



Centro Universitário de Brasília
Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento - ICPD

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO CONCRETO UTILIZADO EM LAJES TIPO
BUBBLEDECK EM OBRA SITUADA EM BRASÍLIA**

*CASE STUDY : ANALYSIS OF CONCRETE SLABS USED IN TYPE BUBBLEDECK IN
CONSTRUCTION LOCATED IN BRASILIA*

Izabela de Freitas Moreira

Resumo

Um novo sistema construtivo surgiu na Dinamarca e tem ganhado o mercado mundial, trata-se do sistema de lajes tipo *BubbleDeck*. O sistema é composto pela adição de esferas plásticas em lajes de concreto armado, uniformemente espaçadas entre telas de aço. Por haver a necessidade de preencher os vazios entre as esferas, requer-se que o concreto tenha certo nível de fluidez e que o diâmetro de seu agregado seja controlado, sem que haja o comprometimento de sua resistência e da qualidade do sistema. Seguindo a tendência mundial, muitas obras no Brasil vêm utilizando essa tecnologia e, por se tratar de um sistema relativamente novo, precisa-se da validação de suas características. O presente trabalho tem por objetivo a análise das características do concreto utilizado na execução das lajes tipo *BubbleDeck* da obra do Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF. Busca-se avaliar a trabalhabilidade do concreto, a fim de verificar a importância dos materiais utilizados para a viabilidade desse sistema. Além disso, serão avaliadas também as resistências nas primeiras idades e com 28 dias, bem como o módulo de elasticidade atingido.

Palavra-Chave: Lajes tipo BubbleDeck. Concreto auto adensável. Trabalhabilidade.

Abstract

A new building system emerged in Denmark and has won the world construction systems, it is the type *BubbleDeck* slabs system. The system consists of the addition of plastic balls in reinforced concrete slabs, spaced evenly between steel mesh. Because there is a need to fill the gaps between the spheres, it requires that the concrete has a certain level of fluidity and the diameter of your household be controlled, without compromising its strength and system quality. Following the global trend, many works in Brazil have been using this technology, and it is a relatively new system, one needs the validation of its features. This study aims to analyze the specific features used in the execution of *BubbleDeck* type slabs of the building of the Administrative Center of the Federal District - CADF. The aim is to evaluate the workability of the concrete, in order to verify the importance of the materials used for the viability of the system. Furthermore, the resistors will also be assessed early age and 28 days, and the elastic modulus reached.

Keywords: BubbleDeck Slabs, self-compacting concrete, workability.

1 Introdução

Os avanços tecnológicos vêm promovendo a otimização dos métodos construtivos. Estudos e pesquisas possibilitam novas técnicas que reduzem o custo das obras sem prejudicar a qualidade do produto final, melhorando o desempenho do sistema como um todo. Nesse cenário, uma tecnologia construtiva que vem ganhando espaço são as lajes tipo *BubbleDeck*. Sua capacidade estrutural, atrelada à redução do consumo de materiais e à economia de mão-de-obra envolvida no processo, tornam essa tecnologia uma crescente e atraente alternativa frente aos tipos convencionais de lajes de concreto armado. Porém, suas especificidades requerem um concreto com características diferenciadas.

Os objetivos do presente trabalho são: consolidar a necessidade de determinadas características do concreto utilizado nas lajes tipo *BubbleDeck*, a partir de um estudo da composição desse concreto, interligando as características desse tipo de laje com as propriedades do concreto e com seus compostos.

Para alcançar esses objetivos, serão definidas as propriedades do concreto feito a partir de um traço conhecido e utilizado na execução de uma laje *BubbleDeck* feita em Brasília. Tais propriedades serão definidas a partir do ensaio de slump flow, conforme a norma ABNT NBR 15283:2010, e perda de fluidez, conforme norma ABNT NBR 10342:2012, e da análise detalhada das características dos materiais utilizados e de suas quantidades.

O presente trabalho será então estruturado nas seguintes etapas: revisão bibliográfica a fim de verificar o tipo de concreto ideal para lajes *BubbleDeck* de acordo com as suas especificidades, lembrando que o concreto deve preencher todos os vazios formados pela colocação das esferas, devendo ser então auto adensável; foi feito um estudo do concreto utilizado na execução de uma laje desse tipo, envolvendo a análise do traço utilizado e das características do concreto segundo alguns ensaios normatizados, sendo analisados quesitos como o slump flow, a perda de fluidez com o tempo e as características do concreto no estado endurecido; e, por fim, a apresentação dos resultados, os quais deverão contribuir para o avanço dessa nova técnica a partir da melhoria contínua do concreto utilizado, já que será possível identificar as propriedades essenciais do concreto que viabiliza essa técnica. Como objeto de estudo deste trabalho temos o concreto utilizado na obra do Centro Administrativo do Distrito Federal – CADF.

1.1 Lajes *BubbleDeck*

O sistema *BubbleDeck* reduz o volume de concreto de uma laje, proporcionando lajes mais leves e resistentes. Para isso, utilizam-se esferas plásticas entre telas de aço, eliminando o concreto que não exerce qualquer função estrutural, reduzindo então significativamente seu peso próprio, ver Figura 1. Tal redução pode chegar a substituição de 60 kg de concreto por 1 kg de plástico reciclado retirado. (*BubbleDeck*Brasil, 2016).

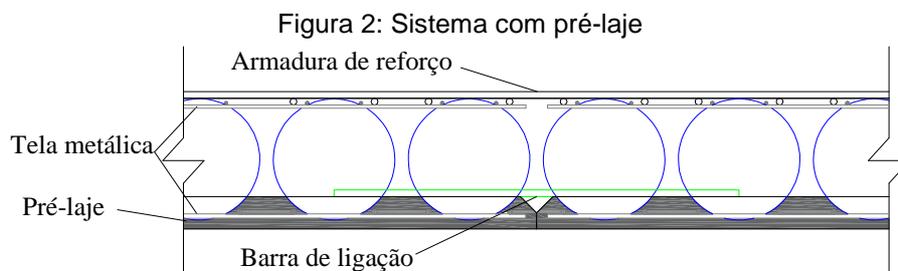
Figura 1: Exemplo de laje *BubbleDeck* com pré-laje



Fonte: *BubbleDeck* Brasil, 2014.

O sistema construtivo tipo *BubbleDeck* possui três possibilidades construtivas: sistema compré-laje, sistema com módulo reforçado e sistema com painéis acabados. (Lai, 2010).

O sistema com pré-laje consiste em produzir painéis pré-moldados com pré-laje com seis centímetros de espessura já incorporando armações com as esferas plásticas. Esta pré-laje dispensa o uso de fôrmas inferiores, sendo colocada diretamente sobre vigas metálicas e escoras. Após a montagem dos painéis, são adicionadas as armaduras de reforço e barras de ligação entre as placas, sendo então concluída a concretagem. Esse sistema é o tipo mais utilizado, e para sua montagem necessita de utilização de guindastes para elevação das peças. É ideal para construções novas, pois se pode industrializar a produção dos painéis, reduzindo o tempo gasto. Ver Figura 2.



Fonte: LIMA, 2015.

O sistema construtivo de módulo reforçado consiste em adicionar as esferas entre telas de aço (armaduras) para posteriormente posicioná-las nas fôrmas onde serão colocadas as armações adicionais. A concretagem é realizada em dois estágios, sendo o primeiro de uma camada com apenas seis centímetros, assim como nas pré-lajes. Seu uso se faz mais presente em obras de reforma, pisos térreos ou de difícil acesso, pois os módulos reforçados podem ser posicionados e transportados manualmente. Ver Figura 3.

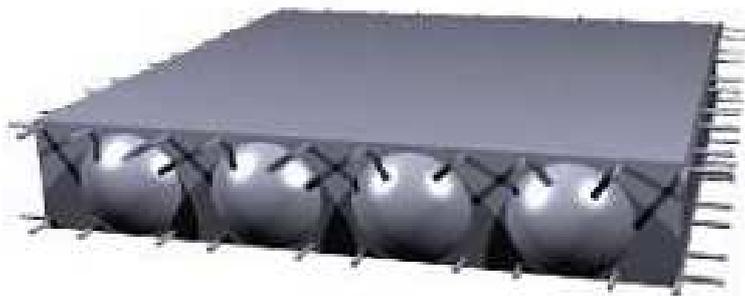
Figura 3: Módulo de laje *BubbleDeck*



Fonte: *BubbleDeck* Brasil, 2014.

O tipo de sistema construtivo de laje *BubbleDeck* com painéis acabados consiste em lajes armadas e concretadas por completo em fábricas, sendo entregues na obra já prontas. Quando os painéis já estão posicionados em seu local final as armaduras de flexão são conectadas e as barras de ligação são posicionadas para que sua união seja perfeita. Como as lajes distribuem seus esforços em apenas uma direção, se comportando como uma laje pré-moldada unidirecional, necessitam do uso de vigas ou de paredes para suporte. Ver Figura 4.

Figura 4: Painéis acabados



Fonte: Blubbledeck Brasil, 2014.

Lajes de concreto pré-moldadas *BubbleDeck* são adequados para uso em todos os tipos de projetos de construção de piso, sendo que a maioria dos edifícios caem nas categorias de placas mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características das lajes *BubbleDeck* mais utilizadas

Tipo	Espessura da laje (mm)	Diâmetro das esferas (mm)	Vão (m)	Carga (kgf/m ²)	Concreto (m ³ /m ²)
BD 230	230	180	7 a 10	370	0,15
BD 280	280	225	8 a 12	460	0,19
BD 340	340	270	9 a 14	550	0,23
BD 390	390	315	10 a 16	640	0,25
BD 450	450	360	11 a 18	730	0,31

Fonte: adaptado de *BubbleDeck* Brasil, 2016.

O espaçamento entre as esferas é pequeno, em torno de 6 cm, dificultando a passagem do concreto. Portanto, requer-se a utilização de um concreto mais fluido nesse sistema construtivo, para garantir a integridade da peça.

1.2 Concreto auto adensável

O concreto auto adensável (CAA) tem características particulares no estado fresco em relação ao concreto convencional. Entre elas, está a elevada fluidez e deformabilidade, além de elevada estabilidade da mistura, que lhe proporciona três características básicas e essenciais: habilidade de preencher espaços nas fôrmas; habilidade de passar por obstáculos; capacidade de resistir à segregação.

Alguns ensaios realizados com o CAA no estado fresco, são importantes para definir que o concreto em estudo é um CAA, os principais requisitos, em relação a isso, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Requisitos para o CAA no estado fresco

Ensaio	Valores
Espalhamento	≥ a 600 mm
Funil-V	De 3 a 10 s
Caixa-L	0,8 ≤ H/h ≤ 1,0
Segregação - verificada no ensaio de espalhamento	Ausente

Fonte: Techne, 2016.

Além desses ensaios, tem-se o ensaio de perda de fluidez descrito na ABNT NBR 10342:2012, que visa determinar a perda da trabalhabilidade do concreto ao longo do tempo, sendo esta uma das principais características do CAA.

Na dosagem do CAA, deve-se atentar-se a aspectos importantes para que o concreto tenha suas principais características cumpridas. Para se conseguir elevada fluidez, a

pasta do concreto deve lubrificar e espaçar adequadamente os agregados, de forma que o atrito interno entre os mesmos não comprometa a capacidade do concreto de escoar. Para que apresente resistência à segregação e seja capaz de passar por obstáculos sem que haja bloqueio, a pasta deve ter viscosidade suficientemente elevada a fim de manter os agregados em suspensão, evitando que segreguem pela ação da gravidade. Outros fatores que controlam a segregação são a quantidade e a distribuição granulométrica dos agregados, sendo que as distribuições contínuas são as mais adequadas. A capacidade de passar pelos espaços entre as armaduras, e dessas com as paredes das fôrmas, limita o teor e a dimensão dos agregados graúdos na mistura. Todos os tipos de cimento podem ser utilizados na produção do CAA. No entanto, algumas particularidades cabem ser mencionadas:

- Frequentemente, um superplastificante à base de ácido policarboxílico (carboxilato) é utilizado;
- O teor de finos (partículas com diâmetro menor que 0,075 mm) tipicamente fica entre 400 kg/m³ e 600 kg/m³. A relação de água - finos totais fica entre 0,80 e 1,10, em volume;
- O uso de aditivo promotor (ou modificador) de viscosidade é importante quando as partículas finas não estão presentes em volume suficiente;
- Em muitos casos os CAA podem resultar mais baratos e com melhor qualidade com o uso de agregados graúdos de até 10 mm de diâmetro;
- O volume de agregado miúdo está, em geral, entre 35% e 50%, e o volume de agregado graúdo entre 25% e 35%.

O ACI 237-07 sugeriu faixas de dosagem de CAA, com o intuito de reduzir o risco de se rejeitar o concreto no canteiro devido a algumas flutuações na trabalhabilidade, que podem ser causadas devido aos materiais, dosagem, mistura e até mesmo pelo transporte. A dosagem deve ser proporcionada conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Proporções dos materiais constituintes do CAA (recomendações do ACI)

Volume absoluto do agregado graúdo	29% a 32%
Fração da pasta (calculada sobre o volume)	34% a 40%
Fração de argamassa (calculado sobre o volume)	68% a 72%
Consumo de cimento por m³	386 kg/m ³ a 475 kg/m ³

Fonte: Traduzido do ACI 237R-07.

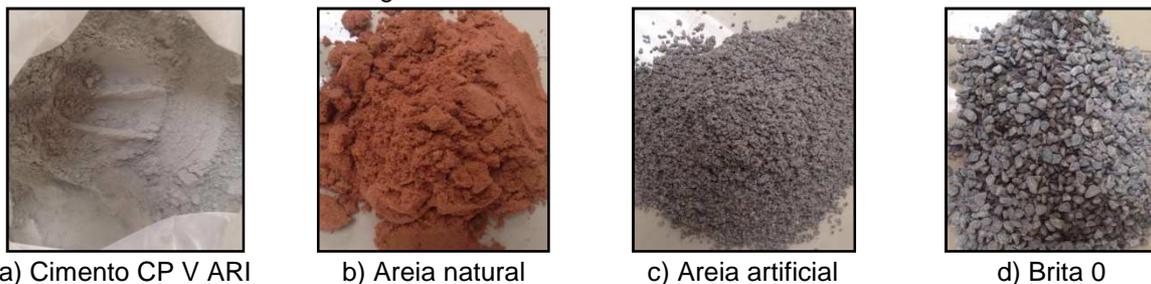
2 Materiais e metodologia

2.1 Traço

O concreto utilizado para a confecção das lajes foi do tipo usinado comprado da empresa *Concrecon*. Foram especificados 30 MPa, como resistência característica do concreto à compressão para 28 dias e 60 ± 2 cm, como resultado do teste de *slump flow*, sendo este um concreto auto adensável. O traço utilizado para 1 m³ de concreto foi

- 352 kg de cimento CP V ARI
- 416 kg de areia natural quartzosa (rosa)
- 431 kg de areia artificial
- 917 kg de brita 0
- 193 litros de água
- 15 kg de sílica ativa
- 1,68 litros de aditivo polifuncional muraplast FK 110
- 3,75 litros de aditivo superplastificante power flow 1180

Figura 5: Material utilizado no concreto



Utilizou-se o cimento CP V ARI com o intuito de se obter alta resistência inicial, tornando o processo produtivo mais ágil. A utilização de brita 0 se justifica pelo pequeno espaçamento entre as esferas presentes no sistema, o que também justifica a utilização do concreto auto adensável. Além disso, utilizou-se aditivos polifuncional e superplastificante.

O aditivo polifuncional utilizado age como um agente dispersor das partículas de cimento, evitando sua aglomeração e reduzindo a tensão superficial da água da mistura. Como consequência da melhor distribuição das partículas de cimento e do agregado, obtêm-se uma melhoria na coesão e trabalhabilidade do concreto, reduzindo a necessidade de adensamento. Concretos produzidos com aditivo redutor de água de grande eficiência permitem fabricar uma pasta de cimento mais densa e homogênea, por reduzir a quantidade de água de amassamento, diminuindo a relação a/c, proporcionando também uma redução da permeabilidade.

Já o aditivo superplastificante utilizado é um superplastificante sintético baseado na tecnologia de polímeros policarboxilatos (PCE). Seu específico mecanismo de funcionamento contribui para a produção de concreto com quantidade de água extremamente baixa e excelente trabalhabilidade por um bom tempo sem prejudicar sua resistência inicial. Portanto, os frequentes problemas de perda de fluidez dos aditivos convencionais podem ser consideravelmente reduzidos. Evitando a necessidade de dosagens adicionais de superplastificantes na obra para a correção da consistência.

A combinação especial de diversos agentes ativos permite a produção de concretos homogêneos e sem segregação. Sem precisar alterar a quantidade de água, pode-se produzir concretos com diversas consistências.

O concreto produzido foi analisado segundo ensaios descritos nas normas brasileiras: *slump flow*, perda de fluidez, resistência a compressão e resistência a tração por compressão diametral. Além disso, verificou-se a conformidade da composição do concreto em relação a recomendação do ACI.

3 Análise dos resultados

3.1 Estudo da composição do concreto

Analisou-se a composição do concreto utilizado de acordo com a recomendação do ACI. Para isso, determinou-se a massa específica dos materiais utilizados e verificou as proporções dos componentes, Tabela 4.

Tabela 4: Proporções dos materiais constituintes do CAA utilizado

Volume absoluto do agregado graúdo	35%
Fração da pasta (calculada sobre o volume)	32,5%
Fração de argamassa (calculado sobre o volume)	65%
Consumo de cimento por m³	352 kg/m ³

Observa-se que o volume de agregado graúdo está próximo, mas um pouco acima do esperado. Enquanto, os outros componentes analisados estão próximos também, mas um pouco abaixo. Portanto, deverá ser analisada as propriedades do concreto para verificar a sua aceitação. Tal verificação será realizada pelos ensaios descritos nos itens seguintes.

3.2 Ensaios realizados nas primeiras idades

Com o intuito de avaliar a robustez do concreto, que é sua capacidade de manter seus requisitos de desempenho (seja no estado fresco, seja no estado endurecido) diante da existência de pequenas mudanças (seja nas características dos materiais, seja na dosagem, ou nos procedimentos de mistura, ou no lançamento e transporte), foram realizados ensaios para analisar as características do concreto nas primeiras idades.

Para o concreto no estado fresco, o primeiro ensaio realizado no recebimento do concreto foi o de *slump flow*, conforme Figura 6. O espalhamento medido foi de 62cm, segundo a ABNT NBR 15283:2010 este concreto está na classe SF 1, que abrange concretos com espalhamento de 55 cm a 65 cm, e é recomendado para estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre; para concreto auto adensável bombeado; e para estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto adensável.

Figura 6: *Slump flow* test



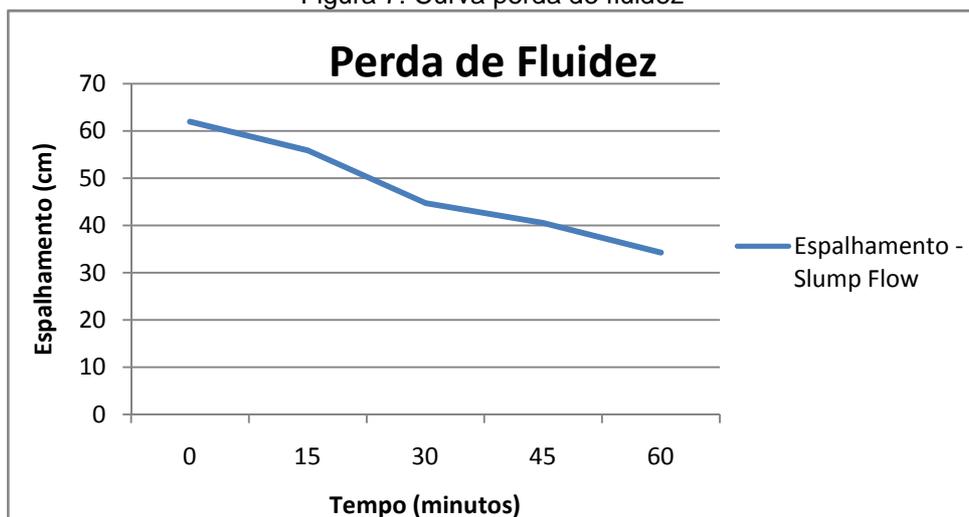
Em seguida realizou-se o ensaio de perda de fluidez segundo a ABNT NBR 10342:2012, porém utilizando a medida de *slump flow* e não de *slump* como indica esta norma. A temperatura ambiente era 24°C e a umidade relativa do ar estava 65%, obtendo os seguintes resultados:

Tabela 5: Resultados do ensaio perda de abatimento

Tempo (min)	Espalhamento - <i>Slump Flow</i> (cm)
0	62
15	55,9
30	44,8
45	40,6
60	34,3

Com isso, obteve-se a curva de perda de fluidez ao longo do tempo, Figura 7.

Figura 7: Curva perda de fluidez



Pela curva, percebe-se a pequena perda da fluidez do concreto devido aos aditivos utilizados. Já que a redução da medida de espalhamento pode ser definida como perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo.

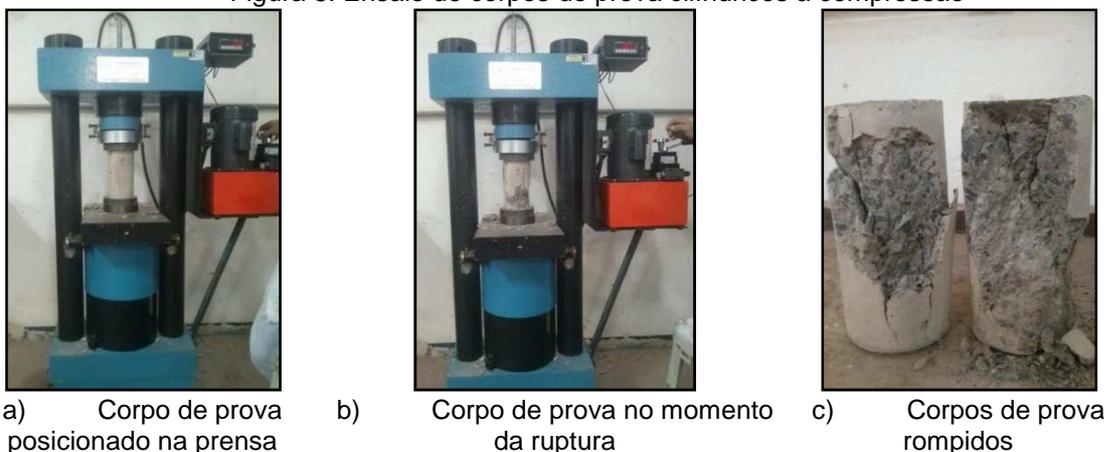
A diminuição do espalhamento é um fenômeno normal em todos os concretos porque resulta do enrijecimento gradual e posterior pega da pasta de cimento *portland* hidratado. A perda de fluidez ocorre quando a água livre de uma mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção na superfície dos produtos de hidratação e por evaporação. (WEIDMANN et al., 2007).

3.3 Ensaios realizados aos 28 dias

Vale ressaltar que foram analisados Corpos de Prova do concreto utilizado na fabricação das pré-lajes (na execução foi feito primeiro essa pré-laje e depois uma concretagem final) e na concretagem final das lajes.

Foram seguidas as recomendações das normas brasileiras de referência ABNT NBR 5739:1994 e da ABNT NBR 7222:2011, para a determinação das propriedades mecânicas do concreto utilizado nas lajes. Para cada laje foram moldados 9 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm x 200 mm. A Figura 8 ilustra o ensaio dos corpos de prova cilíndricos submetidos a esforços de compressão utilizando máquina da marca *Dinateste*.

Figura 8: Ensaio de corpos de prova cilíndricos à compressão



Os corpos de prova também foram submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral, conforme Figura 9.

Figura 9: Ensaio de tração por compressão diametral



a) Prensa utilizada no ensaio

b) Corpo de prova posicionado na prensa

c) Corpos de prova rompidos

Os valores médios das propriedades mecânicas do concreto, nas idades de controle, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades mecânicas do concreto

Origem	CP	Tipo de Ensaio	Idade* (dias)	f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)	E_{ci} (GPa)
Concretagem final	CP1	Compressão	44	46,2	-	-
	CP2	Compressão	44	49,5	-	-
	CP3	Compressão	44	47,2	-	-
	CP4	Tração	44	-	3,5	-
	CP5	Tração	44	-	2,8	-
	CP6	Tração	44	-	5,0	-
	CP7	Módulo de Elasticidade	54	-	-	30,6
	CP8	Módulo de Elasticidade	54	-	-	21,0
Média				47,7	3,8	25,8
Desvio Padrão				1,7	1,2	6,8
C.V				3,53%	30,66%	26,43%
Pré-moldado	PW1	Compressão	44	56,3	-	-
	PW2	Compressão	44	54,5	-	-
	PW3	Compressão	44	59,0	-	-
	PW4	Tração	44	-	3,3	-
	PW5	Tração	44	-	4,0	-
	PW6	Tração	44	-	3,0	-
	PW7	Módulo de Elasticidade	54	-	-	27,4
	PW8	Módulo de Elasticidade	54	-	-	27,6
Média				56,6	3,4	27,5
Desvio Padrão				2,3	0,5	0,1
C.V				3,99%	15,70%	0,54%
* Idade de rompimento dos corpos de prova						

4 Conclusões

O estudo realizado mostrou as principais propriedades do concreto utilizado em lajes *BubbleDeck*. E apesar da composição deste concreto não estar atendendo as recomendações do ACI em relação a composição, atendeu aos requisitos esperados em relação aos ensaios realizados. Com isso, verifica-se que a pequena variação em relação a composição não afetou a qualidade do concreto.

Conclui-se ainda que a principal propriedade do concreto que viabiliza as lajes *BubbleDeck* é a sua trabalhabilidade. Dessa forma, vale ressaltar a utilização de componentes que melhoram tal propriedade e prolongam o estado do concreto naquela condição. Tais componentes são os aditivos polifuncional e superplastificantes que melhoram a fluidez do concreto sem alterar sua relação água cimento.

Além disso, a utilização de brita 0 é de extrema importância para garantir a presença de agregado graúdo em todo o elemento, visto que o espaçamento entre as fôrmas, as armaduras e as esferas plásticas são muito pequenos, inviabilizando a passagem de agregados graúdos com dimensões maiores.

Portanto, a evolução tecnologia do concreto vem contribuindo com o desenvolvimento de sistemas construtivos mais econômicos e eficientes, o que torna as construções mais ágeis, sem perder a eficácia, e acessíveis, contribuindo com o desenvolvimento econômico e social.

5 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 237R-07 - Self-Consolidating Concrete* Michigan, Estados Unidos da América, 2007. 32 p.

_____. NBR 5739:2007 - **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2007. 9 p.

_____. NBR 7222 - **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2011. 5 p.

_____. NBR 10342 - **Concreto - Perda de abatimento**. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

_____. NBR 15823 - **Concreto auto adensável**. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

BUBBLEDECK BRASIL. **Especificação técnica**. Disponível em <www.BubbleDeck.com.br>, Acesso em: 1 de junho de 2016.

LAI, T. **Structural behavior of *BubbleDeck* slabs and their application to live weight bridge decks**. Msc-Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2010. 41 p.

LIMA, H. J. N. de (2015). **Análise experimental à punção de lajes lisas tipo *BubbleDeck***. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 002 A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 111p.

Revista Techne. Editora: PINI. Disponível em: <www.techne.pini.com.br>.

WEIDMANN, D. F.; OLIVEIRA, A. L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIACHINI, M. **Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para o uso em centrais de concreto**: estudo de caso, 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves-RS, IBRACON, 2007.