

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/675

## Correlação entre o Carregamento Multiestágio e Monoestágio entre Diferentes Tipos de Solo

Alexandre Simas de Medeiros

Doutorando, Pós-Graduação do Programa de Eng. De Transportes /COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil,  
alexandre.simas@pet.coppe.ufrj.br

Claudeny Simone Alves Santana

Doutoranda, Pós-Graduação do Programa de Eng. De Transportes /COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil,  
claudeny@pet.coppe.ufrj.br

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Professor, Pós-Graduação do Programa de Eng. De Transportes /COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil,  
marcelino@pet.coppe.ufrj.br

**RESUMO:** Esta pesquisa visa avaliar a relação entre o carregamento multiestágio e monoestágio, utilizando três tipos de solos (arenoso, siltooso e argiloso). Para alcançar este objetivo, foram realizados cinco ciclos de carregamento multiestágio, totalizando 50.000 solicitações, por meio de uma prensa triaxial para ensaio drenado. A tensão confinante utilizada foi de 70 kPa, e as tensões desvio variaram entre 35, 70, 140, 210 e 280 kPa. A escolha dessas combinações de tensões considerou a profundidade e proporcionalidade das cargas típicas encontradas em subleitos de pavimentos rodoviários. O carregamento monoestágio foi realizado utilizando corpos de prova distintos e os quatro últimos pares de tensão do carregamento multiestágio. Os valores obtidos foram linearizados e ajustados a uma reta. A regressão linear por mínimos quadrados foi conduzida no Rstudio. Observou-se que o carregamento multiestágio, que mais se assemelha ao que ocorre em campo, resultou em deformações menores, embora tenha havido diferenças na taxa de acumulação de deformações permanentes. Isso sugere que os modelos de previsão de comportamento devem considerar essa diferença no comportamento do solo para se criar um modelo com maior precisão. Por fim, destaca-se a necessidade de pesquisas adicionais para consolidar e expandir essas descobertas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Multiestágio, Monoestágio, Triaxial, Deformação Permanente.

**ABSTRACT:** This research aims to assess the relationship between multi-stage and single-stage loading, using three types of soils (sandy, silty, and clayey). To achieve this objective, five cycles of multi-stage loading were conducted, totaling 50,000 requests, using a triaxial press for drained testing. The confining stress used was 70 kPa, and the deviatoric stresses varied between 35, 70, 140, 210, and 280 kPa. The selection of these stress combinations considered the depth and proportionality of typical loads found in road pavement subgrades. Single-stage loading was performed using separate specimens and the last four pairs of stress from the multi-stage loading. The obtained values were linearized and adjusted to a straight line. Linear regression by least squares was conducted in Rstudio. It was observed that multi-stage loading, which more closely resembles field conditions, resulted in smaller deformations, although there were differences in the rate of accumulation of permanent deformations. This suggests that behavior prediction models should consider this difference in soil behavior to create a more accurate model. Finally, the need for additional research to consolidate and expand these findings is emphasized.

**KEYWORDS:** Multi-stage, Single-stage, Triaxial, Permanent Deformation.

### 1 INTRODUÇÃO

A avaliação da deformação permanente (DP) tem se destacado como uma ferramenta crucial na análise e seleção de materiais para pavimentação, garantindo sua utilização segura nas camadas do pavimento. Este

ensaio é conduzido no aparelho triaxial de cargas repetidas, o qual pode ser influenciado por diversos fatores, como as tensões aplicadas, o número de ciclos de carga (N), a duração e frequência das solicitações, o tipo de material, sua granulometria e forma das partículas, o teor de umidade e a densidade do material (Medina e Motta, 2015).

No Brasil, o ensaio de deformação permanente (DP) é regulamentado pela norma DNIT 179/2018 – IE (DNIT, 2018). Esta norma especifica 9 pares de tensão para o ensaio, que ocorre com ciclos de 1 a 5 Hz, sendo a frequência de 2 Hz a mais recomendada, desde que a duração do pulso seja de 0,1 segundo. A norma também estabelece um número mínimo de 6 copos de prova para obter as constantes do modelo de regressão não linear. Utilizando a frequência recomendada de 2 Hz e 150 mil ciclos de carregamento, cada ensaio completo levaria, em média, 20 horas e cinquenta minutos para cada par de tensão escolhido por corpo de prova. Uma das dificuldades deste ensaio é o custo de tempo e a dispersão experimental. Em contrapartida, utilizando a mesma frequência, é possível avaliar o comportamento do solo para 4 distintos pares de tensão em apenas 6 horas no carregamento multiestágio.

Novos estudos têm explorado o uso do carregamento multiestágio no ensaio de deformação permanente, ganhando interesse na comunidade científica. Essa técnica é abordada na norma europeia CEN EN 13826-7 (2004), que estabelece um padrão para o ensaio com o objetivo de avaliar de maneira mais eficiente a resposta do material a diferentes solicitações. A norma CEN EN 13826-7 (2004) recomenda a aplicação de 10.000 ciclos de carga, em estágios de carregamento, com diferentes e crescentes valores de tensão, adotando 0,5% de DP como critério de parada, caso ocorra. Dentre alguns estudos recentes na literatura que recorreram a esta técnica, destacam-se: Medeiros, Cardoso e Silva (2024), Yaghoubi et al. (2023), Maghool et al. (2023), Ghorbani et al. (2023) Arulrajah et al., (2022) dentre outros.

Contudo, faz-se importante avaliar como essas duas técnicas se relacionam entre si, sendo, portanto, este o principal objetivo deste estudo. Com a linearização dos resultados é possível visualizar como ocorre o incremento acumulado de deformação permanente. Para determinar o coeficiente angular e linear da reta, utilizou-se regressão linear pelos mínimos quadrados e o programa Rstudio. Além disso, após determinar os coeficientes da reta, os mesmos podem ser ajustados para função exponencial do modelo da curva de deformação permanente, no domínio considerado. Assim sendo, é possível se investigar o impacto do carregamento multiestágio em comparação com os métodos convencionais de ensaio de deformação permanente na análise de materiais para pavimentação.

$$\log [DP(\%)] = \log(a) + b * \log (N) \quad (1)$$

$$DP(\%) = a * N^b \quad (2)$$

Sendo:

Log(a): coeficiente linear

b: coeficiente angular

N: Número de ciclos

DP(%): porcentagem do deslocamento plástico

A hipótese subjacente a esta pesquisa é que, considerando as limitações de tempo e custo associadas ao ensaio de deformação permanente conforme as normas atuais, a implementação do carregamento multiestágio pode oferecer uma alternativa mais eficiente e econômica para avaliar a resposta desses materiais sob diferentes solicitações de carga.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Amostras de Solo

A jazida onde foi coletado o solo 1, se encontra na latitude 22°34'19,416'' S e longitude, 44°01'4,875'' O, no município de Pinheiral, localizada a cerca de 2 km de distância de uma importante Rodovia do Estado do Rio de Janeiro, a BR-116 (Rodovia Presidente Dutra). O solo 2 foi extraído na faixa de domínio da BR-040, no km26, na latitude 22°09'27,72''S e longitude 43°09'27,36''O, também no estado do RJ. O solo 3 se encontra nas proximidades da cidade de Parnaíba, PI latitude 3° 7'41.46" S e longitude, 41°47'13.19" O.

Na Tabela 1, encontra-se um resumo dos valores médios dos parâmetros geotécnicos do solo.

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos do solo.

Parâmetros	Solo 1	Solo 2	Solo 3
LL	NP	NP	30,9
LP	NP	NP	20,3
Densidade Real dos grãos	2,87 g/cm <sup>3</sup>	2,71 g/cm <sup>3</sup>	2,63 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica aparentemente seca	2,25 g/cm <sup>3</sup>	1,72 g/cm <sup>3</sup>	2,14 g/cm <sup>3</sup>
Número de vazios (e)	0,274	0,577	0,229
Umidade ótima	9,42 %	13,51%	6,8%
Classificação HRB	A-2-4	A4	A4
Classificação SUCS	SM	ML	CL
Classificação MCT	x	x	LA
Passante #0,075	18%	43%	62%

## 2.2 Ensaios, normas e procedimentos

A caracterização física e mecânica do material utilizados neste estudo foram balizados conforme padronização dos ensaios descritos nas normas elencadas na Tabela 2.

Tabela 2. Ensaios e normas.

Ensaio	Título da norma	Número da norma
Granulometria	Análise granulométrica por peneiramento	DNER-ME 080/94
Sedimentação	Análise granulométrica por sedimentação	DNER-ME 051/94
LL	Determinação do Limite de Liquidez	DNER-ME 122/94
LP	Determinação do Limite de Plasticidade	DNER-ME 082/94
Densidade	Determinação da densidade real dos solos	DNER-ME 093/94
Compactação	Compactação utilizando amostras não trabalhadas	DNIT 164/2013 - ME
Umidade	Solos – Determinação do teor de umidade	DNER-ME 213/94
MCT	Solos compactados em equipamento miniatura	DNER-ME 258/23

Para a metodologia deste estudo, empregou-se a técnica de solicitações em múltiplos estágios com 10.000 ciclos de carga por par de tensão. Os testes foram conduzidos na umidade ideal do solo no seu estado natural, que foi drenado, totalizando 40 mil ciclos de aplicação de carga e uma frequência de 5 Hz (com 0,1 s de carga e 0,1 s de repouso). Foram utilizados moldes cilíndricos de 100 x 200 mm com amostras que passavam pela peneira de 25,4 mm (1 polegada). Os ensaios de carga em vários estágios foram executados de acordo com a norma CEN EN-13286-7 (2004) da União Europeia. Nessa norma, são estabelecidos dois conjuntos de níveis de pressão, identificados como "altas tensões" e "baixas tensões". Cada conjunto é composto por cinco séries diferentes. Cada uma dessas séries inclui diversos pares de tensões aplicadas, com uma pressão de confinamento constante e 10.000 ciclos de carga. Para os testes realizados neste estudo, as séries foram aplicadas utilizando o "nível de estresse baixo", correspondente às pressões às quais o material seria exposto em condições reais. A Tabela 3 apresenta as tensões empregadas neste trabalho conforme descrito acima.

Tabela 3. Relação entre as tensões solicitantes.

Estágios	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\sigma_d$	$\sigma_d / \sigma_3$
1	105	70	35	1/2
2	140	70	70	1
3	210	70	140	2
4	280	70	210	3
5	350	70	280	4

Decidiu-se empregar uma energia de compactação intermediária, partindo do pressuposto de que o solo melhorado poderia ser utilizado na camada sub-base de uma estrada com baixo fluxo de veículos. Na superfície

da sub-base, a pressão confinante é aproximadamente 0,07 MPa. Assim, o objetivo foi examinar o desempenho deste solo estabilizado sob a energia de compactação mencionada, considerando essas condições específicas.

Os testes foram conduzidos no teor de umidade ótimo do solo natural, que era do tipo drenado, totalizando 50 mil ciclos de aplicação de carga e uma frequência de 2 Hz (com 0,1 s de aplicação de carga e 0,4 s de repouso). Moldes cilíndricos de 100 x 200 mm com amostras passando por uma peneira de 25,4 mm (1 polegada) foram utilizados. Os testes foram realizados em uma prensa triaxial para testes do tipo drenado, e suas imagens podem ser vistas na Figura 1.



Figura 1. Prensa triaxial para ensaio dinâmico drenado.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Multiestágio

Para o solo pedregulhoso arenoso (solo 1), a deformação permanente (Def P. [%]) aumenta à medida que o número de ciclos cresce. Isso é esperado em testes de carga, onde a deformação tende a aumentar com o tempo de aplicação da carga. É possível se observar que a taxa de aumento da deflexão diminui à medida que o número de ciclos aumenta. Isso sugere que o solo está atingindo um estado de estabilidade, onde a deformação continua ocorrendo, mas a uma taxa decrescente. Uma diferença significativa entre a deformação total e a deformação permanente sugere um comportamento elástico mais pronunciado do solo, onde a maior parte da deformação é recuperada após a remoção da carga. Uma menor deformação permanente em relação à deformação total indica uma maior estabilidade do solo sob carga, o que é desejável em muitas aplicações geotécnicas. Em relação ao solo 2, à medida que o número de ciclos aumenta a deformação resiliente (parte recuperável da deformação do solo), a diferença entre a deflexão total e a deflexão permanente, diminui gradualmente em relação a deformação total. Este comportamento é bem pronunciado no último ciclo de carregamento, que apesar do histórico de solicitações, há uma notada perda de resistência. Isso sugere que a capacidade de recuperação do solo pode diminuir com o tempo ou com a aplicação de cargas repetidas. O solo 3, apesar de ter um desempenho intermediário, é possível se notar que no caso se trace tangentes ao gráfico das deformações, estas tangentes seriam mais horizontais. Estas observações podem ser acompanhadas nos gráficos da Figura 2.

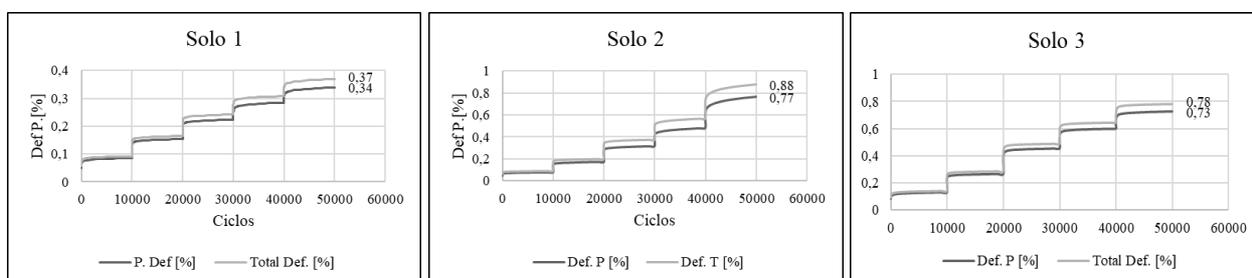


Figura 2. Deformação total e permanente do solo 1, 2 e 3.

#### 3.2 Comparação entre o carregamento multiestágio e monoestágio

Ao observar os coeficientes angulares das retas obtidas nos ciclos monoestágio e multiestágio, é possível inferir sobre o incremento da deformação permanente com base na inclinação das retas. Uma inclinação maior

indica uma taxa de aumento mais acentuada da deformação permanente com o aumento dos ciclos. O coeficiente linear indica o ponto de partida das deformações e juntamente com o coeficiente angular é possível, então, se definir com detalhes o desempenho do solo.

**Solo1:** O coeficiente angular (b) no ciclo monoestágio varia de 0,034 a 0,058, enquanto no ciclo multiestágio, varia de 0,0926 a 0,2157. O ciclo multiestágio apresenta coeficientes angulares significativamente maiores em comparação com o monoestágio, indicando uma taxa de aumento mais acentuada da deformação permanente com o aumento dos ciclos. Isso sugere que o material está sujeito a um incremento mais significativo na deformação permanente com ciclos adicionais de carga no caso do multiestágio, o que pode indicar uma degradação mais rápida da DP ou uma mudança mais significativa nas propriedades do solo. Já o coeficiente Linear (Log (a)) indica o ponto de partida das deformações. No ciclo monoestágio, varia de -1,0278 a -0,5881, enquanto no ciclo multiestágio, varia de -1,4913 a -2,0528. Os valores do ciclo multiestágio são mais negativos, indicando um ponto de partida mais baixo das deformações permanentes. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 3.

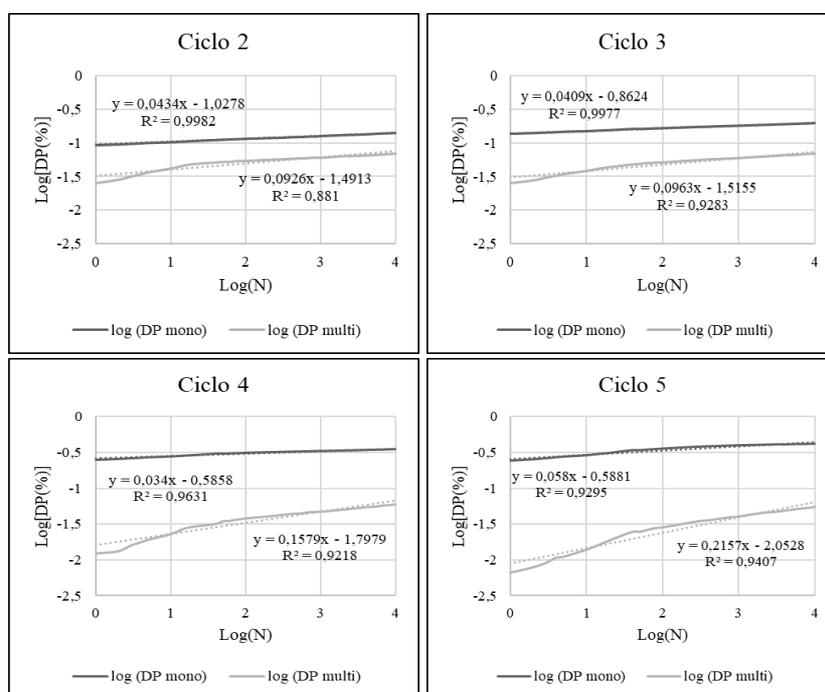


Figura 4. Carregamento multiestágio e monoestágio do solo 1.

Com base nesses dados, pode-se concluir que o regime de carregamento multiestágio resulta em uma deformação permanente mais pronunciada e rápida em comparação com o regime de carregamento monoestágio. Porém, para este solo observa-se que o carregamento monoestágio não possui um crescimento linear do coeficiente angular, o que pode ser justificado pela dispersão experimental, pois não é possível moldar corpos de prova idênticos com igual distribuição de grãos no molde, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 5. Parâmetros da reta do solo 1.

	Coeficiente	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Desvio padrão
Mono	Angular (b)	0,0434	0,0409	0,034	0,058	0,0087
	Linear [Log (a)]	-1,0278	-0,8624	-0,5858	-0,5881	0,1884
	a	0,0937	0,1372	0,25953	0,2581	0,0733
Multe	Angular (b)	0,0926	0,0963	0,1579	0,2157	0,0505
	Linear [Log (a)]	-1,4913	-1,5155	-1,7979	-2,0528	0,2296
	a	0,0322	0,0305	0,01592	0,0088	0,0098

**Solo 2:** o coeficiente angular (b) no ciclo monoestágio varia de 0,034 a 0,058, enquanto no carregamento multiestágio varia de 0,0926 a 0,2157. Os coeficientes angulares mais altos no ciclo multiestágio indicam uma

taxa de aumento mais acentuada da deformação permanente em comparação com o ciclo monoestágio. O solo sujeito ao ciclo multiestágio parece estar sofrendo um processo de degradação da deformação permanente mais rápido ou uma mudança mais significativa em suas propriedades em comparação com o ciclo monoestágio. O coeficiente Linear (Log (a)) varia de -1,0278 a -0,5881 para o carregamento monoestágio e varia de -1,4913 a -2,0528 no carregamento multiestágio. Valores mais negativos indicam que as deformações começam em patamares menores e aumentam com os ciclos. O ponto de partida das deformações no ciclo monoestágio está em um nível mais moderado acima das solicitações em regime multiestágio. Estes dados podem ser vistos na Figura 5.

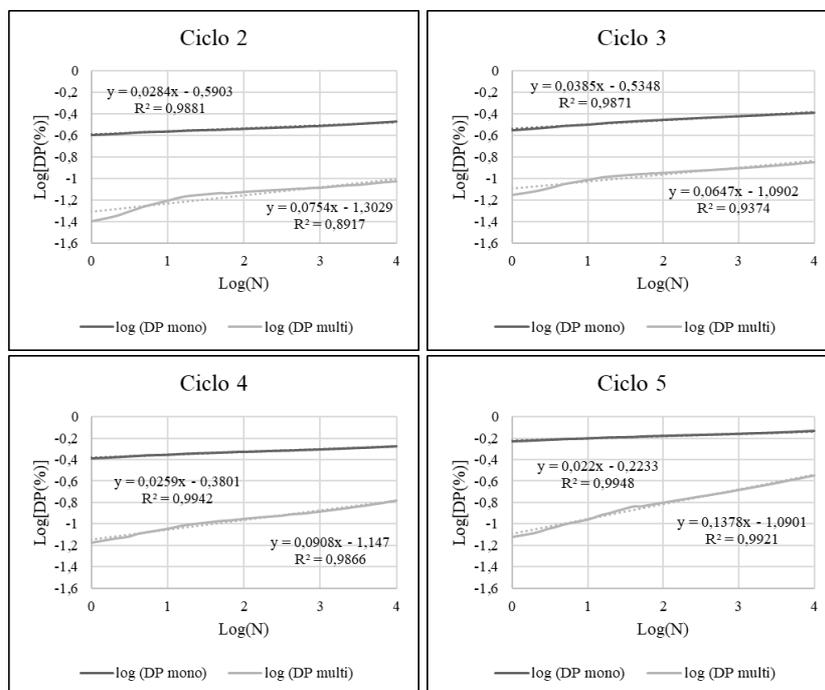


Figura 6. Carregamento multiestágio e monoestágio do solo 2.

No geral, observa-se um aumento na deformação com o aumento dos ciclos tanto para o monoestágio quanto para o multiestágio. O multiestágio apresenta coeficientes angulares (b) maiores, sugerindo um aumento mais pronunciado na deformação com o aumento dos ciclos em comparação com o monoestágio, conforme exibido na Tabela 6.

Tabela 7. Parâmetros da reta do solo 2.

	Coeficiente	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Desvio padrão
Mono	Angular (b)	0,0284	0,0385	0,0259	0,022	0,0061
	Linear [Log (a)]	-0,5903	-0,5348	-0,3801	-0,2233	0,1431
	a	0,2569	0,2919	0,4168	0,5980	0,1335
Multe	Angular (b)	0,0754	0,0647	0,0908	0,1378	0,0279
	Linear [Log (a)]	-1,3029	-1,0902	-1,147	-1,0901	0,0871
	a	0,0498	0,0812	0,0713	0,0813	0,0128

**Solo 3:** o coeficiente angular (b) deste solo, para o regime de carregamento monoestágio, varia de 0,0259 a 0,0454 e no multiestágio de 0,0532 a 0,1863. Os coeficientes angulares são maiores no carregamento multiestágio do que no ciclo monoestágio, sugerindo um aumento mais acentuado da deformação permanente com o aumento dos ciclos. Isso indica que o material está sujeito a um incremento mais significativo na deformação permanente com ciclos adicionais de carga no caso do multiestágio. O Coeficiente Linear (Log (a)): nos ciclos de carregamento monoestágio, varia de -0,9045 a -0,23233 e no multiestágio varia de -1,0683 a -1,5522. Similar aos demais solos, as deformações possuem ponto de partida significativamente menores no carregamento multiestágio. Estas informações podem ser visualizadas na Figura 7.

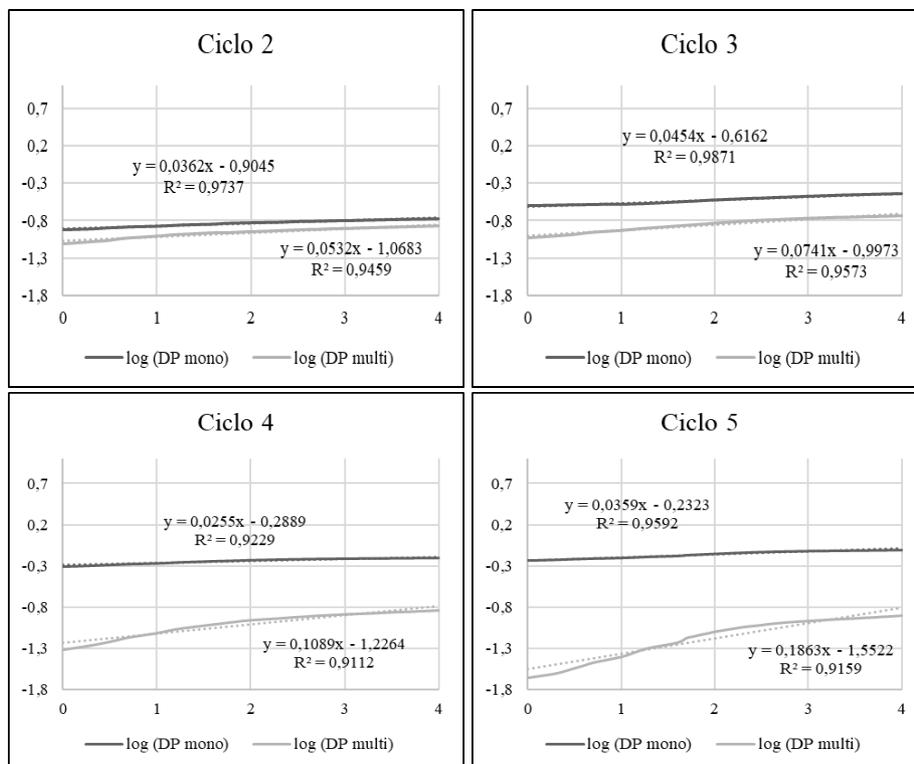


Figura 8. Carregamento multiestágio e monoestágio do solo 3.

Os coeficientes angulares mais altos no ciclo multiestágio indicam uma taxa de aumento mais acentuada da deformação permanente em comparação com o ciclo monoestágio. O ponto de partida mais baixo das deformações permanentes no ciclo multiestágio indica uma maior suscetibilidade do solo à deformação permanente sob esse regime de carregamento, conforme dados da Tabela 8.

Tabela 9. Parâmetros da reta do solo 3.

	Coeficiente	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Desvio padrão
Mono	Angular (b)	0,0362	0,0454	0,0259	0,0255	0,0082
	Linear [Log (a)]	-0,9045	-0,6162	-0,2889	-0,23233	0,2706
	a	1,087	1,110	1,061	1,060	0,0205
Multe	Angular (b)	0,0532	0,0741	0,1089	0,1863	0,0506
	Linear [Log (a)]	-1,0683	-0,9973	-1,2264	-1,5522	0,2137
	a	1,1303	1,1860	1,2850	1,5357	0,1554

#### 4 CONCLUSÃO

A análise conjunta das tabelas revela que o carregamento multiestágio tende a induzir um aumento mais pronunciado na deformação permanente em comparação com o monoestágio. No entanto, é observado que a deformação inicial no carregamento multiestágio é menor do que no monoestágio, sugerindo possivelmente uma maior rigidez inicial do solo sujeito a esse tipo de carregamento. Isso pode resultar em valores menores de deformação permanente ao final dos ciclos, possivelmente devido ao histórico de solicitações prévias.

Os desvios padrões dos coeficientes angulares (b) são geralmente menores no conjunto de dados "Monoestágio" em comparação com o conjunto "Multiestágio". Esses desvios padrões indicam a variabilidade dos coeficientes ao longo dos ciclos de cada conjunto de dados. Um desvio padrão maior sugere uma maior dispersão dos valores em torno da média, enquanto um desvio padrão menor indica uma menor dispersão, ou seja, uma maior consistência nos valores dos coeficientes. Isso sugere uma maior consistência nos valores dos coeficientes angulares no carregamento monoestágio.

Além disso, observa-se que o carregamento multiestágio apresenta uma maior variação na taxa de crescimento do acúmulo de deformação permanente em comparação com o carregamento monoestágio. Nos

gráficos, é visível que em determinado momento a inclinação da curva se altera, fenômeno que não ocorre no carregamento monoestágio, o qual exibe taxas de incremento de deformação permanente mais uniformes.

Essas diferenças são importantes para entender o comportamento do solo sob diferentes condições de carregamento e podem influenciar o projeto e a execução de estruturas geotécnicas. Portanto, o desenvolvimento de modelos de previsão para entender o comportamento dos solos diante de cargas aplicadas é fundamental para o planejamento de rodovias mais eficientes, tanto em termos de custo de construção quanto de manutenção.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Brasil e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arulrajah, A.; Ghorbani, B.; Narsilio, G.; Horpibulsuk, S.; Leong, M. (2022). *Thermal performance of geothermal pavements constructed with demolition wastes*. Journal of Cleaner Production, [s.l.], v. 295, p. 126377. Doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126377.
- CEN EN 13286-7: *Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 7: Cyclic load triaxial test for unbound mixtures*. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
- DNER-ME 080/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Análise granulométrica por peneiramento*. Norma DNER-ME 080/94. 1994.
- DNER-ME 051/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Análise granulométrica por sedimentação*. Norma DNER-ME 051/94. 1994.
- DNER-ME 122/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Determinação do Limite de Liquidez*. Norma DNER-ME 122/94. 1994.
- DNER-ME 082/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Determinação do Limite de Plasticidade*. Norma DNER-ME 082/94. 1994.
- DNER-ME 093/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Determinação da densidade real dos solos*. Norma DNER-ME 093/94. 1994.
- DNIT 164/2013 - ME: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). *Compactação utilizando amostras não trabalhadas*. Norma DNIT 164/2013 - ME. 2013.
- DNER-ME 213/94: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Solos – Determinação do teor de umidade*. Norma DNER-ME 213/94. 1994.
- DNER-ME 258/23: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *Solos – Compactação em equipamento miniatura – ensaios mini-cbr e perda de massa por imersão – método de ensaio*. Norma DNER-ME 258/23. 2023.
- Ghorbani, B., Arulrajah, A., Narsilio, G. A., Horpibulsuk, S., & Buritatum, A. (2023). *Geothermal pavements: experimental tests, prototype tests, and numerical analysis of recycled demolition waste*. Sustainability, 15, 2680. Doi: 10.3390/su15032680
- Maghool, F.; Arulrajah, A.; Ghorbani, B.; Horpibulsuk, S. (2023). *Strength and permanent deformation properties of demolition wastes glass and plastics stabilized with foamed bitumen for pavement bases*. Construction and Building Materials, [s.l.], v. 268, p. 121213. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.121213.
- Medeiros, A.S.; Cardoso, M. H. S.; Silva, M.A.V. *Evaluation of the Mechanical Behavior of Soil Stabilized with Asphalt Emulsion Using Multi-Stage Loading*. Civil Engineering Journal, [s.l.], v. 10, n. 01, jan. 2024.
- Yaghoubi, E.; Ghorbani, B.; Saberian, M. Staden, R.; Guerrieri, M. (2023) *Permanent deformation response of demolition wastes stabilised with bitumen emulsion as pavement base/subbase*. Transportation Geotechnics, v. 39,100934. Doi: 10.1016/j.trgeo.2023.100934