colloquium exactarum

ESTUDOS PRELIMINARES SOBRE A VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE GARRAFAS DE POLIETILENO (PET) EM LAJES ESTRUTURAIS

PRELIMINARY STUDIES ON THE FEASIBILITY OF USE OF POLYETHYLENE BOTTLES (PET) IN STRUCTURAL SLABS

Gabriela Alves de Lima Cardoso[1]; Ivair Salomão Liboni [2]; Sibila Corral de Arêa Leão Honda[3]

[1]Engenheira Ambiental e Engenheira Civil. [2]Engenheiro Civil, Especialista, Docente na Universidade do Oeste Paulista. [3]Arquiteta e Urbanista, Mestre e Doutora, Global Planejamento S/S Ltda
engenheiragabrielalima@hotmail.com[1]; ivair@unoeste.br[2];
sibila.honda@globalplanejamento.com.br[3]

RESUMO - As garrafas de Polietileno (PET) são largamente utilizadas no mundo, seja por facilidade de design, por durabilidade ou por facilidade de manuseio, transporte e estocagem. No entanto, problemas de logística reversa onde a embalagem em pós-uso, por não ter uma destinação final adequada, acarreta em poluição ao meio ambiente. Visando à retirada deste material do meio ambiente de forma ecologicamente responsável, associada à redução de custo de produção e de peso próprio de lajes nervuradas de concreto, este artigo vem a discutir pesquisa elaborada por meio de análise laboratorial e de viabilidade de construção de lajes com a utilização de garrafas PET em seu interior. Concluindo-se que puderam ser verificados aspectos positivos, econômicos, técnicos e ambientais na utilização garrafas PET na concretagem de lajes.
Palavras-chave: : polietileno; concreto armado; laje nervurada.

ABSTRACT – Polyethylene bottles (PET) have been widely used in the world nowadays, whether by easily design, durability or ease of handling , transportation and storage. However, reverse logistics problems due to lack of proper disposal of packaging causes pollution to the environment. Seeking the removal of this material from an ecologically responsible manner environment, associated with the reduction of production costs and the own weight concrete waffle slabs, this paper has the objective of discuss a research carried out by laboratory analysis and slabs construction feasibility, which slabs were built with PET use inside. The conclusion was the finding positives, as economic, echnical and environmental use in PET bottles in concrete slabs.
Keywords: polyethylene; paving stone; waffle slab.

Recebido em: 09/01/2016
Revisado em: 27/06/2016
Aprovado em: 01/07/2016

1 INTRODUÇÃO

As alterações projetuais arquitetônicas estimulam novas alternativas no processo construtivo, que são direcionados para no mesmo objetivo aliar segurança e economia. Dentro deste contexto, as lajes nervuradas surgiram como uma excelente alternativa na construção de pavimentos em edificações, pois, segundo Nappi (1993), são capazes de alcançar grandes vãos com altos índices de produtividade, versatilidade e, principalmente, reduzindo o peso próprio e o custo do sistema

Analisando as funcionalidades e materiais utilizados na confecção de lajes nervuradas e unindo ao pensamento sustentável, vertente crescente na construção civil, este projeto de pesquisa estuda a viabilização da utilização de garrafas de Polietileno (PET) na fabricação de Lajes de alta capacidade de carga, com o intuito de diminuição de peso próprio, visto que as garrafas ocupam o espaço antes utilizado por concreto ou bloco cerâmico, retirada do material reciclado do meio ambiente (PET) e evitando a produção de material poluidor (EPS); e possibilidade de diminuição de custo de execução de uma laje de tal porte, para que este modelo construtivo tenha posição competitiva no mercado.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é discutir a viabilidade de execução de lajes estruturais nervuradas com a utilização de garrafas PET, sem modificação da estrutura das lajes, sendo utilizadas as garrafas para preenchimento de vazios, redução de peso próprio, e sem que sejam alteradas as características de capacidade de carga e segurança próprios do modelo construtivo.

A pesquisa tem como base metodológica a pesquisa exploratória, de abordagem quantitativa. Por se tratar de pesquisa na área de engenharia, é fundamental indicar os passos de desenvolvimento dos modelos (protótipos) para demonstrar a possibilidade e viabilidade de execução da pesquisa. A partir desses passos, é possível caracterizar de forma clara que a pesquisa é exploratória de abordagem e de análise quantitativa.

2 LAJE DE CONCRETO ARMADO

A partir da análise do processo de evolução das construções na civilização ocidental, focando no processo construtivo e estrutural das lajes, verifica-se que muitos séculos foram necessários para a possibilidade de execução de pisos acima do solo (NAPPI, 1993; MORENO, 2003).

A descoberta do concreto como material de construção ocorreu no ano de 27 A.C. no Império Romano. Sua utilização

perdurou até a queda do Império Romano em 1453. E, somente na metade do século XIX, que o material voltou a ser utilizado, tendo seu emprego em grande escala com a descoberta do cimento Portland, em 1824 (CASSIMINHO, 1999). Muito desenvolvimento e aperfeiçoamento do material acorreu, com novos usos, sendo que as primeiras lajes nervuradas surgiram apenas na terceira década do século XX (SILVA FILHO, 2002).

De acordo com a norma da ABNT NBR 6118:2003, item 14.4.2.1 as lajes são "elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes".

Segundo Botelho (1985), chamam-se lajes pré-moldadas de concreto armado o conjunto de vigotas de concreto armado e blocos de enchimento, fornecido por empresa de lajes e capa de concreto e aço colocada na obra pelo construtor.

Enquanto as lajes nervuradas, criadas por um fabricante inglês de gesso e cimento, chamado Wiliam Wilkinson, na Inglaterra, é "um sistema formado por pequenas nervuras regularmente espaçadas entre si, armadas com barras de aço na sua porção inferior e interligadas por uma camada de concreto de pequena espessura" (DIAS, 2004 apud SCHWETZ, 2011, p.7).

Schwetz (2011) informa que as lajes nervuradas surgiram da necessidade de redução do peso das lajes, com melhor aproveitamento do concreto. Ou seja, o concreto é material de baixa resistência à tração, não sendo necessário nas regiões da estrutura que sofrem esse tipo de esforço, sendo possível reduzir seu volume ao mínimo indispensável para proteção da armadura.

É possível verificar na figura 1 a moldagem da laje com utilização de formas. Entre as formas haverá concretagem de vigas em concreto, e acima dessas formas, será concretada a laje juntamente com a armação instalada. Após a cura (secagem) do concreto, as formas serão retiradas.



Figura 1. moldagem de laje nervurada com utilização de moldes
Fonte: Aeroporto Jaboatão dos Guararapes

Wilkinson (inglês que criou o sistema nervurado) notou que a rigidez da laje poderia ser aumentada por meio da inserção de vazios utilizando-se moldes de gesso regularmente espaçados e separados por nervuras, onde barras de aço eram colocadas na sua porção inferior no meio do vão e

subiam para a parte superior da viga nas proximidades dos apoios.

No entanto, o sistema nervurado, por apresentar redução de resistência à torção devido aos vazios, é executada com maior altura, mas não implica em maior consumo de concreto (OLIVEIRA; ARAÚJO; RAMALHO, 2000).

Inicialmente, o vazio entre as nervuras era preenchido com gesso. Atualmente, há diversos materiais em utilização e em estudo para uso, como o caso das garrafas PET. Na figura 2, é possível verificar a concretagem de laje junto com a armadura envolvendo bolas de plástico resistente. Tais bolas são vazias internamente, possibilitando a redução do peso da laje, sem perda de resistência. Esta pesquisa visará a substituição dessas bolas por garrafas PET, para verificar se a resistência permanece dentro do permitido pelas normas técnicas específicas de concreto armado.



Figura 2. moldagem de laje nervurada com utilização de bolas plásticas
Fonte: Schöck Innovative Baulösungen

3 CONCEITO PET

O Poli-Tereftalato de Etileno, ou, simplesmente PET, é um polímero termoplástico da família dos poliésteres. Embora amplamente utilizado na indústria de garrafas plásticas, a PET iniciou sua história na indústria têxtil.

A primeira amostra da resina foi desenvolvida pelos ingleses Whinfield e Dickson, em 1941. A ideia era criar alternativas viáveis para as fibras até então usadas, cujos campos estavam destruídos pela guerra. O poliéster apresentou-se como um excelente substituto para o algodão – função que cumpre muito bem até hoje, inclusive a partir das garrafas recicladas. Segundo a Associação Brasileira da Industria PET (ABIPET) o PET é o mais resistente plástico utilizado em fabricação de garrafas e embalagens.

O PET proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, suportando o contato com agentes agressivos.

4 LAJES COM UTILIZAÇÃO DE GARRAFAS PET

Lajes nervuradas é um conjunto estruturado por meio de painéis de concreto armado com altura permanente e elementos (alvéolos) dispostos longitudinalmente, que são responsáveis pela redução do peso da peça.

Segundo Rodrigues, Silva e Souza (2014) tal laje é de fácil instalação e possibilita atingir grandes vãos, e está sendo viável a utilização de garrafas PET como alvéolos na montagem das lajes nervuradas. Ou seja, as garrafas PET seriam distribuídas entre as lajes de concreto armado, ocupando o lugar do concreto que não desempenha função estrutural.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução de testes de compressão foram fabricados 2 protótipos de 1,10m x 1,10 m cada. Para execução de tais protótipos foram utilizados: tela em aço CA-50 4mm; madeira para fôrma de 20 cm de largura (tabuas de 3m); areia; cimento; brita; garrafas PET 2 litros; lona; água; arame recozido; e pregos.

5.1 MONTAGEM DE PROTÓTIPOS

Os protótipos foram montados para que fosse possível o verificação de resistência dos mesmos, segundo a seguinte sequência.

5.1.1 Fôrmas

Foram executadas duas fôrmas em madeira Pinnus, com tábuas de 0,20m de altura, com dimensões de 1,10m x 1,10m, conforme figura 3.

Abaixo das formas foi colocado lona plástica para que o protótipo não aderisse ao concreto do pavimento durante tempo de cura, como pode ser visto na figura 4.

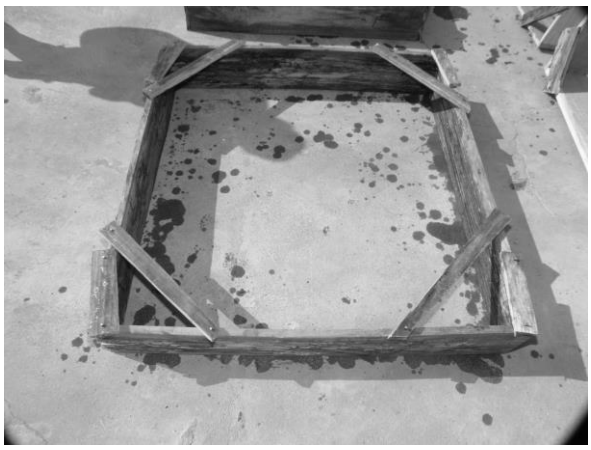


Figura 3: Fôrma em Madeira Pinnus para concretagem de protótipos
Fonte: autores, 2015

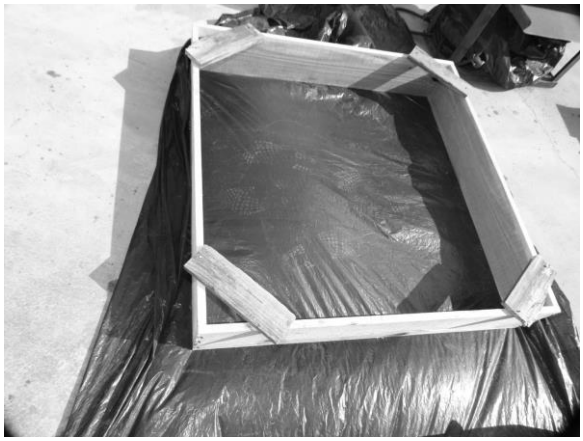


Figura 4: Fôrma com lona plástica
Fonte: autores, 2015

5.1.2 Aço

Para execução de concreto armado, foi inserido, de ambos os lados da PET uma tela de aço 4mm com dimensões de 1m x 1m e amarradas às garrafas PET com arame recozido para facilitar a montagem e concretagem.

Na parte inferior da laje, foi colocado calços de 0,02m para obtenção de

cobrimento de concreto na parte inferior a armação, figura 5.



Figura 5: Fôrma com tela em Aço 4 mm inferior, incluindo calços.
Fonte: autores, 2015

5.1.3 PET

Para cada protótipo foram utilizadas 30 Garrafas PET de 2 litros de volume, devidamente limpas e tampadas.

As garrafas foram amarradas à armação superior com utilização de arame recozido, enfileiradas em grupos de 10 unidades, todas no mesmo sentido, com o mínimo de espaço possível entre elas, conforme mostram as Figuras 6 e 7.



Figura 6: Amarração das Garrafas PET na Tela em Aço 4 mm
Fonte: autores, 2015



Figura 7: Garrafas PET amarradas à Armação superior em Aço 4 mm
Fonte: autores, 2015

Após a amarração, foram dispostas dentro da forma de modo centralizado, conforme figura 8.



Figura 8: Armação e PET's dispostas em Fôrma de Madeira Pinnus para posterior concretagem
Fonte: autores, 2015

5.1.4 Concreto

Para execução do concreto foi utilizado traço 3:2:1 com utilização de baldes como unidades de medida. O concreto foi misturado em Betoneira, sendo necessários 2 volumes completos de betoneira para concretagem de cada unidade de protótipo, como na figura 9.



Figura 9: Concretagem do Protótipo 1
Fonte: autores, 2015

Após a concretagem, foi realizada vibração do concreto com utilização de vibrador elétrico manual.

Foram executados 0,02m de cobertura na parte inferior e 0,05 de cobertura na parte superior da armadura, totalizando 17cm (0,02m de cobertura inferior +0,10 da espessura da garrafa PET +0,05 de cobertura superior) de espessura de laje, como pode ser verificado na figura 10.



Figura 10: Espessura interna de Protótipo 1 após rompimento
Fonte: autores, 2015

O tempo de cura de ambos os protótipos foi de 21 dias. Sendo os protótipos rompidos após 38 dias de concretados.

5.1.5 Teste de compressão

O teste de compressão foi executado em uma Mesa de Reações, no laboratório de construção civil da Universidade do Oeste Paulista.

Para apoio da laje foram utilizados 4 apoios em mármore e 2 vigotas de madeira.

As vigas de transferência de Carga foram apoiadas em cima de 2 vigas metálicas sobrepostas a 4 placas metálicas, com um pino para a transferência das cargas em 2 pontos estipulados no centro da laje (figura 11).



Figura 11: Mesa de reações com Protótipo
Fonte: autores, 2015

As vigas de transferência possuem 2,83m de comprimento, sendo o apoio em pino, fixado a 0,15m de distância do Eixo base (viga transversal de apoio). Na outra extremidade das vigas foi apoiado o suporte para colocação dos pesos, conforme figura 12.



Figura 12: Pino de transferência de carga de uma das Vigas para Laje
Fonte: autores, 2015

6 RESULTADOS

6.1 PROTÓTIPO 1

Para rompimento da estrutura de concreto armado do protótipo 1 foram colocados em cada apoio da viga de transferência da Mesa de Reações 9 unidades de peso, totalizando 18 pesos.

Os pesos possuem peso próprio de 15 kg cada um, totalizando 270 kg de peso adicionado ao sistema inicial.

6.2 PROTOTIPO 2

Para rompimento de estrutura de concreto armado do protótipo 1 foram colocados em cada apoio da viga de transferência da Mesa de Reações 8 unidades de peso, totalizando 16 pesos.

Os pesos possuem peso próprio de 15 kg cada um, totalizando 240 kg de peso adicionado ao sistema inicial.

6.3 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

6.3.1 Sistema de forças Binário

Denomina-se binário a um sistema constituído por um par de forças paralelas, de módulos iguais e sentidos opostos. A resultante em termo de forças é nula, entretanto há um momento polar resultante de módulo igual ao produto da força pela distância entre as duas direções paralelas.

Considerando a barra de transferência de forças com comprimento de 2,83m e o pino de transferência de forças à laje, localizado 0,15cm à esquerda do apoio na Viga transversal, temos um sistema de alavancas onde, o peso adicionado à barra de transferência de forças gera, devido a equação de Momento, um momento especifico no pino de transferência de cargas.

Sabe-se que devido à utilização da barra de transferências, deve-se adicionar ao Momento Fletor total o Momento Fletor do peso próprio da barra de transferência no ponto 0,15cm, resultando:

$$Mf(total) = Mf + Pviga$$

$$Mf(total) = 723{,}6 + 133{,}28$$

$$Mf(total) = 856{,}88\ Kgf.m$$



Considerando-se a resultante das forças um sistema binário, onde as forças resultantes RA e RB nas extremidades de

apoio da barra de transferência de cargas, sendo um deles no ponto de apoio com a viga transversal e o outro a 0,15m de distância no pino de transferência de cargas para Laje.



$$RA = RB$$

$$RB = \frac{M}{l}$$

$$RB = \frac{856{,}88}{0{,}15}$$

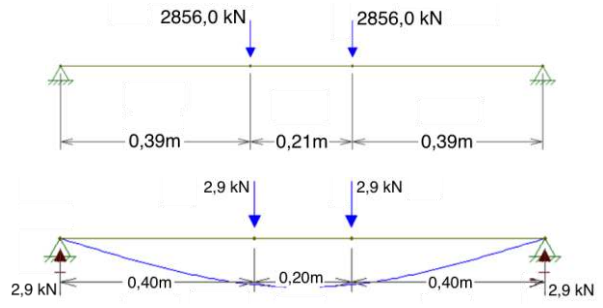
$$RB = 5712{,}7\ Kgf$$

Sabe-se então que a força total transferida para a laje é de 5712,7 kgf, sendo este divididos em dois pontos de carga localizados a 0,21m de distância um do outro:

$$CARGA\ POR\ PONTO\ NA\ LAJE = \frac{CARGA\ TOTAL\ NA\ LAJE}{QUANTIDADE\ DE\ PONTOS}$$

$$CARGA\ POR\ PONTO\ NA\ LAJE = \frac{5712{,}7}{2}$$

$$CARGA\ POR\ PONTO\ NA\ LAJE = 2856\ Kgf$$



7 CONCLUSÃO

Considerando o intuito de desenvolver um método construtivo eficaz, com redução de peso próprio, seguro, sustentável e de menor custo possível, pode-se concluir o que segue.

7.1 MÉTODO CONSTRUTIVO

De acordo com o procedimento detalhado neste trabalho, utilizando-se de forma simples, clara e objetiva, o método construtivo descrito visa a construção de uma laje de modo seguro e prático, onde o sistema PET + armação de aço pode ser moldado fora do campo de obra, sem necessidade de mão de obra especializada e com possibilidade de armazenamento em local coberto, para evitar somente a corrosão da tela de aço, pois não se utiliza de nenhum material com alto poder de degradação, viabilizando a construção em comunidades de baixa renda, projetos sociais e conjuntos de obras sustentáveis.

7.2 REDUÇÃO DE PESO PRÓPRIO

Considerando as Garrafas PET utilizadas de modo tampado, temos a redução da utilização de concreto ou outro material de preenchimento, pois o ar ocupado dentro da garrafa, substitui tal material.

Tem-se assim:

$$VOLUME\ LIVRE\ POR\ GARRAFA: 0{,}002\ m^3$$

$$\frac{QUANTIDADE\ DE\ GARRAFAS}{M2\ DE\ LAJE} = 30$$

$$\frac{VOLUME\ LIVRE}{M^2DE\ LAJE} = QUANTIDADE\ DE\ GARRAFAS.0{,}002M^3$$

$$\frac{VOLUME\ LIVRE}{M^2D\ LAJE} = 30.0{,}002M^3$$

$$\frac{VOLUME\ LIVRE}{M^2DE\ LAJE} = 0{,}06\ M^3$$

Sabendo que:

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = base.altura.largur$$

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = 1.0{,}17.1$$

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = base.altura.largur$$

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = 0{,}17\ m^3$$

Considerando a redução dos vazios das garrafas PET na laje, verifica-se:

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = vol.da\ laje - vol.livre$$

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = 0{,}17 - 0{,}06$$

$$\frac{volume\ total\ da\ laje}{m^2} = 0{,}11\ m^3$$

7.3 SEGURANÇA

De acordo com os testes de compressão realizados em 2 protótipos, a compressão máxima suportada por 1m² de laje PET é de 5712,7 kgf. Podendo ser seguramente utilizada como Laje-piso de residências.

7.4 CUSTO

Visto a redução de consumo de concreto em 0,06m³/m² de laje executada, considerando-se a utilização de concreto usinado, 25 mpa, de acordo com orçamento em empresa de concreto na cidade de Presidente Prudente-SP em novembro de 2015, tem-se:

$$Valor\ do\ m^3 de\ concreto = R\$\ 265{,}00$$

Considerando a Laje sem os vazios, resultaria em:

$$\frac{Valor\ total\ de\ concreto}{m^2} = volume * Valor/m^3$$

$$\frac{Valor\ total\ de\ concreto}{m^2} = 0{,}17 * 265$$

$$\frac{Valor\ total\ de\ concreto}{m^2} = R\$45{,}05$$

Isso resultaria em um custo de R$45,05 de concreto/m² de laje, mas considerando a redução de 0,06m³ por m² de laje devido ao uso das Garrafas PET, tem-se:

$$\frac{Vol.reduzido}{m^2} = 0{,}06\ m^3$$

$$Valor\ total\ red. = Vol.reduzido * Valor\ m^3$$

$$Valor\ total\ reduzido = 0{,}06 * 265$$

$$Valor\ total\ reduzido = R\$15{,}90$$

Passando assim a ter um custo de concreto de R$29,15 por m² de laje PET.

7.5 SUSTENTABILIDADE

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS PET (ABIPET), no censo realizado em 2013, somente 50% das PET's consumidas no Brasil são devidamente recicladas, gerando assim o mínimo de impactos ao meio ambiente.

Pensando na Sustentabilidade da construção civil, no pensamento ecológico e no incentivo à reutilização de materiais, este método construtivo auxilia na retirada deste material com potencial poluidor do meio ambiente de modo eficaz e seguro, visto que sua utilização de modo tampada, não oferece riscos de armazenamento indevido de água e proliferação de doenças infectocontagiosas, como a Dengue e o Zica vírus, transmitidos pelos mosquito *Aedes aegypti* que se reproduz em águas paradas, comumente encontradas em PET abandonadas no meio ambiente.

Considerando todos os pontos positivos relacionados acima, tal método construtivo tem características positivas relevantes para que se torne um método de construção aplicável.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises demonstradas, verifica-se que é uma ótima solução técnica, ambiental e financeira a utilização garrafas PET na concretagem de lajes.

Dessa forma, a pesquisa que embasa este artigo possibilita a ampliação nas discussões sobre estruturas mais leves e econômicas para as áreas de engenharia civil e afins.

REFERÊNCIAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS PET. **Censo da Reciclagem do PET**. SÃO PAULO, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9286** – TERRA ARMADA. RIO DE JANEIRO, 1986.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto Armado eu te amo**. São Paulo: Edgar Blucher, 1985.

CASSIMINHO, A. L. F. **Modelização dos convexos representativos das fases de plasticidade em vigas de concreto armado submetidas à flexão composta desviada**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

MACASKILL, K.; GUTHRIE, P. Risk-based approaches to sustainability in civil engineering. **Proceedings of the Instituite of Civil Engineers – Engineering Sustainability**, v. 166, n. ES4, p. 181-190, ago. 2013. https://doi.org/10.1680/ensu.12.00001

MORENO, B. S. **Identidade e trabalho:** um panorama sobre globalização. 2003. Monografia (Especialização em Engenharia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

NAPPI, S. C. B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotas pré- moldadas e nervuradas**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

OLIVEIRA, R. S.; ARAÚJO, D. L.; RAMALHO, M. A. Avaliação da deformação de lajes nervuradas considerando a não linearidade física: comparação entre valores teóricos e experimentais. **E-Artigo ABECE**, ago. 2000.

RODRIGUES, C. F.; SILVA, J. P.; SOUZA, R. F. Laje Alveolar com enchimento de garrafa PET não protendida. **Revista Pensar Engenharia**, v.2, n.2, jul. 2014.

SCHWETZ, P. F. **Análise numérico-experimental de lajes nervuradas sujeitas a cargas estáticas de serviço**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA FILHO, J. J. H. **Analise experimental e numérica de laje com vigotas pré- moldadas de concreto armado**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

WEISENBERGER, G. Sustainability and the Structural Engineer. **Practice periodical on structural design and construction**, v. 16, p. 146-150, 2011. https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000110