

## **Boas práticas envolvidas em capeamentos de lajes alveolares. Caso Parque da Cidade-SP.**

*Good practices involved in concrete toppings of hollow-core slabs. Case Parque da Cidade-SP.*

BONI, Ricardo<sup>(1)</sup>; ROCHA, Reginaldo<sup>(1)</sup>; ALMEIDA, Thainan<sup>(1)</sup>; BRITTEZ, Carlos<sup>(2)</sup>; HELENE, Paulo<sup>(3)</sup>

*(1) PhD Engenharia;*

*(2) Departamento de engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia;*

*(3) Professor Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. Rua Visconde de Ouro Preto, 201. Consolação. São Paulo/SP. CEP 01303-060*

### **Resumo**

A utilização de diversas soluções estruturais em empreendimentos de grande porte é cada vez mais frequente, devido à celeridade que esta prática agrega ao processo executivo. Quando envolvidos elementos pré-fabricados, a solidarização do sistema estrutural através de capeamentos capazes de distribuir os esforços atuantes se torna necessária. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre as engenhosidades e boas práticas envolvidas na execução dos capeamentos de concreto das lajes alveolares do empreendimento Parque da Cidade, SP. Como resultado, observou-se que o tipo de concreto, bem como os procedimentos empregados foram determinantes para promover a qualidade e integridade do capeamento.

*Palavra-Chave: capeamento, lajes alveolares, concreto.*

### **Abstract**

The use of different structural solutions in large projects is increasing due to the speed that this practice adds to the executive process. When prefabricated elements are involved, the structural system solidarization using concrete toppings is necessary, to distribute the acting stresses. This article presents a case study about challenges and good practices involved in the execution of concrete toppings of hollow-core slabs of the work Parque da Cidade, SP. As a result, it was observed that the concrete type and the employed construction procedures were determining in promoting the quality and integrity of the concrete topping.

*Keywords: concrete toppings, hollow-core slabs, concrete.*

## 1 Introdução

Localizado na Marginal Pinheiros, próximo à Ponte Estaiada (um dos cartões postais da cidade de São Paulo), em um terreno com área de aproximadamente 80mil m<sup>2</sup>, o empreendimento Parque da Cidade será composto por dois edifícios residenciais, cinco torres corporativas, uma torre comercial, um hotel, um shopping center e restaurantes integrados por um parque linear de 62mil m<sup>2</sup> constituído por ciclovias, área de lazer, pistas de cooper e diversas praças. Esse complexo multiuso foi dividido em cinco etapas (*Glebas A, B, C, D e Holding*) e está sendo construído pela Odebrecht Realizações Imobiliárias (OR), responsável também pela sua incorporação. O projeto do empreendimento foi desenvolvido no ano de 2010 pelo Escritório de Arquitetura Aflalo & Gasperini, inspirado no conceito de cidades compactas, sustentabilidade urbana, valorização do meio ambiente e integração entre os espaços externos privativos e públicos (BONI *et al.*, 2014).

Dentre as glebas mencionadas anteriormente, destaca-se a *Gleba A*, onde está implantado o Shopping Center (atualmente em construção, figura 1). A referida gleba possuirá mais de 200mil m<sup>2</sup> de área construída e 6 (seis) subsolos, os quais implicaram em uma escavação de 20m de profundidade em um terreno localizado às margens do Rio Pinheiros. Neste aspecto, a solução de projeto adotada pelo Escritório Técnico Pasqua & Graziano Consultoria, Concepção Estrutural e Projeto S/S Ltda. (responsável pelo projeto estrutural da *Gleba A*) para resistir às elevadas cargas de empuxo e, concomitantemente, atender ao cronograma de obra, envolveu o emprego de uma estrutura de concreto pré-fabricada com algumas particularidades, inclusive a execução de capeamentos responsáveis, em parte, por distribuir esses esforços.



Figura 1 – Canteiro de obras do empreendimento Parque da Cidade (*Shopping Center – Gleba A*).

Este artigo apresenta contribuições relacionadas aos procedimentos, engenhosidades e boas práticas empregadas na execução dos capeamentos das lajes alveolares pré-fabricadas (capa e super-capa de concreto), inclusive no que tange às recomendações envolvidas nas atividades que antecederam e sucederam os eventos de concretagem.

## 2 Considerações sobre capeamentos e fenômeno de retração do concreto

Periotto, Pinheiro e Ferreira (2014) apontam a relevância do emprego do capeamento de concreto para a conformação de pavimentos compostos por lajes alveolares pré-fabricadas. Inclusive, com base em diversos ensaios mecânicos laboratoriais e análises comparativas, demonstraram que capeamentos bem executados contribuem sobremaneira com a melhoria do desempenho do conjunto da estrutura. Em mesma linha, El Debs (2000) aborda assuntos referentes às disposições construtivas (espessura da capa, distribuição/posicionamento de armaduras etc.) e recomendações gerais para a execução dos capeamentos, enfatizando a importância da aderência na interface laje pré-fabricada/capa moldada *in loco* e a qualidade do concreto empregado no capeamento, que deve apresentar pouca retração.

De acordo com Diniz, Fernandes e Kuperman (2011), o fenômeno de retração mencionado anteriormente está associado às deformações oriundas da ação conjunta das retrações plástica, autógena, hidráulica ou por secagem e por cabornatação. Neste aspecto, Mehta e Monteiro (2014) consideram que o concreto recém-endurecido, submetido ou não à carga, quando exposto à temperatura ambiente e à umidade, também pode sofrer uma deformação de retração associada ao resfriamento (contração térmica). Evidentemente, no caso de elementos mais suscetíveis à perda de umidade, por exemplo: os capeamentos de concreto (foco deste artigo), o fenômeno de retração por secagem (que está associado à diferença de higrometria entre o concreto e o ambiente externo) prevalece quando comparado aos demais.

Por sua vez, Neville (2011) apresenta quantitativamente outros fatores que influenciam a retração por secagem do concreto, entre eles: natureza do agregado, relação a/c, módulo de elasticidade, entre outros. Ainda, a ABNT NBR 6118:2014 "*Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*" salienta que o fenômeno da retração se trata de um mecanismo de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto, que pode desencadear um quadro de fissuração, podendo comprometer a durabilidade e vida útil da estrutura.

## 3 Especificações de projeto e recomendações do traço de concreto

O projeto estrutural do Shopping Parque da Cidade é composto por uma estrutura de concreto pré-fabricada (pilares, vigas e lajes alveolares protendidas produzidas pela empresa CPI Engenharia nas unidades de Jandira e Santana de Parnaíba). Conforme já mencionado, além do capeamento convencional (capa de concreto com espessura de 6cm), foram adotadas algumas soluções particulares, entre elas a execução de super-capas de concreto (com espessura de 20cm) sobre as lajes alveolares de alguns panos que possuem dimensões variando de 50 a 100m<sup>2</sup>, aproximadamente), conforme figura 2.

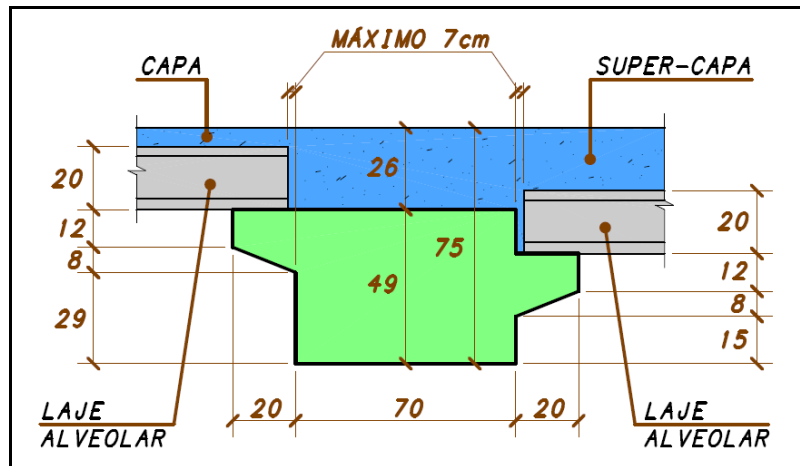


Figura 2 – Detalhe típico reproduzido do projeto estrutural do *Shopping - Gleba A*, denominado *EST 1203\_05*, elaborado pelo escritório Pasqua & Graziano Associados (gentilmente cedido pela Odebrecht).

No que diz respeito ao concreto do capeamento das lajes alveolares pré-fabricadas, fora especificado em projeto um concreto com classe de resistência C40, uma relação água/cimento máxima de 0,45, um módulo de elasticidade  $E_c \geq 30\text{GPa}$  (determinado para um tensão de 16MPa) de forma a atender uma classe de agressividade muito forte (Classe IV) conforme prescrito no item 7.4 “*Qualidade do concreto de cobertura*” da norma ABNT NBR 6118:2014 “*Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*”.

Com base nessas premissas, nos insumos disponíveis, no ambiente agressivo, nas prescrições da norma ABNT NBR 12655:2015 “*Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*” e nas diretrizes do método de dosagem IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1993), o traço de concreto apresentado na tabela 1 foi previamente desenvolvido pela PhD Engenharia (Consultora de Tecnologia do Concreto da Construtora Odebrecht) em conjunto com a empresa Polimix (fornecedora do concreto).

Tabela 1 – Traço do concreto (em materiais secos) aplicado nos capeamentos das lajes alveolares, com  $f_{ck}$  previsto para 40MPa aos 28dias de idade para  $1\text{m}^3$  de concreto e consistência  $120\pm 20\text{mm}$ .

Traço do concreto	Concebido para $f_{ck}$ 40 MPa
consumo de cimento por $\text{m}^3$ (CP III-40-RS - Votorantim)	390kg
adição de sílica ativa (Tecnosil)	25kg
água	187kg
relação água/(cimento+adição)	0,45
areia fina natural (Quartzo - Extrabase)	330kg
areia artificial, areia de brita (Granito - Pedreira Constran)	330kg
brita 0 (Granito - Pedreira Constran)	286kg
brita 1 (Basalto - Pedreira Galvani)	860kg
aditivo polifuncional (Maximent PX70, MAXCHEM)	3,7kg



Visando minimizar possíveis não conformidades relacionadas com a resistência à compressão do concreto, foi previamente acordado que não seria adicionada água no balão do caminhão betoneira após este deixar a central dosadora (onde a quantidade de água de amassamento é devidamente controlada por hidrômetros magnéticos). Sendo assim, após realização do ensaio de aceitação (consistência aferida por *slump test*), caso houvesse necessidade da correção do abatimento do concreto, isto seria procedido somente por meio de aditivo, mediante acompanhamento técnico.

Outra recomendação pertinente ao traço de concreto seria o emprego de fibras de polipropileno na composição do concreto, na quantidade de 600g/m<sup>3</sup>. Essa medida, atualmente em estudo, visa minimizar o risco de possíveis manifestações patológicas oriundas do fenômeno de retração do concreto, principalmente em épocas do ano com temperatura ambiente elevada e baixa umidade relativa do ar.

#### 4 Procedimentos executivos

Os procedimentos recomendados (referentes ao estudo de caso aplicado no empreendimento Parque da Cidade) para execução do capeamento de concreto das lajes alveolares, bem como para a montagem da estrutura pré-fabricada apresentados adiante nesse artigo se basearam nas normalizações nacionais vigentes (principalmente nas normas ABNT NBR 14931:2004 “*Execução de estruturas de concreto - Procedimento*” e ABNT NBR 9062:2006 “*Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*”) e nas boas práticas de engenharia indicadas em literaturas nacionais e internacionais consagradas, principalmente Kennedy (2005) e Neville e Brooks (1987).

Inicialmente, durante a montagem dos pilares, vigas e lajes pré-fabricadas (etapas precedentes à execução dos capeamentos de concreto), considera-se indispensável a presença de uma equipe de topografia para conferir os prumos, verticalidades, distorções, alinhamentos etc. (figura 3).



Figura 3 – Detalhe da montagem dos elementos pré-fabricados do *Shopping - Gleba A* (posicionamento da laje alveolar) e do acompanhamento da equipe de topografia.

Este proceder (conferência topográfica) permite o bom alinhamento das lajes alveolares e dos demais elementos estruturais pré-fabricados, minimizando excentricidades ou outros

tipos de não conformidades relacionadas com a localização/posicionamento desses elementos. Outra boa prática é a proteção dos alvéolos com componentes plásticos, cuja finalidade é impedir a entrada de concreto nestes locais evitando perdas e, conseqüentemente, sobrecargas adicionais (figura 4).



Figura 4 – Detalhe do alinhamento das lajes e da proteção dos alvéolos.

Concomitantemente, deve-se respeitar o comprimento de apoio das lajes alveolares pré-fabricadas sobre os consoles das vigas. No estudo de caso em questão, a laje (que possui espessura de 20cm) cumpriu rigorosamente com as prescrições estabelecidas no projeto estrutural, com comprimento de apoio mínimo de 13cm (figura 5).



Figura 5 – Detalhe do comprimento de apoio das lajes alveolares sobre os consoles das vigas pré-fabricadas da estrutura do Shopping da Gleba A.

Após montagem, conferência e liberação, recomenda-se a equalização e o preenchimento das frestas das lajes alveolares utilizando concreto com resistência à compressão igual (ou superior) à do concreto empregado no capeamento (este procedimento é conhecido popularmente como “chaveteamento”). Este material deve ser confeccionado com brita 0 e adensado cuidadosa e manualmente por meio de uma haste metálica (figura 6).



Ressalta-se que, comumente, a abertura das frestas (que varia de 3 a 5cm) dificulta a utilização de equipamentos mecânicos (vibradores de agulha) para o adensamento do concreto neste local.



Figura 6 – Detalhe da equalização (à esquerda) e do preenchimento prévio com concreto de brita 0 das frestas entre as lajes alveolares (à direita).

Nas regiões entre panos de lajes contíguas, onde há necessidade da execução de juntas de concretagem, recomenda-se o uso de tela galvanizada (tipo *quick jet*) como fôrma incorporada à estrutura (figura 7). O emprego dessa tela proporciona a obtenção de uma superfície vertical e rugosa (localizada sobre e ao longo das vigas pré-fabricadas), e permite que o concreto seja adequadamente adensado nessas regiões, neste caso podendo-se utilizar vibradores de agulha.

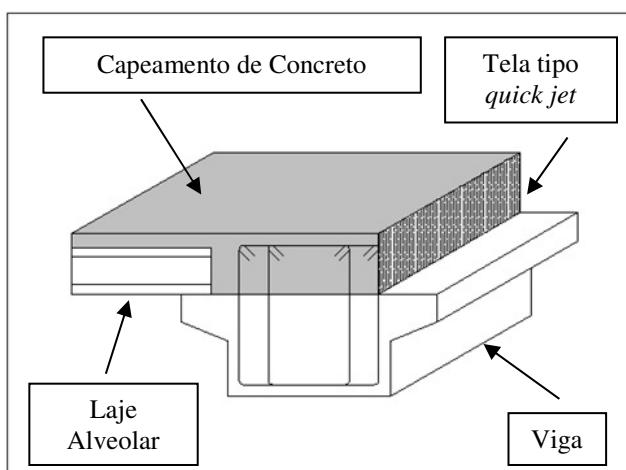


Figura 7 – Detalhe da junta de concretagem entre panos de laje contíguas executada com tela galvanizada tipo *quick jet*.

Na seqüência, após montagem da armadura e posicionamento da tela nas juntas de concretagem, recomenda-se a limpeza rigorosa das lajes, por meio da utilização de água e equipamentos de pressurização. O ideal é que a concretagem do capeamento seja



realizada com a laje limpa (isenta de poeira, material pulverulento ou qualquer outro tipo de substância contaminante) na condição “saturada superfície seca”. Ainda, visando não comprometer a aderência entre o concreto da capa e as barras de aço, recomenda-se a utilização de espaçadores plásticos tipo multi-apoio (popularmente conhecido como “centopeia”). Na figura 8 estão evidenciados os espaçadores plásticos localizados em um dos panos de laje (região de super-capas do estudo de caso).



Figura 8 – Detalhe dos espaçadores plásticos utilizados nos panos de laje (região super-capas).

Como critério de aceitação do concreto, são realizados ensaios para determinação do abatimento em conformidade com as prescrições da norma ABNT NBR NM 67:1998 “Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”. Nessa ocasião, além do abatimento, recomenda-se observar o aspecto visual do concreto, que deve também se apresentar coeso, sem exsudação ou segregação aparente (figura 9).



Figura 9 – Detalhe do ensaio de abatimento e do aspecto visual do concreto utilizado no capeamento de lajes pré-fabricadas.

Além dos ensaios de recebimento mencionados no parágrafo anterior, recomenda-se, sempre que possível, o acompanhamento técnico da produção do concreto. No estudo de caso em questão, a central dosadora estava localizada em canteiro de obras e, portanto, ANAIS DO 57º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2015 – 57CBC



o controle dos insumos, os ensaios de determinação do teor de umidade dos agregados miúdos (utilização do frasco de Chapman) e demais etapas de produção do concreto foram minuciosamente controlados.

Recomendam-se ainda, durante o lançamento do concreto, o adensamento mecânico adequado (emprego de vibradores de imersão na posição vertical), o controle rigoroso da espessura e do nivelamento da capa (emprego de gabaritos e equipamentos de nível a laser) e a utilização de aspersores de água de forma a proporcionar uma névoa úmida e reduzir a perda de água na superfície da laje de concreto para o meio ambiente. Tais procedimentos, evidenciados na figura 10, minimizam sobremaneira o risco de fissuração por retração e contribuem com o aspecto visual dos panos de laje, corroborando com a integridade e qualidade final do capeamento.



Figura 10 – Detalhe dos procedimentos de execução adotados durante o evento de concretagem no Shopping da Gleba A.

Também visando minimizar os riscos de fissuração, após o término da concretagem do capeamento, assim que o concreto apresenta resistência ao tato, recomenda-se iniciar a cura úmida por meio da utilização de mantas encharcadas sobre toda a superfície do

capeamento (laje), por um período de 3 dias (estudo de caso em questão) ou mais, o que depende da especificação de cada projeto (figura 11).



Figura 11 – Detalhe da execução da cura úmida do concreto aplicado no capeamento das lajes.

## 5 Resultados

Considerando os procedimentos executivos descritos anteriormente, as boas práticas adotadas e respeitando as recomendações explicitadas neste artigo, apresentam-se adiante os resultados obtidos (especificamente no estudo de caso do empreendimento Parque da Cidade, *Shopping Center da Gleba A*), com ênfase na integridade das capas e na qualidade do concreto empregado.

### 5.1 Integridade e aspecto visual

Após concretagem, remoção das mantas de cura úmida e realização de inspeções visuais em todos os panos de laje (capas e super-capas de concreto), fora constatado que estes não apresentaram fissuras decorrentes do fenômeno de retração ou qualquer outro tipo de falha de concretagem relevante que pudesse comprometer sua integridade ou a durabilidade e vida útil da estrutura.

Além disso, constatou-se que o aspecto visual do concreto foi muito bom (figura 12). No que diz respeito ao acabamento superficial, ressalta-se que o plano de ataque adotado pela Construtora, por questões relacionadas com horários limites e geração de ruídos (acordo firmado com os vizinhos da obra), considerou a não utilização de acabadoras de piso (popularmente conhecidas como “helicópteros” ou “bambolês”) ao término dos eventos de concretagem. Futuramente esse acabamento final será realizado através do polimento da superfície.





Figura 12 - Detalhe do acabamento superficial do concreto da laje do G4 do Shopping (ainda sem o polimento final).

## 5.2 Controle tecnológico (resistência e módulo de elasticidade)

Sobre o controle tecnológico do concreto, foram realizados ensaios de resistência à compressão por amostragem total (em 100% dos caminhões betoneira) aos 7, 28 e 63 dias de idade e 1 (um) ensaio de módulo de elasticidade secante do concreto escolhido aleatoriamente dentre os diversos eventos de concretagem realizados até o momento (é importante registrar que, quando da elaboração deste artigo os serviços de execução do capeamento ainda não haviam se encerrado).

Observa-se ainda que estes ensaios foram realizados por empresa acreditada pela RBLE (Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio) do INMETRO e por profissional qualificado pelo NQCP (Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal) do IBRACON.

Os resultados obtidos, até o momento, atenderam às exigências de resistência à compressão ( $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$ ) e módulo de elasticidade ( $E_c \geq 30\text{GPa}$ , para uma tensão correspondente de 16MPa) especificadas no projeto estrutural. Observou-se que o resultado mais baixo de resistência à compressão obtido foi de 43,7MPa, por sua vez, o módulo de elasticidade secante do concreto foi da ordem de 32GPa, conforme relatórios de ensaio divulgados pela empresa Falcão Bauer (responsável pelo controle tecnológico do concreto). Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias obtidos foram plotados e estão apresentados graficamente na figura 13 (amostragem de 30 exemplares).

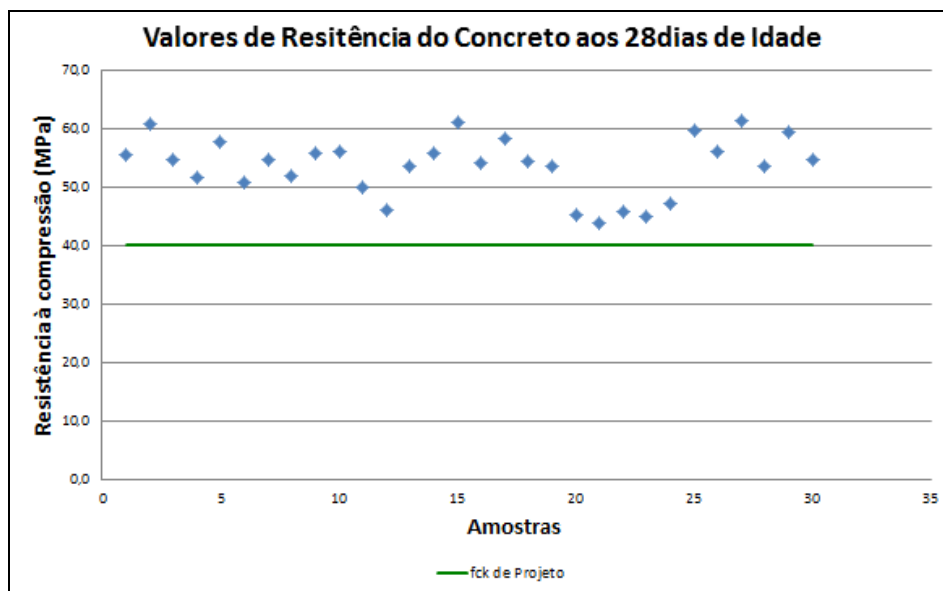


Figura 13 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade.

## 6 Considerações finais

Este artigo visou sobressaltar que simples recomendações (coerentes com a normalização vigente e boas práticas construtivas), estudos prévios, bem como o controle e o acompanhamento técnico sistemático das atividades que antecederam e sucederam os eventos de concretagem, foram suficientes para promover um elemento estrutural íntegro e um resultado final satisfatório em conformidade com as exigências do projeto.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Odebrecht Realizações Imobiliárias (OR) pela permissão da publicação deste artigo; em especial ao Eng. Ricardo Francisco Coelho, Eng. Fabio Felipe Gonçalves e Eng. Eduardo Perri Muccia pelo apoio, seriedade e colaboração.

## 7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004. 54p.

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 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2006. 59p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998. 8p.

BONI, R. *et al.* **Estudo de caso envolvendo concretagens de elementos de fundação de grande porte. Caso Parque da Cidade-SP.** In 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014, Natal. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2014. 13p.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** EESC-USP 1ª ed. São Carlos, 2000. 441p.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** PINI /SENAI. São Paulo.1993. 349p.

DINIZ, J. Z. F.; FERNANDES, J. F.; KUPERMAN, S. C. R. Retração e fluência. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e tecnologia.** IBRACON 1º ed. São Paulo, 2011. Cap. 19 p. 673-703.

KENNEDY, L. K. **The contractor's guide to quality concrete construction.** 3ª ed. American Society of Concrete Constructors – ASCC, 2005. 147p.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais.** IBRACON 4ª ed. São Paulo, 2014. 782p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Concrete technology.** Longman Scientific & technical, New York, 1987. 438p.

NEVILLE, A. M.; **Properties of Concrete.** 5ª ed. London, 2011. 846p.

PERIOTTO, B. C.; PINHEIRO, L. M.; FERREIRA, M. A. **Emprego do capeamento estrutural para melhoria do desempenho de lajes alveolares protendidas.** REEC. Goiânia, v. 8, n. 2, p.16-26, jun. 2014.