

Galpão logístico

PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES - ENG. CIVIL, MsC, Dc (publio@lpe.eng.br) ;
WAGNER EDSON GASPARETTO - ENG. CIVIL, MBA (wagner@lpe.eng.br) | LPE ENGENHARIA E CONSULTORIA

RESUMO

A OBRA EM QUESTÃO É UM *BUILT-TO-SUIT* PARA UM CLIENTE DE COMÉRCIO ELETRÔNICO. COM NECESSIDADES LOGÍSTICAS ESPECÍFICAS, COMO O INTENSO USO DE ROBÔS E ALTO ÍNDICE DE AUTOMAÇÃO, EXIGIU, TANTO NO PROJETO COMO NA EXECUÇÃO, A ADOÇÃO DO QUE SE TEM HOJE, EM NÍVEL MUNDIAL, DE TÉCNICAS E MATERIAIS DE EXCELÊNCIA. COM 200.000 M² DE PISOS DO GALPÃO, SENDO QUE 100.000 M² EM FUNDAÇÃO DIRETA E 100.000 M² DE MEZANINOS EM TRÊS NÍVEIS, EXIGIU DIFERENTES MODELOS DE PAGINAÇÃO. PARA OS PISOS EM FUNDAÇÃO DIRETA, FORAM ADOTADAS DUAS DIMENSÕES DE PLACAS: SOB OS MEZANINOS, PLACAS DE 6,08 × 8,08 M, PARA ACOMPANHAR A MODULAÇÃO DOS PILARES E NO RESTANTE, PLACAS DE 11,20 × 11,20 M. NOS CAPEAMENTOS, ADERIDOS, DAS LAJES ALVEOLARES DOS MEZANINOS, AS JUNTAS SEGUIRAM AS DA ESTRUTURA, SEPARADAS DE NO MÁXIMO 35 M. AS SOLUÇÕES ADOTADAS FORAM COROADAS DE ÊXITO, ATESTADAS PELO EXCELENTE DESEMPENHO DO PISO EM SERVIÇO.

PALAVRAS-CHAVE: PISO INDUSTRIAL, CAPEAMENTO ADERIDO, JUNTAS EM PISOS, ADITIVOS E CONTROLADORES DE RETRAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento do comércio virtual nos últimos anos, principalmente e após epidemia do COVID é visível em todo o país, criando no consumidor o hábito de compras pela internet. Na esteira desse crescimento, houve também aumento na procura de galpões logísticos, agora com requisitos mais estritos em termos de qualidade - alto padrão - e adaptabilidade às novas técnicas de manuseio de mercadorias.

Segundo dados recentes, em 2023 foram construídos cerca de 3 milhões de m², de acordo com dados da *Market Analsycis* (SiiLA), perfazendo

um total estimado de 26,4 milhões de m² de condomínios logísticos no país. Antes mais presentes na região Sudeste, o Nordeste desponta como novo polo atrativo para essas obras.

Na operação logística, onde a venda de produtos é individualizada e um mesmo cliente pode receber diversos itens em uma mesma remessa, cria-se a necessidade intensa de automação na seleção e embalagem dos produtos, que devem ser entregues em períodos, muitas vezes, inferiores a 24 horas.

A obra que será abordada foi destinada a uma empresa de comércio eletrônico, uma das mais atuantes no mercado nacional e sul-americano e construída - sob medida - por operador de galpões logísticos de atuação mundial, proprietário do empreendimento.

Levando-se em conta a paginação e função estrutural, a obra se compõe por três tipos de pisos, sendo dois em fundação direta e o capeamento das lajes alveolares, perfazendo um total de 200.000 m².

Embora não seja escopo deste artigo, na pavimentação externa, com 30.000 m² de vias de circulação e pátio das docas, o

proprietário, tendo em vista preocupações ambientais, optou pelo uso do pavimento de concreto, que em virtude de sua elevada reflexão, permite redução da iluminação viária, além de outros aspectos positivos deste material, como maior durabilidade, redução das ilhas de calor etc.

2. OS PISOS

Os pisos são em sua maior parte em fundação direta, perfazendo um total de 100.000 m² e como capeamento das lajes, com 100.000 m² repartidos em três níveis.

2.1 Fundação direta

Os pisos foram concebidos para suportarem carga uniformemente distribuída de 6 tf/m², carga de porta-paletes de 5 tf/apoio e empilhadeiras de 5 tf/eixo. Apresentam, como diferença, apenas a paginação, que, em função do espaçamento entre pilares na área sob os mezaninos ser menor, exigiu paginação diferente do restante do galpão.

Sob os mezaninos, a modulação das placas é de 6,80 × 8,08 m. Na área restante, 67.000 m², a paginação é de 11,2 m × 11,2 m, obedecendo a modulação dos pilares da cobertura. A estrutura do piso (Figura 1) é a mesma para toda a área em fundação direta, com placa de concreto de 14 cm de espessura, reforçada com fibra sintética estrutural, sobre base de 10 cm de brita graduada e reforço de subleito de 20 cm, necessário devido a presença de solos expansivos.

Além do reforço com fibra sintética estrutural, em áreas discretas, em função da geometria das placas, houve a necessidade do emprego de reforço estrutural com tela

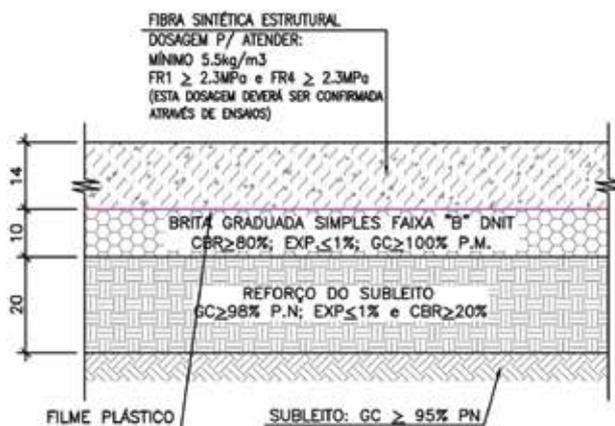


FIGURA 1
SEÇÃO DO PISO EM FUNDAÇÃO DIRETA

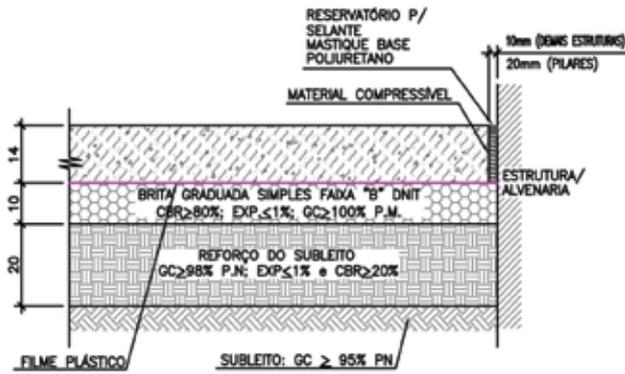


FIGURA 2
JUNTA DE ENCONTRO

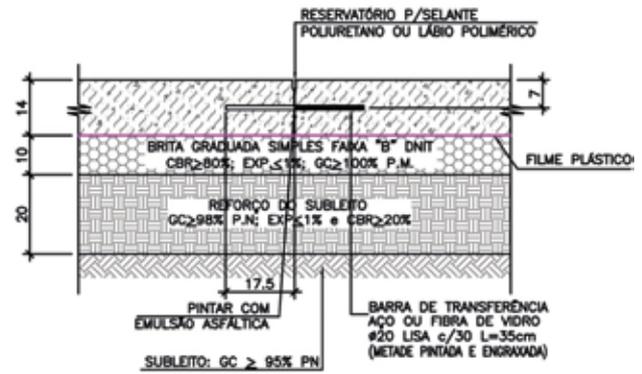


FIGURA 3
JUNTA DE CONSTRUÇÃO

simples ou dupla, dependendo da condição de uso do piso. O concreto empregado apresenta as seguintes características:

- Resistência à compressão: $f_{ck} \geq 30$ MPa;
- Resistência à tração na flexão: $f_{ctm, k} \geq 4,2$ MPa;
- Abatimento entre 100 e 120 mm;
- Teor de argamassa entre 49 e 52 %;
- Consumo de cimento, mínimo de 320 kg/m³ e máximo de 380 kg/m³;
- Consumo máximo de água de 185 L/m³;
- Microfibra de polipropileno: 600 g/m³;
- Retração hidráulica máxima de 450 μ m/m;
- Teor de ar incorporado (concreto fresco) inferior a 3 %;
- Exsudação inferior a 4 %; e
- Relação água/cimento inferior a 0,55.

2.1.1 TIPOS DE JUNTAS - FUNDAÇÃO DIRETA

Ainda paira, por vezes, quando se trata de juntas em pisos ou mesmo em pavimentos de concreto, quanto à necessidade ou não da adoção de juntas de expansão a cada 35 m, similarmente ao exigido para as estruturas.

Entretanto, conceitualmente, pisos em fundação direta não necessitam desse tipo de junta, pois a grande quantidade de juntas serradas e de construção permitem que o concreto retraia livremente durante o processo de hidratação, devido à retração química e posteriormente à retração por secagem, fazendo com que cada uma dessas juntas funcione como pequenas juntas de dilatação, capazes de absorver as variações térmicas do piso.

Embora as juntas de dilatação sejam dispensáveis, é necessário que, no encontro do piso com a estrutura, seja empregada uma junta que possibilite a movimentação diferencial do piso com a estrutura e, nesse caso, é referida como junta de encontro (Figura 2).

A paginação do piso é formada por juntas de construção (Figura 3) e serradas (Figura 4), ambas providas com mecanismo de transferência de carga, barras de transferências de aço liso e seção circular com diâmetro de 20 mm. O encontro dessas juntas com os pilares é feito no sistema denominado catavento, como mostra a Figura 5.

As dimensões variadas das placas, que sob o mezanino são menores, leva à existência de juntas T no encontro das duas paginações; esse tipo de junta pode resultar na formação de fissura induzida, como uma continuidade da junta que acaba. Para mitigar o problema, foi empregada junta de construção usando como mecanismo de transferência barras de seção quadrada, com aplicação de EPS nas laterais, permitindo a movimentação horizontal diferencial entre as placas de dimensões diferentes (Figura 6).

Além dessas juntas convencionais, foi adotado, na área de picking, onde o tráfego de empilhadeiras e paletes é concentrado e elevado, junta metálica de formato senoidal (Figura 7). Esse tipo de junta, que é incorporada ao piso na fase da concretagem, oferece alta durabilidade em locais de tráfego de equipamentos de rodas rígidas empregados nas operações logísticas.



FIGURA 4
JUNTA SERRADA

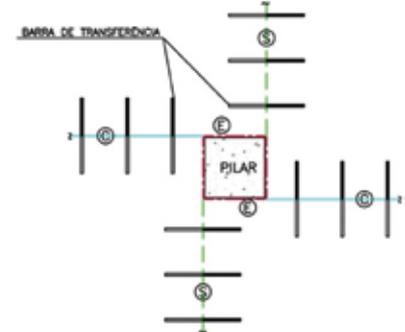


FIGURA 5
JUNTA CATAVENTO

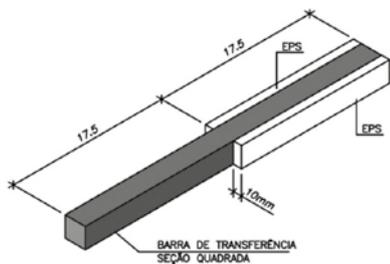


FIGURA 6
BARRA DE TRANSFERÊNCIA QUADRADA

2.2 Capeamento

A laje dos mezaninos tem capacidade de 2,1 tf/m², é constituída por lajes alveolares apoiadas em estrutura pré-moldada e consolidada após montagem, formando estrutura hiperestática. O capeamento aderido das lajes alveolares teve espessura variada, devido à contraflecha da laje protendida, conforme mostra a Figura 8, variando de 5 a 9 cm. O reforço foi feito com fibra sintética estrutural e, para controle da retração hidráulica do concreto, foi empregado aditivo compensador de retração à base de óxido de cálcio sinterizado, controlando de modo bastante eficiente a formação de fissuras de retração, bastante comuns nesse sistema construtivo.

Como a laje é contínua, na região dos apoios foi feito reforço em barras de aço CA50 para combater os momentos negativos presentes, cuja especificação ficou a critério do projetista da estrutura e não citada aqui. No encontro com os pilares, foi previsto armadura de reforço para combater os esforços de canto reentrante.

O concreto empregado apresenta as seguintes características:

- Resistência à compressão: $f_{ck} \geq 40$ MPa;
- Abatimento entre 100 e 120 mm;
- Teor de argamassa entre 49 e 52 %;
- Consumo de cimento, mínimo de 320 kg/m³ e máximo de 380 kg/m³;



FIGURA 7
JUNTA METÁLICA SENOIDAL - PLANTA

- Consumo máximo de água de 185 L/m³;
- Microfibra de polipropileno: 600 g/m³;
- Retração hidráulica máxima de 350 μm/m;
- Teor de ar incorporado (concreto fresco) inferior a 3 %;
- Exsudação inferior a 4 %;
- Relação água/cimento inferior a 0,55; e
- Compensador de retração (óxido de cálcio sinterizado): 15 kg/m³.

2.2.1 JUNTAS DO CAPEAMENTO

Ainda paira muitas dúvidas quando se fala em juntas serradas no capeamento aderido à laje, pois é comum depararmos com projetos em que são previstas a execução de juntas serradas, formando quadros relativamente pequenos, por exemplo, de 4 x 4 m. Mas para que servem essas juntas?

Na realidade, causam mais problemas do que alívio, como provavelmente é a intenção do projetista, nas tensões de retração do concreto. Mas, se o capeamento está aderido a uma base que não irá se retrair, elas são de eficiência duvidosa.

O que ocorre é que a parte superior do capeamento se encontra livre para retrair, mas a sua parte inferior está limitada pela aderência na laje, criando uma retração diferencial, que irá gerar tensões de tração na parte superior do capeamento, que, em resumo, será a diferença entre a retração do concreto e de sua capacidade de se deformar para absorver o encurtamento da parte superior, por deformação elástica e fluência do concreto. Como são pequenos frente à retração, o concreto fissa para compensar a retração excedente.

Apesar da questão de juntas ser inquietante, pode-se facilmente demonstrar que como as deformações são elevadas e não há deslocamento do capeamento que está aderido, as tensões de tração estarão acima das admissíveis. Um concreto que apre-

senta, por exemplo, retração da ordem de 400 μm/m, as parcelas de deformação elástica e fluência giram em torno de 150 μm/m, restando cerca de 250 μm/m a serem dissipados. Considerando concreto com módulo de elasticidade de 25 GPa, a tensão resultante será 6,25 MPa, superior à admissível para concretos usuais para pisos.

Quando se tem uma junta, a tensão nela será nula, aumentando a partir do seu afastamento. É possível determinar a distância do ponto onde a tensão atuante supera a admissível, por programas de elementos finitos ou analiticamente, processo desenvolvido por Carlson (APUD Rodrigues, 2006). Para concreto de resistência à tração da ordem de 4,5 MPa, a relação L/H, onde L é a distância entre juntas e H espessura do capeamento, é aproximadamente 8, fazendo com que a distância entre juntas serradas seja da ordem 80 cm, valor impraticável.

Como agravante das juntas, de acordo com estudos conduzidos por Pigeon e Bissonnet (APUD Rodrigues, 2006), demonstram que embora a tensão na junta seja anulada, parte do esforço é transferido para a interface com a laje, tendendo a destacar o capeamento. Portanto, deve-se minimizar a quantidade de juntas e cuidar dos aspectos tecnológicos do concreto.

Desse modo, o controle de fissuração é conduzido de modo a reduzir a retração do concreto e dotá-lo de reforço suficiente para que as microfissuras formadas sejam praticamente invisíveis a olho nu. No presente caso, adotou-se, para controle da retração, agente controlador de retração à base de óxido de cálcio sinterizado e reforço estrutural com fibra sintética estrutural. Com isso, somente foram feitas juntas



FIGURA 8
SEÇÃO DO CAPEAMENTO ADERIDO (CM), INDICANDO TAXA E CARACTERÍSTICAS DO REFORÇO



FIGURA 9

CONCRETAGEM DO PISO DA FUNDAÇÃO DIRETA, COM A LASER SCREED (DIR.) E A SPREADER (ESQ.)

coincidentes com as da estrutura, espaçadas a cada 35 m.

3. REQUISITOS SUPERFICIAIS DO PISO

A operação logística prevista emprega quantidade apreciável de pequenos robôs que trabalham de modo autônomo, fazendo com que seja necessário prover o piso com níveis de planicidade e nivelamento FF/FL de 45/35, bastante módicos comparando com outros equipamentos, como as empilhadeiras trilaterais. Para garantir a resistência à abrasão, foi empregada aspersão de agregados minerais na taxa de 4 kg/m².

4. EXECUÇÃO

Um ponto importante a ser destacado quanto a execução do piso é a qualidade e treinamento da equipe executora, que pode ser medido por meio do *F-Number*, ou índices de planicidade e nivelamento. A qualidade do concreto, com pega uniforme e equipamentos executivos, como a *laser screed*, são de grande valia, principalmente para o *FL*.

No presente caso, o executor optou por usar a *laser screed* e a *spreader*, ambas guiadas a laser, adequadamente reguladas; esses equipamentos garantiram bons *F-Numbers*, reduzindo retrabalhos na frente de concretagem. O lançamento do concreto foi feito diretamente do caminhão-betoneira. Observe, na Figura 9, a frente de trabalho, com poucos trabalhadores e somente uma operação leve com rodo de corte.

Após o período de dormência quando o concreto pôde suportar o peso dos equipamentos, iniciou-se o trabalho para obtenção dos índices de planicidade, que foi atingido com o uso das acabadoras mecânicas duplas com discos, algumas acopla-

das com rodos de corte curtos e pesados, seguido das operações de alisamento e brilho, com acabadoras duplas com hélices de inclinação variada.

Nos capeamentos das lajes, o concreto foi bombeado e as operações de lançamento e desempenho do concreto e aspersão dos agregados foram executadas manualmente, seguidas pelas mesmas etapas de acabamento do piso em fundação direta. Apesar do não emprego dos equipamentos a laser, os índices de planicidade e nivelamento, como se verá mais adiante, ficaram acima dos limites especificados e perfeitamente coerentes com os pisos em fundação direta.

Após o término da execução, as áreas recém-concretadas foram tratadas com agente de cura química pelo processo de aspersão. As juntas serradas, nos pisos em fundação direta, foram executadas entre 18 e 24 horas após o início da concretagem. A

Figura 10 apresenta visão parcial da obra com o piso finalizado.

Áreas de uso específico, como salas de baterias e paradas de equipamentos, receberam tratamento antiácido para prevenir ataques no concreto no caso de vazamento de produtos agressivos.

4.1 Tratamento das juntas

Nos pisos em fundação direta, as juntas serradas foram tratadas com material de preenchimento semirrígido na profundidade total do corte. Nas juntas de construção, nas áreas de tráfego de equipamentos, foram executadas bordas poliméricas e preenchimento com selante à base de poliuretano, mesmo material utilizado para selar as juntas de encontro do piso com os pilares e paredes.

Nos capeamentos, nas juntas de encontro com os pilares, foi utilizado selante à base de poliuretano, enquanto nas juntas de dilatação, coincidentes com as da estrutura, foi aplicada junta de Neoprene, colada nas bordas tratadas com argamassa epóxida.

5. CONTROLE DA QUALIDADE DO PISO

5.1 Ensaios preliminares

Os ensaios preliminares do concreto foram efetuados para definição, de acordo com a macrofibra polimérica a ser empregada, da quantidade necessária para atender as resistências residuais especificadas,



FIGURA 10

VISÃO PARCIAL DO PISO CONCLUÍDO

TABELA 1

ENSAIO DE RESISTÊNCIA RESIDUAL DE ACORDO COM A ABNT NBR 16940 – EM MPA (ENSAIOS VIAPOL)

	LOP	fR1	fR2	fR3	fR4
Média	6,05	2,348	2,409	2,560	2,527
Mediana	6,358	2,378	2,457	2,571	2,587
Desvio padrão	1,264	0,2531	0,3095	0,2907	0,3222
Mínimo	3,554	1,961	1,850	2,053	1,929
Máximo	6,975	2,676	2,692	2,843	2,834

TABELA 2

ÍNDICES DE PLANICIDADE (FF) E NIVELAMENTO FL DOS PISOS

	Fund. direta	1º mez.	2º mez.	3º mez.
FF/FL médio	68/46	59/41	56/45	65/45
FF/FL min. global	45/35		45/35	
FF/FL min. local	34/26		34/26	

de acordo com a ABNT NBR 16940, de fR1 e fR4 $\geq 2,4$ MPA para os pisos em fundação direta e fR1 e fR4 $\geq 2,5$ MPA para os capeamentos das lajes.

Os ensaios de resistência residual do concreto indicaram que, com a fibra empregada, o teor mínimo de $5,5 \text{ kg/m}^3$ atende às especificações, tanto para a fundação direta como para o capeamento. A Tabela 1 apresenta os resultados da ruptura de seis corpos de prova.

Para a retração do concreto, foram feitas verificações dos traços com e sem aditivo controlador de retração, para verificação do cumprimento dos valores máximos especificados de $450 \text{ }\mu\text{m/m}$ para pisos em fundação direta e $350 \text{ }\mu\text{m/m}$ para os capeamentos.

A Figura 11 apresenta, como exemplo, o ensaio de retração de acordo com a norma ABNT NBR 16834 para o concreto empregado no capeamento das lajes, que recebeu adição de $12,5 \text{ kg/m}^3$ de aditivo controlador de retração à base de óxido de cálcio supercalcinado (CaO_{SINT}), que, ao contrário do CaO comum, é calcinado a temperaturas entre 1550 e $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, permitindo que a velocidade de hidratação seja controlada e a expansão produzida ocorra dentro dos primeiros 7 dias.

5.2 Controle do concreto durante a execução

O controle da qualidade do concreto foi o tipo total, amostrando todos os caminhões betoneira, medindo-se o abatimento do concreto fresco e moldando corpos de prova para verificação da resistência à compressão.

O controle da qualidade usual do con-

creto verificou propriedades do concreto fresco e endurecido, tais como: abatimento, exsudação, teor de ar incorporado e resistência à compressão. Os dados coletados permitem concluir que o concreto fornecido atendeu às demandas de projeto.

5.3 Ensaios de planicidade e nivelamento

A verificação dos índices de planicidade e nivelamento dos pisos foi feita integralmente, empregando *Dipstick* e de acordo com a norma *ASTM E1155 – Standart Test Method for Determining Floor Flatness and Levelness Using the F-Number System*. A Figura 12 ilustra as faixas de medição do piso, na mesma região ilustrada na Figura 9.

Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2. Observar que embora os mezaninos tenham sido executados com

espalhamento manual, sem o concurso da *laser-screed*, os resultados obtidos para o índice de nivelamento são praticamente iguais ao do piso em fundação direta.

6. CONCLUSÕES

A obra em questão representa o estado da arte dos pisos industriais, que mostrou, nos últimos 30 anos, avanços expressivos nos três pilares que fundamentam os pisos de alto desempenho: projeto, materiais e execução.

No campo dos materiais, o uso de aditivos químicos de última geração, principalmente os plastificantes e superplastificantes, que antes influíam bastante nos tempos de pega do concreto, hoje interferem menos na cinética de hidratação do cimento e ampliaram o tempo de vida do concreto fresco, facilitando as operações de acabamento.

Mas, sem dúvida, o grande progresso foi a introdução de controladores de retração, notadamente os a base de óxido de cálcio, que, por não dependerem das espécies formadas na hidratação do cimento, não necessitam de ajustes em função do tipo de cimento ou de variações deste durante a obra. Por reduzirem a retração do concreto, permitem a execução de placas de grandes dimensões e aberturas de juntas modestas, facilmente tratadas e reduzindo o empenamento. No capeamento aderido, o controle de fissuração supera as expectativas, compensando de modo eficiente a retração diferencial entre a base aderida e a superfície livre.

Finalmente, na execução, com os mesmos tipos de equipamentos que já existem há mais de 25 anos, consegue-se resultados muito superiores de planicidade



FIGURA 11

ENSAIO DE RETRAÇÃO DO CONCRETO – ADIÇÃO DE $12,5 \text{ kg/m}^3$ DE CaO_{SINT} (QUALITEC – CONTROLE TECNOLÓGICO)



FIGURA 12

FAIXAS DE MEDIÇÃO DO *F-NUMBER* NO PISO EM FUNDAÇÃO DIRETA

protocolos executivos e a inovação no uso dos equipamentos, permitiram expressivo progresso na execução.

Prova disso é que, nos últimos 11 anos, pode-se ver empresas brasileiras ganhando expressivos prêmios no concorrido concurso promovido pela FACE - pioneira na produção de equipamentos de medição superficial de pisos - realizado anualmente no *World of Concrete*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as informações cedidas pela Química Edile, Alphapiso e Construtora Ribeiro Caram que, em conjunto com a LPE Engenharia, se esforçaram para o sucesso desse empreendimento. ☺

e nivelamento. Embora tenha havido progressos técnicos nos equipamentos, notadamente os controlados a laser, o treinamento e capacitação da mão de obra, os

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oliveira Fº, Jatir de: Guia de Execução de Pisos Industriais de Concreto. São Paulo, SP. LPE: <https://lpe.eng.br/guia-de-execucao-de-pisos-industriais-de-concreto-2014/>, 2014.
- [2] Rodrigues, Públio P. F.: Pisos Industriais com Concreto de Retração Compensada. São Paulo, SP Ed J.J. Carol, 2019.
- [3] Rodrigues, Públio P. F.; e Gasparetto, Wagner E.: Juntas em Pisos Industriais, São Paulo, LPE: <https://lpe.eng.br/juntas-em-pisos-industriais-1999/>.
- [4] Rodrigues, Públio P F: Controle da Fissuração do Overlay de Pontes e Viadutos. 37ª Reunião Anual de Pavimentação, Goiânia, 2006.

CBPAT
2024

6ª Edição
**Congresso Brasileiro
de Patologia das
Construções**

ALCONPAT
BRASIL

17 a 20
de Julho de 2024
Em Fortaleza, Ceará na Unichristus.

Acesse e inscreva-se: www.cbpat.org.br

Patrocínio Diamante



Patrocínio Ouro



Patrocínio Prata



Fomento



Apoio



Acesse o nosso site e veja os outros apoios