

## MÓDULO DE ELASTICIDADE DE ARGAMASSAS INCORPORADAS COM POLITEREFTALATO DE ETILENO

Thamires Dantas Guerra<sup>a</sup> (1); Matheus Oliveira Lira<sup>b</sup>(1); Tássila Ramos Porto<sup>c</sup> (2); Maria Alinne Pires Matias<sup>d</sup>(3); Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça<sup>e</sup>(4)

<sup>a</sup>Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, [thamires\\_guerra@hotmail.com](mailto:thamires_guerra@hotmail.com)

<sup>b</sup>Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, [matheuslira13@hotmail.com](mailto:matheuslira13@hotmail.com)

<sup>c</sup>Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, [tassilaporto@gmail.com](mailto:tassilaporto@gmail.com)

<sup>d</sup>Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, [mariaalinnematias@hotmail.com](mailto:mariaalinnematias@hotmail.com)

<sup>e</sup>Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, [ana.duartermendonca@gmail.com](mailto:ana.duartermendonca@gmail.com)

**Resumo:** Nos últimos anos, a construção civil, tem sido alvo da incorporação dos mais diversos tipos de materiais, em virtude de alguns possuírem composição similar às matérias-primas naturais. A busca por materiais alternativos para a construção civil com finalidade de reduzir custos é imperiosa, diante do crescimento populacional existente, limitação de recursos econômicos e escassez de recursos naturais pelas altas demandas de consumo. O estudo de novas tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos industriais poderá propiciar o desenvolvimento de novos produtos com consequente diminuição do descarte de resíduos e maximização da cadeia produtiva da indústria. Devido à larga utilização e ao volume de garrafas PET pós-consumo descartadas indiscriminadamente no meio ambiente, é necessário o desenvolvimento de tecnologias de reaproveitamento deste resíduo. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar o módulo de elasticidade de argamassas incorporadas com PET triturado. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 x 10 (cm), com substituição do cimento por teores de 5% e 10%. Observou-se que a incorporação do PET em substituição ao cimento proporcionou a redução do módulo de elasticidade das argamassas em estudo.

**Palavras-chave:** Propriedades, resíduo, argamassa.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, ocorreu uma grande utilização de embalagens “descartáveis”, em forma de garrafas, produzidas com resina de politereftalato de etileno (PET), substituindo as garrafas de vidro denominadas “retornáveis”, que eram reutilizadas durante sua vida útil para o envase de um mesmo tipo de produto. Essa substituição se deu pela praticidade do uso das garrafas PET, gerando uma grande geração de resíduos pós-consumos. Todos os resíduos

(83) 3322.3222

[contato@conapesc.com.br](mailto:contato@conapesc.com.br)

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

gerados devem ter uma destinação adequada como a reciclagem ou a deposição em aterros sanitários. Entre as alternativas possíveis para a destinação final de resíduos podem-se destacar a deposição dos resíduos em aterros, reciclagem ou até mesmo sua incorporação em outros materiais que, além de reduzir a necessidade de criação de novos aterros, possibilita a redução da utilização de novos recursos naturais não renováveis (MODRO,2009).

Segundo Correia (2015) a construção civil é responsável por um alto consumo de recursos naturais (15% a 50%) para a fabricação de concreto. No Brasil a produção de concreto e argamassas consomem cerca de 220 milhões de toneladas de agregados (BETAT, 2009).

Diante disso, diversas pesquisas vêm abrangendo a inclusão de resíduos industriais no concreto a fim do melhoramento das suas propriedades além da preservação ambiental devido a redução do descarte de resíduos e maximização da cadeia produtiva da indústria (MENDONÇA, et al, 2017).

Neste caso, esta pesquisa visa à incorporação do Politereftalato de etileno (PET) nos teores de 5% e 10% no concreto além de avaliar a sua influência no módulo de elasticidade.

## **2. MATERIAIS E METODOLOGIA**

### *2.1 Materiais*

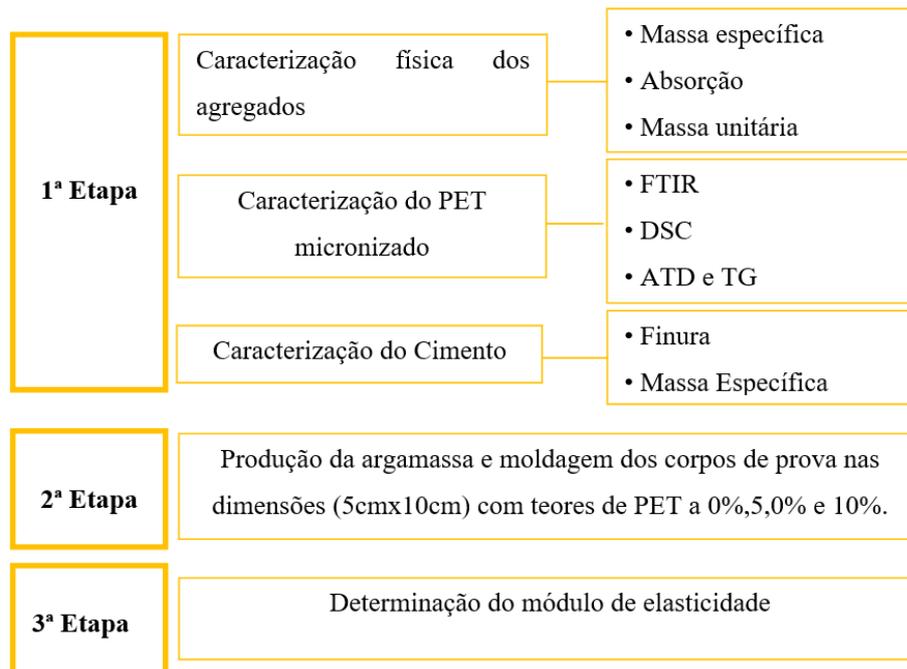
Os materiais utilizados neste estudo se dividem em três grupos: agregado miúdo, cimento e o Politereftalato de etileno – PET.

- Agregado miúdo: areia quartzosa, retirada do leito do Rio Paraíba;
- Cimento: cimento Portland CII F 32;
- Politereftalato de Etileno: PET utilizado é do tipo micronizado, adquirido na indústria de PET Reciclagem localizada no município de Campina Grande – PB.

### *2.2 Metodologia*

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

**Figura 1:** Fluxograma das etapas da pesquisa



## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS E DO CIMENTO

### *Análise granulométrica*

A granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado, sendo representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

### *Determinação da massa específica*

A determinação da massa específica da areia é realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma DNER-ME 194/1998.

### *Determinação da massa unitária*

O ensaio deverá seguir o procedimento descrito na DNER-ME 266/1997, e determina o teor de materiais pulverulentos dos agregados graúdos destinados ao preparo de concreto.

### *Determinação do teor de materiais pulverulentos*

Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados graúdos destinados ao preparo de concreto. O ensaio deverá seguir o procedimento descrito na DNER-ME 266/1997.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO RESÍDUO DO PET

### *Difração de raios-X DRX*

O ensaio do DRX foi realizado no equipamento Shimadzu XDR-6000, utilizando radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão de 40kV, corrente de 30mA, varredura de  $2^\circ < 2\theta < 30^\circ$  e  $\lambda 1,54$ , possibilitando a determinação da estrutura de sólidos cristalinos, e do arranjo dos átomos em retículos cristalinos.

### *Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)*

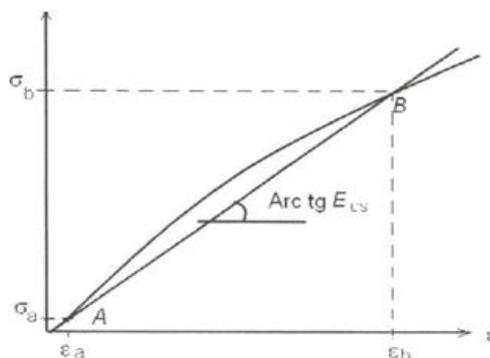
As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) do resíduo de granito foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a  $12,5^\circ\text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de  $300^\circ\text{C}$  e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado.

## DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA INCORPORADA COM PET.

### *Determinação do Módulo de Elasticidade*

Para a realização do ensaio do módulo de elasticidade em argamassas com substituição parcial do agregado miúdo foi necessária uma adaptação da norma ABNT NBR 8522/2008 que prescreve que o módulo de elasticidade ou módulo de deformação é a propriedade do concreto cujo valor numérico é o coeficiente angular da reta secante ao diagrama tensão-deformação específica (Figura 2).

**Figura 2:** Representação Esquemática do Módulo, de Deformação Secante ( $E_{cs}$ )



O conhecimento do módulo de elasticidade concreto nos possibilita o atendimento às exigências do projeto estrutural, tendo em vista a possibilidade de inferir o módulo de deformação em tensões usuais de projeto por meio de aproximações previstas nas normas técnicas.

Em casos especiais pode ser necessário a determinação do módulo de especificada ou até mesmo o conhecimento da deformação do concreto, quando deformação a uma tensão submetido a um carregamento crescente. Assim, o anexo da Norma em questão estabelece a metodologia recomendável quando se deseja determinar o módulo de deformação do concreto a uma tensão especificada bem dá as diretrizes consideradas adequadas ao traçado do diagrama tensão-deformação do concreto.

Sendo assim, três corpos de prova foram moldados para cada teor de PET, para cada idade e o valor do seu módulo de elasticidade foi a média entre os três corpos de prova de cada teor de incorporação e idade das argamassas.

Os corpos de prova foram rompidos por compressão simples. Através dos diagramas tensão-deformação gerados, foram determinados os valores de módulo de elasticidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstrados na **Tabela 1** correspondem as características do agregado miúdo utilizado.

**Tabela 1:** Características do Agregado Miúdo.

<b>Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)</b>				
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Material retido (g)</b>	<b>Porcentagem em massa (%)</b>		
		<b>Retida</b>	<b>Acumulada</b>	
2,4	28,95	2,9	2,9	
1,2	79,09	7,91	10,81	
0,6	326,32	32,65	43,46	
0,3	420,85	42,11	85,56	
0,15	140,28	14,04	99,6	
Fundo	4	0,4	100	
Soma	999,49	100	-	
Módulo de finura (ABNT NBR 7211/2009)		2,42		
Diâmetro máximo		2,36 mm		
Massa específica (ABNT NBR NM 52/2009)		2,618 g/cm <sup>3</sup>		
Massa unitária no estado solto (ABNT NBR NM 45/2006)		1,429 g/cm <sup>3</sup>		
Teor de Materiais Pulverulentos (ABNT NBR NM 46/2003)		0,07%		

Os resultados obtidos para o módulo de finura e para o diâmetro máximo e foram de 2,42 e 2,36 mm, respectivamente. De acordo com o módulo de finura a areia utilizada é

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

classificada como areia média pertencente à zona ótima. Acerca do diâmetro máximo a areia é considerada bem graduada, favorecendo sua utilização em concreto, por promover uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos. O valor encontrado para o teor de materiais pulverulentos da areia foi 0,07% indicando que cerca de 90,93% da amostra do agregado miúdo é formado por grãos de areia. De acordo com Mendonça (2017) a presença de materiais pulverulentos é indesejável no concreto, já que um alto teor reduz a aderência do agregado à argamassa dificultando a reação de hidratação do cimento com os agregados, prejudicando diretamente a resistência do concreto, pois aceleram-se os processos de perdas por erosão.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, para massa unitária, verifica-se que o valor encontrado foi de 1,429g/cm<sup>3</sup>, similar ao valor encontrado por SOUZA (2008). Este parâmetro é muito importante para o estudo de dosagem do concreto, referindo-se à densidade do agregado com os vazios existentes. Para determinação da massa unitária, foi realizado o procedimento estabelecido pela norma da ABNT NBR NM 45 (ABNT, 2006), adotando todos os cuidados para evitar a segregação das partículas que constituem a amostra. A **Tabela 2** apresenta os resultados para a massa específica e o índice de finura do cimento.

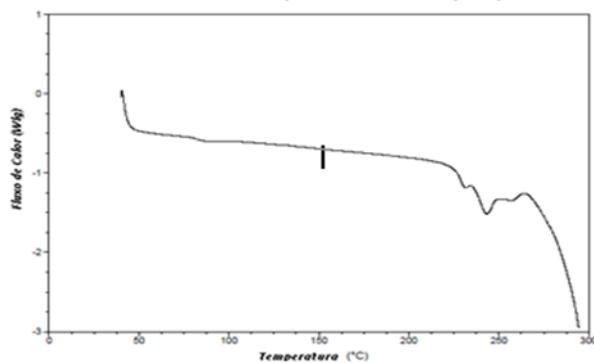
**Tabela 2:** Caracterização física do cimento.

Ensaio	Valor obtido
Massa específica (DNER – ME 085/1994)	2,91 g/cm <sup>3</sup>
Finura (ABNT NBR 11579:2013)	2,84%

Analisando-se os resultados da Tabela 2, verifica-se que a massa específica do cimento CP II F 32 é de 2,91 g/cm<sup>3</sup>. O módulo de finura obtido foi igual a 2,84%. Este valor satisfaz ao limite máximo estabelecido pela norma da ABNT NBR 11579 (ABNT, 2013) que é igual a 12%.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra as curvas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para o Politereftalato de etileno micronizado.

**Figura 3:** Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para o Politereftalato de etileno micronizado



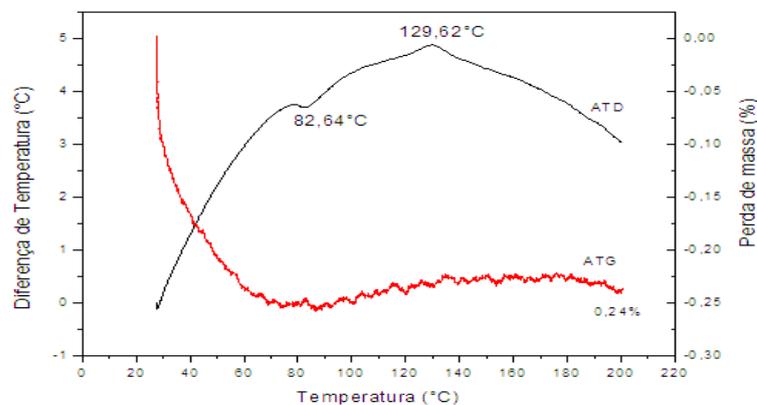
FONTE: Almeida, 2015.

De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada. Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se a ocorrência de picos endotérmicos a partir da temperatura de 200°C, indicando a ocorrência de modificações físicas e químicas na composição do Politereftalato de etileno.

A

Figura 4 ilustra as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica do Politereftalato de Etileno micronizado.

**Figura 4:** Análise termodiferencial e termogravimétrica do PET micronizado.



FONTE: Almeida, 2015.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a aproximadamente 82,64°C na ocorrência de um pico endotérmico, indicando a mudança de estado físico do material (sólido para líquido) havendo uma pequena perda de massa. A temperatura de 129,62°C observa-se a ocorrência de um pico exotérmico indicando uma nova mudança de estado físico (líquido para vapor).

De acordo com a curva termogravimétrica, pode-se verificar que houve uma perda de massa total de 0,24%.

(83) 3322.3222

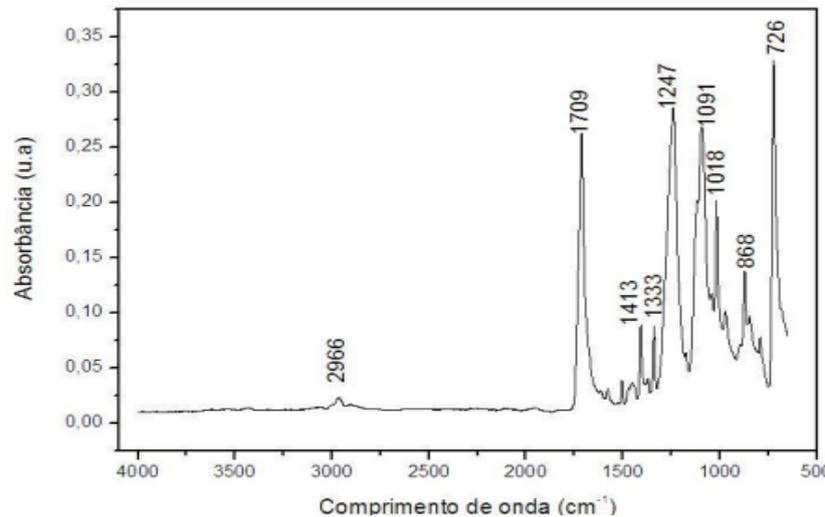
contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

A

Figura 5 ilustra a espectroscopia de infravermelho do Politereftalato de etileno.

**Figura 5:** Espectroscopia de infravermelho do Politereftalato de etileno.



O espectro de infravermelho do Politereftalato de etileno (

**Figura 5**) indica a existência de várias estruturas funcionais típicas existentes na cadeia do Politereftalato de etileno, destacando-se as seguintes bandas características: em aproximadamente 3000cm<sup>-1</sup>, identificada pela vibração de deformação axial do grupo (=C–H), presentes em compostos aromáticos (benzeno); em 1709cm<sup>-1</sup> estiramento C=O de ácido carboxílico, indicativo da banda; em 1247cm<sup>-1</sup> estiramento C(O)–O de grupos éster; em 1091 e em 1018cm<sup>-1</sup> indicativo de estiramento da ligação C–O e aproximadamente 726cm<sup>-1</sup>, deformação angular dos carbonos dis-substituídos no anel aromático.

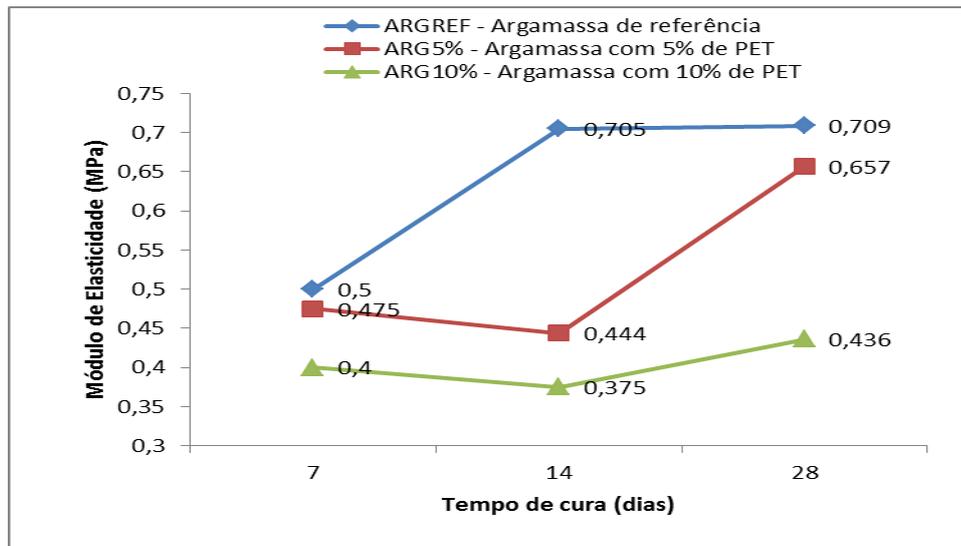
A **Figura 6** ilustra os valores de módulo de elasticidade das argamassas de referência e da argamassa com substituição do cimento por teores de 5% e 10% de PET para as idades de cura de 7, 14 e 28 dias.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

**Figura 6:** Módulo de elasticidade dos corpos de prova da argamassa em estudo.



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do cimento por PET triturado proporcionou a redução do módulo de elasticidade da argamassa para todos os teores de incorporação. Este fato deve-se provavelmente a resistência intrínseca do agregado miúdo convencional ser superior ao apresentado pelo PET, ocasionando redução da resistência quando da substituição do mesmo e consequentemente do módulo de elasticidade.

Os resultados evidenciaram que o aumento do teor de PET promove uma maior redução do módulo de elasticidade das argamassas.

Em estudos realizados por SILVA (2006), verificou-se que o módulo de elasticidade é maior para as argamassas com areia britada possivelmente devido ao maior teor de material pulverulento, com isso, apresenta um grau de empacotamento maior e, consequentemente, maior densidade de massa, verificando-se ainda que o consumo de água nas argamassas com areia britada foi menor e isso também pode ter favorecido para aumentar o módulo de elasticidade nas argamassas produzidas com este agregado, já que as resistências mecânicas são inversamente proporcionais à relação água/cimento.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados observados, pôde-se concluir que:

A adição do PET na composição de argamassas em substituição ao cimento, proporcionou a redução do módulo de elasticidade para os teores em estudo, obtendo-se os

menores resultados para o teor de substituição de 10%, em todas as idades de cura pré-estabelecidas, o que indica que o aumento do teor de PET intensifica a redução do módulo de elasticidade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) Solo: análise granulométrica. NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. NM 8. Rio de Janeiro. 1984.

\_\_\_\_\_. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.\_ NBR 5738. Rio de Janeiro. 2003.

\_\_\_\_\_. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.\_ NBR 5739. Rio de Janeiro. 2007.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). \_ Agregado em estado solto – determinação da massa unitária. ME 152. Rio de Janeiro. 1995.

\_\_\_\_\_. Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.\_ ME 194. Rio de Janeiro. 1998

\_\_\_\_\_. Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos. ME 266. Rio de Janeiro. 1997.

\_\_\_\_\_. Agregados – determinação da massa específica real. ME 085. Rio de Janeiro, 1994.

BETAT, E. F. Concretos produzidos com resíduos do beneficiamento de ágata: avaliação da resistência à compressão. *Revista matéria*, v. 14, n. 3, p. 1047-1060, 2009.

CORREA, Priscila Marques. *Estudo comparativo da influência da adição de pet e pp pós-consumo na produção do concreto estrutural*. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MENDONÇA, Ana Maria G. Duarte et al. *Determinação do módulo de elasticidade estático de pisos intertravados manufaturados com incorporação de polímero*. In: Anais da Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas. 2017.

MODRO, NLRi et al. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. *Revista matéria*, v. 14, n. 1, p. 725-736, 2009.

SILVA, N. G. *Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.



SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz no traço**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2008.

(83) 3322.3222

[contato@conapesc.com.br](mailto:contato@conapesc.com.br)

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)