



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Concreto e Concretagem da laje da pista de patinação: Caso ParkShopping Canoas/RS.

Concrete and its placement for slab of skating rink: ParkShopping Canoas/RS Case.

Carlos Britez (1); Jéssika Pacheco (2); Mariana Carvalho (3); Paulo Helene (4)

- (1) Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Britez Consultoria. britez.consultoria@gmail.com
(2) PhD Engenharia. jessika.pacheco@concretophd.com.br
(3) Universidade Presbiteriana Mackenzie. mpcarvalho90@gmail.com
(4) Professor Titular da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. paulo.helene@concretophd.com.br

Resumo

Inspirado na arquitetura nórdica, o ParkShopping Canoas é o primeiro Shopping Center do Brasil conectado a um parque repleto de natureza. O complexo possui mais de 120 mil m² de área construída, incluindo a maior arena de patinação do Brasil. São 750 m² que englobam as arquibancadas e uma pista de área retangular com 450 m². Este artigo apresenta os desafios e as engenhosidades aplicadas na concepção da laje de concreto sob o gelo de -15 °C dessa pista, com serpentinas embutidas, envolvendo um concreto autoadensável especial com uso de gelo, macrofibra, cristalizante, aditivo incorporador de ar, bem como outros aditivos e adições. Os resultados demonstraram que o tipo de concreto, bem como os procedimentos executivos empregados foram determinantes para a obtenção de um elemento estrutural íntegro, resistente e condizente com os padrões requeridos neste projeto.

Palavras-Chave: rink de patinação, concretagens especiais, concreto autoadensável, concreto refrigerado

Abstract

Inspired by the Nordic architecture, ParkShopping Canoas is the first Shopping Mall in Brazil connected to a park replete of nature. The complex has over 120 thousand square meters of built area, including the largest skating arena in Brazil. There are 750 m² that include the bleachers and a rink of rectangular area with 450 m². This paper presents the challenges and solutions applied in the design of the concrete slab under the ice (-15 °C) of this rink, with embedded coils, involving a special self-compacting concrete using ice, macrofiber, crystallizer, air entraining additive, as well as other additives and additions. The results show that the concrete proportions and the adopted placing methods were decisive to obtain a structural element with integrity and strenght as required in this project.

Keywords: skating rink, special concrete casting, self-compacting concrete, refrigerated concrete



1 Introdução

O ParkShopping Canoas está localizado na Avenida Farroupilha, 4545, em Canoas, no Rio Grande do Sul. Pertencente ao Grupo Multiplan e concebido pelo escritório de arquitetura PBA (Paulo Baruki Arquitetura), trata-se de um complexo conectado a um parque (Parque Getúlio Vargas) com 120 mil m² de área construída. No partido adotado, elementos urbanísticos e o entorno interagem diretamente com a arquitetura, com amplas praças e jardins adjacentes ao bosque da cidade, protegidos apenas por uma pele de vidro. Com forte vocação para o entretenimento, outro diferencial do projeto é a criação de uma pista de patinação permanente no coração do edifício, que rodeada por praças e arquibancadas. O ParkShopping Canoas (em fase final de construção), bem como a integração com o Parque Getúlio Vargas pode ser observada na Figura 1.



Figura 1- Parque Shopping Canoas, em janeiro de 2018 (fonte: acervo da Multiplan).

O projeto dessa superestrutura, em geral, envolve elementos de concreto pré-fabricado e partes em concreto moldado *in loco*, além de cobertura em estrutura metálica. O projeto estrutural é de responsabilidade do escritório Aluizio A. M. D'Ávila, onde no pavimento térreo (Laje LP1) consta uma arena de patinação, a maior do Brasil na atualidade. São 750 m² que englobam as arquibancadas e uma pista de área retangular com 450 m², que demandou engenhosidades especiais, principalmente nos procedimentos empregados nas concretagens com uso de gelo num único evento de concretagem contínuo.

Não obstante, houve outros agravantes, além dos parâmetros normais de desempenho deste concreto, atrelados ao seu lançamento cuidadoso, devido à incorporação de uma serpentina embutida na laje e do controle rigoroso do teor de ar incorporado requerido do concreto autoadensável com uso de gelo, aditivo cristalizante e de macrofibras sintéticas.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

O concreto, bem como algumas práticas de bem construir e outras engenhosidades empregadas na concepção dessa pista de patinação, principalmente no que tange à garantia dos parâmetros de desempenho, 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 15823-1:2017) e em literaturas internacionais consagradas (NEVILLE; BROOKS, 2013; 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 premissas do ACI 201.2R-08.

2 Concreto submetido a ciclos de gelo e degelo

A problemática do concreto submetido ao gelo e degelo, no que diz respeito à durabilidade, pode ser percebida em diversas regiões do mundo. No Reino Unido, considera-se que a ação de gelo e degelo no concreto é, depois da ação de corrosão por cloretos, a maior causa de degradação deste material (RICHARDSON, CONVENTRY, BACON; 2011). A *Federal Highway Administration* dos EUA (FHWA, 2006) apontou a ação dos ciclos de gelo e degelo como a causa mais persistente dos problemas de deterioração das estradas do país. No Brasil, apesar de não ser um país com invernos rigorosos, podem ser mencionadas aplicações com foco em lazer (como a pista de patinação do ParkShopping Canoas, caso deste estudo), o uso em pisos de câmaras frigoríficas e estruturas de concreto destinadas ao armazenamento de alimentos, as quais devem ser submetidas a temperaturas inferiores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Resolução CNNPA nº 38, de 27 de dezembro de 1977), tornando importante o estudo do fenômeno.

Lima e Liborio (2009) destacam que a dificuldade concernente ao concreto submetido às baixas temperaturas consiste no fato de que o mesmo é um material poroso, capaz de absorver e armazenar água, que aumenta de volume (aproximadamente 9%) sob a ação do congelamento e movimenta-se pelos capilares do concreto, causando pressão em suas paredes. Dentre os principais fatores que afetam a resistência do concreto ao gelo e degelo, pode-se destacar a relação água/aglomerante, a estrutura do sistema de poros, a qualidade dos agregados e o grau de hidratação e saturação do concreto (MACINNIS, LAU, 1971; NEVILLE, 2016).

A relação água/aglomerante é um dos fatores determinantes na resistência mecânica do concreto e também em sua porosidade. Quando submetido a baixas temperaturas, é fundamental que o concreto tenha baixa relação água/cimento, para que o volume dos poros capilares seja pequeno e grande parte da água seja consumida no processo de hidratação do cimento, de modo que a quantidade de água disponível para se movimentar pelos capilares ou congelar seja diminuída (NEVILLE, 2016; LIMA, 2006). Lau (1967) explica que as pastas de cimento Portland com baixa relação água/cimento são mais resistentes ao acúmulo de pressões hidráulicas e ao crescimento do gelo capilar, simplesmente por possuírem menos capilares.



Tendo em vista que a ação do gelo e degelo envolve o aumento de volume da água quando congelada, espera-se que não ocorram danos ao concreto caso seja possível que o excesso de água escape rapidamente para espaços adjacentes preenchidos com ar. No entanto, é necessário que os vazios sejam uniformemente distribuídos pela pasta, e seu espaçamento deve estar próximo o suficiente para evitar o desenvolvimento de pressões de congelamento capazes de fraturar o concreto (NEVILLE, 2016; ACI, 2008). Mehta e Monteiro (2008) e Powers (1954) destacam que não é a quantidade total de ar, mas os espaços vazios, da ordem de 100 a 250 μm , com relação a qualquer ponto da pasta de cimento endurecida, que efetivamente protegem o concreto. Lau (1967) salienta que esta proteção se dá pela criação de pontos de alívio de pressão. Daí a importância do uso de aditivos incorporadores de ar, capazes de produzir um sistema estável e discreto de vazios por toda a pasta (PCA, 1998). Klieger (2003) sugere ainda um volume de ar incorporado correspondente a $9\pm 1\%$ do volume da argamassa.

Mehta e Monteiro (2008) explicam que, dependendo de como o agregado responde às ações do congelamento, mesmo um concreto com ar incorporado pode ser danificado. Laughlin, Scott e Havens (1965) salientam que o comportamento do agregado perante o gelo-degelo depende do sistema de poros (tamanho, forma, arranjo e continuidade), havendo destruição nas partículas quando surge uma pressão hidrostática devida ao congelamento da água absorvida, analogamente ao que ocorre com o concreto. Macinnis e Lau (1971) demonstraram que agregados com menor dimensão máxima se comportam melhor em situação de congelamento. Neville e Brooks (2013) ressaltam ainda que o emprego de agregados de grande dimensão ou de formato lamelar não é recomendável, pois podem se formar bolsões de água sob os agregados. Segundo a BS 8500 (2006), a resistência ao congelamento é considerada adequada se os agregados tiverem um histórico de sucesso no uso durante ao menos 10 anos em ambientes semelhantes ou piores, com concreto de qualidade semelhante ou inferior à especificada. Os teores de ar incorporado recomendados pelo ACI 201.2R (2008), em função da dimensão nominal máxima do agregado e da natureza da exposição, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de ar incorporado para concretos resistentes ao congelamento (adaptado do ACI 201.2R-08).

Dimensão nominal máxima do agregado (in – mm)	Percentual de ar incorporado	
	Exposição severa	Exposição moderada
3/8 – 9,5	7,5	6
1/2 – 12,5	7	5,5
3/4 – 19,0	6	5
1 – 25,0	6	4,5
1 1/2 – 38,1	5,5	4,5
2 – 50,8	5	4
3 – 76,2	4,5	3,5

(1) A tolerância no percentual de ar incorporado quando da entrega do concreto deve ser de +/- 1,5%



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Tendo em vista que a água expande cerca de 9% por cento quando congela, o termo "saturação crítica" descreve o ponto em que os poros de concreto estão saturados a 91,7% e, portanto, suscetíveis a danos causados pelo congelamento e descongelamento (JANSSEN, SNYDER; 1994). Neville e Brooks (2013) ressaltam que abaixo de valores de saturação da ordem de 80 a 90%, o concreto é altamente resistente ao congelamento. No entanto, para a aplicação estudada (pista de patinação), considera-se que a superfície estará saturada ou próxima da saturação.

Considerando os aspectos apresentados, este artigo apresenta o estudo de caso da pista de patinação no gelo do ParkShopping Canoas/RS, evidenciando que o desenvolvimento de um concreto especial, autoadensável e com ar incorporado, junto à adoção de boas práticas construtivas, foram determinantes para a obtenção de um elemento estrutural íntegro, resistente e condizente com os padrões requeridos neste projeto.

3 Dados de projeto, insumos e procedimentos executivos

3.1 Concepção e dados de projeto

A pista de patinação (foco deste artigo) está situada no nível (+23,13 m) e possui dimensões de 27,80 m x 16,35 m e espessura de 10 cm (área retangular da ordem de 450m²), com volume de aproximadamente 45 m³. O sistema de serpentinas embutidas na laje sob o gelo da pista de patinação do ParkShopping Canoas foi pioneiro no Brasil, embora seja muito utilizado em locais com pista de competição, *Hóckey* ou *Curling* no Japão, Europa e Estados Unidos. Ainda, o sistema construtivo (serpentina embutida em laje de concreto) também é muito utilizado em ginásios de uso múltiplo nos colégios dos Estados Unidos, onde a característica principal é a rápida troca de modelo de eventos reversíveis (pista seca e pista de gelo).

A serpentina empregada nesses casos é do tipo tubular fabricada com material tipo PEX (polietileno reticulado) ou PEAD (polietileno de alta densidade) e entregue em bobinas, em geral de 50 m, sendo que as curvas, na montagem *in loco*, são produzidas com uso de um curvador especial, de modo que a interligação fique contínua. Na pista de patinação do ParkShopping Canoas a água percorre pela serpentina (com diâmetro de 20mm) ininterruptamente a uma temperatura de -15 °C, graças a uma solução de etileno glicol, gerada por um sistema de resfriadores (*chillers*), de modo que haja transmissão de refrigeração através do concreto para manter o gelo da parte superior (pista) em estado sólido. A espessura do gelo sobre a laje de concreto na pista de patinação do ParkShopping Canoas varia entre 3 e 5 cm dependendo das condições climáticas e da temperatura da água obtida pelo sistema de refrigeração. O detalhe do corte da laje LP1 (pavimento térreo) pré-fabricada (foco deste artigo), com espessura de 10 cm, mostrando o gelo da pista de patinação sobre a mesma, bem como o detalhe do posicionamento da serpentina (locada no eixo da laje), pode ser observado na Figura 2.

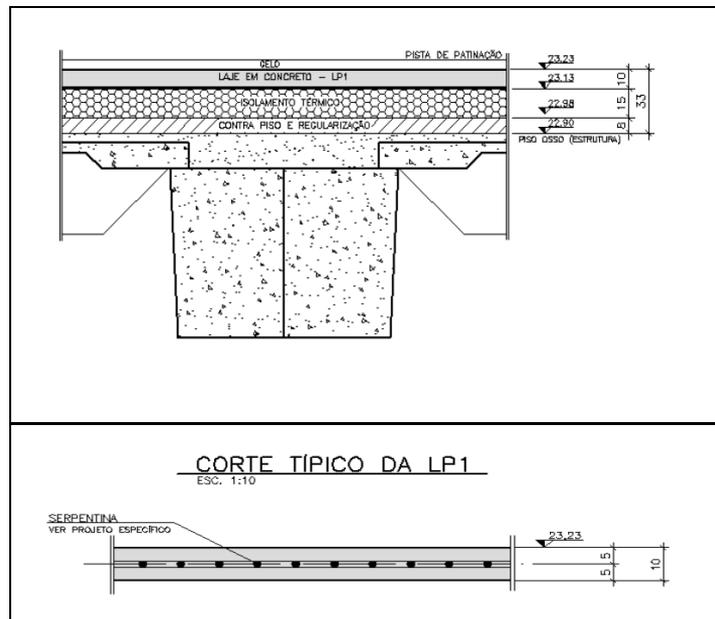


Figura 2 – Detalhes de projeto da laje LP1.

3.2 Traço de concreto e insumos empregados

O concreto destinado à Laje LP1 (laje moldada *in loco* da pista de patinação, construída sobre a estrutura pré-fabricada do pavimento térreo) foi desenvolvido pela PhD Engenharia (Consultoria de Tecnologia do Concreto do Grupo Multiplan), a partir de um amplo programa experimental e realização de evento protótipo, 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 meados de julho de 2017, aproximadamente três meses antes da concretagem da pista, em evento único. Ainda, um importante evento protótipo foi realizado no final de agosto de 2017, a fim de simular diversos aspectos, entre eles: o concreto no caminhão betoneira em adversidades climáticas e logísticas (trajeto), o tipo e o tempo de lançamento, a energia da mistura, o tipo de bomba entre outros fatores fundamentais e decisivos para a concretagem da pista, como o espalhamento do concreto com uso de macrofibra, a temperatura de chegada e o teor de ar incorporado no estado fresco, tipo de acabamento a ser empregado e posterior cura.

Também foi determinante o evento protótipo no canteiro de obras, em escala real de espessura, distância real para lançamento do concreto, por meio de bomba estacionária, taxa de aço e disposição da armadura e serpentina embutida, com o intuito de 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.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Parâmetros preliminares para o concreto objeto do estudo experimental, em função das condicionantes de projeto foram estabelecidos. Esses parâmetros posteriormente foram ajustados com a incorporação de gelo e macrofibra sintética, entre outras ações. O principal desafio consistiu no uso de um elevado teor de macrofibra (3 kg/m^3), para substituição de parte da armadura frouxa especificada em projeto (a armadura da camada superior, sobre a serpentina), para um concreto tipo autoadensável (teorias conflitantes). A supressão da armadura superior foi uma condicionante estabelecida pelo cliente para não comprometer a serpentina embutida no interior da laje LP1.

O uso de concreto autoadensável também fora uma condicionante para se minimizar o adensamento do concreto por vibrador mecânico provido de agulha de imersão, a fim de se evitar também o comprometimento das serpentinas. Por sua vez, o uso de gelo foi recomendado para minimizar os efeitos de geração de calor e para o caso de uma concretagem com velocidade lenta em função da metodologia de lançamento do concreto, conforme será explicado adiante (evento real, com emprego de passarela móvel).

Ainda, o uso de ar incorporado no concreto foi uma condicionante conceitual de concretos submetidos a ciclo de gelo e degelo, incomum no Brasil, conforme premissas estabelecidas no ACI 201.2R-08. De fato, o uso de ar incorporado indiretamente contribuiu para a dosagem de um concreto autoadensável com elevado teor de macrofibra (colaborou na fluidez do concreto no estado fresco). O traço de concreto foi formulado com base em 4,5% de ar incorporado, em virtude da dimensão máxima da brita empregada (25,4 mm / 1") e exposição agressiva (moderada), vide classificação adotada por meio Tabela 1, reproduzida do ACI mencionado.

É importante registrar que o traço candidato foi desenvolvido tendo em vista os insumos disponíveis no Rio Grande do Sul/Canoas [os mais apropriados para um concreto autoadensável (especificado para classe de espalhamento *SF2*, ABNT NBR 15823:2017), com resistência à compressão especificada $f_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$, conforme as especificações de projeto e condicionantes mencionadas]. O maior agravante no caso dos insumos foi o emprego de macrofibras sintéticas com comprimento de 54 mm, o que culminou num consumo de cimento elevado, da ordem de 424 kg/m^3 , mesmo com uso de incorporação de ar no concreto e uso de aditivos superplastificantes, a fim de se obter o espalhamento necessário e as características pertinentes de autoadensabilidade (mínimo uso de vibrador mecânico ou régua vibratória), ainda com o menor consumo possível de água por metro cúbico (179 kg/m^3), a fim de se evitar eventuais fissurações por retração hidráulica.

Não obstante, mesmo com espessura de 10 cm, optou-se pelo uso de gelo em substituição de parte da água de amassamento (100 kg/m^3 , aproximadamente 56% de toda água do traço) com objetivo de prevenir qualquer problema de ordem térmica. Complementando, foi usada adição de aproximadamente 5% de metacaulim em relação à proporção de cimento, a fim de se prevenir eventuais reações deletérias do tipo álcali agregado. O traço de concreto autoadensável, bem como a procedência dos insumos empregados na concretagem da pista de patinação do ParkShopping Canoas podem ser observados na Tabela 2, e os insumos e aspecto do concreto autoadensável, na Figura 3.



Tabela 2. Traço da pista de patinação, em materiais secos, com f_{ck} previsto de 40 MPa aos 28 dias de idade, para 1 m³ de concreto.

Traço do concreto (m ³)	concebido para $f_{ck} > 40$ MPa
consumo de cimento por m ³ (CP II-F-40 – Votoran / Unidade Rio Branco)	424,0 kg
adição de metacaulim HP Ultra	20,0 kg
relação água/(cimento+adição)	0,40
gelo + água da umidade das areias (traço seco) - materiais secos + água de amassamento, areias secas (quando dosar na central, considerar umidade reais das areias e corrigir valor, vide abaixo)	179kg
teor de argamassa	58,0%
ar incorporado (aferido em laboratório)	5,2%
<i>slump-flow</i> aferido em laboratório	em média 61cm
massa específica aferida em laboratório	2420 kg/m ³
areia fina natural de cava (Sapucaia do Sul) - quartzo	341 kg
areia média natural de rio (Sapucaia do Sul) - quartzo	511 kg
brita 0 (Sapucaia do Sul) - basalto	659 kg
brita 1 (Sapucaia do Sul) - basalto	282 kg
aditivo incorporador de ar (0,05%) (MasterAir [®] 901, BASF)	0,2 kg (200 gramas)
aditivo superplastificante (1,2%) (MasterGlenium [®] ACE 402, BASF)	5,1 kg
aditivo para impermeabilização e proteção do concreto (cristalizante) (1,0%) (Xypex Admix C-500 NF, MC-Bauchemie)	4,2kg
macrofibra [®] sintética estrutural FF54 [®] PRO (54 mm) (Construquímica)	3,0 kg
gelo real (em escamas): 56% da água de amassamento e materiais secos (Gelo Rei)	100 kg



Figura 3 – Insumos e aspecto do traço (espalhamento de 61 cm).

As resistências obtidas em laboratório foram: aos 3 dias de 42,9 MPa, aos 7 dias 61,9MPa e aos 28dias 69,9 MPa (notadamente elevadas, em função da baixa relação água/cimento estabelecida e metodologia de empacotamento empregada no estudo). Com o intuito de não comprometer a produção do concreto no evento real de concretagem, admitiu-se a quantidade de gelo constante no traço para os caminhões betoneiras, sendo essa quantia fixada em 100 kg por metro cúbico e água remanescente corrigida pela umidade das areias, com a ressalva explícita na especificação técnica de um procedimento de ação corretiva para o caso de chuvas (no evento de concretagem)



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

ou detecção de cargas de areia com umidade muito elevada, aferida pelas equipes de controle tecnológico presentes integralmente na usina no evento de concretagem.

Ainda, o traço desenvolvido empregou um aditivo para impermeabilização e proteção do concreto (cristalizante), com o intuito de colmatar automaticamente (por cristalização) eventuais fissurações por retração do concreto, o que poderia impactar na integridade da laje e no seu desempenho quanto à transmissão de refrigeração (o elemento necessariamente deveria apresentar integridade).

3.3 Recomendações para o procedimento executivo

As especificações contidas no procedimento executivo foram redigidas com base na ABNT NBR 14931:2004. Além dos requisitos básicos estabelecidos nessa norma, outras engenhosidades e melhorias foram essenciais para prover a qualidade e integridade do elemento estrutural, sendo as principais relacionadas com um sistema eficiente de lançamento do concreto.

3.3.1 Evento protótipo

Desde o desenvolvimento do traço de concreto em meados de julho de 2017, já havia a preocupação com a concepção de um protótipo para avaliação do comportamento do concreto autoadensável com uso de gelo e macrofibras sintéticas com comprimento de 54mm, no que tange ao envolvimento do concreto na armadura e serpentina, sem falhas, ninhos de concretagem ou bolsões de ar, pois o uso de vibradores mecânicos de imersão estava descartado para não danificar as serpentinas.

Nesse aspecto, na data de 29/08/2017 foi realizado um evento protótipo, onde se percebeu um bom desempenho do concreto no estado fresco, inclusive com temperaturas aferidas no controle de recebimento entre 20 °C e 21 °C, e espalhamento da ordem de 72cm, sendo este último acima da expectativa e do obtido no estudo experimental de dosagem em laboratório (61 cm, vide Tabela 2). Também foram moldados corpos de prova do caminhão betoneira para comparação com os resultados de laboratório.

O concreto foi aplicado com emprego de um único caminhão betoneira em um protótipo de pequena escala [placa simulando uma parte da laje LP1 (pavimento térreo) com 3 m x 3 m e espessura de 10 cm, totalizando aproximadamente 1 m³]. Especificamente neste evento, o concreto demorou 26 minutos no percurso entre usina e obra em 10,4 km, apresentando espalhamento de 72,5 cm e temperatura de 20,5 °C, dados aferidos pelo controle tecnológico de recebimento. Neste evento, foi usado somente um caminhão betoneira com capacidade de 7 m³, carregado com 5 m³ de concreto.

Na usina, os procedimentos realizados na data de 29/08/2017 basicamente consistiram em: conferir a temperatura e massa dos sacos de gelo (adotada a média obtida em seis sacos), aferir a umidade da areia (uma amostra no início do evento), conferir o traço lançado no sistema automatizado (cálculo da quantidade da água livre, das adições e aditivos), a água real adicionada ao traço (descontando a umidade da areia e quantidade



de gelo), bem como a quantidade de aditivos, a dosagem manual das adições tipo metacaulim, cristalizante e da macrofibra na esteira de agregados e a dosagem do aditivo superplastificante realmente necessária.

Posteriormente, em canteiro de obras, foi conferido o espalhamento do concreto e sua temperatura (controle de recebimento normalizado), bem como a metodologia de lançamento com uso de bomba estacionária. Esses procedimentos realizados no evento de 29/08/2017, na concretagem do protótipo de pequena escala, podem ser observados nas Figuras 4 e 5.

Sobre uma lona plástica (interface com o concreto estrutural do bloco), recomendou-se um revestimento à base de cal (caiação) constituído de duas demãos generosas, espalhadas com vassourão, para atuar como camada de separação entre o lastro e a superfície inferior da Laje LP1, de modo a reduzir as restrições e, além disso, minimizar e colmatar as eventuais fissuras causadas pelas movimentações do elemento estrutural de grandes dimensões, concretado em evento único.

Nota-se que no dia do evento protótipo a temperatura ambiente estava atípica, entre 34°C e 36 °C, o que requereu bastante atenção quanto aos aspectos relacionados com a eficiência do gelo na mistura (temperatura de recebimento do concreto). A dosagem do evento protótipo em usina se iniciou às 13h00 e a concretagem findou as 15h30.



Figura 4 – Protótipo de 3 m x 3 m x 10 cm e espalhamento do concreto lançado (72 cm).



Figura 5 – Lançamento concreto envolvendo bem as serpentinas e protótipo já finalizado.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Durante o acompanhamento do evento protótipo, foi possível observar que o concreto dosado possuía muitas qualidades, como coesão e robustez, principalmente no que diz respeito ao seu transporte, bombeamento e lançamento, apesar do elevado teor de macrofibra (3 kg/m^3). Também se constatou que, apesar da elevada temperatura ambiente (da ordem de $35 \text{ }^\circ\text{C}$), os 100 kg de gelo por metro cúbico foram suficientes para prover um concreto com temperatura de lançamento da ordem de $21 \text{ }^\circ\text{C}$ e que após duas horas ainda não havia ultrapassado os $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Entretanto, chamou a atenção o espalhamento elevado de 72 cm, o que poderia indicar um teor de ar incorporado mais elevado, superior ao determinado no estudo de dosagem. Fato constrangedor foi que, apesar de inúmeros avisos sobre a importância do evento protótipo ao controle tecnológico, o equipamento de ar incorporado não funcionou corretamente, impossibilitando a aferição desse parâmetro fundamental.

Durante o lançamento, ocorreu a moldagem dos corpos de prova para ensaios do concreto no estado endurecido (resistência mecânica à compressão). Foram moldados corpos de prova, para o traço candidato, sendo todos específicos para ensaios de resistência à compressão em idades variadas de 3 a 28 dias. As resistências obtidas foram: aos 3 dias de 34,6 MPa, aos 7 dias 40,2 MPa e aos 28 dias 55,2 MPa.

De posse dos resultados obtidos no evento protótipo e comparados com os resultados obtidos no estudo experimental, independentemente do teor de ar incorporado não aferido no evento protótipo, foi possível corroborar que, de fato, pelas resistências acentuadamente mais baixas, o teor de ar certamente foi bem superior ao aferido em laboratório de 5,2% (obtido no estudo experimental de dosagem), talvez até maior que o dobro (estimado).

Em conjunto com o departamento técnico da Engemix, de acordo com estimativas da massa específica do concreto e ainda com base no histórico de diversos traços dosados em laboratório na oportunidade do estudo experimental, inclusive alguns com características bem similares ao do concreto do evento protótipo no estado fresco, resolveu-se por reduzir a quantidade de aditivo incorporador de ar no evento real em 50%, conforme será exposto adiante.

3.3.2 Evento real

O evento real da concretagem do Rink de patinação ocorreu em 07/10/2017, num sábado, em virtude do emprego de um traço de concreto especial e da baixa velocidade de concretagem, devido à metodologia de lançamento, por meio de uma passarela móvel e uso de bomba estacionária acoplada de válvula Rock. Durante o evento, percebeu-se um excelente desempenho do concreto no estado fresco, inclusive com temperaturas aferidas no controle de recebimento entre $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e espalhamento, em sua maioria, entre 62 e 63 cm, sendo este último parâmetro bem condizente com os estudos realizados no programa experimental. Também foram moldados corpos de prova de todos os caminhões betoneira (amostragem 100%) para comparação com os resultados de laboratório.



O teor de ar aprisionado aferido esteve entre 4,2% e 4,5%, bem condizente também com a especificação pré-estabelecida e com os estudos de laboratório, apesar da redução de 50% do aditivo incorporador de ar, conforme planejado previamente em função das ocorrências registradas no evento protótipo. Especificamente neste evento, o concreto demorou 22 minutos no percurso entre usina e obra em 10,4 km.

Em canteiro de obras, foi conferido o espalhamento do concreto e sua temperatura (controle de recebimento normalizado), o teor de ar incorporado, bem como a metodologia de lançamento com uso de bomba estacionária Schwing modelo BP 2000, por meio de uma passarela móvel.

É importante ressaltar que fora instalada uma passarela móvel que percorria toda a extensão da pista de patinação por meio de dois conjuntos de trilhos também móveis, de modo que nenhum operário pisoteasse a superfície do rink durante a concretagem até o seu acabamento, preservando integralmente o sistema de serpentinas. Esses procedimentos podem ser observados nas Figuras de 6 a 10.

Nota-se que no dia do evento real a temperatura ambiente estava entre 24 °C e 25 °C, diferente da data do evento protótipo (36 °C), o que também requereu atenção quanto aos aspectos relacionados com a eficiência do gelo na mistura, embora com expectativa bem mais positiva em virtude do ocorrido no evento protótipo (registro de temperatura ambiente de 36 °C). A dosagem do evento real em usina se iniciou as 8h30 e a concretagem findou às 17h00.



Figura 6 – Detalhe do Rink de patinação e da passarela móvel acoplada nas laterais por dois carrinhos deslizantes sobre trilhos (dois jogos, também móveis, orientados por uma guia).



Figura 7 – Detalhe do ensaio de espalhamento e lançamento do concreto autoadensável.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182



Figura 8 – Detalhes do lançamento, espalhamento e acabamento do concreto.



Figura 9 – Detalhes do lançamento e espalhamento do concreto.



Figura 10 – Detalhe do Rink de patinação finalizado e da cura realizada no dia seguinte.

Durante o acompanhamento do evento real foi possível observar que o concreto dosado se comportou muito bem, melhor até de que no evento protótipo, principalmente no que diz respeito ao seu transporte, bombeamento, lançamento e acabamento; apesar do elevado teor de macrofibra (3 kg/m^3). Também se constatou que, apesar da temperatura ambiente mais amena (da ordem de $25 \text{ }^\circ\text{C}$), os 100 kg de gelo por metro cúbico foram suficientes para prover um concreto com temperatura de lançamento da ordem de $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (em média) e que após três horas ainda não havia ultrapassado os $23 \text{ }^\circ\text{C}$ (aferido). Ainda, foram moldados corpos de prova, sendo todos específicos para ensaios de resistência à compressão em idades variadas de 3 a 28 dias. As resistências obtidas foram: aos 3 dias de $48,9 \text{ MPa}$, aos 7 dias $55,8 \text{ MPa}$ e aos 28 dias $62,6 \text{ MPa}$.



4 Resultados

4.1 Integridade

Respeitadas as premissas dos procedimentos executivos descritos no item precedente, não foram observadas fissuras nas lajes. O gelo foi disposto diretamente sobre a superfície de concreto, após 28 dias do evento de concretagem. Na data de 22/11/2017 ocorreu a inauguração do ParkShopping Canoas/RS, inclusive com um show de grande porte na arena de patinação, onde não se observou quaisquer anomalias. A pista é constantemente monitorada e não há registro de quaisquer manifestações patológicas, inclusive, a última visita ocorreu em maio de 2019. Na Figura 11 pode se observar a data de inauguração da pista de patinação, em 22/11/2017.



Figura 11 – Pista de patinação, inauguração em novembro de 2017.

4.2 Controle tecnológico do concreto

Realizou-se também o controle tecnológico do concreto aplicado na pista (amostragem total / 6 caminhões betoneira). A resistência à compressão mínima foi de 59,6 MPa e a máxima de 65,3 MPa, com média de 62,6 MPa, desvio padrão de 2,18 MPa e coeficiente de variação de 3,5%. Por sua vez, os espalhamentos aferidos foram de 62 cm (mínimo) e 68 cm (máximo), com média de 64,7 cm. O teor de ar incorporado foi de 4,2% (mínimo) e 4,5% (máximo), com média de 4,3%. As temperaturas de lançamento foram de 18,3 °C (mínimo) e 19,4 °C (máximo), com média de 18,8 °C. Todos esses valores estavam em conformidade com o especificado em projeto, com as tolerâncias das normalizações e procedimentos adotados.

5 Considerações Finais

1. Considera-se que o conjunto formado por um estudo e desenvolvimento de um traço de concreto apropriado, a concepção de um evento protótipo em grande



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

escala, bem como engenhosidades implementadas por meio de adaptações, detalhes e melhorias nos procedimentos da ABNT NBR 14931, inclusive um planejamento rigoroso e acompanhamento técnico do evento único de concretagem (em sua totalidade, desde a usina até a cura propriamente dita) foram determinantes para a execução da pista de patinação do ParkShopping Canoas, resultando em um elemento estrutural íntegro e com elevado desempenho, sendo que toda a amostragem cumpriu com os requisitos do ACI 201.2R-08, no que tange ao valor de ar incorporado no concreto;

2. Considera-se também que este artigo possibilitou alertar quanto ao uso adequado dos procedimentos descritos em normalizações nacionais vigentes e em literaturas consagradas que, associados às boas práticas de engenharia e técnicas de bem construir, são favoráveis para um resultado final satisfatório; nesse caso específico, visando minimizar sobremaneira falhas de concretagem e fissurações generalizadas em elementos de concreto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo Multiplan pelo apoio, oportunidade, idealização desse projeto singular e permissão da publicação deste artigo, especialmente aos engenheiros Antonio Sérgio Bianco, Eduardo Correa, Sergio Fioravanti e Sergio Pardini. Aos engenheiros Arthur Sperling da Tecplan Engenharia e Gerenciamento e Alexandre Presotto da SPM Engenharia pela troca de informações valiosas com estes pesquisadores.

6 Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201.2R-08**: Guide to Durable Concrete. Farmington Hills: ACI, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 23p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017. 14p.
- BRASIL. **Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução CNNPA n. 35, 27 de dezembro de 1977**. Brasília, dez. 1977.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 8500-1**: Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier. London, nov. 2006.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Freeze-Thaw Resistance of Concrete With Marginal Air Content**. Virginia, dec. 2006. Disponível em: <<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/06117/06117.pdf>>. Acesso em 13 fev. 2018.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

- 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.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, PINI / SENAI, 1992. 189p.
- JANSSEN, D. J.; SNYDER, M. B. **Resistance of Concrete to Freezing and Thawing. Strategic Highway Research Program**. Washington DC, jun. 1994.
- KENNEDY, Lindsay K., ed. **The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction**. 3ª ed. American Society of Concrete Contractors - ASCC, 2005.
- KLIEGER, P. Landmark Series: Further Studies on the Effect of Entrained Air on Strength and Durability of Concrete with Various Sizes of Aggregates. **Concrete International**. Vol. 25, Issue 11, pp. 26-45, 2003.
- 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.
- LAU, E. C. **Effect of maximum size of aggregate and other factors on frost resistance of concrete**. Thesis (B.A.Sc.), University of Windsor, Ontario, Canada, 1967.
- LAUGHLIN, G. R.; SCOTT, J. W.; HAVENS, J. H. **Freeze-thaw characteristics of aggregates**. Department of Highways Commonwealth of Kentucky. 16th Annual Highway Geology Symposium, University of Kentucky, Mar. 1965.
- LIMA, S. M. de. **Concreto de alto desempenho em ambientes com baixas temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006. 216f.
- LIMA, S. M. de; LIBORIO, J. B. L. Concreto de alto desempenho aplicado a sistemas de processamento e armazenagem de alimentos em baixas temperaturas. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 49, p. 91-107, 2009.
- MACINNIS C.; LAU, E. C. Maximim aggregate size effect on frost resistance of concrete. **Journal American Concrete Institute**. V. 68, n. 2, pp. 144-149. Fev. 1971.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2.ª Edição. Ibracon, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª Edição. Bookman, 2015.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª Edição. Bookman, 2013.
- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Control of Air Content in Concrete. **Concrete Technology Today**. V. 19, n. 1, Abr. 1998.
- POWERS, T. C. Void spacing as a basis for producing air-entrained concrete. **Journal American Concrete Institute**. V. 50, pp. 741-760, Mai. 1954.
- READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION OF ONTARIO. **Best Practices Guidelines for Self-Consolidating Concrete**. Mississauga: RMCAO, January 2009. p. 5
- RICHARDSON, A., CONVENTRY, K., BACON, J. Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, 19, pp. 272-277, 2011.