

# Recycling of Red Ceramics Industry in Precast Concrete Production

Rosemberg Mendes Zogahib<sup>1</sup>; Luiz Eduardo Mateus dos Santos<sup>1</sup>; José Antônio da Silva Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS, AM

Email: bergzogahib@gmail.com; luiz.mateus@ifamedu.br

<sup>2</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Email: jass@ufpa.br

**Abstract**— During the manufacture of bricks in the ceramic industry, a waste volume with aggregate characteristics is generated. This study intends to verify the feasibility of the use of this material in the confection of the concrete used in the shoe of the vigota to manufacture precast slabs. To prove this feasibility, five concrete traces corresponding to five different percentages of residue addition were defined, molding test bodies and beams and analyzing their physical behavior. The results obtained in the tests demonstrated that the addition resulted in a decrease in concrete strength and increase in volume, which did not affect the structural performance of the beams, satisfying the characteristics required for their use in shoes in the production of precast concrete slabs.

**Keywords**— Recycling. Vigotas. Preformed.

## Reciclagem De Resíduo Da Indústria De Cerâmica Vermelha Na Produção De Concreto Pré-Moldado

**Abstrato**— Durante a fabricação de tijolos na indústria cerâmica, é gerado um volume de resíduo com características de agregados. Este estudo pretende verificar a viabilidade do uso desse material na confecção do concreto utilizado na sapata da vigota para fabricação de lajes pré-moldadas. Para comprovar, essa viabilidade, foram definidos cinco traços de concreto correspondentes a cinco diferentes porcentagens de adição de resíduo, moldando corpos de prova e vigotas e analisando seu comportamento físico. Os resultados obtidos nos ensaios demonstraram que a adição resultou na diminuição de resistência do concreto e aumento de volume, o que não afetou no desempenho estrutural das vigotas, satisfazendo as características solicitadas para a sua utilização em sapatas na produção de lajes pré-moldadas.

**Palavras Chave:** Reciclagem. Vigotas. Pré-moldados.

### I. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos tem como objetivo diminuir a quantidade dos resíduos gerados, e assim tendo um conjunto de ações exercidas, como coleta, transporte, transbordo, tratamento e a destinação ambientalmente adequada conforme o plano municipal de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

É esperado que o tratamento de resíduos sólidos possa movimentar a economia gerando empregos pela necessidade de beneficiamento, transporte e outros instituída por lei (ANDRADE, 2013). A reciclagem já vem sendo praticada em países de primeiro mundo, mas pouco difundida em países subdesenvolvidos.

Uma das maiores preocupações atualmente na execução de obras é com a quantidade de resíduos que serão gerados e o que será feito com os rejeitos, visto isso, a Lei de Política Nacional de Resíduos (BRASIL, 2010) prioriza nesta ordem a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Chen et al (2003), desenvolveram concretos com agregados reciclados de tijolos e concretos. A alta taxa de absorção de água dos agregados é um ponto a ser discutido. Por ser um agregado mais poroso, obviamente irá precisar de mais água para ter a mesma

trabalhabilidade que concretos com agregados convencionais. Baseados nessa teoria, muitos autores realizam misturas de concretos variando a quantidade de água para que o abatimento e a trabalhabilidade sejam satisfeitos. Dessa forma, a relação a/c é alterada e a classe de resistência desses concretos também acaba se alterando.

A ABNT NBR 9062:2017 estabelece parâmetros para a fabricação de componentes pré-fabricados em concreto. Ela preceitua, por exemplo, que a resistência mecânica do concreto nos elementos pré-fabricados não deve ser inferior a 18 MPa. Para os elementos que a norma define como pré-moldados, esta resistência não deve ser inferior a 15 MPa.

Os principais produtos padronizados são os pilares, as vigas e as lajes de piso. Eles são produzidos em fôrmas pré-estabelecidas, podendo o projetista escolher o comprimento, as dimensões e a capacidade de carga, dentro de alguns limites.

Existem lajes nervuradas que são formadas por elementos pré-moldados correspondentes às nervuras, as chamadas vigotas pré-moldadas. Estas são constituídas basicamente de:

- elementos lineares (vigotas) pré-moldados dispostos espaçadamente em uma direção;
- elementos de enchimento (lajotas cerâmicas, cimentícias, EPS) colocados sobre os elementos pré-moldados, e
- concreto moldado no local CML, na execução chamado de capa de concreto

Podem ser utilizadas vigotas com armação treliçada. Neste caso, é possível obter lajes armadas em duas direções. (EL DEBS, 2000).

As vigotas pré-moldadas têm sua resistência obtida da associação do concreto com armaduras. Em sua aplicação, o elemento linear pré-fabricado e a capa trabalham como uma só peça, formando a seção resistente da laje, que para efeito de cálculo é admitida como tendo a forma de um T. (LOPES, 2015). Nas armaduras treliçadas, as seções formam uma placa de concreto que envolve parcialmente a armadura treliçada de aço.

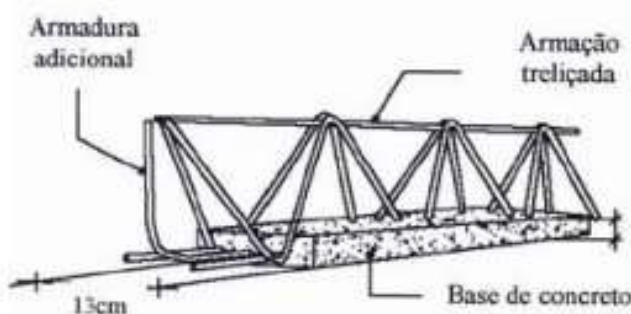


Fig.1: Representação de uma vigota treliçada em perfil

Fonte: Adaptada de SANTOS, 2016 apud PEREIRA (2002).

Na análise estrutural de vigas, o esforço de flexão é o que solicita a maior resistência. Ao se dimensionar vigas a flexão, a NBR 6118/2014 afirma que deve se considerar que o elemento esteja dentro das características aceitáveis de estado limite deformação e do estado limite último de resistência. Através das equações de equilíbrio e de compatibilidade é possível determinar o comportamento das deformações de acordo com as características do material.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Produção do concreto e corpos de prova

O concreto para este estudo foi confeccionado utilizando os insumos obtidos na região de Manaus: Cimento Portland Pozolânico CP IV-32, fabricado por MIZU - Cimentos Especiais, areia lavada, seixo e água limpa.

O material semelhante ao resíduo de indústrias de cerâmica vermelha foi obtido através da trituração de tijolos comuns de dimensões 9x19x19 cm. Definiu-se que seria utilizado somente o material que passa pela peneira #19mm e fica retido na peneira de #12,5 mm.

Antes da produção do concreto, foi executada uma série de ensaios tecnológicos em laboratório para a caracterização dos agregados e do resíduo de olaria.

Foi definido o traço de referência (sem adição) 1:2:3, em massa, com fator 0,55 de água-cimento. Traço conhecido no cotidiano de obras geridas ou executadas pela empresa que auxiliou nos estudos com *fck* esperado de 30 MPa aos 28 dias.

Os demais traços foram compostos a partir do traço de referência aumentando a porcentagem de adição do tijolo conforme a Tabela 1. O fator água-cimento foi corrigido para melhorar a consistência.

Tabela 1 – Porcentagem de adição de cada traço

Traço	Adição de Tijolo	a/c
Referência	0%	0,55
T1	10%	0,55
T2	15%	0,60
T3	20%	0,60
T4	25%	0,60
T5	30%	0,60

Fonte: Autor, 2018.

Após a retirada do concreto da betoneira, realizaram-se os ensaios de abatimento do Tronco Cone (*slump test*), conforme as recomendações da NBR NM 67. Verificou-se um abatimento entre 80 mm e 120 mm.

Após a verificação da fluidez do concreto, moldaram-se seis corpos de prova cilíndricos, com as dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura. Também foram moldados 2 corpos de prova prismático, com dimensões de 15cm x 15cm x 50cm para ensaios de tração e a enchida com concreto a camada inferior de 3cm (sapata) de 2 vigotas com 2,10m de comprimento. Esse conjunto de corpos de prova foi confeccionado para cada um dos traços necessários para a pesquisa.



Fig.2: Corpos de prova  
Fonte: Autor, 2018.

Para a ferragem da vigota, foi utilizado a armação treliçada, composta de 1 fio de Ø6,3mm (fio do banço superior), 2 fios de Ø4,2mm (fios da sinusóide) e 2 fios de Ø4,2mm (fios do banço inferior): Modelo TG8L da Gerda.

Para a concretagem da parte superior das vigotas (capa), esperou-se 28 dias, e concretou-se todas as amostras de vigota com o mesmo concreto (Figura 4), sem a adição de resíduos de tijolos, fazendo com que todas as amostras tivessem rigorosamente a mesma resistência na parte superior onde o esforço da vigota é predominantemente a compressão.



Fig.3: Enchimento das capas das vigotas pré-moldadas  
Fonte: Autor, 2018.

## 2.2 Dimensionamento das vigotas

No caso particular deste trabalho, a estrutura foi considerada no estágio II de cálculo onde despreza-se a resistência de tração do concreto na zona da secção

transversal onde a peça é tracionada, seguindo a NBR 6118.

Para a análise de resultados, levou-se em conta que os carregamentos que as amostras suportaram representam uma carga aplicada P central medida pela célula de carga da máquina. Também foi considerada a carga distribuída referente ao peso próprio da vigota. Neste caso, o momento fletor é máximo onde ocorre a deformação máxima (flecha) para tal carregamento.

No estudo foi analisado somente a adição tijolo na parte inferior da vigota, ou seja, na zona abaixo da linha neutra. Teoricamente o concreto poderia ter uma resistência insignificante, mas vale ressaltar que o mesmo tem que ter aderência o suficiente para transmitir os esforços resistentes pelo aço, para a estrutura trabalhar como um todo.

Na treliça utilizada teremos duas barras de Ø4,2mm na região comprimida do concreto e uma barra de Ø6,3 mm a uma distância de 8cm acima. Pela quantidade baixa de aço na parte inferior da vigota, verificou-se que a linha neutra estava acima da barra de aço superior. Neste caso foram consideradas as seguintes equações para o cálculo da posição da linha neutra (1) Momento de Inércia I (2) e do Momento Resistente da vigota (3) para determinação da flecha resultante de cálculo.

$$\frac{b}{2}x_2^2 + (\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})x_2 - (\alpha_e - 1)(A_{s1}d + A_{s2}d') = 0 \quad (1)$$

$$I_{II} = \frac{b \cdot x_2^3}{3} + (\alpha_e - 1)A_{s1}(d - x_2)^2 + (\alpha_e - 1)A_{s2}(d' - x_2)^2 \quad (2)$$

$$\mu_{m\acute{a}x} = A_{s1} * f_{yd} * (d - 0,4x_2) + A_{s2} * f_{yd} * (d' - 0,4x_2) \quad (3)$$

Onde:

$\mu_{m\acute{a}x}$  – Momento máximo resistente de projeto

$A_{s1}$  – Área de aço do banço inferior da vigota

$A_{s2}$  – Área de aço do banço superior da vigota

$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$  – Resistência à tração minorada do aço

$d'$  – Distância da borda mais comprimida até o eixo da ferragem superior

$d$  – Distância da borda mais comprimida até o eixo da ferragem inferior

$b$  – Base da peça

$I_{II}$  – Momento de Inércia no estágio II

$x_2$  – Posição da linha neutra no estágio II

$\alpha_e$  – Coeficiente de norma

No dimensionamento de vigas bi apoiadas, o cálculo da flecha máxima em função de uma carga distribuída e uma carga concentrada no centro do vão, será realizado através da Equação (4).

$$W = \frac{1}{EI} \left( \frac{5qL^4}{384} + \frac{Pl^3}{48} \right) \quad (4)$$

Onde:

$W$  – Deformação máxima no centro da vigota (Flecha)

$E$  – Módulo de Elasticidade do Material

$I$  – Momento de Inércia da seção

$q$  – carga distribuída devido ao peso próprio da vigota

$l$  – vão livre entre os dois apoios da vigota

O Momento de Inércia utilizado para o cálculo da flecha foi o obtido pela equação (2). O módulo de elasticidade a ser utilizado nas análises elásticas de projeto segundo a NBR 6118 deve ser o módulo de elasticidade secante  $E_{CS}$ , especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, ou seja, na determinação da flecha máxima. O módulo foi estimado através da Equação (5) da Norma.

$$E_c = E_{CS} = 0,85 * 5600 * f_{ck}^{1/2} \quad (5)$$

Para determinação das propriedades físicas foi utilizado neste trabalho a Máquina Universal Mecânica controlada por software próprio com capacidade de 60KN da Marca Contenco Pavitest do Laboratório de Resistência do Instituto Federal do Amazonas – Campus Manaus Centro. A máquina utilizou células de cargas para a determinação da carga aplicada e extensômetros digitais para a obtenção da deformação.

Nesta máquina foram realizados os ensaios de Resistência à compressão, Resistência à tração na flexão (Figura 4), Módulo de elasticidade do concreto (Figura 5) e determinação das flechas nas vigotas (Figura 6).



Fig.4: Máquina Universal de Ensaios/Ensaio de Resistência à tração na flexão.

Fonte: Autor, 2018.



Fig.5: Corpo de prova com compressômetro utilizado para determinação do módulo de elasticidade.

Fonte: Autor, 2018.



Fig.6: Ensaio de determinação das flechas nas vigotas.

Fonte: Autor, 2018.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Ensaio Com Agregados

A Tabela 2 ilustra os resultados do ensaio de composição granulométrica da areia. O módulo de finura foi determinado pelo cálculo preconizado pela norma ABNT NBR 7217/1987 tendo como resultado o fator 2,18 podendo assim ser classificado como areia fina. Na Figura 4.1 é apresentada a curva granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 2 – Composição Granulométrica dos agregados miúdos.

Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida Individual	% retida Acumulada	% passante Acumulada
9,5	0	0,00	0,00	100,00
6,3	2,1	0,22	0,22	99,78
4,76	3	0,31	0,53	99,47
2,38	10,7	1,11	1,64	98,36
1,19	7,3	0,76	2,40	97,60
0,6	242,9	25,25	27,66	72,34
0,3	565,8	58,83	86,48	13,52
0,149	125,6	13,06	99,54	0,46
FUND	4,4	0,46	100,00	0,00

OS				
TOTA	961,8	100,00	-	-
L				

Fonte: Autor, 2018.

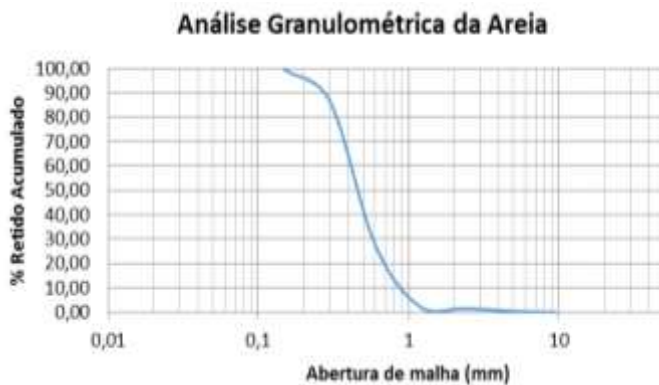


Fig.4: Gráfico da granulometria do agregado miúdo.

Fonte: Autor, 2018.

Realizando-se o ensaio conforme a norma ABNT NBR 7251/1982, a massa unitária da areia foi de 949,551 kg/dm³.

Abaixo, verificam-se os resultados dos ensaios com amostras de tijolos depois de quebrados e selecionado o material retido na peneira de abertura Ø12,5mm.

Tabela 3 – Massa Unitária do agregado proveniente do tijolo.

Massa Unitária em Estado Solto Seco - NBR 7251	
Determinação	#12,5 mm
Volume do Recipiente (dm³)	4,908,75
Massa do Recipiente (g)	1036
Massa do Recipiente+agregado (g)	6294
Massa do Agregado (g)	5258
Massa Unitária solta do Agregado (kg/m³)	1071

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 4 – Absorção do agregado proveniente do tijolo.

Malha	Massa material seco (g)	Massa material saturado (g)	Absorção (%)
#12,5	1000	1168	16,8

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 5 – Massa específica do agregado proveniente do tijolo.

Malha	Massa material seco (g)	Leitura inicial (ml)	Leitura final (ml)	Massa específica (g/ml)
#12,5	1000	1000	1380	2,63

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 6 – Composição Granulométrica dos agregados graúdos

Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida individual	% retida acumulada	% passante acumulada
50	0	0,00	0,00	100,00
25	0	0,00	0,00	100,00
19	324,3	3,24	3,24	96,76
12,5	4017,3	40,19	43,44	56,56
9,5	2716,8	27,18	70,62	29,38
6,3	2265,8	22,67	93,29	6,71
4,8	419,2	4,19	97,48	2,52
2,4	231,1	2,31	99,80	0,20
FUNDO S	20,4	0,20	100,00	0,00
TOTAL	9994,9	100,00	-	-

Fonte: Autor, 2018.



Fig.5: Gráfico da granulometria do agregado graúdo.

Fonte: Autor, 2018.

### 3.2 – Ensaios de Resistência à Compressão

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de compressão nos traços

Corpo de Prova	Fck 7 dias (MPa)	Fck 28 dias (MPa)
TR	CP1	21,31
	CP2	22,87
T1	CP1	22,72
	CP2	21,09
T2	CP1	19,4
	CP2	21,35
T3	CP1	17,73

T4	CP2	16,05	28,33
	CP1	15,58	25,26
T5	CP2	12,89	25,05
	CP1	15,45	22,49
	CP2	14,14	24,99

Fonte: Autor, 2018.

Como esperado, quanto maior a porcentagem de adição do tijolo no traço, menor foi a resistência à compressão final obtida pelo concreto. Este resultado é mostrado graficamente na Figura 7. Mesmo com a diminuição da resistência temos em contrapartida com a adição do resíduo de tijolo, o aumento de volume do concreto para produção da base das vigotas. Este aumento de volume é mostrado na Tabela 8 em relação ao volume produzido no traço de referência. Os volumes foram determinados através de cálculos de composição e verificados após a produção dos corpos de prova de concreto.

Comparativo da resistência à compressão dos Traços

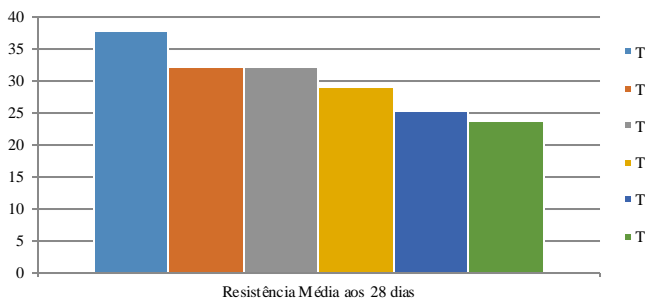


Fig.7: Gráfico comparativo das resistências de cada traço

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 8 – Ganho de Volume com a adição de tijolo.

Traço	Adição de Tijolo	a/c	Slump (cm)	Volume traço /Volume de Referência	Ganho de Volume (%)
TR	0%	0,55	-	1,00	0
T1	10%	0,55	14,5	1,12	12
T2	15%	0,60	18	1,14	14
T3	20%	0,60	18	1,16	16
T4	25%	0,60	13,5	1,18	18
T5	30%	0,60	3,5	1,21	21

Fonte: Autor, 2018.

Quanto ao concreto utilizado para a confecção da capa da vigota, nos resultados do ensaio de resistência à

compressão de 6 corpos de prova foi obtida uma resistência média de 22,29 MPa. Este resultado foi utilizado para a determinação do Módulo de Elasticidade através da equação (5) estabelecida pela NBR 6118.

3.3 – Resistência à tração na flexão – CP prismático

Tabela 9 – Resultados da resistência à tração na Flexão.

Traço	Resistência (Mpa)	Resistência Média (Mpa)
T CP1	3,94	3,85
R CP2	3,76	
T CP1	3,76	3,785
1 CP2	3,81	
T CP1	3,6	3,705
2 CP2	3,81	
T CP1	3,52	3,655
3 CP2	3,79	
T CP1	4	3,66
4 CP2	3,32	
T CP1	3,85	3,67
5 CP2	3,49	

Fonte: Autor, 2018.

Observa-se que é pequena a variação da resistência à tração na flexão conforme o aumento da porcentagem de adição de tijolo. Desta forma, é reduzida também a sua influência na formação de fissuras durante o ensaio de flexão.

3.4 - Determinação do módulo estático de elasticidade

Para efeito de comparação com os valores obtidos pela norma, o módulo de elasticidade de cada traço de concreto produzido foi determinado através de ensaio conforme a norma ABNT NBR 8522:200. Os resultados foram reunidos na Tabela 10 e os diagramas obtidos durante o ensaio são apresentados na Figura 8.

Tabela 10 – Determinação do módulo de elasticidade dos concretos

Traço	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Média (GPa)
T CP1	31,78	32,7	33,3
R CP2	33,94	33,9	
T CP1	31,82	38,4	40,35
1 CP2	32,68	42,3	
T CP1	28,23	35	35,1

2	CP2	27,89	35,2	
T	CP1	28,91	31,6	30,95
3	CP2	29,99	30,3	
T	CP1	22,84	27,7	27,45
4	CP2	22,31	27,2	
T	CP1	23,05	30	27,95
5	CP2	25,09	25,9	

Fonte: Autor, 2018.

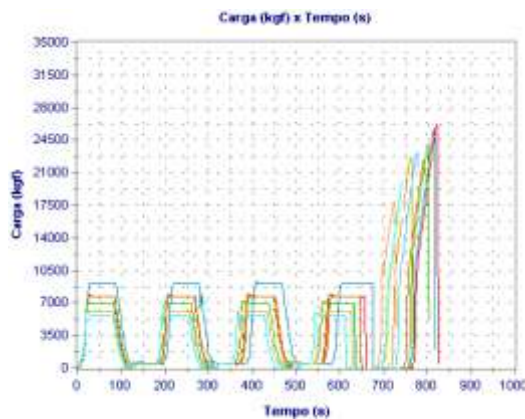


Fig.8: Gráficos obtidos do ensaio de Elasticidade.

Fonte: Autor, 2018.

### 3.5 – Cálculo e Determinação da Flecha

Tabela 11 – Resultados do Ensaio de Flexão nas Vigotas.

Controle de Carga (Kgf)	Flecha calculada Eq.(4) (mm)	Flecha Medida (mm)					
		TR	T1	T2	T3	T4	T5
6	1,93	0,91	1,56	1,11	1,13	0,72	0,82
12	2,13	1,71	2,52	2,41	2,05	1,24	1,73
25	2,58	2,05	3,02	3,35	2,45	1,60	2,29
51	3,42	2,55	2,72	4,33	3,45	1,95	2,94
75	4,21	2,98	3,00	4,87	3,83	2,25	3,47
99	5,03	3,42	3,28	5,17	4,17	2,55	3,70
125	5,87	3,89	3,56	5,45	4,43	2,82	3,98
150	6,70	4,37	3,86	5,69	4,71	3,11	4,33
175	7,52	4,84	4,17	5,97	4,99	3,38	4,66
198	8,27	5,30	4,51	6,21	5,31	3,67	4,98
224	9,16	5,89	4,89	6,47	5,75	3,97	5,30
249	9,98	6,50	5,33	6,77	6,11	4,44	5,63
275	10,84	7,05	5,78	7,09	6,57	5,24	6,24
300	11,65	7,52	6,39	8,01	7,19	5,78	7,20
324	12,47	8,26	7,05	8,71	7,79	6,82	7,98
350	13,32	8,98	7,72	10,13	8,89	7,49	9,02
376	14,16	9,91	8,73	10,93	9,63	8,49	9,71
400	14,95	10,69	9,39	12,01	10,33	9,30	10,64

Fonte: Autor, 2018.

Considerando o Estado Limite de serviço, a viga não poderia exceder uma flecha de  $L/250$ . O vão de ensaio foi de 2,0m, logo, o valor máximo da flecha é de 8 mm. Utilizou-se a Eq. (2) para o cálculo do momento de inércia equivalente e, para a determinação da flecha em função da carga aplicada, utilizou-se a Eq. (4) adaptada em função da carga central P aplicada. O cálculo da flecha em função de P é mostrado na equação (6).

$$W = 0,1745 + 0,0033P \tag{6}$$

Para a deformação máxima de 8mm, a carga máxima aceitável de cálculo é obtida na equação (7)

$$W \leq 8\text{mm} \therefore 0,1745 + 0,0033P \leq 0,8\text{cm} \rightarrow P = 189,2 \text{ kgf} \tag{7}$$

A partir da Eq. 6 é possível construir uma reta da flecha esperada em função da carga P aplicada. Foram calculadas as flechas em função das cargas de ensaio. Os resultados foram apresentados na Tabela 11 e na Figura 9 juntamente com os valores reais obtidos durante o ensaio de flexão das vigotas.

Os valores de flecha medidos durante o ensaio de flexão (em destaque) para a faixa de carga calculada na equação (7) estão abaixo do valor previsto calculado pela norma de utilização, podendo ser utilizadas nesta faixa de carga calculada dentro da aceitabilidade sensorial.

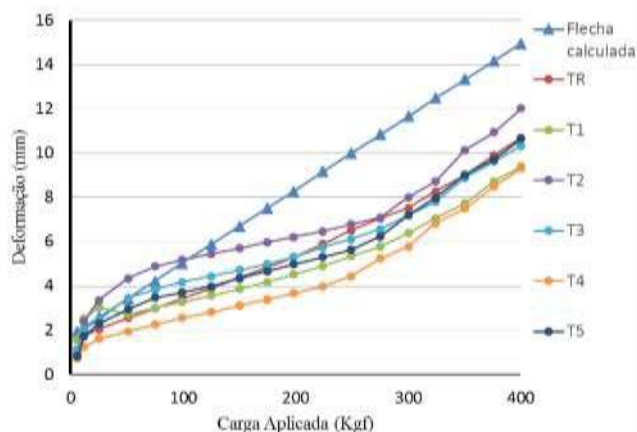


Fig.9: Gráficos obtidos do ensaio de Elasticidade.

Fonte: Autor, 2018.

#### IV. CONCLUSÃO

O estudo de dosagem dos concretos com a adição de resíduo de tijolo foi feito utilizando o método proposto na produção de concreto para sapatas de vigotas. Os métodos aplicados obtiveram resultados satisfatórios que chegaram a apresentar resistências à compressão mínima requerida de 22 MPa 28 dias de idade.

Constatamos que ao adicionarmos o resíduo de tijolos com os percentuais determinados nas proporções de 10, 15, 20, 25 e 30 por cento, houve uma ligeira diminuição da resistência com um ganho de volume, o que viabiliza o trabalho de produção de vigotas pré-fabricadas e servindo de opções para outros trabalhos.

Observou-se que com a adição do resíduo do tijolo os ensaios de resistência das vigotas não apresentaram grande diferença em seus resultados o que também ocorreu nos ensaios de tração e elasticidade do concreto, onde todos os valores de trabalho superaram as expectativas solicitadas.

A Norma estabelecia uma flecha máxima igual ou inferior a 8 mm de acordo com o vão definido. As flechas obtidas na execução dos ensaios de carga feito nas vigotas para o carregamento calculado apresentaram valores muito inferiores ao da Norma.

Para o valor de cálculo de 189 kgf não foram aplicados coeficientes de segurança, e a média dos valores da flecha não atingiram o máximo, chegando somente a 5,0mm. Salientamos que as lajes produzidas com as vigotas com adição de resíduo de tijolos, foram calculadas para o estágio II de deformação, onde o material utilizado independe da resistência da mesma, já que, para efeito de cálculo é desprezada a resistência do material que cobre o aço na zona de tração constatando-se que o resultado dos ensaios são positivos.

Verificamos que as vigotas suportam cargas superiores as encontradas no dimensionamento,

apresentando ao mesmo tempo deformações inferiores às de cálculo. Concluímos então que, mesmo considerando as condições menos favoráveis, as vigotas apresentam um melhor comportamento real.

Em termo de custo verificou-se que até mesmo na condição da adição de 10% de resíduo de tijolo, haverá um aumento de 12% do volume do concreto, o que acarretará em uma economia de 12% no custo final do concreto, o que viabiliza economicamente seu uso na produção de vigotas.

Neste trabalho comprovamos que a utilização do resíduo do tijolo é viável para que seja usado na fabricação de vigotas pré-fabricadas.

Conclui-se que a utilização do resíduo do tijolo deverá ser de grande utilidade para a construção civil. Existe uma grande quantidade de material rejeitado devido a defeitos na produção e também quantidade de quebras indevidas no transporte. Comprovadamente este pode ser utilizado em vigotas de laje pré-fabricadas onde não compromete o funcionamento da estrutura dentro dos Estado Limites Ultimo e de Serviço.

#### REFERENCIAS

- [1] ANDRADE, W. **Reciclagem Dos Resíduos Sólidos Da Construção Civil**. Ponta Grossa: Colégio Estadual Polivalente, 2013. 30 f.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2016. 9p.
- [3] \_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9p.
- [4] \_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238p.
- [5] \_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 15p.
- [6] \_\_\_\_\_. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8p.
- [7] \_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- [8] \_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008. 16p.
- [9] \_\_\_\_\_. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017. 86p.
- [10] \_\_\_\_\_. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da Massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2016. 8p.



- [11] \_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6p.
- [12] \_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.
- [13] \_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.
- [14] \_\_\_\_\_. **NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1 - Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 8p.
- [15] \_\_\_\_\_. **NBR NM 27**: Redução de amostras de campo para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 2001. 7p.
- [16] BRASIL. **LEI Nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.
- [17] CHEN, H. J.; YEN, T.; CHEN, K. H. Use of buildings rubbles as recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 125-132, 2003.
- [18] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 081:98**: Agregados – determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro: 1998. 6p.
- [19] EL DEBS, M. K. Concreto Pré-moldado: Fundamentos e aplicações. São Carlos: USP, 2000.
- [20] PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: USP, 2007. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost\\_EESC\\_USP\\_Libanio.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- [21] SANTOS, L. E. M.; BATISTA, C. S.; MOYA, J. L. R. et al. **Caracterização de materiais para execução de lajes pré-moldadas produzidas com adição de borracha de pneu**. Revista Sodebras, 2016. v. 11, n. 121, p. 115-120. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N121.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.