

Análise dos Resultados de Ensaios de Compressão Uniaxial Cíclica em Poliestireno Expandido (EPS) Geofoam

Ana Beatriz Araújo Nobre Dias

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, anabeatriznobre@outlook.com

Dawit Negussey

Syracuse University, Syracuse, Estados Unidos da América, negussey@syr.edu

Juliane Andréia Figueiredo Marques

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, julianemarques@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho trata da determinação de uma das características mecânicas do poliestireno expandido (EPS) geofoam, a resistência à compressão. Esse material é um geossintético relativamente novo e ainda de pouca utilização no Brasil. Pela falta de normas específicas brasileiras para o material, o trabalho teve como base as normas americanas da ASTM para comparação do comportamento do material. Amostras de EPS com cinco diferentes massas específicas foram testadas e submetidas à compressão uniaxial. Os ensaios indicaram que no geral os resultados obtidos para as amostras correspondem mais com o esperado pela norma específica para EPS geofoam (ASTM D6817) do que com a norma para EPS térmico (ASTM C578), mostrando assim a importância de uma norma específica para entender o comportamento do material e seu uso na engenharia geotécnica.

PALAVRAS-CHAVE: Poliestireno expandido (EPS); Geofoam; Compressão; Resistência.

1 INTRODUÇÃO

O poliestireno expandido (EPS) geofoam vem sendo utilizado mundialmente como um material geotécnico desde 1960. Sendo um geossintético, ele pode ser utilizado de diversas formas, mas no Brasil seu principal uso é em aterros de rodovias (Figura 1). Os trechos da BR-101 em Pernambuco, Paraíba e Santa Catarina, são exemplos de obras que já utilizaram o material como aterro, inclusive sobre solo mole.



Figura 1. Imagens do uso de geofoam no Brasil.

O geofoam é um material de baixa massa específica quando comparado com outros materiais. Enquanto, segundo a NBR 6120 (“Cargas para o cálculo de estruturas de edificações”), o concreto e o solo apresentam massas específicas médias de 2500 e 1700 kg/m³, respectivamente, de acordo com as

normas ASTM C578 (“Especificações Padrão para Poliestireno Isolante Térmico Rígido e Celular”) e D6817 (“Especificações Padrão para Poliestireno Geofoam Celular e Rígido”), o EPS tem sua massa específica variando entre 12 e 48 kg/m³, onde esses valores são controlados no processo de expansão dos grãos de resina usados como matéria prima para fabricação do material. Apesar dessa massa específica bem inferior a outros materiais utilizados na construção civil, o geofoam quando comparado com outros tipos de EPS com diferentes finalidades, apresenta valores bem superiores de massa específica.

Esse material apresenta como vantagem seu fácil manuseio por ser extremamente leve. Além de ser biologicamente inerte, apresenta alta resistência mecânica, especialmente à compressão. Por ser um material plástico composto 98% por ar, o geofoam possibilita a redução de recalque em camadas de solo mole, e ainda pode ser manuseado na presença de chuva. Todas essas características permitem a redução nos custos de obras. Antes da aplicação desse material como uma solução geotécnica ele já era utilizado como isolante térmico com propriedades e uso definidos pelas NBR 11752 (“Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas”), NBR 11948 (“Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da flamabilidade”) e NBR 11949 (“Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação da massa específica aparente”), mas só recentemente passou a ser utilizado como material geotécnico. Isso se deve principalmente pela falta de estudos na área e não existência de uma norma de projeto. Mesmo em países em que o uso do geofoam já é bem mais difundido, como os Estados Unidos, por exemplo, não existem normas completas sobre as propriedades do material.

Para um uso correto desse material é necessária que seja feita uma inspeção do EPS entregue *in situ*, ou seja, no local da obra. Os testes mais simples são a checagem da massa específica e da resistência do geofoam e são esses testes o objetivo desse trabalho.

2 METODOLOGIA

Todos os procedimentos aqui descritos foram realizados no laboratório de geotecnia de *Syracuse University*, no estado de Nova York, nos Estados Unidos sob supervisão do professor doutor Dawit Negussey e seguiram as normas americanas ASTM C578, para EPS usado em isolamento térmica, e D6817, específica para o EPS geofoam, na realização do ensaio aqui descrito. As amostras utilizadas para o experimento foram oferecidas pela empresa Thermal Foam Inc. localizada na cidade de Syracuse, estado de Nova York.

Para o experimento utilizou-se 3 amostras cúbicas com 50mm de aresta para cada massa específica testada, totalizando 15 amostras. Foram testados 5 diferentes valores de massa específica nominais de 1,0, 1,25, 1,5, 2,0, 2,5 pcf o que corresponde a aproximadamente 16, 20, 24, 32, 40 kg/m³. Tendo o volume de cada amostra, elas foram pesadas e suas massas específicas calculadas e uma média das 3 amostras registrada. As amostras foram classificadas usando as normas previamente mencionadas.

Dentro das 3 amostras de mesma massa específica, foi escolhida apenas uma com o valor mais próximo da média calculada obtida para realização do ensaio de compressão uniaxial. O equipamento utilizado para esse ensaio foi uma Geotac Sigma-1 (Fig. 2) que é controlada por um software. Nesse software todos os sensores são zerados previamente e pode-se então definir a velocidade de compressão da placa superior para 5mm por minuto, um valor médio entre os recomendados pela ASTM C165 que são de 0,25 a 12,5mm por minuto, até atingir 15% da deformação. Como o ensaio é cíclico, após atingir a tensão desejada, é feito o descarregamento e então a amostra é novamente submetida à compressão até atingir 20% de deformação. Esses valores de deformação foram escolhidos baseados em experiências anteriores, pois já sabia-se que neles teríamos uma curva representativa dos estados de deformação do material.



Figura 2. Layout do software Geotac Sigma-1 utilizado no ensaio.

O software não fornece os dados prontos para serem plotados, porém seu manual oferece um guia de como converter os dados corretamente, levando em consideração a

calibração do equipamento, para posterior análise. Feito isso foram plotados os gráficos apresentados na próxima seção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta as massas específicas nominais e as calculadas em laboratório, bem como a classificação baseada somente no valor obtido da massa específica das amostras de acordo com o sistema de classificação das normas ASTM C578 e D6817, mostradas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1. Massa específica média e classificação das amostras de geofoam.

Massa Específica Nominal (kg/m ³)	Massa Específica Calculada (kg/m ³)	ASTM D6817	ASTM C578
16	18,80	EPS19	Tipo VIII
20	21,04	EPS22	Tipo X
24	23,83	EPS22	Tipo IV
32	32,74	EPS29	Tipo VII
40	37,42	EPS39	Tipo XIV

Tabela 2. Classificação do EPS de acordo com a ASTM C578.

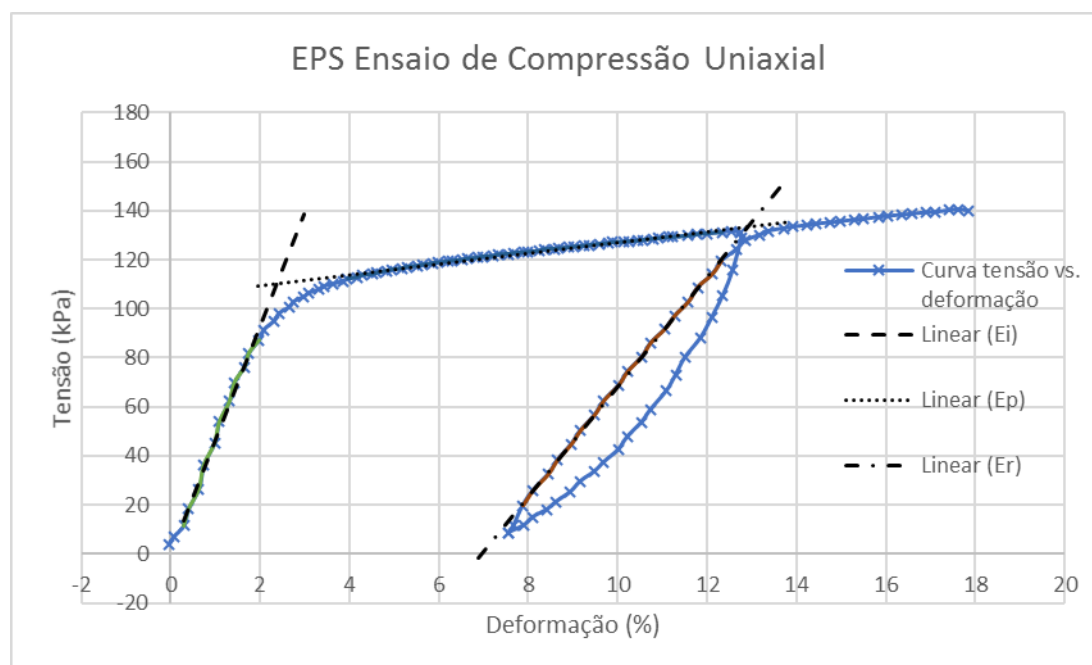
Classificação	Tipo XI	Tipo I	Tipo VIII	Tipo II	Tipo IX	Tipo XIV	Tipo XII	Tipo X	Tipo IV	Tipo VI	Tipo VII	Tipo V
Resistência térmica de 1 polegada de espessura, F·ft ² ·h/Btu (K·m ² /W)												
Temperatura média:												
25°F (-3,9°C)	3,45	4,20	4,40	4,60	4,80	4,80	5,20	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
±2°F (±1°C)	(0,61)	(0,74)	(0,77)	(0,81)	(0,84)	(0,84)	(0,92)	(0,99)	(0,99)	(0,99)	(0,99)	(0,99)
40°F (4,4°C) ±2°F (±1°C)	3,30	4,00	4,20	4,40	4,60	4,60	5,00	5,40	5,40	5,40	5,40	5,40
	(0,58)	(0,70)	(0,74)	(0,77)	(0,81)	(0,81)	(0,88)	(0,95)	(0,95)	(0,95)	(0,95)	(0,95)
110°F (-43,3°C)	2,90	3,25	3,45	3,65	3,85	3,85	4,30	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
±2°F (±1°C)	(0,51)	(0,57)	(0,61)	(0,64)	(0,69)	(0,69)	(0,76)	(0,82)	(0,82)	(0,82)	(0,82)	(0,82)
Densidade, lb/ft ³ (kg/m ³)	0,70	0,90	1,15	1,35	1,80	2,40	1,20	1,30	1,45	1,80	2,20	3,00
	(12)	(15)	(18)	(22)	(29)	(38)	(19)	(21)	(25)	(29)	(35)	(48)

Tabela 3. Classificação do EPS de acordo com a ASTM D6817.

Tipo	EPS12	EPS15	EPS19	EPS22	EPS29	EPS39	EPS46
Densidade, kg/m ³ (lb/ft ³)	11,2 (0,70)	14,4 (0,90)	18,4 (1,15)	21,6 (1,35)	28,8 (1,80)	38,4 (2,40)	45,7 (2,85)
Resistência à compressão, kPa (psi) para 1%	15 (2,2)	25 (3,6)	40 (5,8)	50 (7,3)	75 (10,9)	103 (15,0)	128 (18,6)
Resistência à compressão, kPa (psi) para 5%	35 (5,1)	55 (8,0)	90 (13,1)	115 (16,7)	170 (24,7)	241 (35,0)	300 (43,5)
Resistência à compressão, kPa (psi) para 10%	40 (5,8)	70 (10,2)	110 (16,0)	135 (19,6)	200 (29,0)	276 (40,0)	345 (50)
Resistência à flexão, kPa (psi)	69 (10,0)	172 (25,0)	207 (30,0)	240 (35)	345 (50,0)	414 (60,0)	517 (75,0)
Índice de oxigênio, volume %	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0

Calculadas as massas específicas, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial que forneceu o gráfico da Figura 3, que representa a taxa de deformação

versus tensão de cisalhamento, para a amostra de massa específica nominal de 20 kg/m³.

Figura 3. Taxa de deformação versus Tensão de cisalhamento para o EPS de massa específica nominal 20 kg/m³.

A partir dessa curva corrigida é possível se obter os valores dos módulos de elasticidade utilizando a tangente dos ângulos das retas apresentados na Figura 3 para três diferentes estágios: para a fase elástica (Ei), para a fase plástica (Ep) e para a fase elástica do recarregamento (Er), todos em Mpa, e também

obteve-se os valores de resistência para os estágios de 1%, 5% e 10% da deformação de cada uma das massas específicas testadas em kPa. O resumo desses dados é encontrado na Tabela 4.

Tabela 4. Módulo e resistência do EPS para diferentes massas específicas.

Massa Específica Nominal (kg/m³)	Massa Específica Calculada (kg/m³)	Módulo (MPa)			Resistência (kPa)		
		Ei	Er	Ep	1%	5%	10%
16	18,8	3,61	2,3	0,27	34,37	74,12	86,4
20	21,04	4,27	2,19	0,25	40,88	114,53	126,02
24	23,83	4,45	2,62	0,27	43,97	132,13	145,48
32	32,74	8,02	4,46	0,37	79,11	210,39	230,21
40	37,42	7,22	5,52	0,43	87,75	239,87	257,12

Esses valores de resistência encontrados em laboratório foram comparados com os fornecidos nos sistemas de classificação das

normas ASTM C578 e D6817, para as classificações já determinadas na Tabela 1. Essa comparação é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação do sistema de classificação da ASTM C578 e D6817 de acordo com a resistência das amostras de EPS geofoam.

Massa Específica Nominal (kg/m³)	Massa Específica Calculada (kg/m³)	Resistência (kPa)			ASTM D6817			C578	
		1%	5%	10%	Tipo	Resistência (kPa)			Tipo
						1%	5%	10%	
16	18,80	34,37	74,12	86,4	EPS19	40	90	110	VIII
20	21,04	40,88	114,53	126,02	EPS22	50	115	135	X
24	23,83	43,97	132,13	145,48	EPS22	50	115	135	IV
32	32,74	79,11	210,39	230,21	EPS29	75	170	200	VII
40	37,42	87,75	239,87	257,12	EPS39	103	241	276	XIV

Os valores encontrados estão relativamente próximos aos especificados pelas duas normas americanas, mas sempre mais próximos dos valores previstos na ASTM D6817. Uma possível causa na disparidade de alguns valores provavelmente se deve ao fato da classificação ter sido baseada em uma única variante, a massa específica dos corpos de prova.

Outra propriedade encontrada através do ensaio de compressão cíclica, foi a tensão de escoamento para os dois estágios de carregamento testados. Os valores encontrados para essa propriedade são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores da tensão de escoamento para as massas específicas testadas.

Massa Específica Nominal (kg/m³)	Massa Específica Calculada (kg/m³)	Escoamento		Escoamento após o recarregamento	
		Tensão (kPa)	Deformação (%)	Tensão (kPa)	Deformação (%)
16	18,8	67,2	2,16	86,69	9,74
20	21,04	101,03	2,54	128,02	10,26
24	23,83	125,28	2,99	152,79	13,44
32	32,74	200,84	2,57	239,23	12,42
40	37,42	231,12	2,94	258,86	11,43

Para uma melhor análise dos resultados obtidos, foram apresentados a Figura 4 – Resistência versus Massa Específica, a Figura 5 – Módulo de Elasticidade (Ei, Er e Ep) versus a Massa Específica e a Figura 6 - Tensão de escoamento antes e após o recarregamento versus a Massa Específica.

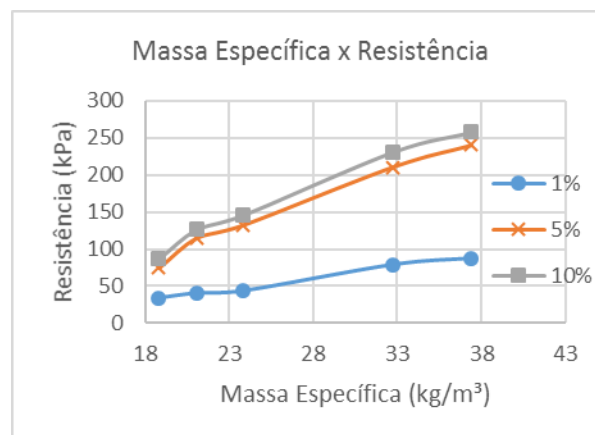


Figura 4. Resistência para diferentes estágios de deformação versus a massa específica do geofoam.

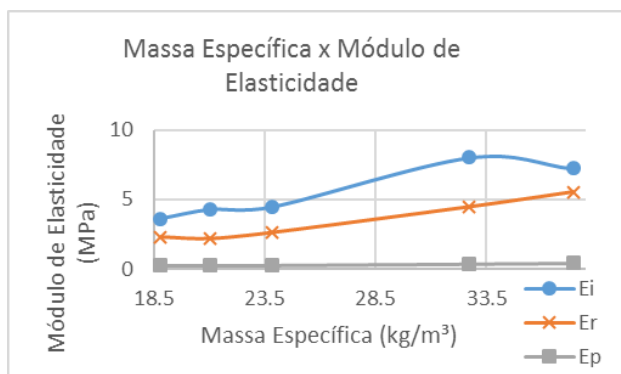


Figura 5. Módulos de elasticidade (Ei, Er e Ep) versus a massa específica do geofoam.

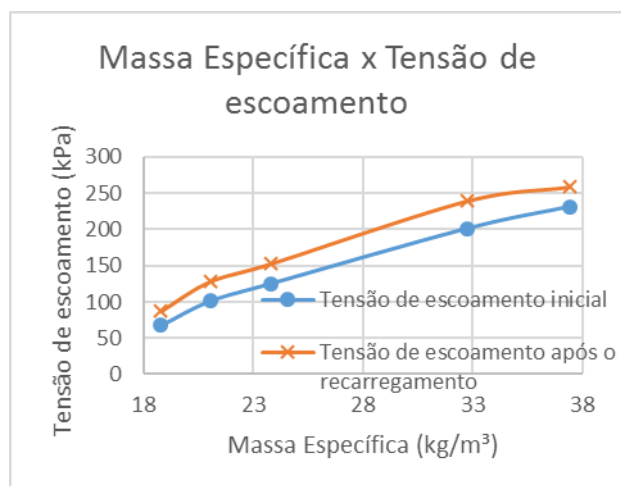


Figura 6. Tensão de escoamento antes e após o recarregamento versus a massa específica do geofoam.

Esses gráficos permitem a visualização de como a massa específica afeta algumas propriedades do geofoam. Nos casos analisados é possível perceber que os valores de resistência e módulo são maiores nas amostras de maior massa específica.

Na Figura 4, as curvas mostram a variação da resistência para os estágios de 1%, 5% e 10% da deformação de cada uma das massas específicas testadas. Uma comparação entre as resistências para os níveis de deformação de 1% e 5% mostra um crescimento de 67% do valor da resistência para a massa específica nominal de 24kg/m³, enquanto que quando essa mesma comparação é feita entre os estágios de 5% e 10%, a maior diferença encontrada é de 14% para a massa específica nominal de 16 kg/m³.

Já era esperado que os valores do módulo de elasticidade E_p fossem apresentar valores inferiores aos dos outros módulos, já que ele é encontrado na fase de deformação plástica da

curva de tensão *versus* deformação (Figura 3). Já o fato dos valores do módulo E_i serem maiores que os do módulo E_r , mostra que quanto mais ciclos de carregamento forem aplicados ao material, menor será o módulo da fase de deformação elástica do material.

Na Figura 6, observa-se que a tensão de escoamento após o recarregamento (curva com marcadores X) é sempre superior à tensão de escoamento inicial (curva com marcadores circulares). Após o recarregamento, os valores são em média 18% superiores aos valores antes do recarregamento.

4 CONCLUSÃO

O ensaio realizado forneceu dados característicos do material analisado e essenciais para utilização do material em diferentes obras de terra, como módulo de elasticidade, resistência à deformação em diferentes estágios e tensão de escoamento, com isso foi feita a comparação com os dados fornecidos pelas normas americanas ASTM C578, usada para EPS térmico e a ASTM D6817, usada para EPS geofoam.

Com a análise dos resultados obtidos é possível perceber que no geral, a compressão das amostras analisadas corresponde com o determinado por norma, podendo ser utilizado nas diversas aplicações do EPS geofoam. Como a ASTM D6817 sempre apresentou dados mais concisos para classificação do geofoam, isso mostra como uma norma dedicada para o EPS utilizado como geossintético é importante e mais precisa.

Os testes aqui apresentados são os mais básicos, então futuros trabalhos podem apresentar outros testes para um melhor entendimento das propriedades e características do geofoam, especialmente sobre seu comportamento na presença de água.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa Ciências sem Fronteiras pela contribuição financeira durante a realização dos ensaios no exterior.

REFERÊNCIAS

- ABIQUM. (2014). *Uso de Geofom no Brasil*. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/16/uso-de-geofom-no-brasil.html>. Acessado em: 25 de maio de 2016.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C578 – Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation*, West Conshohocken, PA, USA, 7 p.
- American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM D6817 - Standard Specification for Rigid Polystyrene Geofom*, West Conshohocken, PA, USA, 2 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1980). *Norma Brasileira Registrada (NBR) 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificação*, Rio de Janeiro, 2-5 p.
- Avesanio Neto, J. O. (2008). *Caracterização do Comportamento Geotécnico do EPS através de Ensaios Mecânicos e Hidráulicos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 43-45 p.