



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS SOLO-RAP PELO ENSAIO DE MULTIESTÁGIOS

Isabela de Jesus Santos¹; Mario Sergio de Souza Almeida²; Acbal Rucas Andrade Achy²; Weiner Gustavo Silva Costa²; Mateus Ribeiro Caetano³ & Gisandra Faria de Paula³

RESUMO

Quando um veículo passa sobre o pavimento, ele aplica uma carga na superfície que induz estados de tensões ao longo da profundidade das camadas desta estrutura. No entanto, o estado de tensão gerado em cada ponto das camadas geotécnicas do pavimento promove a ocorrência de deslocamentos, em que parcela deles se tornarão deformações permanentes, especialmente no caso do tráfego, onde as cargas são aplicadas repetidamente ao longo do tempo. Desta forma, torna-se crucial a realização do ensaio de deformação permanente em laboratório, com o objetivo de prever o comportamento dos materiais em campo e, assim, avaliá-los quanto à sua deformabilidade plástica. Diante disto, este trabalho tem por objetivo analisar a deformação permanente determinada com uso da metodologia de ensaios cíclicos do tipo *Repeated Load Triaxial* (RLT), conhecido como multiestágio, em misturas de solo com *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), nos teores de 50% e 80% de RAP. O programa experimental realizado em laboratório consistiu na realização dos ensaios de caracterização geotécnica, mini-MCV e perda de massa por imersão, além dos ensaios dinâmicos de deformação permanente pelo método RLT. Os resultados demonstraram que o RLT é promissor para a seleção de materiais utilizados em pavimentação, carecendo de um maior número de testes comparativos para sua validação.

PALAVRAS-CHAVE: Deformação permanente; Ensaio dinâmico; Multiestágio; Solo-RAP.

ABSTRACT

When a vehicle passes over the pavement, it applies a load to the surface that induces stress states throughout the depth of the pavement layers. However, the stress state generated at each point of the geotechnical layers promotes the occurrence of displacements, some of which will become permanent deformations, especially in the case of traffic, where loads are repeatedly applied over time. Thus, it becomes crucial to conduct permanent deformation tests in the laboratory in order to predict the behavior of materials in the field and, consequently, classify them according to their deformability. In other words, the laboratory procedure aims to assess the ability of a material to withstand permanent deformation under the traffic loads throughout the pavement's lifespan. Therefore, this study aims to evaluate the permanent deformation determined using the cyclic testing methodology known as *Repeated Load Triaxial* (RLT), also known as multi-stage, on soil mixtures with *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) at 50% and 80% RAP contents. The experimental program conducted in the laboratory consisted of geotechnical characterization tests, mini-MCV tests, immersion loss tests, and dynamic permanent deformation tests using the RLT method. The results demonstrated that RLT shows promise for selecting materials used in pavement construction, although further comparative testing is needed for validation.

KEY WORDS: Deformability; Dynamic tests; Soil-RAP.

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: isabela@aluno.ufrb.edu.br.

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, e-mail: mario.almeida@ufrb.edu.br; acbal@ufrb.edu.br; weiner@ufrb.edu.br.

³ Universidade de Brasília, e-mail: mateusribeirocaetano@gmail.com; gisandrafp@gmail.com.



INTRODUÇÃO

Ao longo da sua vida útil, o pavimento é exposto a diversos ciclos de cargas, resultando no surgimento de patologias. No Brasil, comumente são encontrados danos no pavimento asfáltico por fadiga que é causada principalmente pelas solicitações repetidas do tráfego, proporcionando o aparecimento de trincas no revestimento, e a deformação permanente que ocorre quando há uma deformação plástica nas camadas do pavimento, podendo gerar depressões ou ondulações, conhecidas como afundamento de trilha de roda (ATR) (GUABIROBA *et al.*, 2023).

No dimensionamento de pavimentos asfálticos, muitas vezes, há uma ênfase considerável na análise da fadiga, enquanto mecanismos de degradação, como ATR, são frequentemente subestimados.

A introdução do novo Método de Dimensionamento Nacional Mecânico-Empírico (MeDiNa), que emprega dados experimentais, tem gerado uma demanda mais significativa pela realização dos ensaios dinâmicos como o de deformação permanente (DP). Este ensaio, focado em testes triaxiais de carga repetida, tornou-se essencial para o dimensionamento adequado do pavimento flexível. (SANTOS; SILVA; GUIMARÃES, 2021).

Em 2018, foi criada no Brasil a norma DNIT179-IE (DNIT, 2018), que descreve detalhadamente o método de ensaio de DP, como também estabelece critério para verificação do acomodamento destas deformações (*shakedown*).

Esta norma especifica a aplicação de, no mínimo, 150.000 ciclos de cargas para cada corpo de prova (CP), em 9 diferentes pares de tensões. Além disto, a frequência de aplicação de cargas recomendada na norma é de 2 Hz (120 ciclos por minuto), podendo ser utilizada frequência de 1 até 5 Hz, ajustando somente o intervalo de repouso com duração do pulso de carga para qualquer frequência de 0,1 segundo.

No entanto, este ensaio demanda um extenso período de tempo, mão de obra e uma grande quantidade de material, o que torna o procedimento pouco eficiente. No âmbito internacional, alguns países já consideram a otimização deste processo com a realização do ensaio em múltiplos estágios, ou seja, com a utilização de um único CP para aplicação de diferentes pares de tensões, variando o número de ciclos (CABRAL *et al.*, 2021).

Na norma europeia EN 13286-7 (CEN, 2004), é prevista a utilização do equipamento de ensaio triaxial de carga repetida em múltiplos estágios (RLT – *Repeated Load Triaxial Tests*), o que possibilita uma avaliação rápida da deformação permanente causada por carregamentos cíclicos de diferentes magnitudes, realizados em um único CP. Já a norma neozelandesa NZTA T15:2014 (NZTA, 2014) define a aplicação de seis estados de tensões, permitindo a realização de até 50.000 ciclos de carregamento para cada par de tensões especificado.

Ao longo dos anos, diversos estudos vêm buscando otimizar o ensaio de deformação permanente utilizando o método RLT, como os autores Song (2010); Erlingsson e Ramhan (2013); Khasawneh (2020); Li *et al.* (2021); Maghool *et al.* (2022); Ben *et al.* (2023) e Caetano (2024).

Cabral *et al.* (2022) avaliaram dois tipos de solos distintos e uma mistura solo-brita, oriundos da microrregião de Mossoró, situada no estado do Rio Grande do Norte (RN), Brasil. Os autores realizaram o ensaio RLT com a aplicação de 10.000 ciclos de carregamentos, em frequência de 2 Hz e chegaram à conclusão de que a abordagem metodológica dos ensaios triaxiais com cargas repetidas em múltiplos estágios demonstrou ser eficaz na determinação dos valores da DP dos materiais investigados.

Nessa linha o presente estudo teve por objetivo avaliar de forma comparativa o comportamento de deformação permanente de misturas de um solo com *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), nos teores



de 50% e 80% de RAP, por meio de ensaio de deformação permanente realizados em múltiplos estágios.

MATERIAIS E MÉTODOS

Após a realização da coleta das amostras, o programa experimental constituiu-se da realização de ensaios de caracterização geotécnica, mini MCV e perda de massa por imersão (PI), ensaios de compactação e moldagem de corpos de prova (CP), nos parâmetros ótimos da energia Proctor intermediária, para realização de ensaios dinâmicos em multiestágio adaptado da NZTA T15:2014 (NZTA, 2014), em misturas solo-RAP, em teores de 50% e 80% de RAP. Com essas informações, buscou-se avaliar o comportamento desses materiais, de forma comparativa, em relação à deformação permanente sob as diretrizes da metodologia testada.

Local de coleta e caracterização geotécnica das amostras

O solo do presente estudo é um argiloso residual do granulito-gnaiss, aqui nomeado Regolito, coletado na área da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em Salvador, Bahia.

Posteriormente, para realização da caracterização geotécnica do solo, foram realizados os ensaios de granulometria por peneiramento DNER 080-ME (DNER, 1994), limite de liquidez DNER 122-ME (DNER, 1994), limite de plasticidade DNER 082-ME (DNER, 1994) e densidade real DNER 093-ME (DNER, 1994). O solo foi devidamente preparado para cada ensaio de acordo com o DNER 041-ME (1994). Além disto, foram realizados ensaios para classificação pela metodologia MCT (Miniatura, Compactada, Tropical), DNIT 258-ME (DNIT, 2023) e DNIT 259-CLA (DNIT, 2023). Os resultados de granulometria e limites de consistência também permitiram classificar o solo no método TRB.

O RAP utilizado no presente estudo é oriundo dos serviços de fresagem do revestimento primário da BR 101/BA, coletado durante a obra de restauração de segmento da rodovia.

Devido à heterogeneidade presente na formação do RAP, utilizou-se o material passante na peneira $\frac{3}{4}$ " (19,1mm). A caracterização deste material teve início com o ensaio de granulometria DNER 083-ME (DNER, 1998) e densidade real DNER 081-ME (DNER, 1998).

Foram testadas as misturas de solo-RAP, nos percentuais com 50% de RAP e 50% de Regolito e com 80% de RAP e 20% de Regolito, calculados em relação a massa seca da mistura. De posse dos resultados da granulometria por peneiramento do solo e do RAP, individualmente, foram determinadas as granulometrias das misturas, considerando os percentuais de cada material (solo e RAP) nas diferentes misturas. Além disso, utilizou-se os valores percentuais do material passante na peneira #40, obtido da caracterização das amostras do solo e do RAP, em relação ao percentual de cada mistura, para realização dos ensaios de limite de liquidez DNER 122-ME (DNER, 1994) e limite de plasticidade, DNER 082-ME (DNER, 1994). As porcentagens das misturas estão ilustradas na Figura 1.

Os ensaios de compactação das amostras para determinação da curva de compactação para obtenção da umidade ótima (w_{ot}) e massa específica seca máxima ($\rho_{dmáx}$) de cada amostra foram realizados conforme a norma DNIT 443-ME (DNIT, 2023), na energia Proctor intermediária (12,8 kg.cm/cm³).



(a) 50% de solo e 50% de RAP

(b) 20% de solo e 80% de RAP

Figura 1 – Ilustração das porcentagens das misturas utilizadas.

Deformação Permanente Multiestágio (RLT)

A metodologia DP convencional, estabelecida pela norma DNIT 179-IE (DNIT, 2018), demanda uma rotina de ensaios com duração aproximada de 9 dias, considerando a execução do ensaio por amostra na frequência máxima permitida de 5Hz, tornando o ensaio excessivamente moroso, além da elevada quantidade de material necessário para moldagem dos 9 CP. Neste sentido, utilizou-se o método de ensaio triaxial de carga repetida RLT, adaptado da NZTA T15:2014 (NZTA, 2014).

Este método foi avaliado de forma a permitir uma rápida avaliação da DP gerada por cargas cíclicas de diferentes magnitudes. Essa adaptação consistiu ensaiar um CP com aplicação da primeira tensão confinante (σ_3) prevista na DNIT 179-IE (DNIT, 2018), aplicando-se nele os três níveis de tensão desvio (σ_d) respectivos, previstos nesta mesma norma, de forma consecutiva, e 50.000 ciclos para cada uma das tensões desvio aplicadas. Repete-se este procedimento em dois outros CP, para o segundo e terceiro níveis de tensão confinante da DNIT 79-IE (DNIT, 2018). Isto reduz o número de CP necessários de 9 para 3, bem como de tempo total necessário para realização do ensaio de DP de 9 para 3 dias, fruto também da redução do número de ciclos de carga de 150.000 para 50.000. Assim, foram adaptadas as sequências de tensões σ_3 e σ_d estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estados de tensões indicados para determinação da deformação permanente. Adaptado DNIT 179-IE (DNIT, 2018).

σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)	
0,040	0,040	2
	0,080	3
	0,120	4
0,080	0,080	2
	0,160	3
	0,240	4
0,120	0,120	2
	0,240	3
	0,360	4

O processo de preparação de cada CP segue, nesta metodologia, as mesmas orientações contidas na DNIT 179-IE (DNIT, 2018). Sendo assim, após a etapa de compactação, cada CP foi levado para o



equipamento triaxial de carga repetida (Figura 2), para determinação da deformação permanente de cada amostra. Cabe destacar que o estágio de acomodação, previsto na DNIT 179-IE (DNIT, 2018), correspondendo a σ_3 e σ_d da ordem de 0,030 MPa, foi aplicado em cada CP apenas uma vez, antes do início do ensaio de DP propriamente dito em cada um deles. Todos os testes foram realizados na frequência de 5 Hz.



(a) Compactação do CP



(b) CP moldado



(c) CP no equipamento triaxial

Figura 2 – Procedimento da moldagem do Corpo de Prova.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das amostras

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de granulometria, LL, LP, IP, densidade real dos grãos (ρ_s), parâmetros ótimos de compactação (w_{ot} e $\rho_{dmáx}$), e as classificações AASHTO e MCT do solo.

Tabela 2 – Caracterização do solo.

Parâmetros	Resultados
LL (%)	89
LP (%)	49
IP (%)	40
ρ_s (g/cm ³)	2,73
w_{ot} (%)	29,32
$\rho_{dmáx}$ (g/cm ³)	1,47
AASHTO	A-7-5
Pi (%)	55
Classificação MCT	LG'

Observa-se, dos resultados apresentados na Tabela 2, tratar-se de um solo A-7-5 e, portanto, argiloso, não adequado, de acordo com a TRB, para utilização em subleito por ser um solo fino e altamente plástico, sujeito, portanto, a elevadas variações de volume.

Entretanto, pela metodologia MCT, o material foi classificado como LG', solo tipicamente argiloso, de comportamento laterítico, adequado para utilização em obras rodoviárias, sobretudo no subleito.



Na Tabela 3, têm-se os resultados dos ensaios de caracterização do RAP, relativos à granulometria, densidade real, compactação e plasticidade (IP).

Tabela 3 – Caracterização do RAP.

Parâmetros	Resultados
ρ_s (g/cm ³)	2,45
w _{ot} (%)	6,18
ρ_{dmax} (g/cm ³)	1,83
IP (%)	NP

Analisando-se a Tabela 3, observa-se que a massa específica aparente seca máxima alcançada pelo RAP, na energia intermediária, é menor que a apresentada no solo (Tabela 2).

Os resultados de granulometria do solo, do RAP e das misturas, além do respectivo enquadramento nas faixas granulométricas para uso em camada de base, conforme estabelece a DNIT 141-ES (DNIT, 2022), estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da granulometria das amostras e faixas granulométricas. Fonte: DNIT 141-ES (DNIT, 2022).

Misturas	Peneiras							Faixa DNIT
	2"	1"	3/8"	4	10	40	200	
% Passante								
Solo	100	100	98,58	97,89	96,80	86,46	73,62	-
50% RAP	100	100	87,98	73,00	60,60	46,65	37,16	-
80% RAP	100	100	81,62	58,06	38,89	22,76	15,28	C
100% RAP	100	100	77,38	48,10	24,40	6,83	0,70	-

Ao avaliar os resultados da granulometria do solo, RAP e misturas da Tabela 4, nota-se a existência de uma predominância de finos na composição do solo, com valor da ordem de 73,62% passante na peneira #200, ao passo que o RAP se apresenta como material granular, com apenas 0,70% passante nesta mesma peneira. Considerando-se a DNIT 141-ES (DNIT, 2022), a mistura de 80% enquadra-se para uso como camada de base, devidamente enquadrada na faixa C.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados da caracterização geotécnica das misturas, onde é possível observar uma tendência de crescimento da massa específica aparente seca máxima ($\rho_{dmáx}$), com o aumento do teor de RAP nas misturas de 50% e 80%, da ordem de 1,76 g/cm³ e 1,97 g/cm³, respectivamente. Em relação ao teor de umidade ótima (w_{ot}), entretanto, houve uma tendência de diminuição de 16,30% com 50% de RAP para 9,9% com 80% de RAP. Esta constatação corrobora com o aumento da densidade observado, indicando que os vazios da mistura solo-RAP estão sendo reduzidos e, por conseguinte, aumentando a capacidade de suporte. Este comportamento mostra-se coerente com os estudos efetuados por Alhaji e Alhassan (2018).

Tabela 5 – Caracterização das misturas.

Misturas	w _{ot} (%)	$\rho_{dmáx}$ (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	29,32	1,47	89	49	40
50% RAP	16,30	1,76	83	47	36
80% RAP	9,90	1,97	65	34	31
100% RAP	6,18	1,83	-	-	NP



Deformação Permanente

Na Figura 3, são apresentadas as curvas de deformação permanente acumulada dos ensaios de RLT. Pode-se observar que, dentre as duas amostras avaliadas, a mistura com 50% de RAP apresentou valores de deformação menores em relação à mistura com 80% de RAP com exceção do par de tensões 120 x 360 kPa. Isso pode ser melhor observado na Figura 4, onde são apresentados os deslocamentos permanentes após 50.000 ciclos de carregamentos de cada ensaio de DP. Na literatura, alguns trabalhos envolvendo deformação permanente em misturas solo-RAP foram realizados, tais como Lima *et al.* (2023), em que observaram a diminuição no valor de DP com o aumento do teor do RAP até 50% apenas nas misturas.

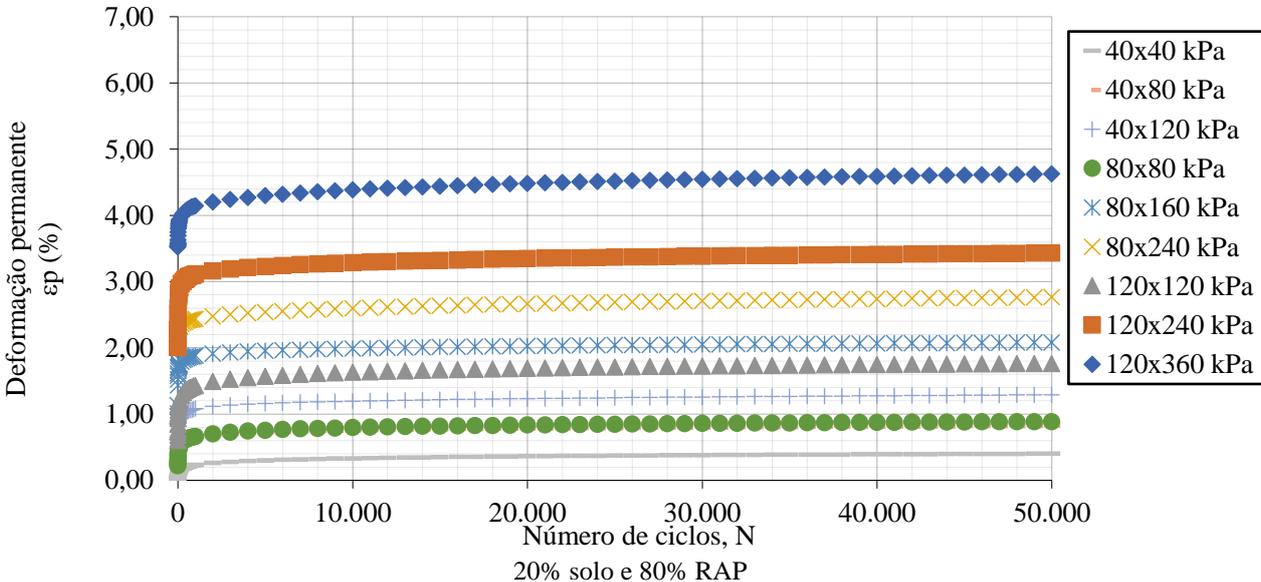
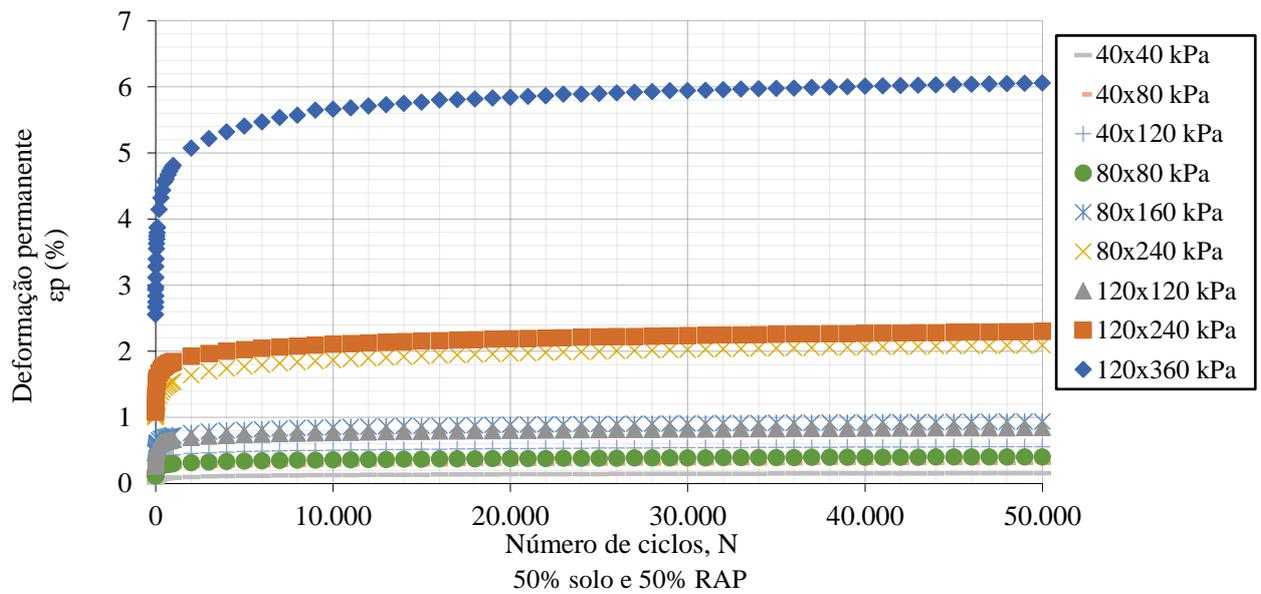


Figura 3 – Deformação permanente das amostras.

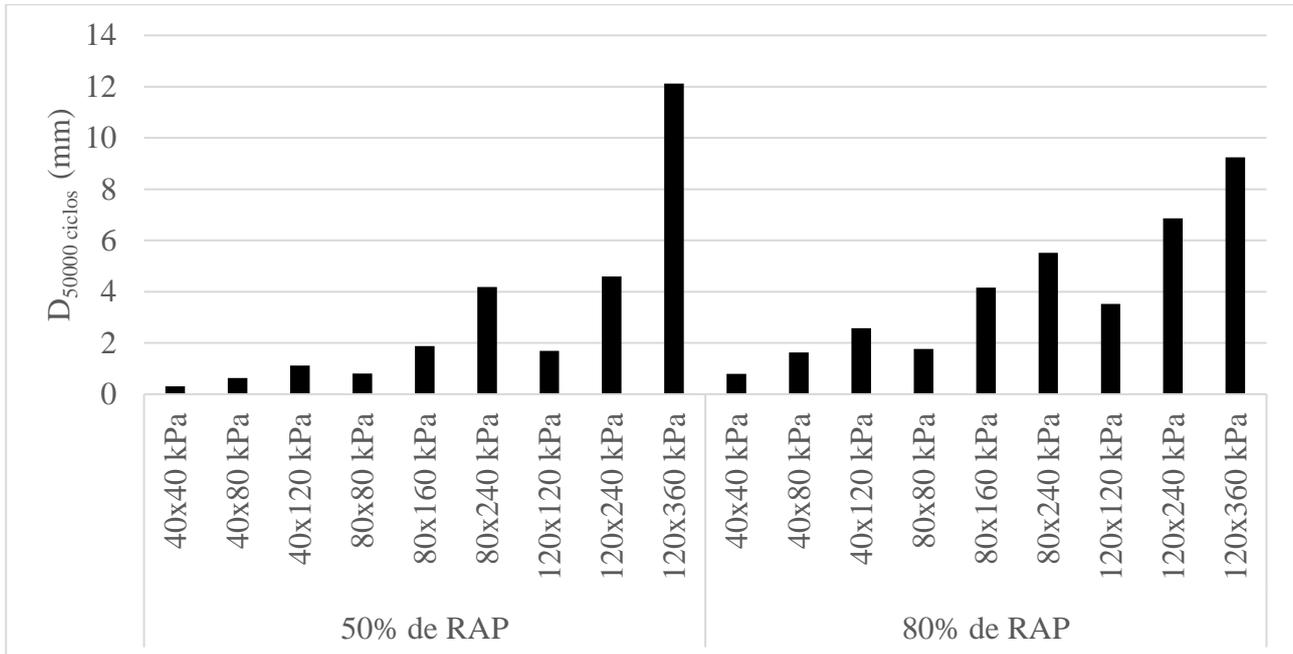


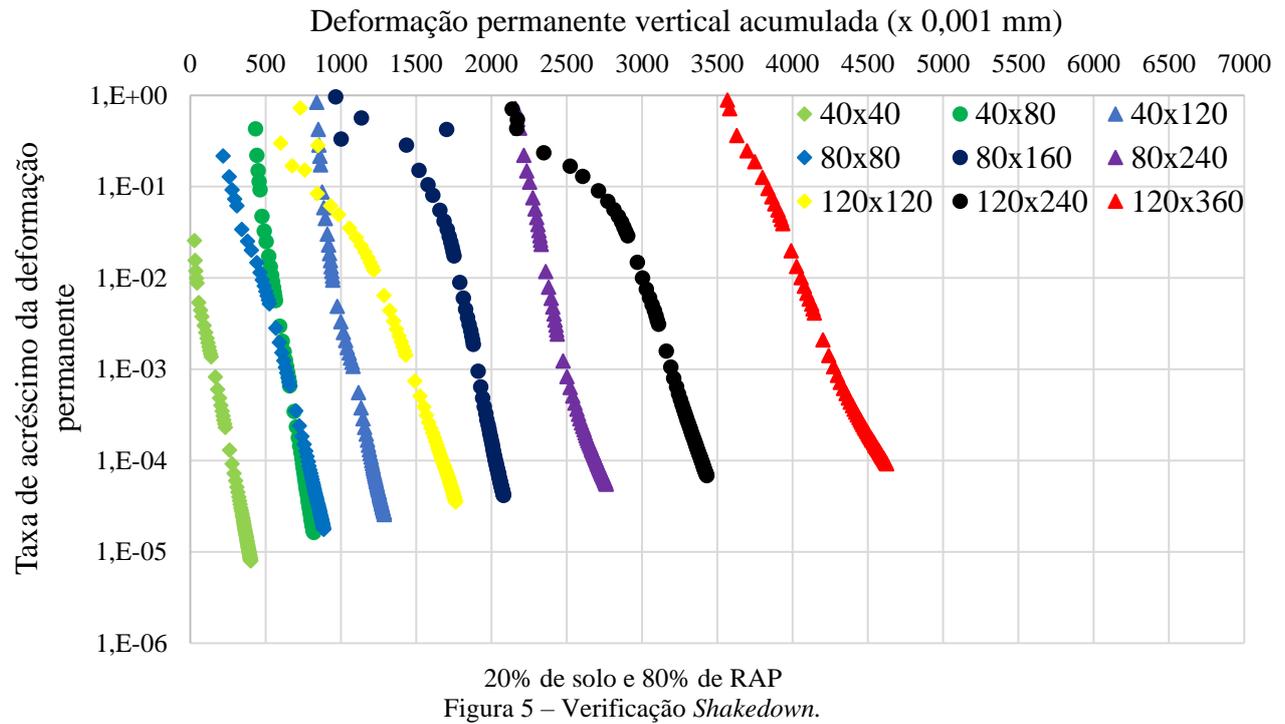
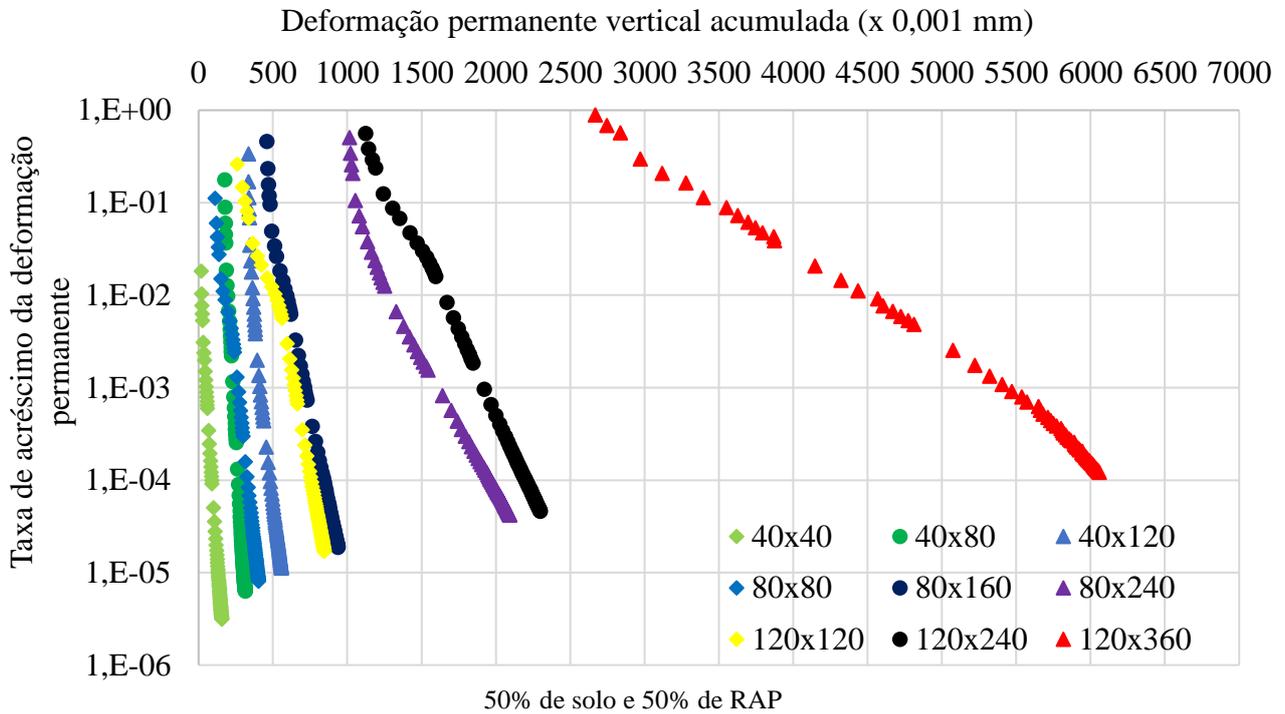
Figura 4 – Deslocamentos permanentes dos CP nos ensaios de DP RLT.

Teoria *Shakedown*

Com o intuito de verificar graficamente a estabilização da plastificação após um determinado número de ciclos de aplicação de cargas na mistura (*shakedown*), é apresentada, na Figura 5, a análise de *shakedown* realizada nas misturas em estudo, prevista na DNIT 179-IE (DNIT, 2018), obtidas a partir dos ensaios de DP RLT. Nos quais são apresentados a DP total no eixo das abscissas e a taxa de acréscimo desta deformação no eixo das ordenadas. Diz-se que um solo/mistura de solo apresenta *shakedown* quando esta taxa de acréscimo é da ordem de 1×10^{-7} metros.

Observa-se que, para a mistura composta por 50% de RAP, o comportamento de acomodação da mistura exibe dois aspectos principais. O primeiro aspecto, evidenciado no par de tensões de 120 x 360 kPa, revela um comportamento tipo AB, caracterizado por deformações iniciais significativas seguidas, no presente caso, por uma tendência de acomodação plástica. O segundo aspecto refere-se aos demais pares de tensões que exibiram um comportamento tipo A, demonstrando acomodamento plástico conforme definido na norma DNIT 179-IE (DNIT, 2018). Neste contexto, é perceptível que a redução dos ciclos de carregamento apenas restringiu a extensão da visualização da taxa de aumento de DP. Por outro lado, na mistura composta por 80% de RAP todos os pares de tensões apresentaram uma tendência ao comportamento tipo A.

Ao final dos ensaios, estes não atingiram a taxa de deformação exigida em norma para o acomodamento plástico do solo/mistura (1×10^{-7} m).





CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio em múltiplos estágios permite acompanhar como os solos e suas misturas se comportam sob cargas acumuladas em diferentes níveis de tensões, simulando a variação de carregamento do tráfego real que ocorre nas vias.

Os resultados demonstraram em termos de deformação permanente, a mistura com 50% de RAP apresentou menores valores de deformação em comparação com a mistura com 80% de RAP, exceto sob o par de tensões 120 x 360 kPa.

As misturas de solo analisadas não apresentaram *shakedown*, pois, ao final dos ensaios, não atingiram a taxa de deformação exigida pela norma para o acomodamento plástico (1×10^{-7} m).

O uso do método RLT testado demonstrou ser promissor para a seleção de materiais utilizados em pavimentação, embora somente a realização de um número maior de testes com materiais de granulometrias diversas, utilizando também a metodologia convencional de realização de ensaio de DP para comparação DNIT 179-IE (DNIT,2018), permitirá uma melhor avaliação sobre a abrangência e acurácia de seu uso.

É vital pesquisar alternativas e metodologias mais eficazes que possam potencializar o processo do ensaio de DP na predição do comportamento dos materiais avaliados sem comprometer a qualidade e precisão das análises de pavimentos. Ao adotar metodologias que incorporam multiestágios, é essencial conduzir uma investigação criteriosa sobre como as tensões influenciam a deformabilidade do material, seu comportamento durante a aplicação de cargas variadas e o fenômeno do *shakedown*.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Pavimentação da UFRB e a UFRB pelo apoio para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHAJI, M.M. & ALHASSAN, M. Effect of Reclaimed Asphalt Pavement Stabilization on the Microstructure and Strength of Black Cotton Soil. *International Journal of Technology*, 4: 727-736, 2018.

BEN, L. H. F. *et al.* Deformação Permanente de Solo Argiloso Laterítico por Meio da Metodologia Multiestágios. Em *Anais da Conferência RAPV/Enacor 2023*. DOI: 10.29327/1304307.48-8, 2023.

CABRAL, W. S.; BARROSO, S. H. de A.; SILVA, S. de A. T. Consideração da deformação permanente de solos ocorridos na região nordeste na análise mecanística-empírica de pavimentos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 26, p. e13096, 2022.

CABRAL, W. S. Exploração, análise comparativa e modelagem da deformação permanente de materiais granulares da Microregião de Mossoró/RN. 2021. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2021.

CAETANO, M. R. . Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Tropicais e Materiais Britados de Pavimentos Rodoviários do Distrito Federal e do Estado de Roraima. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, DF, 2024. 264 p.

CEN - European Committee for Standardization. EN 13286-7: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures. Part 7: Cyclic Load Triaxial Tests for Unbound Mixtures. European Stanemrem EN. Brussels, Belgium, 2004.

DOS SANTOS, J. T. A; DA SILVA, P. A. L.; GUIMARÃES, A. C. R. Determinação da incerteza de medição nos ensaios de deformação permanente de solos lateríticos. *TRANSPORTES*, v. 30, n. 2, p. 2678-2678, 2022.



- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 041/94 ME - Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 4 p, 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 080/94 ME - Solos – análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 4 p. 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 081/98 ME: Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 6 p., 1998.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER-ME 082/94. Solos – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 3p., 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 083/98 ME - Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 5 p., 1998.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 093/94 ME: Solo – Determinação da Densidade Real. Rio de Janeiro, 4 p., 1994.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). DNER-ME 122/94. Solos - Determinação do limite de liquidez- método de referência. Rio de Janeiro, 7p., 1994.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 141/2022 –S - Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 9 p., 2022.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 179/2018 – IE. – Pavimentação Solos Determinação da deformação permanente. Brasília - DF, 17 p., 2018.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 258/2023 – ME. – Compactação em equipamento miniatura – Ensaios Mini-MCV e perda de massa por imersão. Brasília - DF, 22 p., 2023.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 259/2023 – CL–. Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura. Brasília - DF, 8 p., 2023.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 443/2023 ME – Solos – Ensaio de compactação utilizando moldes tripartidos. Brasília-DF, 12 p., 2023.
- ERLINGSSON, S., RAHMAN, M. S. Evaluation of pavement deformation characteristics of unbound granular materials by means of multistage repeated load triaxial tests. Journal of the 254 Transportation Research Board, No. 2369, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 11-19 p., 2013.
- GUABIROBA, J. V. de Oliveira C. *et al.* Estudo da Fadiga e da Deformação Permanente de Misturas Asfálticas Produzidas em Goiás. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 28, p. e13232, 2023.
- KHASAWNEH, M. A. Permanent deformation behavior of cohesive subgrade soils classified as ^a-4a and ^a-6a. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1762–1768. doi:10.1016/j.matpr.2020.04.875, 2020.
- LI, Yafeng *et al.* Dynamic behaviors of fine-grained subgrade soil under single-stage and multi-stage pavements1 leent cyclic loading: Permanent deformation and its prediction model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 142, p. 106548, 2021.
- LIMA, L. B. F. *et al.* Investigation of resilient modulus and permanent deformation of tropical soil with Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Geotechnics*, v. 43, p. 101103, 2023.
- MAGHOOL, F. *et al.* Strength and permanent deformation properties of demolition wastes, glass, and plastics stabilized with foamed bitumen for pavement bases. *Construction and Building Materials*, v. 320, 126108 p., 2022.
- NZTA T15. Specification for Repeated Load Triaxial (RLT) Testing for Pavement Materials. New Zealand Transport Agency (NZTA), Wellington, New Zealand. 2014.
- SONG, Y., O. P. S. K. Interpretation of Shakedown Limit from Multistage Permanent Deformation Test. *Transportation Research Record*. 2167, 72-82, 2010.