ANÁLISE DO DESEMPENHO DA LAJE *BUBBLEDECK* EM COMPARAÇÃO A LAJE NERVURADA

RAYARA FALKENSTINS GOIS MENDES[1], FELIPE LOPES LEITE[2], ITALO LINHARES SALOMÃO[3]

[1]Eng. Civil, UNIFOR, Fortaleza-CE, rayarafalkenstins@yahoo.com.br;
[2]Eng. Civil, UNIFOR, Fortaleza-CE, felipelopesleite@gmail.com;
[3]Me. em Estrutura, Prof. Universidade de Fortaleza, UNIFOR, Fortaleza-CE, italosalomao@unifor.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: O presente trabalho apresenta o conceito da laje *bubbledeck*, solução dinamarquesa composta por vazios formados através de esferas, bem como a análise do desempenho desse método construtivo em comparação com a laje nervurada, fornecendo o dimensionamento para os dois tipos de laje e comparando o volume de concreto, taxa de aço e valores de deslocamento. Foram utilizados painéis de lajes com 28 cm para as duas lajes e determinados, com o auxílio do *Software Robot*, os esforços, sendo feito por fim, o dimensionamento. Como resultado a laje *bubbledeck* apresentou uma taxa de aço de 0,23% e a laje nervurada de 0,15% em relação a armadura inferior do painel e a armadura superior entre os painéis. Para a armadura superior sobre os pilares, as duas lajes apresentaram o mesmo valor de 0,79%. Quanto ao volume de concreto, a laje nervurada obteve um volume de 9,04m³ para 12,19m³ da laje *bubbledeck*. Esta nova tecnologia ainda se faz pouco presente em obras no Brasil, mas seu estudo está em desenvolvimento e esse projeto foi desenvolvido de forma a servir como material didático de apoio para estudos futuros.
PALAVRAS-CHAVE: Laje *bubbledeck*. Laje nervurada. Concreto armado.

BUBBLEDECK SLABS PERFOMANCE ANALYSIS IN COMPARISON WITH THE WAFFLE SLAB

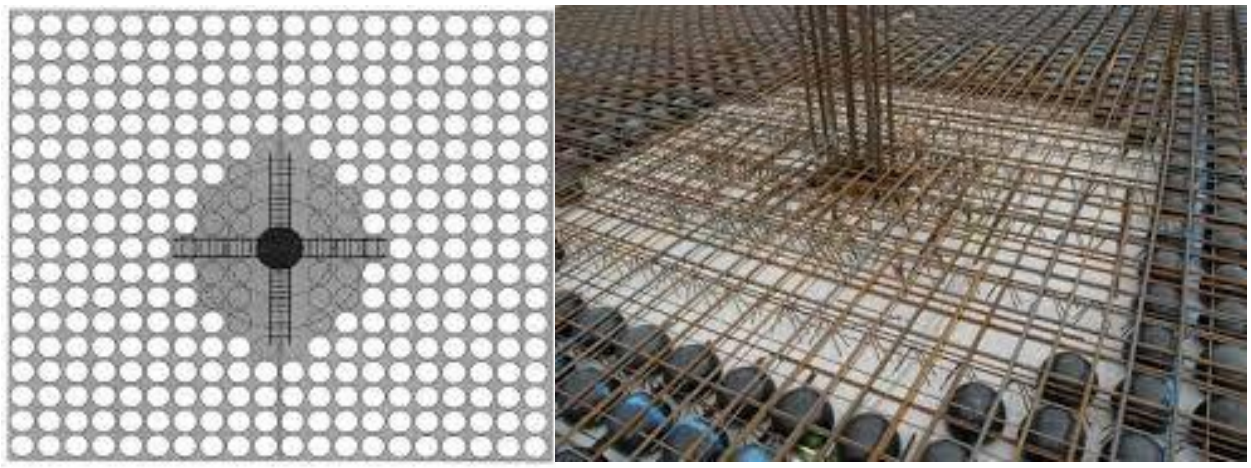
ABSTRACT: The present paper presents the concept of the slab bubbledeck, Danish solution composed by voids formed through spheres, as well as the analysis of the performance of this constructive method in comparison with the waffle slab, providing the design for the two types of slab, comparing the concrete volume, steel rate and displacement values. Panels of slabs with 28 cm were used for the two slabs and determined, with the aid of Robot Software, the stresses, being done finally, the design. As a result, the bubbledeck slab had a steel rate of 0.23% and the waffle slab 0.15% relative to the lower panel reinforcement and the upper reinforcement between the panels. For the upper reinforcement on the columns, the two slabs presented the same value of 0.79%. As for the volume of concrete, the waffle slab obtained a volume of 9,04m³ to 12,19m³ of the bubbledeck slab. This new technology is still little present in constructions in Brazil, but their study is under development and this project was developed in order to fill out as didactic material of support for future studies.
KEYWORDS: Bubbledeck slab. Waffle slab. Reinforced concrete.

INTRODUÇÃO

A laje *bubbledeck* é um sistema construtivo de origem dinamarquesa, composto pela incorporação de esferas plásticas igualmente distribuídas entre telas de aço, formando um vácuo em seu interior, eliminando assim, parte do volume de concreto que não exerce função estrutural. Como resultado, tem-se uma laje mais leve e resistente. Tal sistema apresenta os mesmos princípios estruturais de uma laje maciça convencional, trabalhando nas duas direções.

Segundo Freire (2008), essa combinação de malhas e esferas (Figura 1) permite reduzir em até 35% o peso próprio da laje, proporcionando economia no dimensionamento estrutural em função das cargas reduzidas nas fundações, além da possibilidade de eliminar as vigas, ocasionando maior rapidez na execução da estrutura e alvenaria, bem como a redução do consumo de concreto, fôrma e escoramento. Tais características levam a concorrência com o sistema de laje nervurada, que tem como principal vantagem a redução do volume de concreto, possibilitando grandes vãos e/ou sobrecargas, além de bons resultados econômicos. (DUARTE, 2014).

Figura 1. Região de laje maciça na laje bubbledeck.



Fonte: Adaptado de Guedes e Andrade (2015)

As lajes *bubbledeck* podem ser feitas de três formas: com o uso de módulos, pré-lajes, ou em painéis acabados. O uso de módulos consiste em posicionar as esferas em gaiolas metálicas, formando módulos sobre fôrmas convencionais de madeira, e então inserir as armaduras adicionais. O método com pré-laje é o mais empregado e consiste em utilizar as lajes pré-fabricadas de 6 cm, já incorporando os módulos reforçados com as esferas plásticas, eliminando os assoalhos de madeira. Por fim, os painéis acabados, são lajes prontas concretadas em fábrica e entregues no local da construção, restando fazer apenas o posicionamento, não necessitando de concreto de segundo estágio.

Segundo Bubbledeck Internacional (2016), a peça pode ser considerada como monolítica, devendo ser calculada da mesma forma e com os mesmos métodos que uma laje maciça, mas com parâmetros de redução conforme apresentados na Tabela 1. Este fator se deve à forma circular dos vazios, que permite com que as forças se transfiram livremente dentro da laje homogênea. Consequentemente, qualquer método e programa computacional utilizados para calcular lajes maciças monolíticas pode ser aplicado quando se projetam lajes *bubbledeck*.

Tabela 1. Especificações técnicas.

Diâmetro da esfera (cm)	**18**	**22,5**	**27**	**31,5**	**36**	**40,5**	**45**
Mínimo Inter eixo das Esferas (cm)	20	25	30	35	40	45	50
Máximo Número de Esferas (1/m²)	25	16	11	8,16	6,25	4,94	4
Espessura Mínima da Laje (cm)	23	28	34	40	45	52	58
Redução de Carga Por Esfera (KN)	0,08	0,15	0,26	0,42	0,61	0,87	1,19
Redução Máx. de Carga/m² (KN/m²)	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82	4,39	4,77
Fator para Rigidez (-)	0,88	0,87	0,87	0,88	0,87	0,88	0,88
Fator para o Cortante (-)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Fator para o Peso (-)	0,67	0,66	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67

Fonte: Adaptado de Bubbledeck internacional (2016)

Os valores dos vãos adotados para cada valor de espessura, de acordo com os diâmetros padronizados de cada esfera podem ser encontrados na Tabela 2. A partir desta tabela também é possível extrair valores de carga permanente e volume relativo de concreto por metro quadrado de laje.

Tabela 2. Vãos e carga permanente equivalente.

Tipo	Esp. da Laje	Diâmetro das Esferas	Vão	Carga (PP)	Altura
-	(mm)	(mm)	(m)	(kg/m²)	(m³/m²)
BD230	230	180	7 a 10	370	0,10
BD280	280	225	8 a 12	460	0,14
BD340	340	270	9 a 14	550	0,18
BD390	390	315	10 a 16	640	0,20
BD450	450	360	11 a 18	730	0,25
BD230	230	180	7 a 10	370	0,10

Fonte: Adaptado de Bubbledeck internacional (2016)

A laje nervurada também pode ser dimensionada pelos métodos convencionais para lajes lisas maciças, dede que seja considerado a redução da rigidez. Os valores de redução foram determinados a partir do projeto final de curso de Tamara C. Freire (2009), baseados no catálogo da Atex, no qual, para uma laje de 28cm, o peso próprio deve ser reduzindo de aproximadamente 48% comparado à laje maciça de mesma altura. Para as flechas, utiliza-se a rigidez a flexão de 0,32 em relação a uma laje maciça de mesma altura.

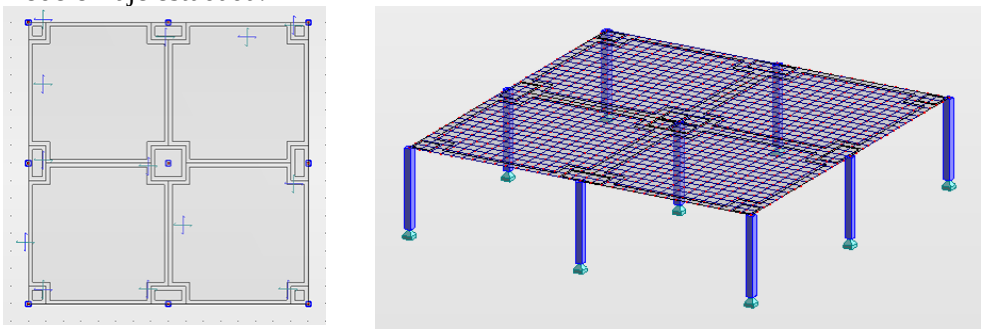
MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo do comportamento das lajes *bubbledeck* e nervurada, foram utilizados 4 painéis de 8 m x 8 m e espessura total de 28 cm. Os pilares foram definidos com seção de 30 cm x 30 cm e 3,5 m de altura, sendo estes modelados com elementos de barra. Em todos os modelos foi utilizado laje tipo cogumelo, pois esta dispensa a utilização de vigas. Foi empregado concreto com fck de 30 MPa e aço CA50.

A carga de peso próprio do concreto foi baseada no seu peso especifico, o qual foi considerado 25 kN/m³. A sobrecarga foi determinada de 1,50 kN/m² em todo o pavimento. O revestimento foi tratado como carga permanente e adotado 1,00 kN/m². Para as alvenarias, foi considerado um carregamento distribuído de 0,90 kN/m². As combinações para os Estado Limite Ultimo (ELU) e de Estado Limite de Serviço (ELS) seguem o apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2014).

O programa *Robot* foi utilizado para obtenção dos esforços nas lajes. Todos os painéis foram modelados com elementos de placa, discretizados com uma malha de 0,5x0,5 m de área, a fim de se obter esforços mais precisos. O carregamento foi uniforme para toda a laje. Nas regiões próximas aos pilares foram utilizados elementos de mesma espessura para laje *bubbledeck* e nervurada, porém maciços, sem os fatores de redução, pois as zonas com vazios não podem incluir a região dos pilares devido a punção, sendo suposta uma área de 2x2m para a esta região. Na Figura 2 é indicado o modelo das lajes estudadas com as posições dos pilares.

Figura 2. Modelo Laje estudada.

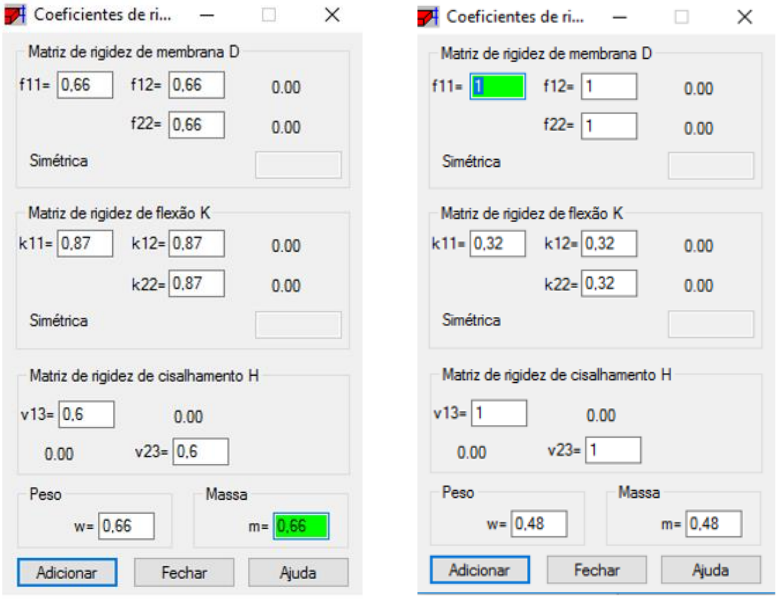


Seguindo a Tabela 1, foi adotado, para os vãos em estudo, a laje *bubbledeck* com espessura de 28 cm, conhecido como BD280. Foi concebido fatores de redução para rigidez e para peso, de acordo com o diâmetro da esfera, como mostra a Tabela 2. Nas regiões de laje maciça não foram considerados fatores de redução.

Para a laje nervurada foi utilizada a altura final de 28 cm, por ser a que mais se aproxima da altura utilizada na laje *bubbledeck*. Os fatores redutores de rigidez e peso estão apresentados na Figura

3 e foram encontrados no projeto final de curso de Tamara C. Freire (2009), calculados, segundo ela, conforme o catálogo da ATEX orienta.

Figura 3. Fatores de redução para a laje *bubbledeck* e nervurada, respectivamente.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise elaborada pelo programa *Robot*, tem-se os resultados das flechas máximas, calculadas no ELS (Estado Limite de Serviço). Para a pior situação obteve-se 0,50 cm para a laje *bubbledeck* e 0,90 cm para a laje nervurada.

Para ambos tipos de laje foram adotados fck igual a 30 MPa, aço CA-50 (fyk de 500 MPa), largura da base (bw) de 1,0 m e cobrimento de armadura de 3,0 cm, obedecendo a NBR 6118 (ABNT, 2014). Os dimensionamentos das lajes, descritas na tabela 3, foram obtidos através das equações de equilíbrio da seção. Em seguida, para melhor comparar os resultados, foi realizado uma análise da taxa de armadura nas regiões analisada, volume de concreto e das flechas máximas, destacados na Tabela 4.

Tabela 3. Tabela de dimensionamento das armaduras da laje bubbledeck e nervurada

	Região da armadura	e	c	d	Md	x	z	As	Bitolas adotada	As adotado
	-	(m)	(m)	(m)	(kNm/m)	(m)	(m)	(cm²/m)	-	(cm²/m)
bubble	Inferior do painel	0,28	0,03	0,25	62,0	0,0175	0,240	5,94	8 Ø 10,0	6,40
	Sobre os pilares	0,28	0,03	0,25	190,0	0,0570	0,230	19,00	7 Ø 20,0	21,99
	Superior do painel	0,28	0,03	0,25	61,0	0,0170	0,240	5,80	8 Ø 10,0	6,40
nerv	Inferior do painel	0,28	0,03	0,25	38,0	0,0110	0,250	3,49	5 Ø 10,0	4,00
	Sobre os pilares	0,28	0,03	0,25	202,0	0,0620	0,220	21,20	7 Ø 20,0	21,99
	Superior do painel	0,28	0,03	0,25	42,0	0,0120	0,245	3,95	5 Ø 10,0	4,00

Tabela 4. Valores comparativos entre lajes

	Taxa de arm. Inf. do painel	**Taxa de arm. Sup. entre os painéis**	**Taxa de arm. Sup. sobre os pilares**	**Volume de concreto**	**Flecha máxima**
-	-	-	-	**(m³)**	**(cm)**
Laje bubbledeck	0,23%	0,23%	0,79%	12,19	0,5
Laje nervurada	0,15%	0,15%	0,79%	9,04	0,9
Diferença	0,08%	0,08%	0,00%	3,15	0,4

CONCLUSÃO

O presente trabalho comparou a laje *bubbledeck* com a laje nervurada, ambas de 28cm, onde foi calculado com o auxílio do *Robot* os esforços, e a partir deles, a taxa de aço e o volume de concreto das mesmas.

Quanto a taxa de aço, foi observado que a laje nervurada (0,15%) apresentou um consumo um pouco menor que a laje *bubbledeck* (0,23%) em relação a armadura inferior do painel e a armadura superior entre os painéis. Para a armadura superior sobre os pilares as duas lajes apresentaram o mesmo valor de 0,79%.

Quanto ao volume de concreto (sem a consideração da punção) a laje nervurada também obteve melhor resultado, apresentando um volume de concreto de 9,04m³ por painel, enquanto a laje *bubbledeck* totalizou um volume de 12,19m³ por painel. Porém, estudos realizados anteriormente em lajes nervuradas, como o projeto final de curso de Tamara C. Freire (2009), no qual foi considerado a punção, o volume de concreto cresceu de forma considerável, pois a mesma não possui um bom comportamento quando utilizada como laje cogumelo, devido a elevadas tensões originadas pelos esforços de flexão e de cisalhamento, na região dos pilares. Já para a laje *bubbledeck*, segundo a Bubbledeck Internacional (2016), foram realizados estudos com ensaios práticos, apresentados no relatório da AEC Consulting Engineers Ltd./ Professor M.P. Nielsen – The Technical University of Dinmark, no qual, comprovaram que a mesma possui uma ótima resistência ao cisalhamento, chegando a 81% de capacidade, quando comparado a laje maciça e que a resistência media ao cortante na punção é de 91%, também comparado a laje maciça.

Quando comparadas as flechas, as lajes nervuradas apresentaram um maior deslocamento vertical para o mesmo vão. Nos casos apresentados neste trabalho, todos os valores encontram-se dentro do solicitado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo o deslocamento, portanto, para os modelos estudados, um fator não determinante.

Também é importante destacar que devido à ausência de vigas, a estabilidades das lajes podem ser comprometidas, contudo por causa da natureza tridimensional da estrutura de laje *bubbledeck*, as regiões vazias não têm influência negativa e não causam perda de resistência.

REFERÊNCIAS

Atex. Catálogo de produtos. ATEX, Disponível em < http://www.atex.com.br/> acesso em: setembro de 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BUBBLEDECK INTERNACIONAL, Bubbledeck Design Guide, disponível em <http://www.bubbledeck-uk.com>, acesso em: setembro de 2016.

DUARTE, O. F., Lajes bubbledeck características gerais e viabilidade executiva. Revista on-line IPOG, Goiânia, 2014. Reportagem disponível em < http://www.ipoggo.com.br/uploads/arquivos/9a7fecd0abd5b55d889b64baa9615541.pdf> acesso em: setembro de 2016.

FREIRE, A., Lajes de concreto com esferas plásticas. Revista Téchne, São Paulo, 2008. Reportagem disponível em < http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/138/laje-de-concreto-com-esferas-plasticas-286542-1.aspx> acesso em: setembro de 2016.

FREIRE, T. C., Estudo comparativo para lajes cogumelo utilizando as tecnologias “bubbledeck” e atex. Monografia de Projeto Final, Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas, Universidade Católica de Brasília, Taguatinga, DF, 2009. Disponível em < http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007011.pdf>, acesso em: Agosto de 2016.

GUEDES, N.D; RAMON, R.L., Avaliação de desempenho de estruturas utilizando lajes do tipo bubbledeck. Universidade de Brasília, DF, 2015. Disponível em < http://bdm.unb.br/handle/10483/12742> acesso em: Agosto de 2016.