



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

ANÁLISE TÉCNICA DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO COM USO DE ENZIMA PARA PAVIMENTAÇÃO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Poliana Tonieto Cittadella¹ & Laura Maria Goretti da Motta¹

RESUMO

A revolução econômica e tecnológica do século XX resultou na expansão dos meios de transporte e na busca de novas tecnologias custo-efetivas, social e ambientalmente menos impactantes. Na pavimentação, entre as novas tecnologias está a utilização de enzimas biocatalizadoras como alternativa para estabilização de solos. Esses produtos visam aumentar a resistência do material de subleito podendo, ainda, ser utilizados em camadas de base, sub-base ou como revestimento primário em estradas rurais. Este estudo teve como objetivo avaliar os resultados obtidos no processo de estabilização de um solo de três trechos experimentais implementados em 2021 em Guarapuava, região central do Paraná. Na execução, parte do solo foi tratada com um biocatalizador, em um dos segmentos como revestimento primário e em outros dois, recoberto com concreto asfáltico. Um segundo trecho da mesma via foi pavimentado sem o processo prévio de tratamento do solo. Para avaliar o desempenho do produto, foram realizados ensaios de módulo de resiliência (MR) e deformação permanente (DP) utilizando a dosagem do local de teste. O MR com o produto apresentou a mesma ordem de grandeza do solo natural e a DP resultou em valores na ordem de 6 mm, elevado, quando comparado ao valor admissível de afundamento de trilha de rodas total de 13 mm. Por meio dos resultados obtidos, pode-se concluir que para esse tipo de solo não foi possível afirmar que a estabilização enzimática proporciona aumento de rigidez quando comparado ao solo original.

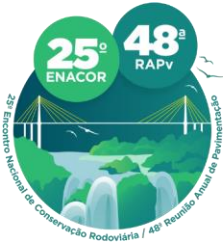
PALAVRAS-CHAVE: Estabilização; Solos; Biocatalizadores; Aditivo enzimático.

ABSTRACT

The economic and technological revolution of the 20th century resulted in the expansion of means of transport and the search for new, cost-effective, socially and environmentally less impactful technologies. In paving, among the new technologies is the use of biocatalyst enzymes as an alternative for soil stabilization. These products aim to increase the resistance of the subgrade material and can also be used in base layers, subbase or as a primary coating on rural roads. This study aimed to evaluate the results obtained in the stabilization process of a soil in three experimental stretches implemented in 2021 in Guarapuava, central region of Paraná. In the execution, part of the soil was treated with a biocatalyst, in one of the segments as a primary coating and in the other two, covered with asphaltic concrete. A second section of the same road was paved without the previous soil treatment process. To evaluate the performance of the product, tests of modulus of resilience (MR) and permanent deformation (DP) were carried out using the dosage of the test site. The MR with the product presented the same order of magnitude as the natural soil and the DP resulted in values in the order of 6 mm, high, when compared to the admissible value of subsidence of the total wheel track of 13 mm. Through the results obtained, it can be concluded that for this type of soil it is not possible to state that enzymatic stabilization provides stiffness increases when compared to the original soil.

KEY WORDS: Stabilization; Soil; Biocatalysts; Enzyme additive.

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro – Brasil, e-mail: poliana.tonieto@coc.ufrj.br; e-mail: laura@coc.ufrj.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

O modal rodoviário proporciona o principal meio de transporte no Brasil, seja para o deslocamento de pessoas ou para o transporte de cargas, exercendo um papel fundamental na economia e no desenvolvimento do país. Assim, torna-se necessário manter pelo maior tempo possível o estado operacional dos pavimentos rodoviários a fim de garantir níveis adequados de conforto e segurança da via aos usuários.

Deste modo, investir em melhorias dos projetos, seleção dos materiais de pavimentação, técnicas de conservação e aperfeiçoamento dos procedimentos. A busca de novas tecnologias pode evitar a degradação precoce dos pavimentos, melhorar as condições de tráfego, reduzir custos dos serviços de transporte além de preservar o bem-estar do usuário.

A Confederação Nacional do Transporte avaliou 85,4 mil km de rodovias de gestão pública e 71,80% foram classificados como regular, ruim ou péssimo, com problemas no pavimento, na geometria da via ou na sinalização. Pavimentos inadequados implicam em maiores gastos com manutenção de veículos e maior consumo de combustível, acrescentando em média 30,9% ao custo final do transporte (CNT, 2021).

Os custos dos usuários, nem sempre são evidentes, mas os custos da manutenção sim. De acordo com CNT (2021), houve redução de 21,6% nos investimentos em rodovias brasileiras, em parte pela escalada do preço do barril de petróleo que teve acréscimo de 159%, associado à desvalorização da moeda brasileira frente ao dólar (ANP, 2021).

O aumento progressivo dos gastos atua como força impulsionadora por tecnologias mais eficientes e mais baratas. Exemplo disso foi a criação do programa Proálcool em 1975 que serviu para amenizar a crise no setor sucroalcooleiro (LEITE; CORTEZ, 2022).

O revestimento asfáltico representa o maior custo quando comparado às demais etapas da pavimentação, e o aumento no preço do petróleo leva à redução de investimentos no setor, e buscam-se técnicas que visem baratear os custos da implantação do pavimento. Entre essas técnicas está o uso de aditivos enzimáticos.

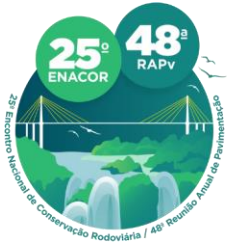
No entanto, as referências sobre este uso apresentam resultados contraditórios, por ausência de padronização ou falta de dados sobre as técnicas utilizadas. Divergência nos resultados publicados não permitem concluir que tipo de produto se adapta melhor a cada situação ou mesmo se tais produtos apresentam resultados positivos. Outro aspecto é o clima local, visto que esse produto estrangeiro foi testado em climas e ambientes diferentes do Brasil. O clima afeta a formação dos solos, sendo comum no Brasil os solos zonais lateríticos.

A estabilização de solos pode ser dividida em métodos mecânicos (estabilização granulométrica e compactação) e métodos físico-químicos, por meio de incorporação de aditivos seguido da compactação (LOVATO, 2004).

Muitos produtos industrializados são oferecidos para melhoria das características dos solos locais, sendo os clássicos o cimento Portland e a cal hidratada. Pela sua ampla utilização eles são utilizados como comparação para os demais estabilizantes.

Entre os produtos estrangeiros com esse propósito encontram-se alguns como Con-Aid/CBR Plus®, o Perma-zyme® e o Terra-Zyme®. Embora os fabricantes defendam as vantagens técnicas e econômicas de seus produtos, estudos recentes apresentam resultados de desempenho discordantes.

Frezza e Arns (2015) avaliaram o produto Con-Aid/CBR Plus® observando aumento da resistência de um solo após a estabilização. Já Maestri (2018) avaliou o mesmo produto e não encontrou alterações nas propriedades físicas do solo estudado por ele.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Milburn e Parsons (2004) estudaram o aditivo Perma-zyme® para ciclos de congelamento e descongelamento, não observando melhoria na rigidez do solo, enquanto Zidan; Aboukhadra e Gaber (2019) notaram aumento do módulo de resiliência do solo tratado comparado ao solo original.

O produto Terra-Zyme® foi avaliado por Gui; Li e Li (2013) que mostraram aumento nos valores de rigidez do solo. O mesmo resultado não foi obtido por Chaurasia; Mishra e Pawar (2020) ao testarem o mesmo produto com outro solo.

Chen; Bilyeu e Murphy (2001) examinaram o produto EMC Squared® e não constataram aumento de rigidez comparando o solo tratado e não tratado. Já Xue *et al.* (2022) avaliaram diversos produtos convencionais e não tradicionais concluindo que os estabilizantes enzimáticos se sobressaíram nos resultados considerando redução de custos e aumento no desempenho do solo.

Nesse contexto, esta pesquisa avaliou os resultados do processo de estabilização de solo feito com a aplicação de um produto enzimático em três trechos experimentais implementados em 2021 em Guarapuava, região central do Paraná. Na execução, parte do solo do trecho foi misturada com o biocatalizador *Eath Materials Catalyst* (EMC Squared®) formando a base do pavimento, com subsequente construção de revestimento asfáltico em dois dos segmentos.

Este tipo de catalisador figura entre as técnicas que propõem uma alternativa custo-efetiva e de menor impacto ecológico na pavimentação. Como controle para o estudo, um segmento da mesma via foi pavimentado sem o processo prévio de estabilização. A partir deste ponto utiliza-se o termo “produto” para designar este material testado. O acompanhamento dos segmentos construídos é comparado com a previsão de desempenho feita no dimensionamento.

São apresentados aspectos construtivos dos segmentos e resultados de ensaios mecânicos em laboratório para comparação do desempenho através de verificações mecanicistas com o uso do software MeDiNa.

A implantação dos segmentos experimentais foi realizada em 2021, embasada somente nos ensaios tradicionais passíveis de serem realizados na região da obra, como o ensaio CBR.

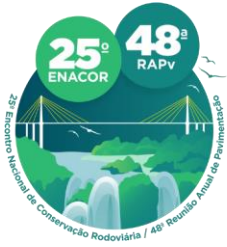
Os ensaios de módulo de resiliência foram realizados na COPPE/UFRJ posteriormente à construção dos trechos e mais detalhes podem ser obtidos em Cittadella (2023).

ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O local escolhido pela Secretaria de Obras do município de Guarapuava para a execução dos trechos experimentais foi a Estrada do Gasparetto, considerando o tráfego gerado em períodos de colheita. O escoamento da safra no município ocorre em dois períodos no ano: a maior safra acontece no verão, em fevereiro e março, decorrente da colheita da soja e do milho, e a safra de inverno em outubro e novembro, sendo o trigo e a cevada.

O tratamento do solo com o estabilizante químico nos trechos experimentais foi realizado entre os dias 21 e 24 de julho 2021. Por questões burocráticas, a execução do revestimento asfáltico foi realizada somente na data de 27 de outubro de 2021.

A Figura 1 apresenta a relação dos trechos experimentais executados, com suas respectivas dimensões e espessuras. A aplicação como camada de base seguiu as orientações disponibilizadas pela empresa distribuidora do produto que foi dissolvido em água direto no caminhão tanque e, em seguida, aspergido no trecho a ser compactado. A taxa de aplicação recomendada pelo fabricante é de um litro para cada 30 m³ do solo. Após finalizado o espargimento foi realizada a homogeneização do solo, na espessura de 30 cm seguido do processo de compactação do solo +



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



produto. A execução foi realizada pelo corpo técnico do município de Guarapuava, contando com o acompanhamento dos engenheiros da empresa fabricante.

Na Figura 2 são apresentadas fotografias dos trechos executados durante a construção, e na Figura 3, são apresentadas fotos de julho de 2022, observando que até essa data, não havia sido executado nenhum tipo de dispositivo de drenagem e pequenos defeitos já começavam a aparecer, especialmente onde não tem revestimento asfáltico.

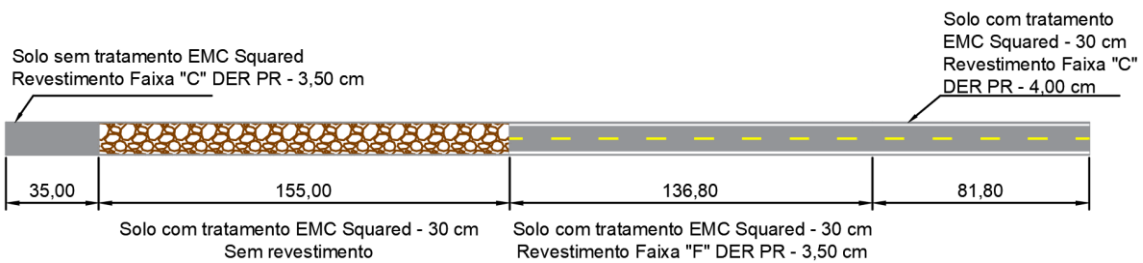
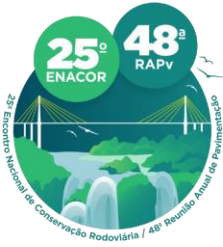


Figura 1. Esquema dos trechos experimentais executados nesta pesquisa.





19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 2. Fotografias da etapa construtiva dos segmentos experimentais (BEMBEN, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

Solo e produto

Para a avaliação da eficácia do produto foram realizadas análises em campo e em laboratório.

Para comparação das propriedades do solo in natura com o solo com o tratamento com o produto, foram realizadas coletas de material no mesmo local da execução dos trechos experimentais, localizado no município de Guarapuava – PR, coordenadas: 25°23'23.6"S, 51°33'43.7"W.

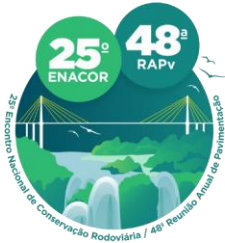
O solo apresenta aspecto argiloso de tonalidade marrom, classe A7-5 da classificação HRB, e na classificação MCT como não laterítico, enquadrando-se como NG'. Foi realizada a granulometria por sedimentação obtendo: 43% de silte, 24% de argila, 28% de areia fina, 3% de areia média e 2% de areia grossa. Na Figura 4 é apresentado o solo utilizado nesta pesquisa.



Figura 3. Solo presente no horizonte do trecho experimental, sem destorroamento.

O produto utilizado no trecho experimental foi fabricado pela *Stabilization Products LLC*, da Califórnia - USA e distribuído no Brasil pela empresa Base Forte®.

Este produto conhecido como biocatalizador de partículas de solo, é fornecido de forma líquida superconcentrado. De acordo com o fabricante é constituído por enzimas naturais obtidas por processo de fermentação, usado para melhorar algumas propriedades dos solos: aumento de densidade, cimentação dos grãos, resistência à umidade e aumento da capacidade de suporte.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Em uma avaliação laboratorial o produto indicou ter pH de 4,9, sendo ácido, diferente do que informa o fabricante.

Módulo de Resiliência

Foram realizados ensaios mecânicos de carga repetida a fim de verificar se houve ganho de rigidez com o uso do produto.

Para a determinação do módulo de resiliência (MR) do solo e solo + produto foi seguida a norma DNIT 134/2018-ME. Neste ensaio são aplicados vários pares de tensão, sendo realizada a média das leituras de cada par de tensão e calculado o MR pela equação 01:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (01)$$

Onde:

MR é o módulo de resiliência, expresso em MPa;

σ_d é a tensão desvio que o corpo de prova é submetido, expressa em MPa;

ϵ_r é a deformação recuperável, (mm/mm).

Os ensaios foram realizados de modo a reproduzir as condições executadas em campo sendo adotado apenas a dosagem convencional recomendada pelo fabricante, ou seja, a adição de 5% do produto em água que será utilizada no solo para obter a umidade ótima. Também foram realizados ensaios com o solo sem o tratamento com o estabilizante.

Os ensaios foram realizados com três teores de umidade distintos, um corpo de prova com teor abaixo da umidade ótima, um corpo de prova na umidade ótima e outro com teor um pouco acima da ótima. Assim foi possível a caracterização de variadas condições de campo, considerando que não foram realizadas *in loco* nenhum controle tecnológico durante a execução das obras, sendo a liberação dos segmentos feita de modo visual.

Deformação Permanente

Para o ensaio de deformação permanente é seguido o modelo de análise proposto por Guimarães (2009) e normativas contidas na instrução de ensaio DNIT nº 179/2018, cujo objetivo é a previsão da ruptura por afundamento de trilha de roda do pavimento após o período de vida útil.

Este ensaio se assemelha ao ensaio de módulo de resiliência nos procedimentos de moldagem do corpo de prova e na montagem do equipamento, diferindo pelas tensões aplicadas, frequência de carregamento e condicionamento dos corpos de prova.

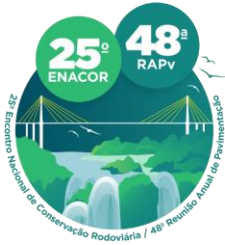
A representação do modelo de Guimarães (2009) descreve de modo satisfatório o comportamento do material através do ensaio triaxial de solos pela seguinte expressão:

$$\epsilon_p(\%) = \psi_1 \cdot \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0}\right)^{\psi_2} \cdot \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0}\right)^{\psi_3} \cdot N\psi_4 \quad (02)$$

Onde:

$\epsilon_p(\%)$ é a deformação permanente específica;

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ são os parâmetros de regressão;



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



σ_3 é a tensão confinante;

σ_d é a tensão desvio.

ρ_0 é a tensão de referência (atmosférica);

N é o número de ciclos de aplicação de carga.

RESULTADOS

Módulo de Resiliência

Os valores de módulo de resiliência médios do solo puro e do solo + produto apresentam a mesma ordem de grandeza, como pode ser visualizado nas Figuras 5 e 6. Em termos de não linearidade, percebe-se que o produto, logo após compactado, é mais sensível ao aumento de tensões diminuindo o MR com o aumento da tensão desvio. Além disso, observa-se no expoente por idade de cura que o material tratado com o produto tende a ser menos sensível às tensões, mas sem ganho expressivo de rigidez. Também se mostra que o solo e solo + produto têm influência tanto da tensão confinante quanto da tensão desvio, sendo melhor representado pelo modelo composto. Optou-se por indicar nas figuras os modelos em função da tensão desvio somente porque visualmente já são visíveis as semelhanças entre os valores do MR.

Os gráficos da Figura 6 (a) e (b), mostram que, se o material for utilizado como base, a tensão desvio é alta por estar mais próximo ao contato das rodas, ou seja, o material apresentará uma condição de rigidez mais baixa. Já, se este material for utilizado como subleito ou reforço do subleito, haverá uma condição de rigidez ligeiramente mais elevada, porém de mesma ordem de grandeza.

Na Tabela 1 apresentam-se os modelos de comportamento do MR em função das tensões confinantes e desvio simultaneamente, por melhores ajustes, e por serem estas expressões utilizadas no programa MeDiNa para cálculo das tensões e das deflexões, subsequentemente comparadas às medidas em campo. Para o solo com o produto, percebe-se ligeira melhoria no comportamento do MR com a cura.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos de MR em função da tensão confinante e da tensão desvio simultaneamente para as amostras desta pesquisa.

Amostra	Umidade (%)	MR = k1 σ_3^{k2} σ_d^{k3}			R ²
		k1	k2	k3	
Subleito	-	24,054	0,212	-0,755	0,851
Solo (ramo seco)	27,0	112,656	0,238	-0,333	0,346
Solo (umidade ótima)	29,5	113,790	0,219	-0,385	0,346
Solo (ramo úmido)	31,5	55,462	0,034	-0,580	0,589
Solo + produto (imediate)	28,7	48,017	0,367	-0,803	0,683
Solo + produto (7 dias cura)	28,7	63,864	0,174	-0,591	0,627
Solo + produto (12 dias cura)	28,7	118,942	0,303	-0,420	0,497



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

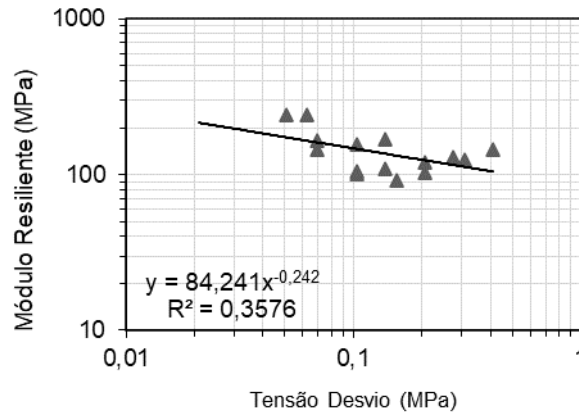
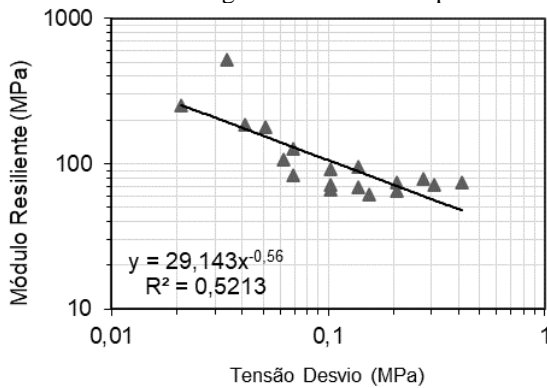
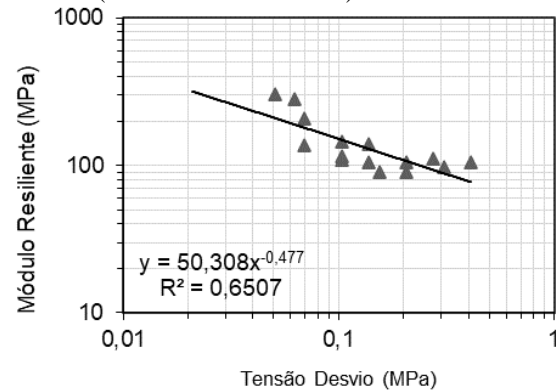


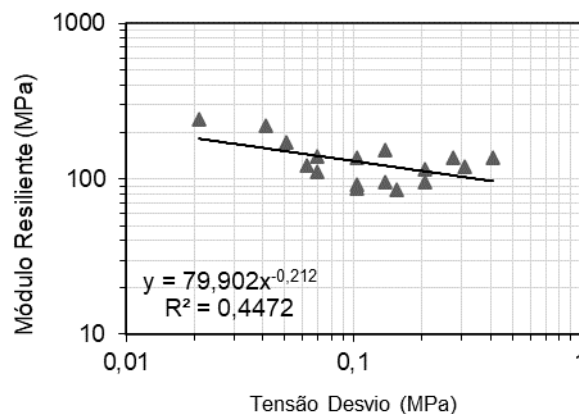
Figura 4. MR do solo puro na umidade ótima (MR médio = 143 MPa).



(a) Ensaio imediato após a compactação - MR médio= 127 MPa



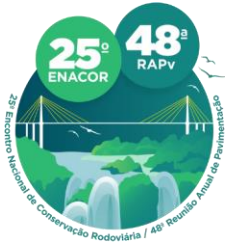
(b) Ensaio após 7 dias de cura - MR médio= 143 MPa.



(c) Ensaio após 12 dias de cura - MR médio 133 MPa.
Figura 5. MR do solo + produto em três idades de cura.

Deformação Permanente do Solo

A realização deste ensaio ficou um tanto comprometida porque não se dispunha de quantidade suficiente do produto. Deste modo, levando em consideração que os valores obtidos do módulo de resiliência foram semelhantes para solo puro e solo + produto, optou-se por realizar o ensaio somente com o solo puro na umidade ótima, condição favorável quanto à deformações.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Foram efetuadas 150.000 aplicações de ciclos de carga, com frequência de 2 Hz, em 6 dos 9 pares de tensões propostos na normativa do DNIT.

A Figura 7 apresenta os resultados acumulados de deformação permanente em função do número de ciclos de carga aplicados no ensaio.

Ao analisar os resultados obtidos nos pares de tensões, nota-se o mesmo padrão de comportamento das curvas que apresentam elevada deformação nas primeiras aplicações, seguido do acomodamento ou estabilização ao longo dos ciclos, representado por curvas praticamente paralelas ao eixo horizontal.

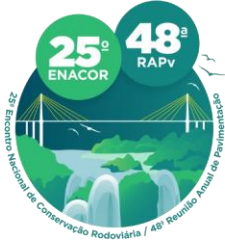
Também se observa um acúmulo maior de deformação permanente na amostra com o aumento da tensão vertical aplicada e com o crescimento da relação σ_d / σ_3 de cada corpo de prova do ensaio. A deformação máxima é obtida no ensaio nº 09 cuja tensão confinante é de 120 kPa e a tensão desvio é de 360 kPa, resultando em 6,03 mm. Este valor é considerado como elevado ao se comparar a contribuição no afundamento de trilha de roda na construção de uma base de 20 cm de espessura, apresentando a contribuição de 46,38% do valor admissível de 13 mm adotado como padrão no dimensionamento do método MeDiNa, no pavimento com revestimento. No caso do trecho sem revestimento é possível então que haja maiores ATR.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lima (2020) ao ensaiar um solo NG', que apresentou maior deformação acumulada com o aumento da relação de tensões nos ensaios.

Considerando que o produto foi desenvolvido para melhorar solos naturais para uso em camadas de base ou sub-base, a tensão desvio é um fator primordial para o desempenho do pavimento. Materiais convencionais de base, como a brita graduada, se caracterizam por baixa susceptibilidade à deformação permanente, obtendo-se em média 1 mm de contribuição para o ATR (GUIMARÃES, 2009). Assim, pode-se considerar que essa contribuição de 6 mm do material usado na base é alta tendo em vista que a espessura do revestimento é pequena.

Na Figura 8 são representadas as curvas de deformação permanente do solo interpretadas de forma a estimar se tendem ao acomodamento (*Shakedown* em inglês). Com exceção do ensaio 06, as amostras apresentaram comportamento do tipo A, com acomodamento. O ensaio 06 tem comportamento do tipo AB, os primeiros ciclos apresentam escoamento plástico tipo B e, à medida que o número de aplicações de carga aumenta, apresenta-se tipo A, com estabilização do acréscimo das deformações permanentes, mas já com valores elevados de contribuição para o ATR.

O módulo de resiliência resultante do ensaio de deformação permanente é apresentado na Figura 9. Pode-se constatar a forte influência do estado de tensões, inversamente proporcional a relação σ_d / σ_3 , pois, ao crescer a tensão desvio, observa-se uma redução do módulo resiliente. Os maiores valores são observados nos ensaios 1 e 3, menor relação entre as tensões. A ordem de grandeza do módulo de resiliência obtido após o grande número de ciclos de carga do ensaio de DP, aumentou em relação ao observado no ensaio específico de MR (Fig. 5), resultante da sobre compactação durante o ensaio que, eventualmente, pode acontecer também em campo.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br

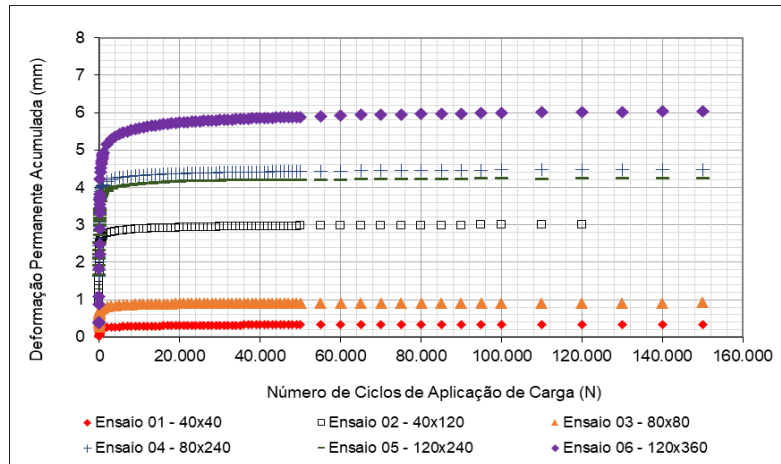


Figura 6. Curva de deformação permanente acumulada do material por número de ciclos de aplicação de carga. Tensão Confinante x Tensão Desvio (ambas em kPa).

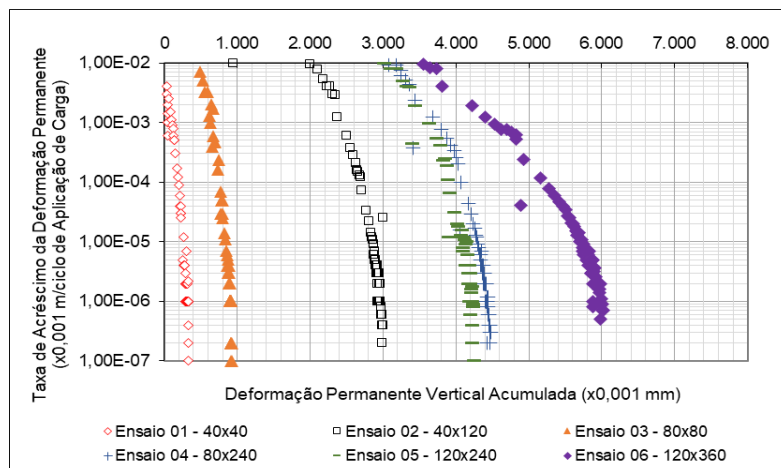


Figura 7. Ocorrência de Shakedown. Curva da taxa de acréscimo de deformação permanente.

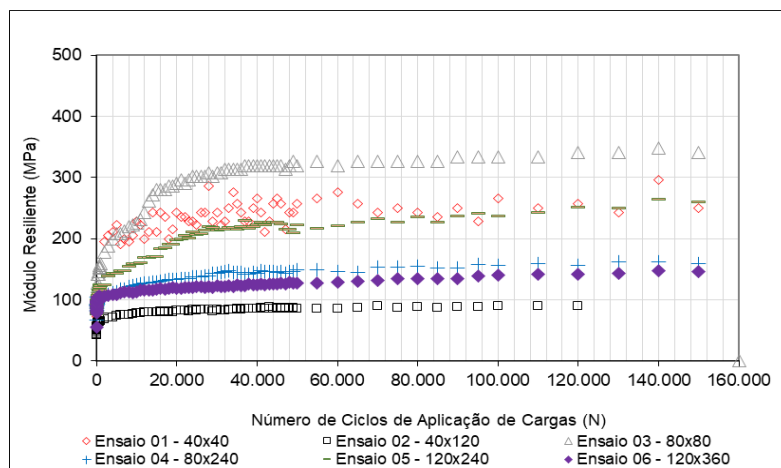


Figura 8. Módulo de resiliência obtido durante o ensaio de deformação permanente em MPa.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



CONCLUSÃO

A introdução de novas técnicas de estabilização de solos na área de pavimentação é sempre muito valiosa, visto que ainda se tem no Brasil milhares de quilômetros a serem pavimentados. Por conta disso, incentivos à utilização de novos produtos sempre devem ser feitos, no entanto lembrando que a formação dos solos tropicais difere de solos de locais de clima temperado ou frio. Em termos de estabilizantes químicos, nem sempre há sucesso quando utilizados por vezes sem estudos prévios ou mesmo sem controle adequado no campo. Ensaio de módulo de resiliência são mais adequados do que o ensaio CBR para avaliar os materiais de pavimentação, especialmente os estabilizados quimicamente. A busca de menor impacto ambiental também é um critério a ser considerado.

Nesta pesquisa, foram constatados resultados semelhantes na condição do solo puro e do solo com a adição do produto analisado, seja através da análise em campo, como também, em laboratório. Assim, não é possível afirmar que houve estabilização química para este tipo de solo, já que o ganho de rigidez foi pequeno ao se considerar o desempenho em campo após alguns meses, com ligeiro decréscimo das deflexões.

Os resultados apresentados nesta pesquisa estão consistentes com os apresentados por Chen; Bilyeu e Murphy (2001), que realizaram comparações entre o material tratado e não tratado e, também, não observaram aumento de rigidez com o uso do mesmo produto aqui analisado.

Nos segmentos com revestimento asfáltico há proteção à entrada de água o que favorece a durabilidade do pavimento. É necessário avaliar se, para volume baixo de tráfego, o custo de aplicar o produto e ainda fazer o concreto asfáltico se justificaria caso o desempenho do trecho ao longo dos 10 anos previstos continuar adequado. Também é importante acompanhar os segmentos implantados de forma a observar ao longo do tempo a ocorrência ou não de mudanças nas condições funcionais ou estruturais dos segmentos, o efeito do clima de longo prazo, além de possíveis mudanças no tráfego na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, I. S.; FERREIRA, E. A.; SEVALHO, E. D. S. **Uso de Enzimas para Estabilização de Solos**. Revista Interscientia, p. 102-114. 2019.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Levantamento de Preços**. Brasília. 2021.
- BASE FORTE. EMC Squared: Pavimentação Econômica. Brasil, 2022. Disponível em: <www.baseforte.net/producto.html> Acesso dia 12 de julho de 2022.
- BRAZETTI, R. **Considerações sobre a influência de distintos aditivos orgânicos nas características micromorfológicas, mineralógicas, físicas, mecânicas e hidráulicas de um solo laterítico**. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes. São Paulo: Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. 1998.
- BRAZETTI, R. **Contribuição ao Entendimento dos Mecanismos de Estabilização de Solos com Enzimas**. Relatório final de projeto de pesquisa de pós-doutorado. Rio de Janeiro, p. 56. 2013.
- CHAURASIA, V. S.; MISHRA, A. V.; PAWAR, A. U. **Stabilization of soil using Terrazyme for Road Construction**. International Research Journal of Engineering and Technology. Vol.: 07, Issue: 04. 2020.
- CHEN, D.-H.; BILYEU, J.; MURPHY, M. **Stiffness evaluation of chemical stabilizers used in the Dallas and Austin Districts**. National Center for Asphalt Technology. Auburn, United States. 2001.
- CITTADELLA, P. **Análise técnica e comparativa da estabilização de solos com uso de enzimas na pavimentação**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: UFRJ. (COPPE/URFJ). 2023, 153 p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias**. SEST SENAT. Brasília., 2021.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **134 - ME – Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.** Brasil. 2018.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **179 – IE – Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio.** Brasil. 2018.
- FREZZA, B. S.; ARNS, P. **Estabilização de Solo Arenoso com Aditivo Con-Aid® CBR-PLUS®.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2015.
- FRISTSCHER, S. V. **Estabilização de Solo Residual de Lajeado com adição de cimento e cinza de casca de arroz.** Graduação em Engenharia Civil. Lajeado: Centro Universitário Univates. 2016.
- GUI, L.; LI, Y.-J.; LI, Z.-G. **Road performance test and application of TerraZyme solidification soil.** Applied Mechanics and Materials. Switzerland, p. 452-462. 2013.
- GUIMARÃES, A. C. R. **Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/URFJ). 2009.
- KOLHE, P. V.; DHATRAK, A. I. **Unconfined compressive strength of bio-enzymatic treated expansive (BC) soil.** Materials Today: Proceedings, p. 6809-6813. 2022.
- LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. O etanol: Combustível no Brasil. **Embrapa**, 2022. Disponível em: www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf. Acesso em 2022.
- LIMA, C. D. A. **Avaliação da Deformação Permanente de materiais de pavimentação a partir de ensaios triaxiais de cargas repetidas.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). 2020, p. 452.
- LOVATO, R. S. **Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação.** UFRGS. Porto Alegre, p. 164. 2004. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil).
- MAESTRI, F. R. **Análise da influência do aditivo químico estabilizante CON-AID® CBR-PLUS® nas propriedades de um Solo Residual de Gnaisse utilizado como subleito de vias permanentes.** Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, p. 76. 2018. (Graduação em Engenharia Ferroviária e Metroviária).
- MILBURN, J. P.; PARSONS, R. L. **Performance of Soil Stabilization Agents.** Final Report K-TRAN: KU-01-8. Kansas City, MO United States. 2004.
- OLIVEIRA, E. D. **Emprego da Cal na Estabilização de solos finos de baixa resistência e alta expansão: Estudo de caso no município de Ribeirão das Neves/MG.** Dissertação de Mestrado. UFSC. 2010.
- SAMPAIO, I. S. **Estabilização Enzimática de Solo para Pavimento de Estradas Florestais.** Dissertação de mestrado em Ciência Florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2019.
- SHANKAR, U. R.; RAI, H. K.; MITHANTHAYA, R. **Bio-Enzyme Stabilized Lateritic Soil as a Highway Material.** Journal of the Indian Roads Congress. Paper nº 553, p. 143-151. 2009.
- XUE, Z. *et al.* **Low-Cost Rural Surface Alternatives Phase III: Demonstration Project.** Technical Report Documentation. Ames, IA, United States: Transportation Research Board – TRB. 2022, p. 316.
- ZIDAN, A. F.; ABOUKHADRA, A. A.; GABER, Y. **Enhancement of resilient modulus of cohesive soil using an enzymatic preparation.** Journal of Central South University. 26, p. 2596–2608. 2019.