

Concreto e concretagem de paredes inclinadas em concreto aparente. Caso MIS-RJ.

Concrete and its placement for large inclined walls in architectural concrete. MIS-RJ Case.

Carlos Britez (1); Jéssika Pacheco (2); Suely Bueno (3); Paulo Helene (4)

(1) Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. carlos.britez@concretophd.com.br

(2) PhD Engenharia. jessika.pacheco@concretophd.com.br

(3) Escritório Técnico Julio Kasoy e Mario Franco Eng. Civis Ltda. (JKMF). suelybueno@jkmf.com.br

(4) Professor Titular da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. paulo.helene@concretophd.com.br
Rua Visconde de Ouro Preto, 201 – CEP 01303-060 – São Paulo - SP

Resumo

O projeto da nova sede do Museu da Imagem e do Som (MIS-RJ), desenvolvido pelo escritório de arquitetura americano Diller Scofidio + Renfro, vencedor do concurso internacional promovido pela Secretaria de Estado e Cultura do Rio de Janeiro em parceria com a Fundação Roberto Marinho (FRM), propõe em sua concepção arquitetônica uma representação gráfica do calçadão de Burle Marx, dobrado e transformado num bulevar vertical com inclinações variadas. Este artigo apresenta os desafios e engenhosidades envolvidos na concepção dos paredões inclinados desta superestrutura de concreto aparente, autoadensável e de alta resistência. Os resultados demonstraram que o tipo de concreto, bem como os procedimentos executivos empregados foram determinantes para a obtenção de elementos estruturais com integridade e estética condizentes com os padrões requeridos neste ícone arquitetônico.

Palavras-Chave: paredes de concreto, concretagens especiais, concreto aparente, concreto em orla marítima

Abstract

The design of the new headquarters of the Museu de Imagem e do Som (MIS-RJ), developed by the U.S.-based architectural firm Diller Scofidio + Renfro, winner of the international contest sponsored by the Secretaria de Estado e Cultura do Rio de Janeiro in partnership with Fundação Roberto Marinho (FRM), proposes in its architectural design a graphical representation of the Burle Marx boardwalk, folded into a vertical boulevard with varying inclinations. This paper presents the challenges and solutions involved in designing large inclined walls of this superstructure of architectural, self-compacting and high strength concrete. The results show that the concrete proportions and placing methods adopted were decisive to obtain structural elements with integrity and aesthetics required for emblematic architectural projects.

Keywords: concrete walls, special concrete casting, architectural concrete, concrete at seashore.

1 Introdução

A nova sede do Museu de Imagem e do Som do Rio de Janeiro (MIS-RJ) está localizada na Avenida Atlântica, em Copacabana, a 50m da orla marítima. Este ícone arquitetônico foi concebido pelo escritório de arquitetura americano Diller Scofidio + Renfro e o desenvolvimento do projeto, no Brasil, ficou sob a responsabilidade do escritório Índio da Costa Arquitetura, Urbanismo, Design e Transporte (Índio da Costa A. U. D. T.). O projeto é fruto de um concurso internacional de arquitetura promovido pela Secretaria de Estado e Cultura do Rio de Janeiro, em parceria com a Fundação Roberto Marinho (FRM), objetivando a criação de uma representação distinta e futurista de projeção mundial.

A proposta dos arquitetos norte-americanos vencedores deste concurso envolveu um museu na forma de bulevar vertical com sete pavimentos, percurso contínuo externo e volumetria que corresponde ao traçado de rampas e patamares sequencias. A nova sede do MIS-RJ, com a estrutura de concreto já construída, pode ser observada na figura 1.



Figura 1- Nova sede do MIS-RJ com estrutura de concreto recém-concluída, em dezembro de 2015

O projeto dessa superestrutura, em geral, envolve elementos em diversas formas e angulações, o que demandou engenhosidades especiais, principalmente nos procedimentos empregados nas concretagens dos paredões laterais inclinados em concreto aparente e de alta resistência (foco deste artigo) que, em alguns casos, possuem até 6m de altura e 25m de comprimento, sendo concebidos num único evento de concretagem contínuo.

Não obstante, houve outros agravantes, além dos parâmetros estéticos e da alta resistência do material concreto ($f_{ck} = 50\text{MPa}$), que estiveram atrelados com fatores climáticos (eventos de concretagem realizados com temperaturas da ordem de 35°C , comum no RJ) e logísticos (a central fornecedora de concreto estava instalada a uma distância de aproximadamente 30km da obra; num percurso na rota de turismo e com tráfego intenso; a rotina padrão em dias e horários comerciais foi de no mínimo 1h para o transporte do concreto no caminhão betoneira).

O concreto, bem como algumas práticas de bem construir e outras engenhosidades empregadas na concepção desses paredes inclinados, principalmente no que tange a garantia dos parâmetros estéticos, serão abordados adiante. A maior parte dos procedimentos adotados consta nas premissas das normalizações nacionais vigentes (ABNT NBR 6118:2014; ABNT NBR 12655:2015; ABNT NBR 14931:2004 e ABNT NBR 15823:2010) e em literaturas internacionais consagradas (NEVILLE; BROOKS, 1987; KOSMATKA; WILSON, 2011; KENNEDY, 2005; LAMOND; PIELERT, 2006). Contudo, a maior parte do procedimento aplicado baseou-se na ABNT NBR 14931:2004, com algumas adaptações e melhorias, e nas premissas do ACI 303R-04.

2 Grandes paredes em concreto autoadensável aparente

No Brasil, o sistema de paredes de concreto para edificações convencionais já está bem disseminado, tendo visita, principalmente, o incentivo de complexos habitacionais por programas do governo, como por exemplo, o Minha Casa Minha Vida (MCMV), financiados em parceria com a Caixa Econômica Federal (CEF). Entretanto, conforme abordado em material reunido na Coletânea de Ativos do Grupo de Paredes de Concreto (2009), essas paredes, em geral, possuem uma tipologia específica, com altura de até 3m (pé direito) e comprimentos numa mesma direção relativamente pequenos ($\leq 5\text{m}$).

Outras duas características marcantes desse tipo de sistema construtivo estão atreladas ao prazo e ao custo da obra; e um concreto bem-acabado, muitas vezes, é resultante do uso de um concreto autoadensável. Porém, a questão estética, na maioria dos casos, é relegada a segundo plano, pois não se trata de uma obra de arte em concreto aparente. A edificação geralmente possui tipologia modular, há repetitividade de pavimentos tipo e um reaproveitamento máximo das fôrmas empregadas (BRITZ et al., 2015).

Na contramão desse sistema construtivo “convencional” de paredes de concreto está a obra abordada no estudo de caso deste artigo, com uma realidade arquitetônica bem distinta, pois sua geometria peculiar não contempla repetitividade e simetria nas paredes e nem o reaproveitamento de fôrmas, atributos comuns na maioria das obras de construção racionalizadas. A nova sede do MIS-RJ possui ainda paredes com comprimentos e alturas muito elevadas (quase três vezes a altura de lançamento recomendada na normalização nacional vigente), além de critérios estéticos e de integridade rigorosos, fatos estes que requereram procedimentos especiais de concretagem, além do uso de um concreto autoadensável dosado especificamente para este objetivo.

Ainda nesse contexto, somente o uso de concreto autoadensável, quando visto exclusivamente como um material de construção, não seria suficientemente capaz de cumprir com todas as exigências rigorosas de acabamento e estética. De fato, as especificações técnicas devem contemplar exigências de mesmo expoente para fôrmas, desmoldantes, escoramentos, espaçadores, armaduras, bem como outras práticas de bem-construir que minimizem os efeitos de bolhas superficiais em excesso e fissurações generalizadas.

Entende-se que o resultado de uma superfície bem-acabada de concreto aparente (textura e homogeneidade) também está diretamente relacionado a um estudo de dosagem adequado, bem como do desmoldante para remoção das fôrmas, da qualidade do painel de fôrma propriamente dito e dos procedimentos exclusivos de lançamento e adensamento do concreto (ACI, 2006). Além disso, a cura e o prazo para a desfôrma podem impactar significativamente, sendo esse último mais relacionado com manchas e alterações mais proeminentes na coloração do elemento, como variações de tonalidade (FONSECA; NUNES, 1998; NERO; NUNES, 2000; ACI, 2004; KIRCHHEIM et al., 2011).

Independentemente do conhecimento técnico e teórico de obras envolvendo concreto aparente, a experiência tem demonstrado que o uso de simulações em campo e protótipos tornou-se uma ferramenta necessária e indispensável em projetos dessa natureza. Os protótipos em grande escala, por exemplo, colaboram significativamente para a verificação da combinação de fatores relacionados tanto com os materiais empregados na concepção dos elementos (concreto, desmoldantes e fôrmas), quanto com os procedimentos executivos (lançamento, adensamento, cura, escoramento e desfôrma).

Nesse aspecto, quando do lançamento do concreto no sentido “de cima para baixo” em elementos estruturais inclinados, como os paredões do MIS-RJ, um dos maiores desafios está atrelado com a redução da ocorrência de bolhas superficiais. Há de se destacar ainda que na face superior de um elemento inclinado a dificuldade de saída do ar aprisionado é um fato real e de solução muito complexa, agravado pelo uso de fôrma fechada [com tampa, em virtude do uso de concreto autoadensável (que, por definição, não recebe nenhum tipo de adensamento)]. Normalmente, elementos estruturais inclinados são produzidos com fôrmas abertas (sem tampa) e com uso de concreto com baixa consistência (“seco”), que é posteriormente desempenado, ou com o uso de concreto projetado, condições inexecutáveis na obra em questão em virtude da disposição geométrica dos elementos e rigor estético do acabamento superficial em concreto aparente.

Observa-se também que a probabilidade da não ocorrência de bolhas superficiais num elemento estrutural de concreto é praticamente nula, haja vista que o ar é intrínseco ao próprio material no estado fresco e ao seu procedimento de consolidação. O principal objetivo, portanto, seria o de conceber um material e um sistema de aplicação capaz de resultar numa quantidade mínima de bolhas superficiais (THOMPSON, 1969; READING, 1972; CCANZ, 1989; HURD, 1990).

Isto posto, o CIB Report n. 24 (1974) contempla uma interessante classificação de bolhas superficiais no concreto onde se observa como baixo nível de incidência a classe n.1, ou seja, uma intensidade, quantidade e tamanho de bolhas bem reduzida e aceitável em projetos de concreto aparente com rigorosos padrões estéticos. Esse artigo teve como foco principal a busca da classe n.1 nos paredões inclinados do MIS-RJ, com uso de concreto autoadensável e de alta resistência e outras engenhosidades aplicadas no procedimento de execução. Há de se destacar que o ideal para minimizar as bolhas superficiais seria o lançamento do concreto sob pressão, no sentido de “baixo para cima” como observado em Desnerck (2011) apud De Schutter (2012). Entretanto, essa tecnologia ainda não estava disponível no Brasil na oportunidade da construção das paredes do MIS-RJ, principalmente no que tange o tipo específico de válvula acoplada na base da fôrma da parede a ser concretada.

3 Dados de projeto, insumos e procedimentos adotados no MIS-RJ

3.1 Aspectos importantes sobre a função das paredes no comportamento estrutural

A importância das paredes laterais do MIS-RJ foi crescendo durante o desenvolvimento do projeto elaborado pelo Escritório Técnico Julio Kassooy e Mario Franco Eng. Cívica Ltda. (JKMF). As paredes foram concebidas com 30cm de espessura e 4cm de cobrimento, interligando os pavimentos dois a dois de forma alternada na fachada Norte e na fachada Sul. Desempenham um importante papel na estabilidade da estrutura, pois os elementos de contraventamento se encontravam junto à fachada Oeste (caixas de escada), fachada oposta à praia (fundos). As juntas de concretagem foram cuidadosamente estudadas considerando as questões estéticas, mas principalmente, o comportamento estrutural.

Na fachada frontal, que é a fachada Leste, a inserção dos pilares inclinados foi de grande benefício para o projeto, pois possibilitou ter a ampliação da área de acesso ao museu. Entretanto, estes elementos criaram um grande balanço na viga do eixo da fachada, que recebe a estrutura das rampas. Como não seria possível aumentar a altura desta viga, para não interferir com a arquitetura e instalações, a parede PAR 18 (foco deste artigo) passou a desempenhar um papel importante para o suporte da estrutura desta fachada, funcionando em determinados trechos como tirante.

Pode-se observar também que a estrutura das rampas que formam as escadas, em alguns trechos, estão desconectadas da fachada e por isso tiveram seu vão limitado, uma vez que não funcionariam mais como lajes em balanço. Estas rampas receberam a denominação de “pontes” durante o desenvolvimento do projeto. Com isso, a parede PAR 18 passou a receber no seu topo uma empena, que serve como apoio intermediário para as “pontes”, e por esse motivo sua geometria sofreu uma dobra, conforme se observa na fig. 2. A tipologia peculiar desta parede refletiu num detalhado estudo de seu método executivo.

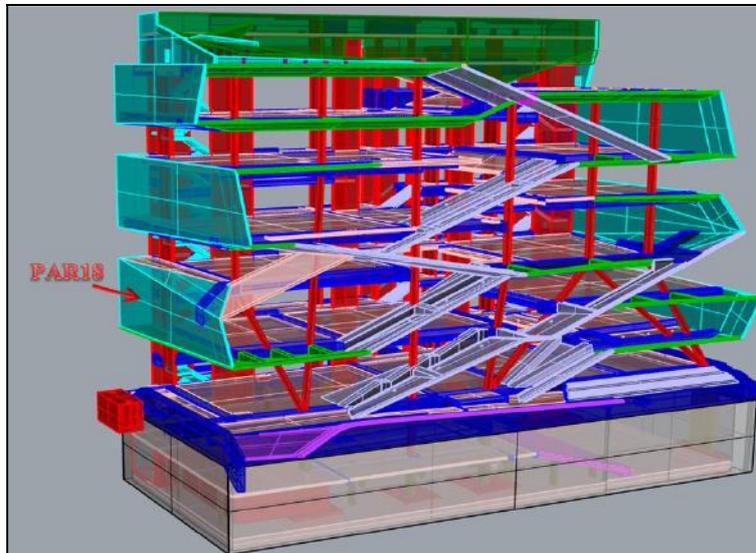


Figura 2 – Vista 3D da estrutura do MIS-RJ

3.2 Traço de concreto e insumos empregados

O concreto destinado à superestrutura aparente do MIS-RJ e, conseqüentemente, à concepção dos paredões inclinados foi desenvolvido pela PhD Engenharia (Consultoria de Tecnologia do Concreto da Fundação Roberto Marinho neste projeto), a partir de um amplo programa experimental e confecção de diversos protótipos, em conjunto com a empresa Votorantim Cimentos / Engemix S. A. (Empresa de Serviços de Concretagem), baseando-se em adaptações da metodologia proposta por Helene e Terzian (1992) e diretrizes observadas em Gómez e Maestro (2005) e RMCAO (2009).

O desenvolvimento do concreto iniciou-se em outubro de 2011, aproximadamente dois anos antes da concretagem dos primeiros paredões. Ainda, diversos protótipos em diferentes escalas foram testados, além de outras simulações [o concreto no caminhão betoneira em adversidades climáticas e logísticas (trajeto), o tipo de lançamento, a energia da mistura, o tipo de bomba entre outros fatores fundamentais e decisivos para a concretagem desses elementos].

Também foi determinante o teste em protótipos no canteiro de obras e pátio da empresa de serviços de concretagem, em escala real de inclinação, de altura de lançamento do concreto, geometria, taxa de aço e disposição da armadura, a fim de se aferir as condições do concreto no estado fresco durante o seu lançamento (sua habilidade de preenchimento e resistência à segregação), bem como as posteriores resistências mecânicas no estado endurecido.

É importante registrar que o traço candidato foi desenvolvido tendo em vista os insumos disponíveis no Rio de Janeiro [que não são os mais apropriados para um concreto autoadensável (especificado para classe de espalhamento SF2, ABNT NBR 15823:2010), com alta resistência e, conseqüentemente, elevado módulo de elasticidade (35GPa), conforme as especificações de projeto, por possuírem características deficientes]. O

maior agravante no caso dos insumos foi o elevado valor do módulo de finura das areias [nas curvas granulométricas fornecidas pela empresa Engemix, usadas comumente em linha de produção na unidade do Caju, observava-se a ausência de finos nas duas areias (natural e artificial), o que, conseqüentemente, correspondeu a um valor de módulo de finura mais elevado (entre 2,3 e 2,9, respectivamente)]. Esse fato culminou num consumo de cimento elevado, da ordem de 470kg/m³.

O traço de concreto autoadensável, bem como a procedência dos insumos empregados na concretagem dos paredões do MIS-RJ podem ser observados na Tabela 1. Observa-se que não fora usada água de amassamento, além da contida nas areias (posteriormente descontada do quantitativo total de gelo). Toda a água livre de amassamento foi substituída por gelo em cubos com temperatura inicial especificada de -10°C (com uso de caminhão frigorífico e motor de refrigeração tipo Thermo King). A especificação técnica para a temperatura de recebimento do concreto em obra foi da ordem de 20°C, a fim de minimizar a ocorrência de fissurações de origem térmica. Na prática, essa temperatura foi da ordem de 25°C em dias muito quentes (temperatura superior a 35°C).

Tabela 1. Traço dos paredões do MIS-RJ, em materiais secos, com f_{ck} previsto de 50MPa aos 28 dias de idade para 1m³ de concreto.

Traço do concreto	concebido para $f_{ck}=50MPa$
consumo de cimento por m ³ (CP III-40 RS – Votoran Moagem Santa Cruz)	472kg
adição de sílica ativa (Tecnosil)	30kg
relação água/cimento+adição (aglomerantes)	0,37
água (da umidade das areias, média ponderada fixada em 5%) + gelo total	186kg
areia média natural (Sanimera)	700kg
areia artificial, areia de brita tipo II (A 21 Mineração)	123kg
brita 0 (A 21 Mineração)	426kg
brita 1 (ESAM Mineração)	426kg
fibras de polipropileno (Neomatex) (12mm)	0,6kg
pigmento (Bayferrox 318) (simulado para 1%)	4,7kg
aditivo plastificante polifuncional (Muraplast FK 110, MC Bauchemie)	1,4kg
aditivo superplastificante (Glenium SCC 160 já com antiespumante incorporado, BASF) – pode também ser indicado como Glenium SCC 161 (coloração branca)	4,7kg
100% de gelo em substituição à água livre de amassamento (materiais úmidos, umidade da areia de 5% em média ponderada)	144kg (gelo)

Com o intuito de não comprometer a produção do concreto nos eventos de concretagem, admitiu-se, com base em um extenso histórico das umidades das areias obtido junto à empresa de serviços de concretagem, uma umidade fixada em 5% em média ponderada das duas areias (natural e artificial) e, portanto, a quantidade de gelo no traço foi constante para os caminhões betoneiras, sendo essa quantia fixada em 144kg por metro cúbico, com a ressalva explícita na especificação técnica de um procedimento de ação

corretiva para o caso de dias chuvosos ou detecção de cargas de areia com umidade muito elevada, aferida pelas equipes de controle tecnológico presentes integralmente na usina nos eventos de concretagem.

Ainda, o traço desenvolvido empregou fibras de polipropileno (comprimento de 12mm), com o intuito de minimizar eventuais fissurações por retração do concreto, bem como um pigmento inorgânico a base de óxido de ferro, a fim de manter a homogeneidade estética dos elementos, em virtude do uso de cimento tipo CPIII (a normalização brasileira permite uma variação no teor de escória de 35% a 70%, o que poderia impactar em eventual variação de tonalidade).

3.3 Recomendações para o procedimento executivo

As especificações contidas no procedimento executivo foram redigidas com base na ABNT NBR 14931. Além dos requisitos básicos estabelecidos nessa norma, outras engenhosidades e melhorias foram essenciais para garantir a qualidade de acabamento (textura e homogeneidade) e estética dos elementos estruturais, sendo as principais relacionadas com um sistema eficiente de lançamento e “tênue adensamento” do concreto.

3.3.1 Protótipos

Desde o desenvolvimento do traço de concreto em outubro de 2011, já havia a preocupação com a concepção de protótipos para a avaliação de diversos fatores (técnicos e estéticos). O histórico contemplou protótipos em tipos e escalas diversas (BRITZ, 2016), o que foi fundamental para a execução dos paredões.

Inicialmente, no estudo de dosagem, pequenos cubos foram moldados para avaliar o tipo de desmoldante, o painel de fôrma e a coloração do concreto [na oportunidade, foram dosados diferentes teores de pigmentos (0%, 1% e 1,5%), a fim de não descaracterizar a tonalidade natural do concreto]. Logo após, uma parede vertical foi executada em janeiro de 2012 (fig. 3a), no canteiro de obras, para avaliação da habilidade de preenchimento do concreto autoadensável, a distância mínima de pontos de lançamento ao longo do comprimento da parede e a respectiva ocorrência de bolhas. Na sequência, foi moldada outra parede já com formato inclinado para avaliação destes mesmos parâmetros, com atenção especial à incidência de bolhas.

No entanto, o evento mais ousado foi a construção de três protótipos iguais em grande escala no pátio da empresa de serviços de concretagem, por três empresas distintas candidatas ao fornecimento de fôrmas, onde se avaliou com clareza os diferentes tipos de sistemas, bem como o acabamento do concreto autoadensável em inclinações variadas (além de outros fatores relacionados ao sistema de fôrmas, como: prazo de execução, qualidade do projeto, facilidade de montagem, disponibilidade de materiais, quantidade de materiais empregados, agilidade na logística, supervisão técnica, grau de estanqueidade, inovações tecnológicas, nível de segurança, qualificação da equipe de produção, entre outros). Na oportunidade, também se verificou os procedimentos de aplicação dos sistemas de proteção superficial do concreto aparente. Um exemplo de um dos três protótipos, onde esses quesitos foram avaliados, pode ser observado na fig. 3b.



Figura 3 – (a) Detalhe do protótipo da parede vertical e (b) exemplo do protótipo com elementos inclinados

Além disso, os protótipos concebidos no pátio da empresa de serviços de concretagem também foram determinantes para testar a implementação dos procedimentos executivos a serem empregados nos paredões, apesar da altura de lançamento neste caso ser de 3m (protótipos).

3.3.2 Procedimento executivo empregado nos paredões inclinados

Um dos maiores desafios estava relacionado com a concretagem de uma parede descontínua e com inclinação (com uma dobra ao longo de um mesmo pavimento). Tendo em vista o planejamento da obra, estava prevista a concretagem da PAR 18 (vide fig. 2), uma das mais complexas do projeto, situada entre o 1º e 2º pavimento, com aproximadamente 6m de altura (sendo da ordem de 4m na direção vertical). Esse tipo de parede possuía um inconveniente, pois, evidentemente, devido a sua descontinuidade entre um pavimento e outro, não seria possível a introdução de um tubo de PVC para auxiliar o lançamento do concreto e nem de um mangote de vibrador, pois ambos não fazem dobras.

Sendo assim, empregou-se um artifício também previsto na literatura nacional, o qual corresponde ao uso de janelas abertas nas fôrmas (GRUPO PAREDE DE CONCRETO, 2009), planejando a concretagem desta parede num evento único. Foram previstas pequenas janelas de concretagem com dimensões de 30cm x 30cm a cada 2m, ao longo dos 20m de comprimento desta parede. Essas janelas foram abertas pelo lado interno da parede e, conseqüentemente, não são visíveis aos observadores da fachada.

As janelas mencionadas foram construídas com tampas perfeitamente dimensionadas para serem usadas quando o concreto atingisse a cota inferior das mesmas durante o evento de concretagem. Foram previstos dois níveis de janelas ao longo de toda a altura da parede. A primeira se encontrava aproximadamente à metade da parte com direção vertical e a segunda na região da mudança de continuidade (inclinação/dobra) da parede.

Sendo assim, entende-se que o concreto fora lançado em três pontos distintos: primeiro e segundos níveis através das janelas abertas nas fôrmas e no topo da parede, quando aproximadamente toda a parte vertical já estava concretada, reduzindo sobremaneira a altura de lançamento.

Para minorar ainda mais as questões de bolhas superficiais, o lançamento do concreto foi realizado em baixa velocidade, obtida através do emprego de bomba com válvula Rock (utilizando, geralmente, os níveis 3 ou 4 do controle da bomba) e também através da dobra do mangote da bomba lança disposto na direção mais próxima da horizontal. Para tal, foram empregados cachimbos removíveis nessas janelas, amarrados somente com arame recozido e um anteparo de suporte (fig. 4). Tal procedimento impediu que o lançamento do concreto fosse realizado com velocidade abrupta (em queda livre, com o mangote da bomba na direção vertical) na projeção das paredes, principalmente na parte superior (último ponto de lançamento), minimizando sobremaneira os eventuais problemas relacionados com a segregação da mistura e o surgimento de bolhas superficiais.



Figura 4 – Detalhe do cachimbo removível e dos vários cachimbos dispostos ao longo da parede PAR 18 (primeiro nível).

É interessante observar ainda que o mangote de um vibrador de imersão foi introduzido através das janelas planejadas, de modo que sua agulha ($\varnothing 35\text{mm}$) praticamente encostava na base da parede. A partir do momento em que o concreto preenchia virtualmente todo o comprimento da agulha do vibrador (aproximadamente 40cm), o lançamento era interrompido, o cachimbo removido e a porção de concreto era levemente adensada, de modo que não havia interferência com a outra porção de concreto sendo despejada sobre esta (o que não permitiria a saída do ar aprisionado). Apesar de se tratar de um concreto autoadensável, esse procedimento foi necessário para se alcançar o resultado estético final desejado. Evidentemente, o concreto possuía coesão suficiente para suportar este leve adensamento sem segregação e, além disso, o vibrador era acionado entre 5s e 10s, apenas. Após este procedimento, o cachimbo removível era novamente posicionado e a concretagem prosseguia normalmente. Todo este ciclo executivo pode ser observado na fig. 5.

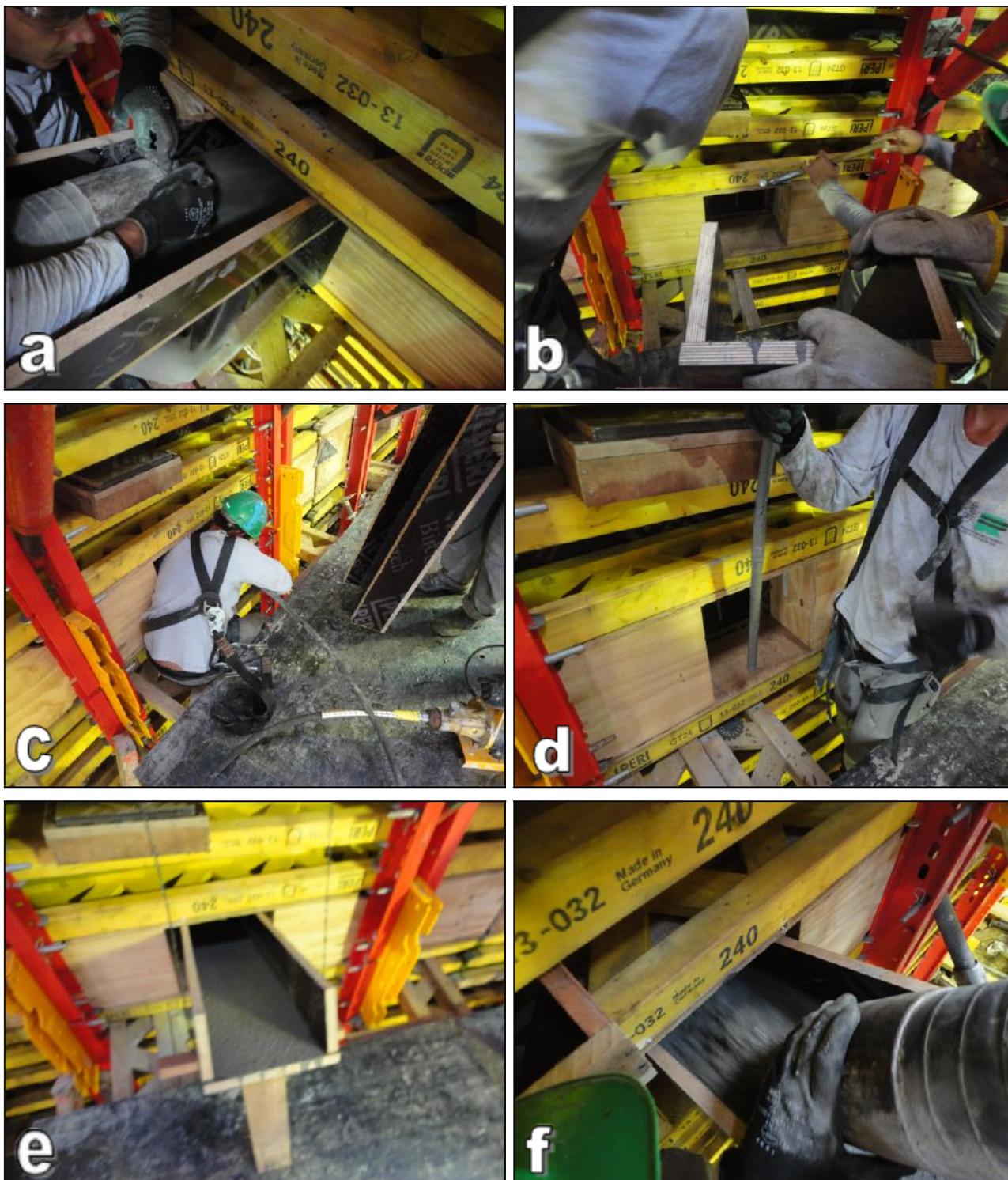


Figura 5 – (a) Lançamento do concreto através do cachimbo removível posicionado na janela da fôrma no primeiro nível de concretagem; (b) remoção do cachimbo para posterior adensamento; (c) introdução do mangote do vibrador e adensamento através da janela na fôrma; (d) agulha do vibrador suja de concreto em aproximadamente 40cm (camada de concreto previamente lançada); (e) colocação do cachimbo removível no local de origem; (f) prosseguimento da concretagem.

Esse sistema foi se repetindo (sucessivamente) até aproximadamente 50cm da cota inferior do primeiro nível das janelas abertas na fôrma, quando as mesmas foram fechadas (tampadas) e o concreto prosseguiu sendo lançado já pelo segundo nível de janelas (fig. 6), na região da descontinuidade da parede (dobra). Esse concreto no limítrofe inferior do primeiro nível de janelas fora vibrado com o mangote do vibrador introduzido no segundo nível de janelas (evidentemente, com comprimento de mangote do vibrador planejado para esta demanda e com a janela do primeiro nível adequadamente tampada).



Figura 6 – Detalhe da janela do primeiro nível de concretagem já tampada e do concreto sendo lançado do segundo nível (região da inclinação/dobra) da PAR 18.

Concomitantemente a este processo, foram realizados impactos leves com uso de martelos de borracha externamente à fôrma da parede durante a concretagem, com o intuito de minimizar ainda mais o ar aprisionado e, conseqüentemente, reduzir as eventuais bolhas superficiais. Além disso, foi empregado nessas fôrmas um desmoldante especial biodegradável a base de hidrocarbonetos alifáticos, com efeito antibolhas¹. Outro fator importante a ser observado é que quando o concreto fresco atingiu o topo do elemento, houve um extravasamento significativo de material, de modo que toda a exsudação de água e finos, comum nesse tipo de concretagem, fosse descartada e a massa realmente atingisse a cota superior da fôrma. O resultado da PAR 18 desformada pode ser visualizado na fig 7.

¹ DESFORM 70, fornecido pela GRACE/Rheoset.

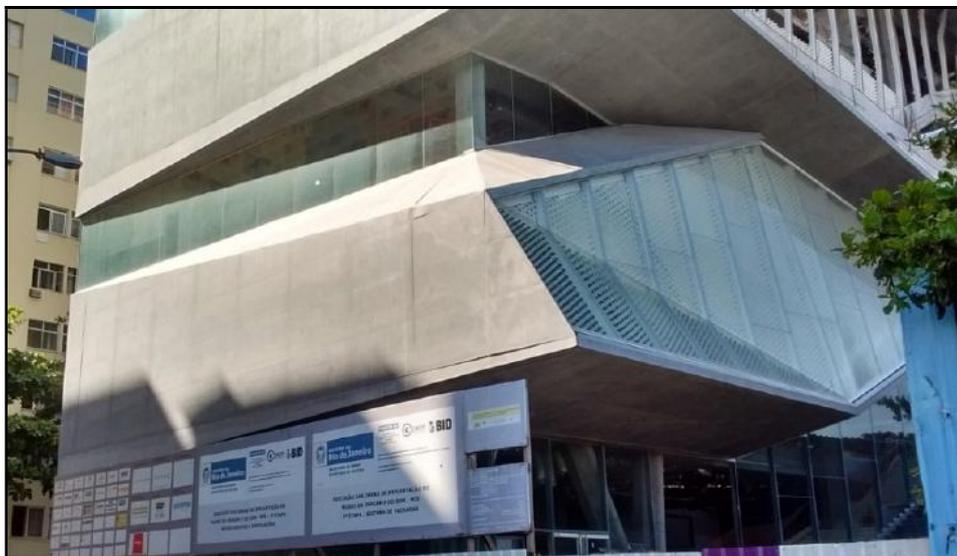


Figura 7 – Resultado final da PAR 18.

4 Resultados

4.1 Integridade e estética

Respeitadas as premissas dos procedimentos executivos descritos no item precedente, houve a reprodução em outras regiões da obra, além das paredes. Na figura 8 são observadas algumas dessas regiões, com padrão equivalente ao dos paredões focados anteriormente neste artigo.



Figura 8 – Resultado final do bom acabamento do concreto em outros pontos da estrutura.

Visando o aumento da durabilidade da estrutura e um acabamento satisfatório em termos de exigências arquitetônicas e estéticas da edificação, foi aplicado uma proteção superficial que resultasse no menor impacto arquitetônico possível, propiciando o mínimo de alteração no concreto aparente da edificação. Empregou-se assim um sistema duplo envolvendo hidrofugante (hidrorepelente) base 100% silano² (duas demãos) e posterior revestimento com solução aquosa hidro e oleofugante base fluorsilano³ (aplicação em 1demão) com propriedades *easy to clean*. Recomendou-se a renovação da segunda etapa do sistema de proteção superficial (com procedimentos em conformidade com a especificação do fabricante) em intervalos inferiores a cinco anos, considerando as ressalvas de um programa de manutenção preventiva adequado para assegurar uma vida útil da estrutura superior a 50 anos.

4.2 Controle tecnológico do concreto

Realizou-se também o controle tecnológico do concreto aplicado nas paredes da obra [amostragem total (100%)]. A resistência à compressão foi avaliada durante o período compreendido entre setembro/2013 e fevereiro/2014, onde foi obtida uma resistência média de 57,5MPa, sendo o menor resultado igual a 50,1MPa, em conformidade com o especificado no projeto estrutural.

5 Considerações Finais

1. Considera-se que o conjunto formado por um estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, a concepção de diversos protótipos, bem como engenhosidades implementadas através de pequenas adaptações, detalhes e melhorias nos procedimentos da ABNT NBR 14931, inclusive um planejamento rigoroso e acompanhamento técnico dos eventos de concretagem (em sua totalidade, desde a usina até a desfôrma na obra propriamente dita) foram determinantes para a execução dos paredões em concreto aparente da nova sede do MIS-RJ, resultando em elementos estruturais íntegros e com elevado padrão estético, sendo que a maioria das paredes apresentou aspecto condizente com a classe n. 1 do CIB Report n. 24, no que tange a incidência de bolhas superficiais;
2. Considera-se também que este artigo possibilitou alertar quanto ao uso adequado dos procedimentos descritos em normalizações nacionais vigentes e em literaturas consagradas, associados com as boas práticas de engenharia e técnicas de bem construir, são favoráveis para um resultado final satisfatório; nesse caso específico, visando minimizar sobremaneira defeitos superficiais (bolhas, falhas e ninhos de concretagem) e fissurações generalizadas em elementos de concreto aparente.

² Protectosil BHN do Grupo Evonik

³ Protectosil 60 do Grupo Evonik

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Roberto Marinho (FRM) pela permissão da publicação deste artigo.

6 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 303R-04**: Guide to cast-in-place architectural concrete practice. Michigan: ACI, 2004. 32 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 332.1R-06**: Guide to Residential Concrete Construction. Michigan: ACI, 2006. 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento: Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.

BRITEZ, Carlos et al. Boas práticas envolvendo sistemas construtivos em paredes de concreto – Caso Jardim Novo Horizonte (Jundiaí-SP). In: **57º Congresso Brasileiro do Concreto**, 2015, Bonito. Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2015. 15p.

BRITEZ, Carlos et al. Recommendations for Casting Inclined Columns. Michigan: **Concrete Internacional**, March 2016, V. 38, N. 3, p. 43-48.

CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF NEW ZEALAND. **IB 33**: Specification and Production of Concrete Surface Finishes. Wellington, 1989. 28p.

FONSECA, António Adão da; NUNES, Ângela. Betão Branco: Fabrico, características e utilização estrutural. In: **2ª Jornada de Estruturas de Betão**, 1998, Porto. FEUP, 1998. 20p.

GÓMEZ, Jaime Fernández; MAESTRO, Manuel Burón. **Guía práctica para la utilización del hormigón autocompactante**. Madrid: Instituto Español del Cemento y Sus Aplicaciones (IECA), 2005. 47 p.

GRUPO PAREDE DE CONCRETO. **Coletânea de ativos 2007-2008**. São Paulo: Comunidade da Construção, 2009. 216 p.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, PINI / SENAI, 1992. 189p.

HURD, M. K. Avoiding arguments over architectural concrete. Illinois: **Concrete Construction**, September, 1990. 5p.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION. Commission W 29. Concrete surface finishings. **CIB Report n. 24**, 1974. 8p.

KENNEDY, Lindsay K., ed. **The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction**. 3ª ed. American Society of Concrete Contractors - ASCC, 2005.

KIRCHHEIM, Ana Paula et al. **Concreto Branco**. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 46. p. 1683-1730.

KOSMATKA, Steven H; WILSON, Michelle L. **Design and control of concrete mixtures**. 15ª edição. Illinois: Portland Cement Association, 2011.

LAMOND, Joseph F., PIELERT, James H., eds. **Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials**. Pensilvânia: American Society for Testing & Materials - ASTM, 2006.

NERO, J. M. G.; NUNES, A. **Fundamentos para a prescrição e utilização do Betão Branco**. SECIL, Lisboa, 2000. 19 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Concrete Technology**. New York: Longman Scientific & Technical, 1987. 438 p.

READING, T. J., The Bughole Problem. Michigan: **ACI Journal**, Mar. 1972, pp. 165-171.

READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION OF ONTARIO. **Best Practices Guidelines for Self-Consolidating Concrete**. Mississauga: RMCAO, January 2009. p. 5

DE SCHUTTER, Geert. **State-of-the-art of SCC after 20 years of research and practice**. Maceió: Ibracon, 2012. 44 slides, color.

THOMPSON, M. S. Blowholes in Concrete Surfaces. London: **Concrete**, V. 3, nº 2, Feb. 1969, pp. 64-66.