

Utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido proveniente de indústria de refrigeração como elemento de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas "in loco"

Neilson Luiz Ribeiro Modro¹; Nelcimar Ribeiro Modro²; Nilson Ribeiro Modro³; Vanderley Luiz Marchi⁴

¹ Professor Mestre do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado de Santa Catarina. E-mail: neilson.lui@gmail.com

² Professora Mestre do Departamento de Tecnologia Industrial da Universidade do Estado de Santa Catarina. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. E-mail: nrmodro@gmail.com

³ Professor Doutor do Departamento de Sistemas de Informação da Universidade do Estado de Santa Catarina. E-mail: nilsonmodro@gmail.com

⁴ Engenheiro Civil, Stein Construções Ltda, Departamento de Engenharia Civil-DEC. E-mail: vlmarchi@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho relata a experiência da utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido (PUR) provenientes da indústria de refrigeração como elementos de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas "in loco". A destinação usual deste resíduo é a sua deposição em aterros industriais, acarretando em custos financeiros e promovendo a redução da capacidade física dos aterros. Os resíduos de PUR foram utilizados na construção de 3 edifícios com 12 pavimentos cada, com área total de aproximadamente 25.000 m². Para tanto, foram confeccionadas cerca de 60.000 placas de PUR com dimensões de 30 cm x 30 cm x 10 cm, para serem utilizadas como elementos de enchimento, a partir do recorte de resíduos de material utilizado como "isolante térmico", em aparelhos de refrigeração. Estas placas ganharam uma destinação mais nobre que a simples deposição num aterro industrial, pois estão incorporadas definitivamente ao concreto. Além disso, também foi evitado que o mesmo volume de material, em formas comerciais de poliestireno expandido (EPS), fosse consumido resultando na redução no custo total da obra.

Palavras-chave: Poliuretano rígido (PUR). Resíduo. Laje nervurada. Reciclagem.

INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 6118/2007, "lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte".

O objetivo da utilização de lajes nervuradas é a redução no consumo de concreto, uma vez que as mesmas necessitam em geral de menor quantidade de material em relação às lajes maciças, principalmente para grandes vãos. Carvalho e Filho (2007) ressaltam que para ser mais econômica que a laje maciça a solução deve evitar um alto consumo de fôrmas e, portanto evitar a confecção do molde de todas as nervuras. Este inconveniente é superado, por exemplo, com a utilização de materiais de enchimento. Estes materiais de enchimento devem ser o mais leves possível, porém com resistência suficiente para suportar as operações de execução.

Os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as nervuras, com a função de reduzir o volume de concreto e o peso próprio da laje. São desconsiderados como colaboradores nos cálculos de resistência e rigidez da laje (NBR 14860-1/2002). De acordo com Debs (2000), os materiais de enchimento normalmente utilizados são blocos vazados de material cerâmico ou concreto, ou ainda, blocos de poliestireno expandido (EPS).

Coelho (2006) propôs a utilização de garrafas PET pós-consumo como uma alternativa aos materiais tradicionalmente utilizados como material de enchimento, com o objetivo de reduzir custos de fabricação e diminuir o impacto ambiental provocado pelo descarte das garrafas. As garrafas não passam por nenhum processo de transformação, tendo-se apenas o

cuidado de colocar as tampas de maneira adequada, para promover a correta vedação das mesmas, não permitindo a entrada de concreto em seus interiores durante o processo de moldagem. A moldagem de uma laje com este tipo de material de enchimento é ilustrada na Figura 1.



Figura 1. Moldagem de uma laje nervurada com a utilização de garrafas PET como material de enchimento
Fonte: Coelho-2006.

Os resultados encontrados demonstraram que a utilização de materiais alternativos se apresenta como uma abordagem promissora em relação à utilização de materiais tradicionais.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo relatar a experiência da utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido (PUR) provenientes da indústria de refrigeração como elementos de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas “in loco”.

ESPUMA DE POLIURETANO RÍGIDO

Segundo Vilar (2004), as espumas de poliuretano rígido (PUR) são frequentemente formuladas em sistemas constituídos de dois componentes. Um dos componentes é o isocianato (normalmente MDI polimérico), o outro é constituído de um ou mais polióis e demais aditivos, como: surfactantes; retardantes de chama; catalisadores; e reticuladores de cadeia, como glicerina ou trietanolamina. A combinação destes elementos produz um tipo de espuma rígida a que chamamos de poliuretano. Esta espuma é composta por células fechadas que acabam contribuindo para a rigidez da estrutura. Além disso, a baixa condutividade térmica do gás retido nestas células fechadas é o principal fator responsável pelas propriedades isolantes da espuma.

As PUR são adequadas às mais diferentes aplicações. Particularmente, no caso da indústria da refrigeração, além da principal propriedade que é o de ser um excelente material isolante térmico, as PUR apresentam outras propriedades igualmente importantes para justificar seu uso em larga escala: simplicidade da reação para a obtenção do produto final, facilidade para a moldagem, resistência mecânica compatível com a necessidade, e boa adesão às chapas metálicas dos refrigeradores, o que permite que se obtenha uma estrutura sanduíche leve e com boa resistência estrutural. Vilar (2004) afirma ainda que para o isolamento térmico são utilizadas principalmente PUR de baixa densidade (28 a 50 kg/m³).

O resíduo de PUR é gerado após o processo injeção da espuma, quando são cortados os excessos, no momento do descarte de produtos que não alcançaram a qualidade adequada, e após

o sucateamento de produtos. Existe a necessidade de se destinar adequadamente os resíduos gerados durante tais processos. Uma alternativa para esta destinação é a deposição destes resíduos em aterros industriais, opção escolhida pela empresa produtora de aparelhos de refrigeração, pois existe um aterro muito próximo a esta unidade fabril, e também devido ao fato de não se ter alternativas de reuso ou de reaproveitamento ambiental e financeiramente viáveis disponíveis até o momento do início desta pesquisa. Porém, a utilização de aterros industriais para este fim acarreta em custo financeiro (decorrente do transporte e deposição destes resíduos no aterro) além de provocar uma grande redução da capacidade física dos aterros, pois estes resíduos possuem baixas densidades, ocupando em seu estado de descarte um grande volume para um pequeno peso.

ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

O projeto consiste em 3 edifícios com 12 pavimentos cada, com área total de aproximadamente 25.000 m². Tais edificações foram construídas para utilização com fins comerciais, na cidade de Joinville, interior de Santa Catarina.

O projeto estrutural inicial especificava a confecção de lajes moldadas no local (execução totalmente "in loco"). Os edifícios possuem vãos de até 8 m e a solução apresentada no projeto estrutural foi a utilização de lajes nervuradas, armadas em duas direções, com altura total de 15 cm, sendo 5 cm para a capa e 10 cm para a nervura. As nervuras possuem largura de 7 cm, e a distância entre as nervuras de 30 cm deveriam ser preenchidas por elementos de enchimento de EPS com dimensões (30 x 30 x 10 cm). As lajes se apóiam em vigas de bordo.

O concreto utilizado para a moldagem das lajes nervuradas deve apresentar

$$f_{ck_{28\text{dias}}} \geq 30\text{Mpa}$$

Durante o processo de estudo do projeto, foi proposta a utilização dos resíduos de PUR como alternativa ao EPS. O proprietário se mostrou aberto a idéia e solicitou uma reunião para maiores detalhamento. Assim, foi realizada uma reunião que envolveu: o proprietário da edificação, o Eng^o responsável pelo cálculo, o Eng^o responsável pela execução e o representante da empresa recicladora. Durante a reunião, foi apresentado o estudo de viabilidade econômica e técnica sobre a utilização desses resíduos. Ao final da reunião, decidiu-se pela utilização dos resíduos de PUR como elemento de enchimento.

As dimensões padrões das lajes nervuradas utilizadas são ilustradas na Figura 2.

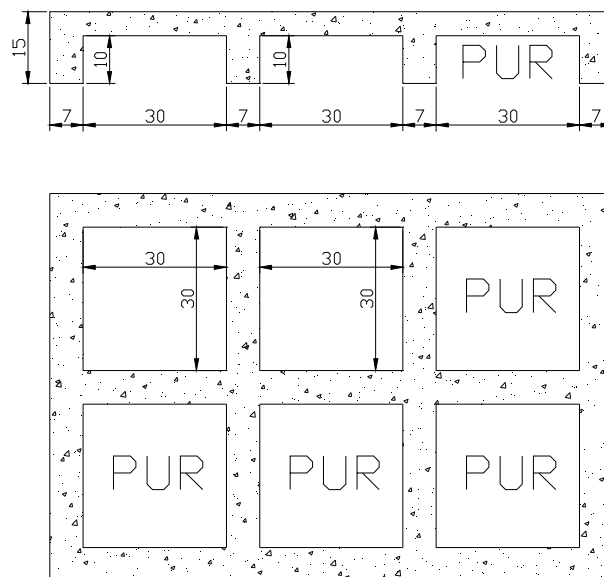


Figura 2. Detalhamento padrão das lajes nervuradas utilizadas.

ELEMENTOS DE ENCHIMENTO

ADEQUAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PUR

Devido ao fato dos resíduos de PUR utilizados se apresentarem inicialmente em formato de chapas variadas foi necessário promover uma adequação em seu tamanho, visando atender às especificações de projeto. Esta adequação foi realizada em parceria com uma Empresa local de reciclagem, que ficou responsável por todo o procedimento de coleta, transporte, adequação e entrega dos elementos de enchimento na obra, fornecendo os mesmos como um produto comercial.

Após a coleta do material realizou-se numa primeira etapa a separação manual das chapas de PUR que apresentavam tamanho igual ou maior ao requisitado pelo projeto. A segunda etapa consistiu em realizar o corte das chapas nas larguras e comprimentos corretos, com a utilização de uma serra fita. A terceira etapa de adequação da chapas foi realizada com relação à espessura das mesmas. As chapas apresentavam inicialmente espessuras variadas e inferiores a 10 cm (dimensão solicitada pelo projeto), e nesta etapa efetuou-se o corte das mesmas com 5 cm, e a união de duas destas placas através da amarração com fitas plásticas para se obter um elemento de enchimento. Deste modo, foi definida como padrão a junção de 2 chapas com esta dimensão, pois placas com espessuras inferiores poderiam resultar em fragilidade do material, acarretando em perdas durante o transporte, posicionamento nas formas e no lançamento do concreto. Esse processo está descrito na Figura 3.

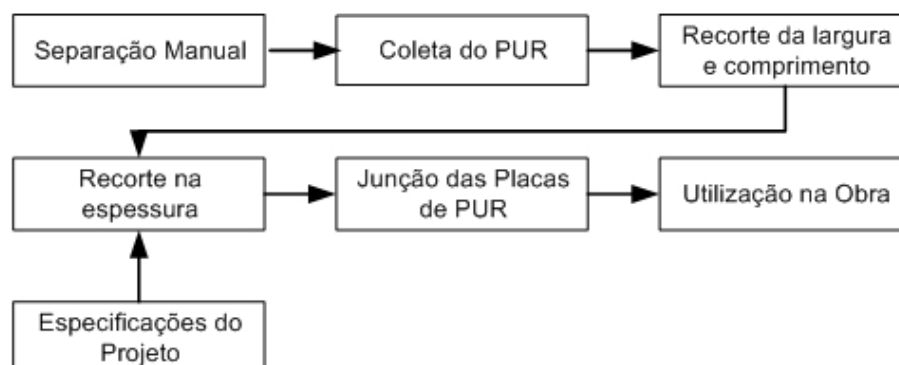


Figura 3. Processo de adequação dos resíduos de PUR para a produção dos elementos de enchimento.

VALOR COMERCIAL DOS ELEMENTOS DE ENCHIMENTO

Os elementos de enchimento produzidos com resíduos de PUR apresentaram um valor comercial 15% inferior ao custo de elementos de EPS previstos inicialmente para a utilização nesta obra. Neste valor está incluso todos os custos envolvidos na produção dos mesmos (coleta do material, transporte, adequação e impostos), bem como o lucro da empresa recicladora.

DETALHES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS

A figura 4 mostra os elementos de enchimento devidamente posicionados antes do início do processo de lançamento do concreto. Também é possível visualizar o espaço destinado para as vigas de apoio das lajes.



Figura 4. Elementos de enchimento de PUR devidamente posicionados nas formas

A figura 5 detalha o lançamento de concreto numa laje.



Figura 5. Lançamento do concreto numa laje

A figura 6 mostra o detalhe da parte inferior de uma laje após o processo de desforma.



Figura 6. Parte Inferior de uma laje após o processo de desforma.

Após o processo de cura do concreto das lajes, foi aplicado um chapisco com argamassa aditivada com um produto de nome comercial “Bianco”, fabricado pela empresa Vedacit Impermeabilizantes, do grupo Otto Baumgart. Este produto é uma resina sintética de alto desempenho que garante excelente aderência das argamassas aos mais diversos substratos. Posteriormente foi realizado o reboco das lajes, sendo que não foi detectado qualquer problema de descolamento do mesmo em relação aos elementos de enchimento de PUR.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam favoravelmente para a possibilidade da utilização deste resíduo como substituto de formas convencionais para confecção de laje nervurada. Este tipo de utilização de PUR tem as seguintes vantagens econômicas e sócio-ambientais:

- Utiliza um material que normalmente é descartado (PUR). A substituição de EPS por PUR gera uma redução na ordem aproximada de 15% do custo total dos materiais de enchimento utilizados na confecção de lajes nervuradas. Considerando o atual cenário de construção civil brasileiro e até mesmo mundial, essa redução de custo representa uma grande vantagem competitiva.
- Permite, durante o processo “padrão” de destinação final, a redução do impacto ambiental provocado por sua deposição em aterros.
- Preserva fontes naturais, uma vez que se reduz a retirada de matérias-primas de fontes naturais não renováveis.

Além disso, considerando o uso em larga escala de PUR como elementos de enchimento na construção civil, toda uma nova cadeia produtiva será gerada, agregando valor a um material atualmente considerado lixo (e por isso vem sendo descartado) ao invés de resíduo.

Enfim, a utilização de resíduos de PUR como substitutos dos elementos de enchimento tradicionais para a fabricação de lajes nervuradas apresenta-se como uma solução viável para dar um destino nobre aos mesmos, além de reduzir o consumo de produtos provenientes de fontes naturais não renováveis.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 14860-1**: Laje pré-fabricada- Pré-laje- Requisitos. Parte 1. Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.
- CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Carlos: EDUFSCAR, 2007.
- COELHO, F. A. Ecolaje. Utilização de garrafa PET na fabricação de lajes nervuradas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES, 9., 2006, Habana. **Anais...** Habana: CUBA, 2006.
- DEBS, M. K. E. **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000.
- VILAR, W. **Química e tecnologia de poliuretanos**. Rio de Janeiro: Vilar, 2004.

AGRADECIMENTOS

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Construtora Stein Ltda.