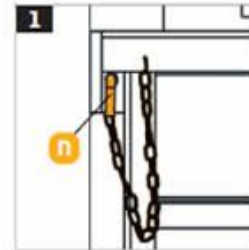


Figura 8 – Retirada do cone de posicionamento

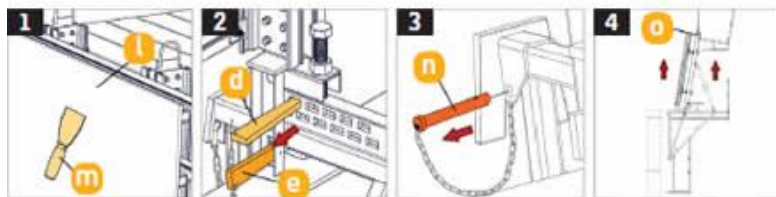
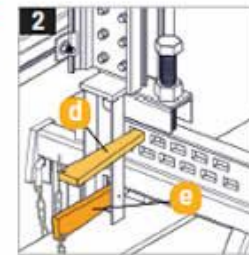


Figura 9 – Limpeza e avanço

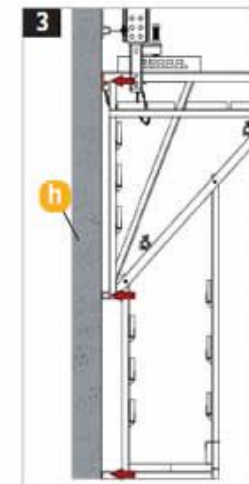


Figura 12 – Verificação de segurança

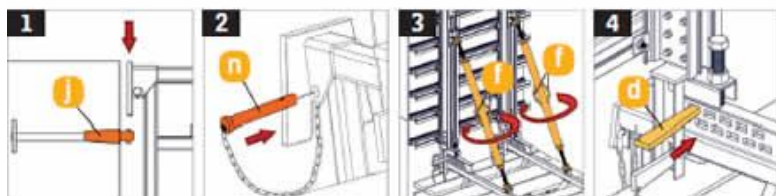


Figura 10 – Posicionamento

- a Porca borboleta
- b Tirante
- c Cone de posicionamento
- d Cunha horizontal
- e Cunha vertical
- f Aprumador
- g Chave de cone
- h Estrutura concretada
- i Alça de chave
- j Cone de apoio
- l Compensado
- m Espátula
- n Pino de segurança
- o Içador
- p Parafuso de ajuste

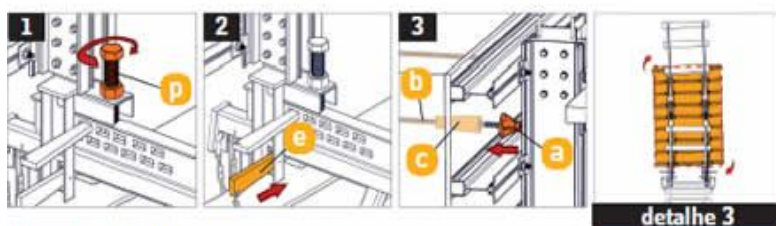


Figura 11 – Regulagem do conjunto

Altura hidrostática

Sabendo que a pressão máxima no painel, após a correção pela temperatura, é de 27,6 kN/m², tem-se o gráfico com as pressões indicadas na figura 14.

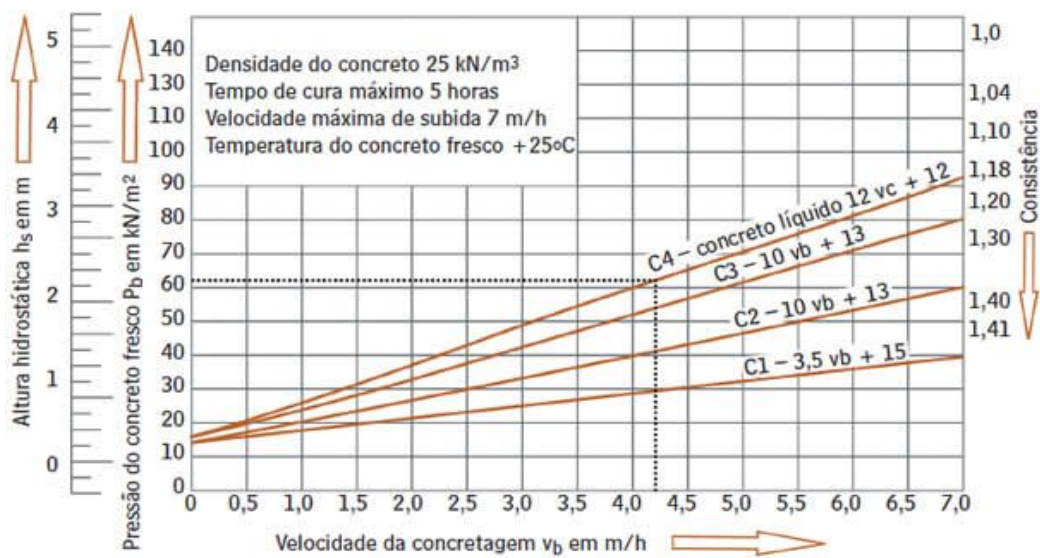


Figura 13 - Pressão máxima do concreto

Modulação do painel de alumínio

Conhecendo-se as resistências dos materiais, é preciso encontrar a modulação do painel de alumínio, de modo que esse elemento suporte a pressão atuante. É preciso dar atenção especial à região inferior do painel, suscetível a maiores pressões.

Os cálculos fornecerão as distâncias das vigas primárias (montantes), vigas secundárias e os balanços presentes no painel. É importante que o painel seja montado na obra de acordo com o que foi previsto em projeto (figura 15).

Normas técnicas

Ainda não existe uma norma específica para sistemas trepantes, nem mesmo na Europa ou nos EUA. A única norma brasileira referente ao sistema é a NBR 15.696:2009, que trata do tema fôrmas e escoramentos de modo bastante amplo.

Manutenção

Cada componente do sistema deve ser mantido e armazenado de modo apropriado. O ideal é que o usuário siga as instruções de manutenção fornecidas pelo fornecedor de cada peça ou material (aço, alumínio, roscas, pinos, parafusos, assoalho etc.), sempre observando os cuidados abaixo:

- Os componentes devem estar limpos e em perfeito funcionamento
- Partes rosqueadas devem estar engraxadas, permitindo uma regulagem mais fácil
- Antes de cada utilização, deve ser checado se os pontos de solda não apresentam fissuras; se as partes metálicas não apresentam corrosão; se não apresentam danos (amassados) fora dos padrões de qualidade e se todos os itens de segurança estão aplicados (pinos, contrapinos e travas, dentre outros).
- As peças de madeira, como o assoalho e travas de proteção dos guarda-corpos, devem receber atenção especial. Elas não devem apresentar rachaduras, nós de madeira e umidade excessiva.

Redação: Gisele Cichinelli

Avelino Garzon

diretor de engenharia da Mills avelino@mills.com.br

Vinicius Monteiro

gerente técnico da Mills vmonteiro@mills.com.br

Claudinei Lima

gerente técnico da Mills cplima@mills.com.br

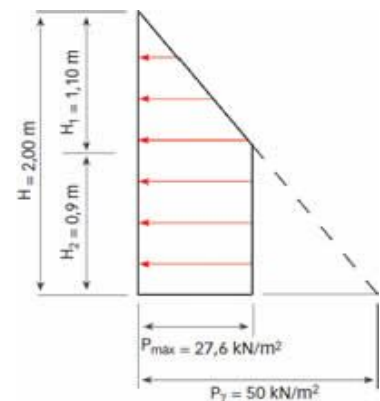


Figura 6 - Detalhe do conjunto finalizado

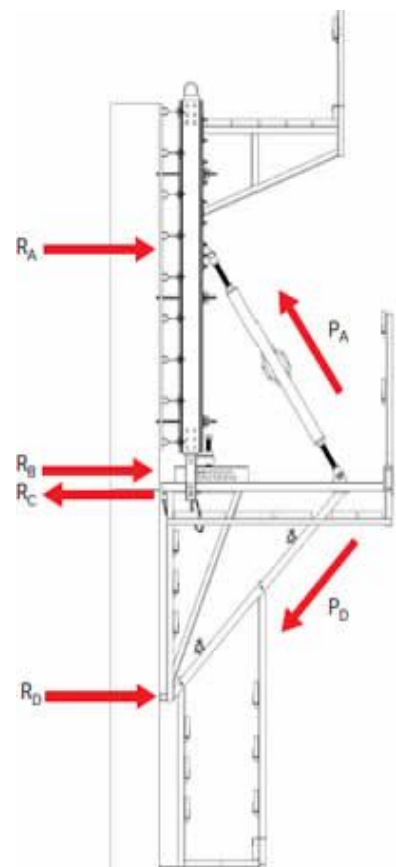


Figura 6 - Detalhe do conjunto finalizado