

# UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE POLIURETANO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO LEVE

Augusto G. Pinto<sup>1</sup>

Décio Collato<sup>2</sup>

### RESUMO

O poliuretano é um polímero termorrígido que por suas características como leveza, facilidade de se moldar aos ambientes e, principalmente, pela alta capacidade de isolamento térmico, é largamente utilizado nas atividades diárias das indústrias, como por exemplo; no isolamento térmico das câmaras frias de caminhões frigoríficos. Porém, devido às condições de uso, eventualmente são necessárias manutenções, onde esse material é removido e substituído, criando-se dessa forma um rejeito industrial. Esses rejeitos são preocupação constante na área ambiental, pois o alto volume gerado pelas empresas em suas atividades, pode, se erroneamente descartado, gerar um impacto ambiental ao meio onde for inserido. O presente trabalho aborda a incorporação do rejeito industrial de poliuretano em concreto, com o intuito de auxiliar no descarte desse material de uma forma técnica e eficiente, utilizando-o como um agregado leve. Sendo assim, a utilização deste rejeito como agregado em concreto leve sem função estrutural, passa a ser uma forma de reinserir esse material no ciclo produtivo ao invés de somente descartá-lo, propiciando redução de custos e agregando valor para um material que antes seria inutilizado. O aproveitamento do rejeito foi estudado em adição à matriz de concreto, observando o comportamento físico e mecânico, tais como resistência à compressão, tração por compressão diametral, consistência e trabalhabilidade, porosidade, absorção e massa específica, em atendimento às normas vigentes. A avaliação foi realizada através de um estudo de dosagem e os resultados obtidos, através dos ensaios experimentais realizados nas propriedades do concreto leve com poliuretano, mostraram valores, tanto no estado fresco como no endurecido, relevantes e satisfatórios. Portanto os resultados obtidos neste estudo demonstram a viabilidade técnica do uso deste rejeito como matéria-prima para a confecção de concretos leves para uso na construção civil.

**Palavras-chave:** Concreto leve, resíduo industrial, poliuretano.

### ABSTRACT

Polyurethane is a thermosetting polymer which, due to its characteristics such as lightness, ease of molding to areas and, mainly, high thermal insulation capacity, is widely used in the industries daily activities, for example: in thermal insulation of cold rooms of refrigerated trucks. However, due to the usage conditions, eventually maintenance is necessary. This material is removed and replaced, thus creating an industrial waste. The waste is a constant concern for the environmental area, since the high volume generated by companies in their activities can, if wrongly discarded, generate an environmental impact to the place where it is discarded. The

<sup>1</sup> Engenheiro Civil – TCC do Curso Engenharia Civil/ULBRA

<sup>2</sup> Professor – Orientador do Curso de Engenharia Civil/ULBRA (decio.collatto@gmail.com)

present work deals with the incorporation of the industrial polyurethane waste in the concrete, in order to assist the disposal of this material in a technical and efficient way, using it as a lightweight aggregate. Therefore, the use of this waste as an aggregate in lightweight concrete without structural function becomes a way to reinsert this material in the productive cycle instead of just discarding it, providing cost reduction and adding value to a material that would first be disabled. The reuse was studied in addition to the concrete, observing the physical and mechanical behavior, such as compressive strength, traction by diametrical compression, consistency and workability, porosity, absorption and specific mass, in compliance with current norms. The evaluation was performed through a dosage study and the results were obtained through the experimental tests carried out on the properties of the polyurethane lightweight concrete, presenting results in both fresh and hardened states, relevant and satisfactory. Therefore, the results obtained in this study demonstrated the technical feasibility of using this waste as raw material to produce lightweight concrete for the civil construction.

**Keywords:** Lightweight concrete, industrial waste, polyurethane.

## INTRODUÇÃO

O poliuretano (PU), por suas características como leveza, facilidade de se moldar aos ambientes e, principalmente, pela alta capacidade de isolamento térmico, é largamente utilizado nas atividades diárias das indústrias, como por exemplo; no isolamento térmico das câmaras frias de caminhões frigoríficos. Porém, devido às condições de uso, eventualmente são necessárias manutenções, onde esse material é removido e substituído transformando-se em um rejeito industrial. Este rejeito é depositado em aterros terceirizados ou das próprias indústrias, gerando custos com esta disposição.

Segundo a NBR 10004, (ABNT, 2004) o poliuretano é considerado um resíduo industrial não inerte Classe II, têm tempo de decomposição muito elevado e pode conter em suas células o Hidroclorofluorcarbono ou o Ciclopentano, que são gases que não destroem a camada de ozônio.

Vilar (2004) afirma que as espumas flexíveis abrangem a maior parte do mercado brasileiro de PU, com cerca de 71%, enquanto as espumas rígidas, ocupam o segundo lugar com 13% do mercado. Destaca que a maior parte da utilização das espumas rígidas (58% do volume) está voltada para o segmento da refrigeração doméstica e o restante para o mercado de transporte e construção civil.

Segundo Revjakin et. al. (2000), os termofixos apresentam uma maior dificuldade de reciclagem devido ao alto custo envolvido e à complexidade na tecnologia do processo. A dificuldade da decomposição dos materiais poliméricos e as propriedades dos plásticos contribuem para o seu uso em larga escala. Como resultado, é nítido o processo de declínio da capacidade de depósitos de resíduos industriais, que ainda são os principais destinos dos resíduos industriais em diversos países.

Devido a este contexto, com o objetivo de reduzir os custos deste serviço de disposição, o aproveitamento de rejeitos é prática e busca constante das indústrias.

A reutilização desses materiais, se reverte em benefícios do ponto de vista econômico e ambiental, poupando sua disposição em aterros e se tornando uma “nova” matéria-prima para outros setores industriais, contribuindo para redução da extração/industrialização de novos recursos naturais.

Dessa forma, a construção civil tem sido há alguns anos o meio mais pesquisado para o aproveitamento de diversos rejeitos industriais na forma de adição e ou substituição dos agregados em concreto, pois além de gerar ganho ambiental e econômico podem, em alguns casos, proporcionar melhorias em suas propriedades mecânicas. O desenvolvimento dessas incorporações no concreto, já foram comprovadas diversas vezes como eficientes, como é o caso das pozolanas, escórias de alto-forno e cinzas volantes, onde contribuem para aproveitar subprodutos poluidores, melhorando características tais como a impermeabilidade, diminuição da porosidade capilar, maior resistência a sulfatos e redução do calor de hidratação, entre outras.

A utilização deste material como agregado em concreto leve sem função estrutural, passa a ser uma forma de reinserir esse rejeito no ciclo produtivo, ao invés de somente descartá-lo, agregando a característica de sustentabilidade e valor para um material que antes seria inutilizado.

Este estudo, portanto, tem o objetivo de obter dados científicos na incorporação deste rejeito, como a influência da incorporação de resíduos de poliuretano nas propriedades mecânicas e físicas do concreto leve.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização das Matérias Primas

#### *Espuma de poliuretano*

As propriedades obtidas do material utilizado foram informadas pela empresa que forneceu o resíduo em placas não são demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedade física e térmica.

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade Térmica a 24°C (W/mK)
PUR	32	0,017

Quanto a preparação para o uso experimental o resíduo, recebido em placas, passou por processo de moagem em moinho de facas e posteriormente classificada quanto a sua granulometria, segundo a NBR 248 (ABNT, 2003), conforme demonstra o Quadro 2.

**Quadro 2** – Composição granulométrica do PUR.

Peneira (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)
6,3	0	0
4,75	20	20
2,36	60	80
1,18	20	100
0,6	0	100
0,3	0	100
0,15	0	100
Fundo	0	100
Módulo de finura		5,0
D. máx. (mm)		6,3

Na execução do teste de absorção de água, este não foi possível determinar, pois o material ficou flutuando sobre a água, o que fez presumir que não interferiria no aumento da relação água/aglomerante durante a execução dos traços de concreto leve.

### ***Cimento***

Para a produção de concretos foi utilizado cimento Portland CP V ARI, que possui alta resistência inicial. A caracterização para o cimento utilizado é apresentada no Quadro 3. Já o Quadro 4 apresenta os requisitos mínimos e médios da evolução da resistência à compressão do cimento CP V-ARI.

**Quadro 3** – Caracterização físico-química fornecida pelo fabricante do cimento utilizado, CP V-ARI, média do mês de agosto de 2016.

<b>Análise química</b>	
Ensaio	Resultado
Perda ao fogo (%)	3,28
MgO (%)	4,04
SO <sub>3</sub> (%)	3,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,26
SiO <sub>2</sub> (%)	18,88
CaO (%)	60,71
CaO livre	0,69
R.I. (%)	0,84
Equivalente alcalino	0,70
<b>Análise física</b>	
Ensaio	Resultado
Água da pasta de consistência normal (%)	30
Superfície específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4,351
Finura #200 (%)	0,04
Finura #325 (%)	0,29
Expansibilidade a quente (mm)	0,18
Início de pega (h:min)	03:32
Fim de pega (h:min)	04:08
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	3,09

Fonte: Website Cimento Itaimbé, 2016.

**Quadro 4 –** Evolução da resistência à compressão do cimento CP V-ARI.

Resistência à compressão (MPa)			
1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
22,7	38,8	44,8	53,8

Fonte: Website Cimento Itaimbé, 2016.

### *Agregado miúdo*

O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa proveniente de leito de rio. A verificação da massa específica foi realizada de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009), sendo obtido o valor de 2,63 kg/dm<sup>3</sup>.

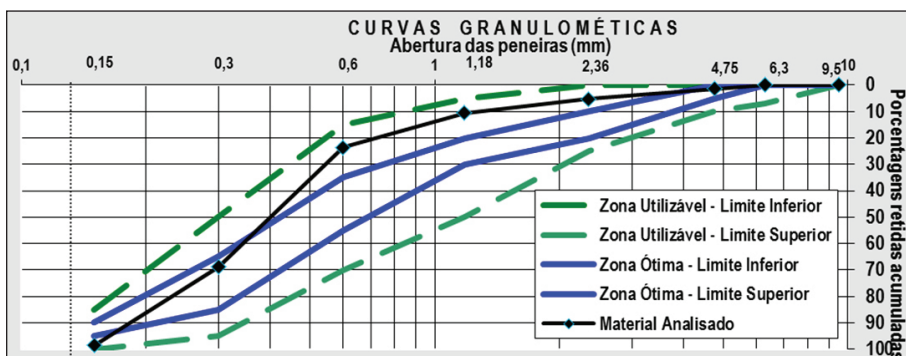
A determinação da composição granulométrica foi realizada de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), constando a mesma no Quadro 5.

**Quadro 5 –** Composição granulométrica da Areia.

Peneira (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)
4,75	1	1
2,36	4	5
1,18	6	11
0,6	13	24
0,3	45	69
0,15	30	99
Fundo	1	100
Módulo de finura		2,09
D. máx. (mm)		2,36

A Figura 1 representa graficamente a classificação da areia utilizada, ficando de acordo com a NBR 7211/2009 na zona utilizável.

**Figura 1 –** Curva Granulométrica da Areia.



## Água

Para a produção dos concretos foi utilizada água potável disponível na rede de abastecimento, a qual é considerada adequada para este uso.

## Aditivo

Foi utilizado um aditivo plastificante multifuncional de pega normal, na proporção de 0,6% sobre o peso de cimento. Este aditivo age como um agente dispersor das partículas de cimento, evitando sua aglomeração e reduzindo a tensão superficial da água da mistura, melhorando a coesão e trabalhabilidade do concreto.

Abaixo segue as características do aditivo fornecido pelo fabricante conforme Quadro 6.

**Quadro 6 – Dados técnicos Aditivo.**

Dados Técnicos			
Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	1,10	
Dosagem	%	0,2 a 1,0	Sobre a massa do cimento

Fonte: Website fabricante MC - Bauchemie Brasil, 2015.

## Produção e Caracterização do Concreto Leve

O método de dosagem experimental escolhido para este trabalho foi o IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 2002), onde determinou-se o teor ideal de argamassa de 53% com uma relação água/cimento para o traço intermediário igual a 0,53 para uma classe de consistência de S50. Foi estipulado a classe de S50 como abatimento inicial e posterior ajuste da fluidez com a adição de 0,6% de aditivo multifuncional.

Posteriormente, foram reproduzidos três traços (rico, intermediário e pobre) conforme demonstra o Quadro 7, substituindo o teor de agregado graúdo pelo resíduo de PU.

Em função da massa específica do agregado PU ser muito leve (32 kg/m<sup>3</sup>), realizou-se a substituição de agregado graúdo por agregado leve em função do volume. O estudo IPT/EPUSP foi realizado para uma massa de 25 kg de agregado graúdo o que equivaleu a um volume de 17 dm<sup>3</sup>, sendo então substituída integralmente por um volume equivalente de PU.

**Quadro 7 – Traços de concreto.**

Traço rico	1 : 1,38 : 2,12 : 0,42
Traço intermediário	1 : 2,18 : 2,82 : 0,53
Traço pobre	1 : 2,98 : 3,52 : 0,70

Foram definidos os ensaios de resistência a compressão nas idades de 7 e 28 dias e a confecção do Diagrama de dosagem como ensaio principal e os ensaios de tração por compressão diametral, absorção de água, porosidade e massa específica como parâmetros auxiliares para a avaliação da qualidade do concreto, pois servem como indicativo da durabilidade do concreto.

Optou-se pela avaliação destes ensaios auxiliares apenas na idade de 28 dias e somente no traço intermediário (1:5), pois não foi julgada relevante a realização da comparação entre diferentes idades e diferentes traços.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os concretos foram produzidos com base nas proporções de agregados calculadas para cada traço, conforme dados do Quadro 7. Para os concretos produzidos foram registrados os valores observados para abatimento, relação água/cimento e calculados o consumo de cimento (C) e percentual de água (H), conforme Quadro 8.

**Quadro 8** – Características do concreto moldado.

Traços de concreto	H %	Abatimento inicial (mm)	Abatimento final (mm)	C (kg/m <sup>3</sup> )	Relação a/c	Aditivo (%)
1 : 3,5	9,33	65	210	499	0,42	0,6
1 : 5	8,83	70	130	376	0,53	0,6
1 : 6,5	9,33	60	100	297	0,70	0,6

H%: percentual de água utilizada nos concretos; Abatimento inicial: abatimento medido antes do acréscimo de aditivo nos concretos; Abatimento final: abatimento medido após o acréscimo de aditivo nos concretos; C: Consumo de cimento nos concretos.

A classe de consistência dos concretos foi fixada em S50, com abatimentos registrados em  $70 \pm 10$  mm, pois em misturas com alta fluidez ajustadas somente com água, o agregado leve tende a segregar e flutuar na superfície.

O aditivo plastificante multifuncional foi utilizado na proporção fixa de 0,6% sobre a massa de cimento para todos os traços, apenas para melhorar a trabalhabilidade dos concretos e facilitar o estudo.

Não foi verificada a necessidade de pré-saturar o agregado de poliuretano, pois a espuma rígida de poliuretano possui células fechadas e sua absorção de água não é relevante.

Os resultados obtidos na determinação da resistência a compressão conforme NBR 5739 (ABNT,2007), são apresentados no Quadro 9.

**Quadro 9 – Resistência a compressão (7 e 28 dias).**

Identificação	Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	
		Individual	Exemplar
1 : 3,5	7	24,3	25,7
		25,7	
	28	29,2	30,6
		30,6	
1 : 5	7	15,6	15,6
		14,1	
	28	20,5	20,5
		19,8	
1 : 6,5	7	8,4	8,4
		8,4	
	28	13,4	13,4
		13,1	

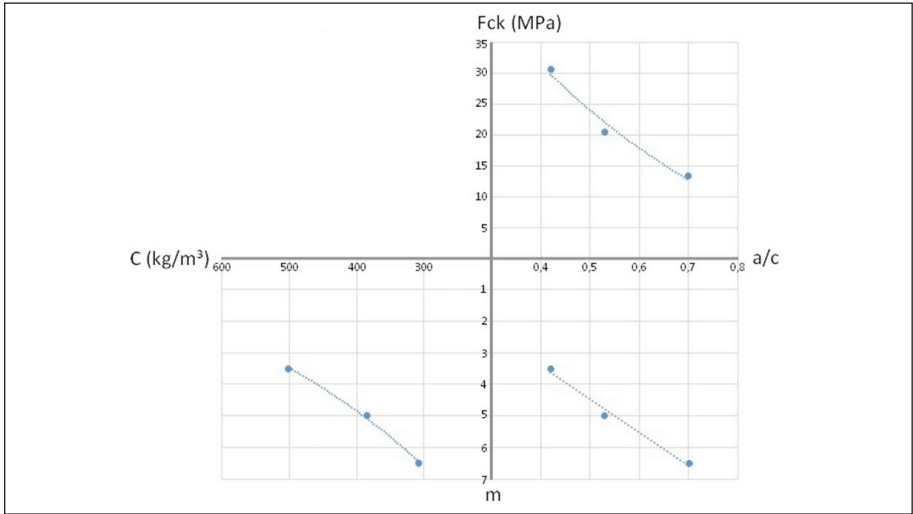
A resistência à compressão axial é uma das propriedades mais utilizadas para estudo de dosagem de concreto, pois através dela pode-se definir características de uso do concreto leve, como estrutural, de isolamento ou de preenchimento.

A utilização do cimento de alta resistência inicial proporciona valores de resistência à compressão mais altos nas idades iniciais podendo constatar, neste caso, que aos 7 dias o concreto do traço rico apresentou 84% de sua resistência aos 28 dias, enquanto os concretos dos traços intermediário e pobre, apresentaram 76% e 63% respectivamente. O consumo de cimento do traço 1:3,5 foi elevado, 499 kg/m<sup>3</sup>, ficando dentro do patamar sugerido por AITCIN (2000) para concretos leve de alto desempenho, entre 400 a 600 kg/m<sup>3</sup>.

A partir dos resultados de resistência à compressão e dos parâmetros de produção das misturas foram obtidas curvas de Abrams, Lyse e Molinari para todos os traços estudados, sendo apresentados na forma do Diagrama de Dosagem do concreto estudado na idade de 28 dias, conforme Figura 2 e através das equações 1, 2 e 3.



**Figura 2 – Diagrama de dosagem.**



$$\log f_{cj} = 2,003475 - a/c \times 1,264149$$

(Equação 1 – Abrams)

$$m = 10,553 \times a/c - 0,804$$

(Equação 2 – Lyse)

$$m = -6,122 \ln(C) + 41,527$$

(Equação 3 – Molinari)

O Diagrama de Dosagem proposto por este método facilita o entendimento do comportamento de uma determinada família de concreto de mesmo abatimento, mas de propriedades diferentes depois de endurecido. Fornece as informações necessárias para obtenção direta do traço de um concreto leve com poliuretano como agregado, a partir da resistência à compressão pretendida, relação água/cimento, agregados secos e consumo de cimento.

No Quadro 10, se apresenta o resultado de resistência a compressão diametral (NBR 7222:2011), absorção, massa específica e porosidade (NBR 9778:2005).

**Quadro 10 – Propriedades físicas e mecânicas.**

Identificação	Idade (dias)	Resistência à compressão diametral (MPa)	Absorção (%)	Porosidade (%)	Massa específica (kg/m³)	
					seca	saturada
1 : 5	28	2,46	16,61	27,70	1680	1960

Quanto a resistência a tração, o valor usualmente adotado em referências bibliográficas técnicas é em média 10% do valor atingido na resistência a compressão, pois o concreto não resiste bem à tração. Analisando a resistência à compressão do traço

1:5 aos 28 dias com sua resistência a tração, obteve-se o índice de 12%, comprovando assim a correlação entre essas propriedades.

Nos resultados dos ensaios de absorção são compatíveis com o que era esperado para um concreto leve. O poliuretano é um material pouco denso, o que justifica o aumento da absorção de água, porém é importante salientar, no entanto, que o poliuretano não tem afinidade pela água.

No resultado da porosidade, pode-se dizer que a adição do poliuretano no concreto ocasionou um aumento do índice de vazios e este é justificado pela baixa densidade do poliuretano, portanto é possível afirmar que o índice de vazios é elevado com a utilização de PU no concreto, pois apesar de a espuma rígida de PU moída não ser porosa, ela é formada por filmes finos de poliuretano e é pouco densa.

E por fim, o concreto produzido apresentou massa específica seca  $1680 \text{ kg/m}^3$ , inferior a  $2000 \text{ kg/m}^3$ , podendo então ser caracterizado como concreto leve segundo a NBR 8953 (ABNT,2015). Comparado aos concretos tradicionais que, usualmente, apresentam valores de massa específica próximos a  $2400 \text{ kg/m}^3$ , o concreto leve com poliuretano apresentou redução de massa específica em mais de 30%. Percebe-se, portanto, a influência da massa específica do poliuretano no concreto.

## CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, foi analisado o uso de rejeito de poliuretano, como material constituinte de concretos leves, através dos parâmetros do concreto no estado fresco e endurecido. Os resultados obtidos apontam favoravelmente para a possibilidade da utilização deste rejeito como agregado na produção de concreto leve.

A limitação da classe de consistência em S50 se mostrou adequada e não foi observado segregação do agregado leve por excesso de água e o uso de aditivo multifuncional demonstrou a possibilidade no ajuste da fluidez sem necessariamente aumentar o consumo de água, ficando assim com uma trabalhabilidade mais adequada ao seu uso em campo.

A granulometria obtida do resíduo de PU bem como o processo de mistura por betoneira, proporcionaram uma distribuição uniforme do rejeito no concreto produzido, demonstrando assim a facilidade de dispersão na massa fresca.

O concreto leve produzido apresentou valores de massa específica no estado seco,  $1680 \text{ kg/m}^3$ , abaixo de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , podendo então por norma, ser classificado como concreto leve.

Com os dados e resultados obtidos no estudo experimental, foi possível construir as correlações entre resistência à compressão e relação água/cimento; relação água/cimento e total de agregados secos; e relação total de agregados secos e consumo de cimento; gerando assim um diagrama de dosagem, fornecendo dados técnicos para o entendimento do comportamento desses concretos de diferentes traços e mesmos abatimentos iniciais.

Portanto, se pode afirmar que a produção de concretos leves sem fins estruturais pode absorver rejeitos de poliuretano em forma de agregado, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, pois é uma alternativa às atuais práticas (aterros), e também é possível e tecnicamente viável dentro dos parâmetros apresentados.

## REFERÊNCIAS

AITCIN, P. – C. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo. Ed. PINI, 2000, p. 667.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2007 - Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:2005 - Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222:2011 - Argamassa e Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953:2015 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:2005 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.004:2004 - Resíduos sólidos - Classificação dos Resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)>.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:2009 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)>. Acesso em 10 de setembro de 2015.

BAUCHEMIE. **Muraplast FK320 - Aditivo plastificante multifuncional de pega normal**. Disponível em: <<http://www.mc-bauchemie.com.br/wp-content/uploads/2015/03/muraplast-fk-320-11-2015.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2016.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 2002.

ITAMBE. **Relatórios de Ensaio**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=371>>. Acesso em 02 de maio de 2016.

PINTO, A.P. *Utilização de rejeito de poliuretano na produção de concreto leve*. 2016. Canoas. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil, ULBRA.

REVJAKIN, O., ZINCANS, J.; KALNINS, M.; BLENDZKY, A.K. **Properties of Composition Based on Post-Consumer Rigid Polyurethane Foams and Low-Density Thermoplastic resins**, Polymer International, v. 49, p.917, 2000.

VILAR, Walter Dias. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3<sup>o</sup> edição. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.