

Emprego de polietileno de Baixa densidade (PEBD) reciclado para reforço de solos

Caio Soares CAMARGOS^{a,1}, Ivonne GÓNGORA^a, Hellen Evenyn FONSECA DA SILVA^a, Matheus VIANA DE SOUZA^a e Lorena SILVA PEREIRA^a

^a*Universidade Católica de Brasília*

Resumo. No Brasil, a excessiva geração de resíduos plásticos representa um grande problema no que tange a sua destinação final, sendo que muitas vezes estes resíduos não são descartados de forma adequada. O presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação do polietileno de baixa densidade (PEBD) proveniente da reciclagem de resíduos plásticos como reforço do solo laterítico de Brasília, buscando também uma nova forma de disposição destes resíduos. Além disso, foi determinada a porcentagem ótima de PEBD nas misturas e verificada a possível aplicação destas misturas nas camadas do pavimento. Para tanto, realizou-se uma análise comparativa dos parâmetros de resistência do solo natural com três tipos de mistura (88% de solo + 12% de PEBD, 92% de solo + 8% de PEBD e 96% de solo e 4% de PEBD). Os ensaios necessários para obtenção dos parâmetros do PEBD, do solo e das misturas, foram realizados conforme as respectivas normas regulamentadoras. As misturas obtiveram resultados satisfatórios, sendo que as misturas com porcentagens de 8% e 4% de PEBD apresentaram as maiores resistências, evidenciando uma aplicação do PEBD em pavimentação.

Palavras Chave. Sustentabilidade, polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado, reforço de solos.

1. Introdução

Atualmente, uma das grandes metas é aliar crescimento econômico a responsabilidade ambiental, buscando técnicas para reduzir o impacto ambiental causado pelo lançamento incorreto de resíduos. No Brasil, a excessiva geração de resíduos plásticos, configura um grande problema no que corresponde a sua destinação final, sendo que na maioria das vezes estes resíduos não são descartados de forma correta. O setor de pavimentação oferece grandes possibilidades para a reutilização de alguns desses resíduos, aplicando os materiais apropriados como adição para reforço do solo depois de compactado.

É comum a utilização de materiais como cimento e cal para reforço de solos, neste estudo, utilizou-se polietileno de baixa densidade (PEBD) proveniente da reciclagem de resíduos plásticos. Tal material é aplicado como filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, filmes destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras. (COUTINHO, MELLO, MARIA, 2003)[1].

¹ Caio Soares Camargos, Ivonne Góngora, Hellen Evenyn Fonseca da Silva, Matheus Viana de Souza, Lorena Silva Pereira.; E-mail: caiocamargos1996@gmail.com.

Um dos produtos provenientes desse material é a sacola plástica, a qual tem sido motivo de grande preocupação devido aos problemas que ocasiona ao ambiente. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA)[2], a excessiva distribuição de sacolas plásticas no Brasil (cerca de 1,5 milhão de sacolas por hora) prejudica o meio ambiente desde a sua produção, que consome grande quantidade de recursos naturais não-renováveis e emite poluentes líquidos e gasosos, até o seu descarte final, que majoritariamente ocorre de forma incorreta, indo para as ruas e prejudicando o escoamento da água pluvial. As sacolas e embalagens plásticas em geral, representam grandes porcentagens dos resíduos plásticos, os quais demoram muito tempo para se decompor, prejudicando ainda mais o meio ambiente.

Segundo Coutinho, Mello e Maria (2003)[1], o polietileno de baixa densidade (PEBD) apresenta características como: flexibilidade, alta resistência ao impacto, propriedades elétricas, tenacidade, flexibilidade, boa processabilidade. Visto que o PEBD apresenta tais características, o presente estudo teve como objetivo analisar a aplicação do PEBD para o reforço do solo laterítico de Brasília, visando também encontrar uma nova forma de disposição deste resíduo. Além disso, foi verificada a possível aplicação destas misturas nas camadas do pavimento e determinada a porcentagem ótima de PEBD nas misturas. Para isso, foi realizada uma análise comparativa dos parâmetros de resistência do solo natural com três tipos de mistura (12%, 8% e 4% de PEBD), definidas através de pesquisas bibliográficas. Com o intuito de classificar e conhecer as características do solo, realizou-se os devidos ensaios de caracterização, são eles, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), análise granulométrica, massa específica dos grãos; para caracterização do polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado, realizou-se o ensaio massa específica pelo frasco de Chapman e granulometria; além dos ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e compressão simples. Todos os ensaios foram regidos conforme as respectivas normas regulamentadoras. Apesar do ensaio de compressão simples não estar presente nas normas de pavimentação, optou-se por executá-lo para melhor compreender o comportamento do solo e das misturas.

Souza (1980)[3] define pavimento como a superestrutura composta por camadas com espessura finita, construídas sobre o subleito, que é definido como o solo de fundação (infraestrutura). Cada uma das camadas do pavimento possui suas características e desempenham diferentes funções, de modo a oferecer as melhores condições aos usuários. Um dos parâmetros responsáveis por fornecer as especificações previstas em normas para cada camada do pavimento é o Índice de Suporte Califórnia (CBR).

2. Materiais e métodos

A metodologia deste trabalho abordou ensaios para a caracterização do PEBD e do solo, bem como os ensaios para obtenção dos parâmetros mecânicos do solo e das misturas.

As amostras deformadas de solo foram coletadas nas proximidades da Universidade Católica de Brasília (UCB), conforme a NBR 9604/2016[4], utilizou-se pás, picaretas e enxadas, para auxílio na coleta. Em seguida, as amostras foram levadas para o laboratório de Engenharia Civil (bloco O), para a preparação das amostras, de acordo com a NBR 6457/2016[5].

2.1. Caracterização do polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado

- Massa específica por meio do frasco de Chapman

Para a determinação da massa específica do PEBD, utilizou-se o método para agregados, por meio do frasco de Chapman, de acordo com a DNER-ME 194/1998[6]. Iniciando o ensaio, adicionou-se 200 cm³ de álcool no frasco de Chapman e em seguida 200 g de PEBD, e por fim fez-se a medida do volume do álcool com o PEBD. Como o PEBD é um material de baixa densidade, optou-se por utilizar álcool no lugar da água, para que este não viesse a boiar, por esse mesmo motivo, adicionou-se 200 g do material ao invés de 500 g.

- Análise granulométrica

Para determinação das porcentagens referentes ao tamanho das partículas de PEBD, usou-se como base a NBR 7181/2016[7], levando em consideração as sequências para o peneiramento fino e grosso. Aparentemente o PEBD tende a apresentar uma granulometria uniforme (grãos de mesmo tamanho).

2.2. Caracterização do solo

- Análise granulométrica

De acordo com a NBR 7181/2016[7], realizou-se a análise granulométrica do solo, com uma combinação de ensaios, por sedimentação e por peneiramento. Segundo o DNIT (2006)[8], a análise granulométrica do solo determina a porcentagem de cada tamanho das partículas, em relação ao seu peso seco; onde os grãos menores que 0,075 mm são determinados pelo ensaio de sedimentação, através de uma relação entre tamanho dos grãos e a velocidade de sedimentação (lei de Stokes), já para os grãos maiores que 0,075 mm, a determinação se dá por meio de peneiramento. Este ensaio é importante para a classificação do solo.

- Limite de liquidez e limite de plasticidade

Para execução dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), tomou-se como base a NBR 6459/2016[9] e NBR 7180/2016[10], respectivamente. Como lembra o DNIT (2006)[8], o limite de liquidez (LL) representa a umidade em que o solo sai do limite do estado líquido para o limite do estado plástico, e o limite de plasticidade (LP) representa a umidade entre o limite do estado plástico e o limite do estado semi-sólido, sendo que, quando o solo apresenta uma umidade muito elevada, pode-se dizer que ele está no estado líquido, com a perda de umidade, o solo endurece, passando para o estado plástico, perdendo mais umidade por evaporação, o solo passa para o estado semi-sólido.

- Massa específica dos grãos

Para a execução do ensaio de massa específica dos grãos, usou-se como base a NBR 6458/2016[11]. Neste ensaio é considerado apenas os grãos de sólidos, utilizou-se a bomba de vácuo para a retirada do ar presente nos grãos.

2.3. Parâmetros de resistência (solo natural e misturas)

- Compactação e Índice de Suporte Califórnia

Na execução do ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR), usou-se como base as respectivas normas, NBR 7182/2016[12] e DNIT 172/2016 – ME[13]. Para a realização do ensaio de CBR, adotou-se a umidade ótima. Segundo Das e Sobhan

(2014, p.115)[14], a compactação em obras geotécnicas, eleva a resistência do solo, isso ocorre porque a compactação remove o ar presente, aumentando o seu peso específico seco, este processo oferece maior resistência às estruturas que estão apoiadas em sua superfície, além de aumentar a estabilidade e reduzir possíveis recalques. Os ensaios foram executados com energia intermediária (proctor intermediário), visando a aplicação nas camadas intermediárias do pavimento.

- **Compressão simples**

O ensaio de compressão simples foi realizado de acordo com DNER-IE 004/1994[15]. Neste ensaio é determinado o carregamento máximo que leva a ruptura de um corpo-de-prova, onde mede-se além das cargas, as deformações que o corpo de prova sofre; a coesão do solo representa metade do valor da tensão de compressão. Os corpos-de-prova foram moldados com a umidade ótima determinada no ensaio de compactação, tendo como dimensões: 10 cm de diâmetro e 12,5 cm de altura.

3. Resultdos e discussão

3.1. Polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado

A Tabela 1 mostra o resultado do ensaio de massa específica do PEBD, realizado pelo método do frasco de Chapman. Percebe-se este material possui uma densidade baixa, comparado com o solo natural, que é de 2,82 g/cm³.

Tabela 1. Caracterização PEBD.

Ensaio:	Resultado:
Massa específica pelo frasco de Chapman	0,87 g/cm ³

A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica do PEBD. Percebe-se que os grãos do material são praticamente do mesmo tamanho (granulometria uniforme), apresentando cerca de 99,9% do material retido na peneira com abertura de 2 mm.

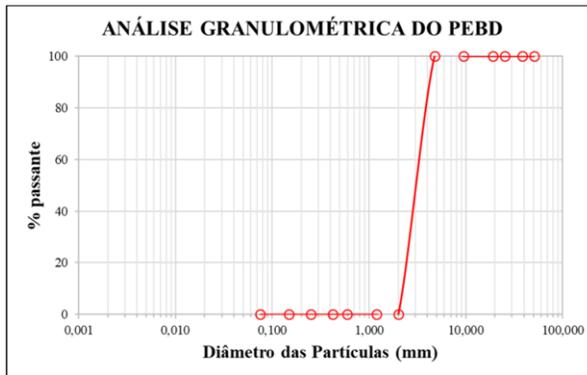


Figura 1. Análise granulométrica do PEBD.

3.2. Caracterização do solo

A Tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros de caracterização do solo. De acordo com Das e Sobhan (2014, p. 102,103,104)[14], pela classificação SUCS, identifica-se

que o solo analisado é um Silte com alta compressibilidade (MH). Já pela classificação AASHTO, o solo é classificado como A-7-6(23), um solo argiloso com $IG = 23$, como mostra Das e Sobhan (2014, p. 98,99)[14]. Segundo o DNIT (2006, p. 58, grifo do autor)[8] “**Subgrupo A-7-6** - Inclui materiais com elevados índices de plasticidade em relação aos limites de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume.”. Em pavimentação os solos mais finos não são muito recomendados por não apresentarem as características requeridas, principalmente para aplicação nas camadas que devem ser mais resistentes.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros de caracterização do solo.

Parâmetro:	Resultado:
Limite de liquidez	52%
Limite de plasticidade	29,12%
Índice de plasticidade	22,88%
Massa específica dos grãos	2,82 g/cm ³

Como mostra o DNIT (2006, p. 142)[8], para base, limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$; e para sub-base, $IG = 0$. Percebe-se que o solo analisado não atende os parâmetros exigidos pelo manual, pelo fato de ser um solo laterítico, por conter grandes quantidades de grãos finos, e apresentar alto limite de liquidez e alta plasticidade; geralmente os materiais que apresentam $IG = 0$, são solos predominantemente granulares.

A Figura 2 mostra as distribuições granulométricas do solo, feitas sem defloculante (curva vermelha) e com defloculante (curva preta), onde o eixo X representa o diâmetro das partículas e o eixo Y a porcentagem passante das partículas. Comparando as curvas, percebe-se que a curva com defloculante apresenta grãos mais finos, aumentando a porcentagem passante nas peneiras com menor abertura, isso ocorre pelo fato do defloculante desagregar as partículas que estão aderidas entre si.

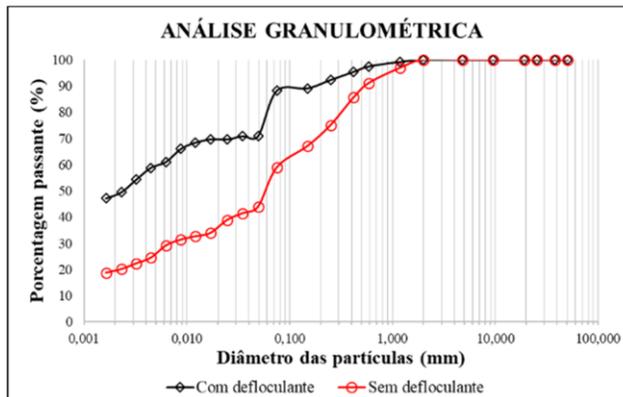


Figura 2. Análise granulométrica do solo

3.3. Parâmetros de resistência (solo e misturas)

- Compactação

As curvas de compactação do solo e das misturas são mostradas na Figura 3. Observa-se que as curvas tendem a se deslocar para a esquerda em relação ao eixo X e para baixo em relação ao eixo Y, de acordo com o aumento da porcentagem de PEBD

nas misturas, apresentando então, uma redução na umidade ótima e na massa específica seca máxima. Esse comportamento deve-se a baixa massa específica do material em relação ao solo, que quando misturados propiciam uma massa específica proporcional as porcentagens de misturas.

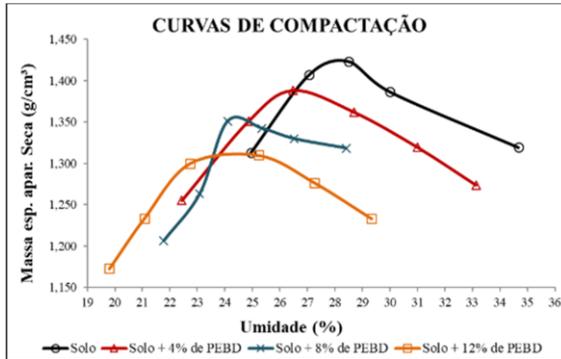


Figura 3. Curvas de compactação do solo e das misturas.

- Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O DNIT (2006, p.142)[8], especifica valores para cada camada do pavimento: o subleito deve apresentar expansão $\leq 2\%$ e CBR $\geq 20\%$; a sub-base, CBR $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$; para aplicação em base o CBR $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$, porém para $N \leq 5 * 106$, o CBR $\geq 60\%$.

A Tabela 3 mostra os resultados dos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR). Analisando a mesma, percebe-se que para subleito e camada de sub-base os parâmetros do solo natural e das misturas estão de acordo com as especificações. Para a camada de base, os resultados de expansão estão dentro dos valores limites; porém os resultados de CBR não atendem aos valores mínimos.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR).

Proporções:	Umidade ótima (%)	Massa esp. (g/cm^3)	ISC (%)	Expansão (%)
100% solo	28,15	1,424	23,26	0,44
88% solo e 12% PEBD	24,16	1,311	27,91	0,40
92% solo e 8% PEBD	24,35	1,357	30,14	0,39
96% solo e 4% PEBD	26,6	1,388	30,51	0,50

Os resultados de CBR obtidos pelas misturas, apresentaram um aumento significativo em relação ao solo natural, e as misturas com 8% e 4% de PEBD, obtiveram os melhores resultados, chegando em valores de CBR acima de 30%. Com isso, pode-se dizer que a porcentagem ótima do material utilizado como reforço está próxima destes valores.

As colunas mostradas na Figura 4 representam os valores de CBR do solo e das misturas. As misturas com 12%, 8% e 4% de PEBD, apresentaram aumento em relação ao solo de 19,99%, 29,58% e 31,17%, respectivamente.

- Compressão simples

A Figura 5 mostra os resultados de tensão de compressão e coesão do solo e das misturas. Percebe-se que todas as misturas apresentaram um aumento significativo em relação ao solo (12% de PEBD - 30,70%, 8% de PEBD - 62,36% e 4% de PEBD -

61,93%), sendo que as misturas com porcentagens de 8% e 4% de PEBD, apresentaram resultados semelhantes. No ensaio de CBR, as misturas com porcentagens de 8% e 4% de PEBD também apresentaram valores semelhantes, comprovando que os resultados estão coerentes. De acordo com Das e Sobhan (2014)[14], é possível relacionar a tensão de compressão com a consistência de argilas, para o solo natural a consistência é definida como muito rígida, e para as misturas de solo e PEBD, consistência rígida.

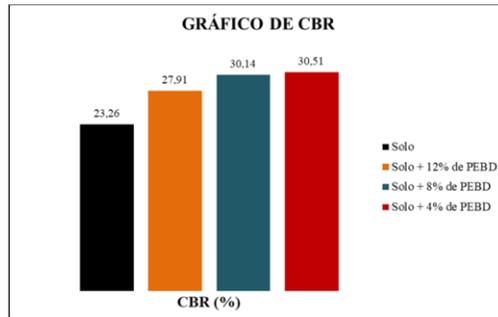


Figura 4. Resultados de Índice de Suporte Califórnia (CBR).

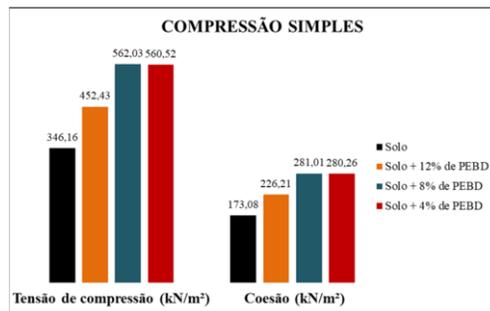


Figura 5. Resultados do ensaio de compressão simples.

4. Conclusões

As conclusões apresentadas a seguir foram realizadas por meio de comparações entre os próprios resultados apresentados no item 3, e também com os valores especificados em norma.

As características necessárias para cada camada do pavimento são estabelecidas para proporcionar aos usuários principalmente conforto e segurança; quando estas características não são atendidas é necessária a aplicação de reforço para melhorá-las. Os resultados obtidos com a adição de PEBD para o reforço do solo, apresentaram resultados satisfatórios em todas as misturas, entretanto as misturas que apresentaram maiores resistências foram com as porcentagens de 8% e 4% de PEBD, chegando em valores de CBR superiores a 30%. Por essas porcentagens apresentarem valores semelhantes, infere-se que a melhor porcentagem de aplicação deste resíduo está entre esses intervalos ou então bem próximo deles.

Comparando os resultados obtidos com os valores exigidos em normas, em relação a expansão, o solo e as misturas atendem aos valores especificados, em relação ao CBR,

apenas para base os valores não foram atendidos. Visto o comportamento da resistência das misturas, a aplicação delas é apropriada principalmente para sub-base onde os valores de CBR e expansão atendem os valores exigidos com uma certa folga. Em relação ao Índice de Grupo, segundo DNIT 139/2010 - ES (2010, p.3)[16], para solos lateríticos o valor pode ser diferente de 0. Portanto, a aplicação do PEBD para reforço de solos, apresentou um considerável ganho de resistência, além propiciar benefício ao meio ambiente por utilizar um material proveniente da reciclagem de materiais plásticos.

Referências

- [1] COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivanna L.; MARIA, Luiz C. de Santa. *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*. 2002. 13f. Artigo de Divulgação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064>>. Acesso em: 19 de out. 2017
- [2] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *O tamanho do problema*. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/saco-e-um-saco/saiba-mais>>. Acesso em: 22 de set. 2017
- [3] SOUZA, Murillo Lopes de. *Pavimentação rodoviária*. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1980, p.9.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. 2016.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. 2016.
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *DNER-ME 194: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman*. 1998.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181: Solo - Análise granulométrica*. 2016.
- [8] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro: IPR, 2006.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez*. 2016.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade*. 2016.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. 2016.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação*. 1986
- [13] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *DNIT 172 - ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio*. 2016.
- [14] DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 8ª edição, São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- [15] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *DNER-IE 004: Solos coesivos - determinação da compressão simples de amostras indeformadas*. 1994.
- [16] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. *DNIT 139 - ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço*. Rio de Janeiro: IPR, 2010. Disponível em:< http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit139_2010_es.pdf>. Acesso em: 24 de abr. 2018