

WEBINÁRIO
ESPECIAL

06 DE MAIO • 10h



Aplicação de Solos Lateríticos em Obras de Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária

Debatedores:

John Kennedy Guedes Rodrigues - UFCG

Suely Barroso - UFC

José Camapum de Carvalho - UnB

Roberto Quental Coutinho - UFPE

Mediadores:

Luiz Heleno Albuquerque - Coordenador-Geral do IPR

Magnos Baroni - UFSM





SEMINÁRIO DE SOLOS TROPICAIS

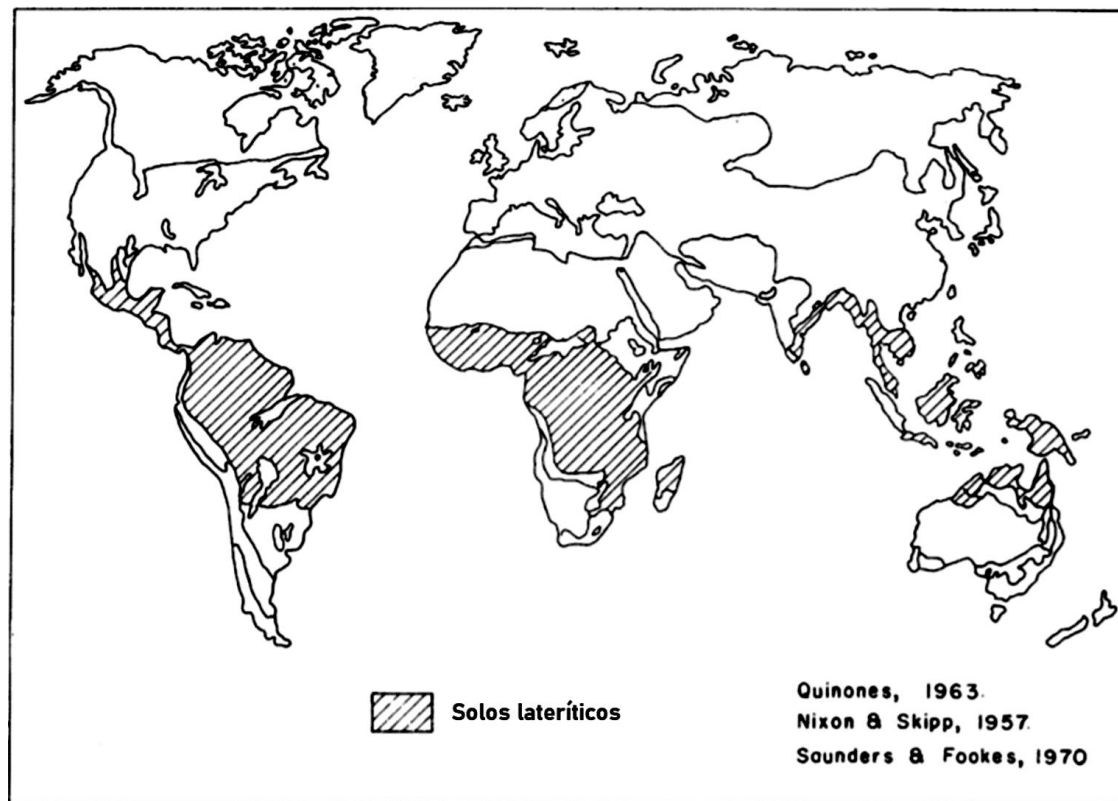
Sucção e Retração: Perspectivas sobre Estudos das propriedades mecânicas de Solos Tropicais

profkennedy@hotmail.com

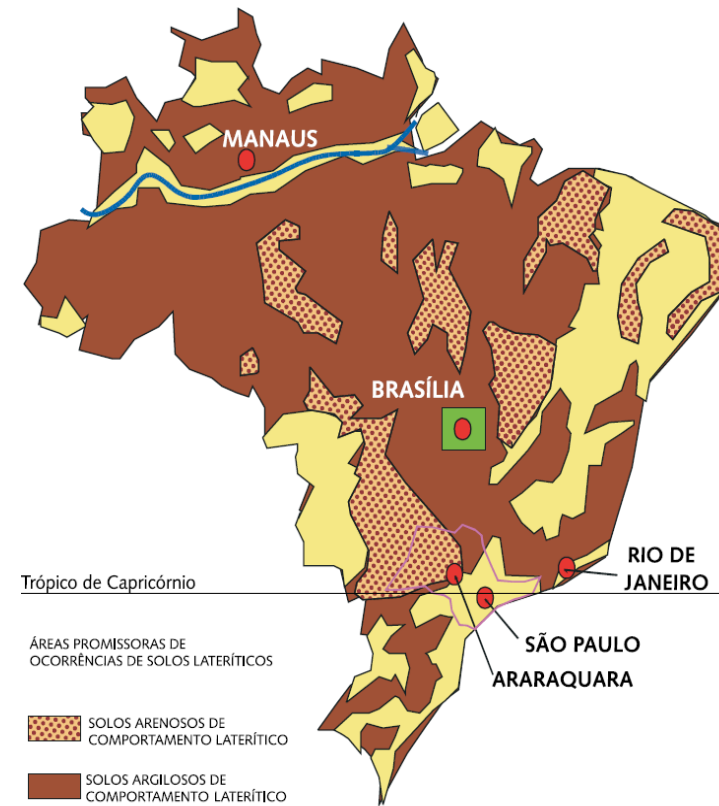
John Kennedy Guedes Rodrigues



Compreendendo o Material



GIDIGASU, 1976



VILLIBOR & NOGAMI, 2009



Kennedy et al. 2024

Fração argila constituída pelo argilomineral *caulinita* → Elevados teores de *óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.* → Características geotécnicas especiais

Estima-se que os solos lateríticos ocupem mais de 19% da superfície dos continentes. *No Brasil encontram-se distribuídos em quase todo território (~65%)* (SANTOS, 2006; VILLIBOR & NOGAMI, 2009; VILLIBOR & ALVES (2019).

Compreendendo o Material

Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste - CERTBIO



MEV

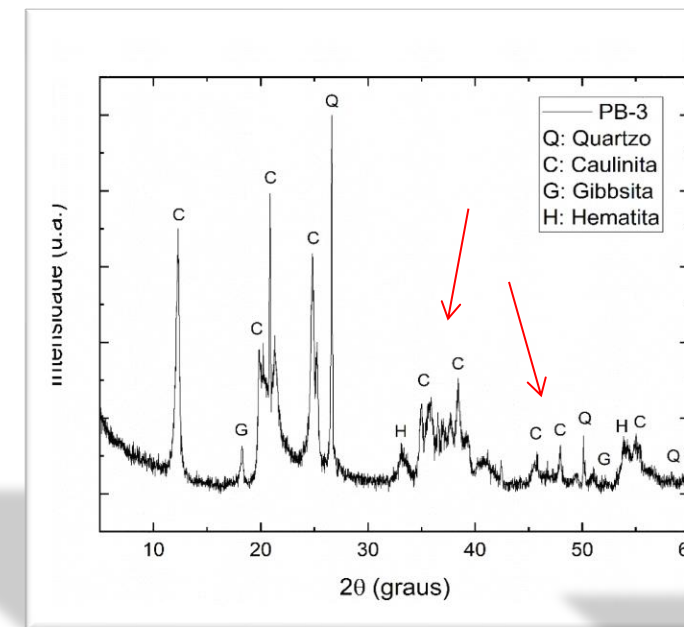
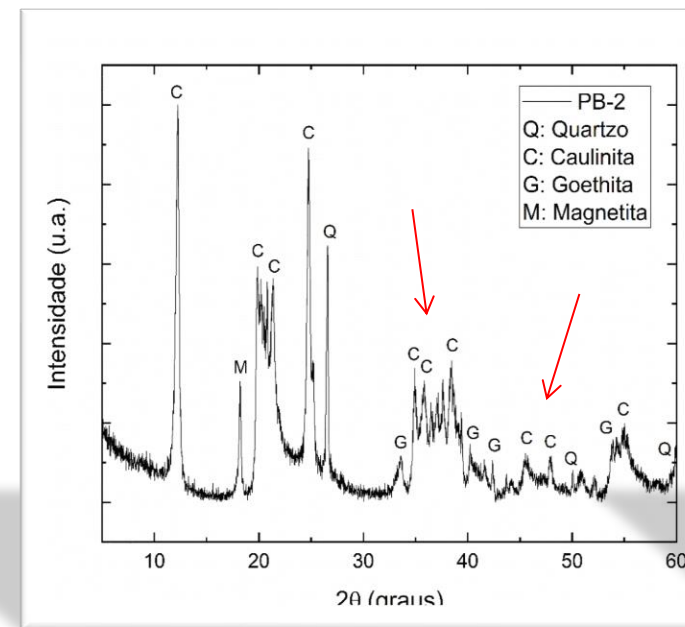
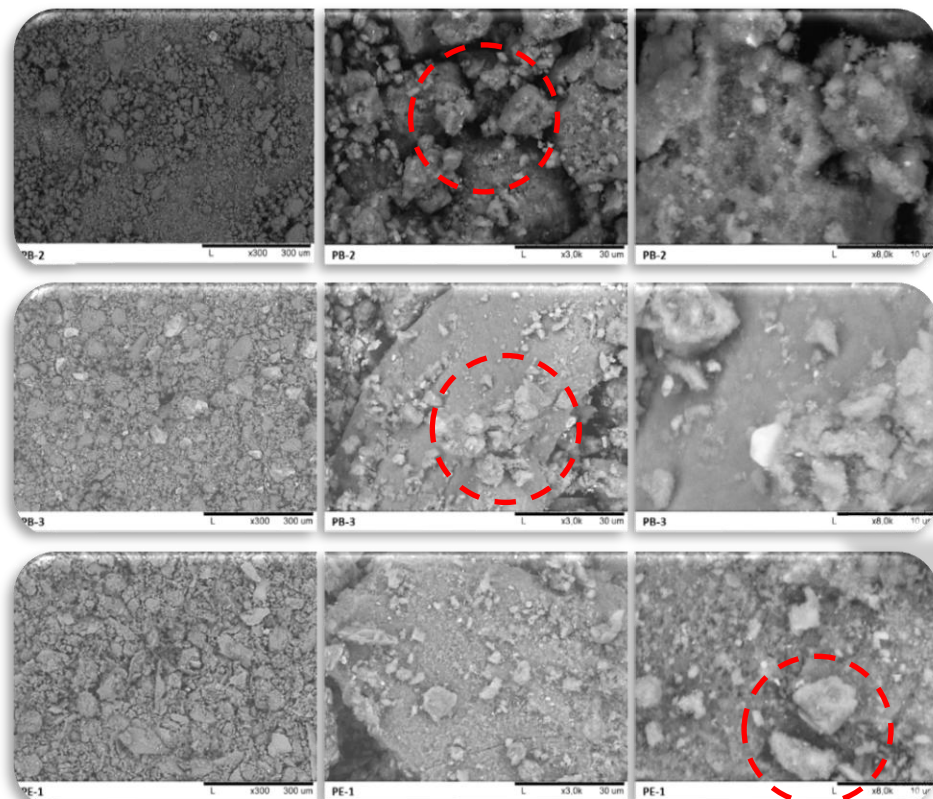


DRX



FRX

>>>85%



Amostras	Compostos (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	K ₂ O	CaO	MnO	Outros
GO-1	36,61	38,56	8,81	1,25	-	-	0,06	-	14,14
GO-2	56,99	19,20	5,97	1,29	0,62	0,53	0,11	-	14,92
GO-3	54,43	27,74	3,68	1,24	0,98	1,83	-	0,02	9,73
GO-4	53,10	28,44	5,35	1,30	0,55	1,69	0,05	0,02	9,22
GO-5	38,37	39,24	7,39	2,14	0,37	0,83	0,26	-	11,20
GO-6	51,42	29,96	2,75	1,09	0,57	1,93	-	0,03	11,55
PB-1	45,60	34,21	4,76	0,99	1,00	0,19	4,20	-	8,86
PB-2	42,29	41,09	6,48	1,98	-	-	-	-	7,71
PB-3	34,23	37,69	13,51	3,74	-	0,10	0,13	0,02	10,27
PE-1	41,25	36,60	6,99	1,04	1,22	1,36	-	0,03	11,23
PI-1	54,05	30,83	4,05	1,61	-	-	0,10	0,03	9,01
PI-2	54,09	34,11	2,42	1,17	-	0,14	-	-	7,99
PI-3	61,82	21,99	2,00	0,78	0,73	0,54	-	-	11,88
PI-4	58,08	23,17	4,51	1,03	0,59	-	-	-	12,38
PI-5	55,33	25,97	3,53	1,12	0,71	-	0,04	-	13,00
PI-6	63,49	18,10	3,08	0,86	0,57	0,32	0,11	-	13,08

Classificação Universal e Caracterização



Fine lateritic soils



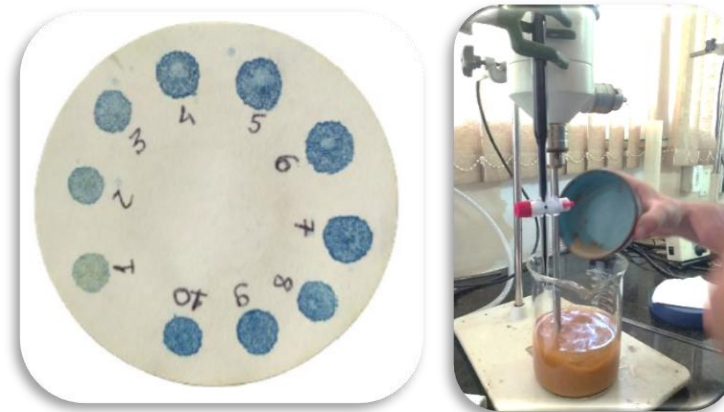
Sandy lateritic soils



Stony lateritic soils

Methylene blue adsorption

NF P94-068



Shrinkage limit

NF XP P94-060-1



Sands friability

NF P18-576



Fragmentability coefficient

NF P94-066



Degradability coefficient

NF P94-067



California Bearing Ratio (CBR) & Resilient Módulo

DNIT 134/2018-ME



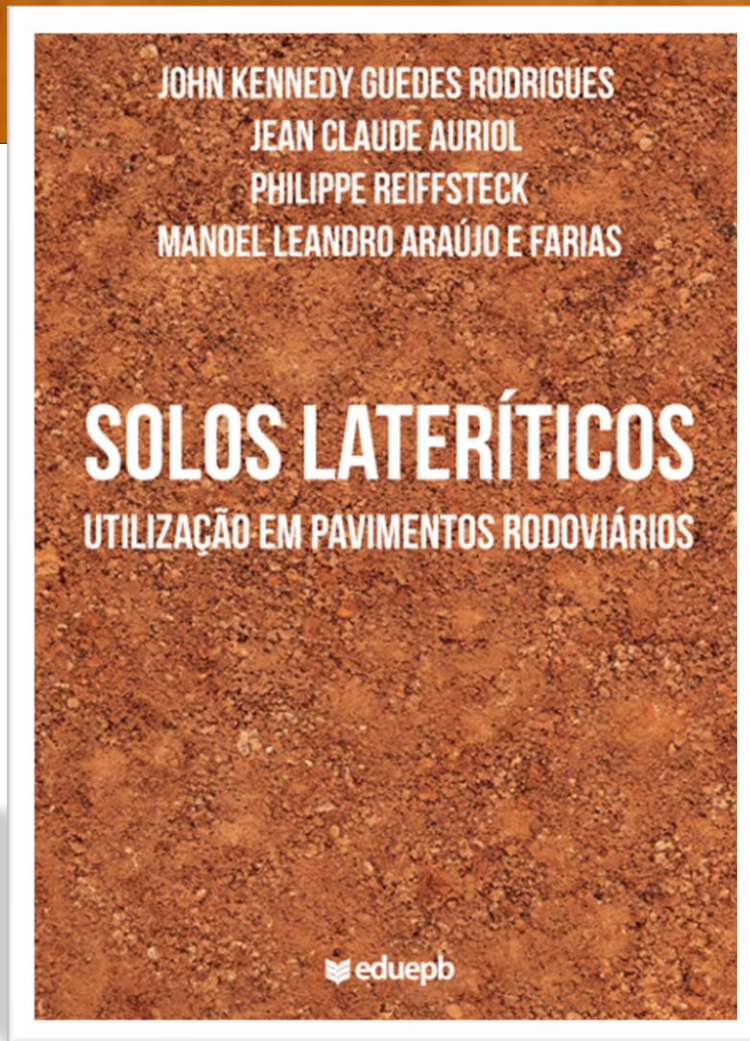
DNIT-ME 172



Classificação Universal e Caracterização



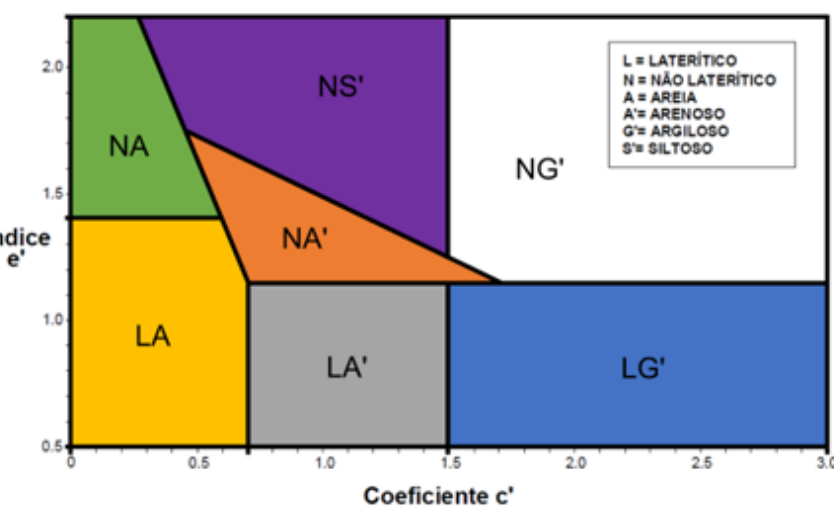
SUCSL: Sistema Universal de Classificação de Solos Lateríticos



LATERITIC SOILS Chemical Composition and Genesis															
Sieve pass 75µm (No. 200) ≤ 30%										Sieve pass 75µm (No. 200) > 30%					
Sieve pass 2 mm (n° 10) ≤ 30%					Sieve pass 2 mm (n° 10) > 30%										
GRAVELLY LATERITIC SOILS (GLS)					SANDY LATERITIC SOILS (SLS)					FINE LATERITIC SOILS (FLS)					
FR ≤ 7% & DG ≤ 7%		FR > 7% or DG > 7%		FR > 7% & DG > 7%	AV ≤ 1.50g/100g				AV > 1.50g/100g	AV ≤ 3.00g/100g				AV > 3.00g/100g	
					FB ≤ 60%		FB > 60%	SL ≥ 20%		SL < 20%					
CBR ≥ 60%	CBR < 60%	CBR ≥ 30%	CBR < 30%		SL ≥ 15%	SL < 15%		CBR ≥ 10%		CBR < 10%	CBR ≥ 10%	CBR < 10%			
GLS ₁	GLS ₂	GLS ₃	GLS ₄	GLS ₅	SLS ₆	SLS ₇	SLS ₈	SLS ₉	SLS ₁₀	SLS ₁₁	FLS ₁₂	FLS ₁₃	FLS ₁₄	FLS ₁₅	FLS ₁₆
NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				
BASE [ξ ≤ 1.00%] [RM ≥ 300 MPa → N ≥ 10 ⁶] [RM ≥ 400 MPa → N ≥ 10 ⁷]					BASE [ξ ≤ 1.00%] [RM ≥ 300 MPa → N ≥ 10 ⁶] [RM ≥ 400 MPa → N ≥ 10 ⁷]					BASE [ξ ≤ 1.00%] [RM ≥ 300 MPa → N ≥ 10 ⁶] [RM ≥ 400 MPa → N ≥ 10 ⁷]					
NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				
SUB-BASE [ξ ≤ 1.50%] [RM ≥ 200 MPa]					SUB-BASE [ξ ≤ 1.50%] [RM ≥ 200 MPa]					SUB-BASE [ξ ≤ 1.50%] [RM ≥ 200 MPa]					
					NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				NATURAL	IMPROVED/STABILIZED				
					REINFORCEMENT OF THE SUBGRADE [RM ≥ 100 MPa]					REINFORCEMENT OF THE SUBGRADE [RM ≥ 100 MPa]					

Observations:

N = Equivalent number of operations of the standard 8.2 tf axis; DG = Degradability Coefficient; FR = Fragmentability Coefficient; FB = Friability Coefficient; SL = Shrinkage/Swelling Limit; AV = Methylene Blue Adsorption Value; CBR = California Bearing Ratio; ξ = Expansion.

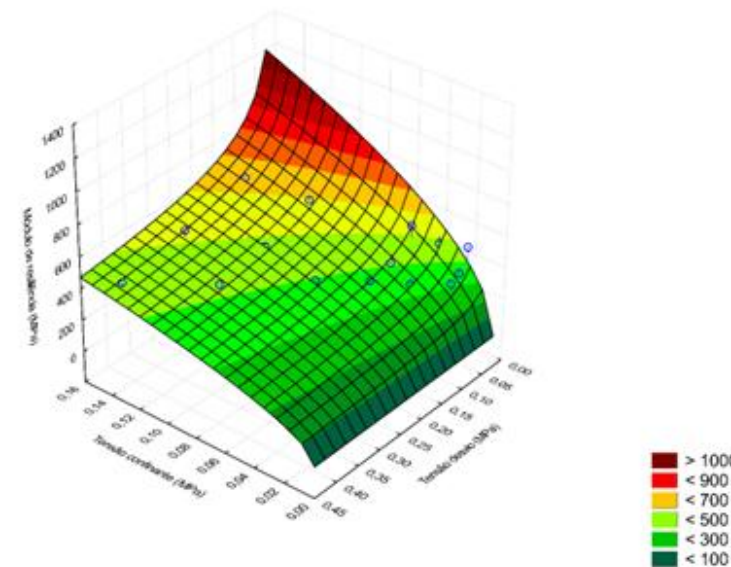
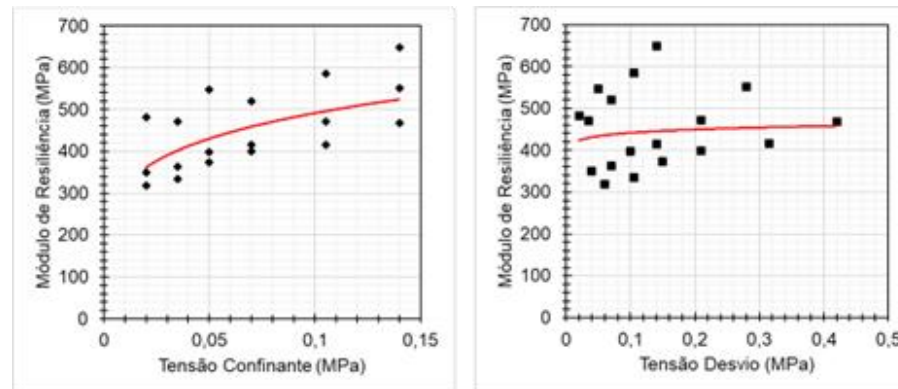
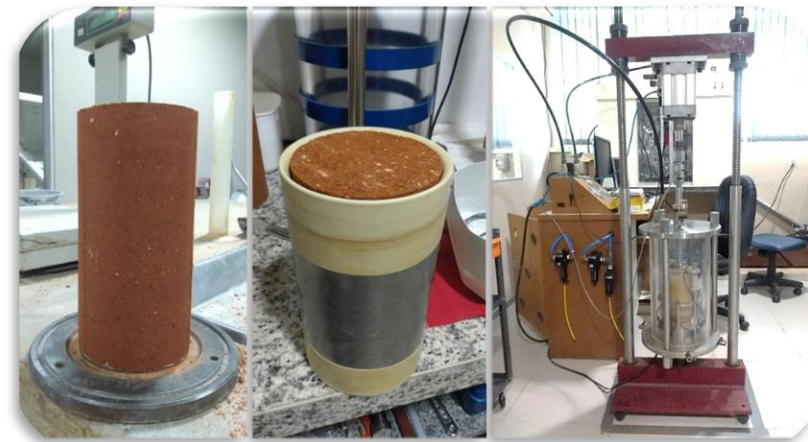


CLASSIFICAÇÃO MCT

Ensaio Mecânicos Avançados



MÓDULO DE RESILIÊNCIA

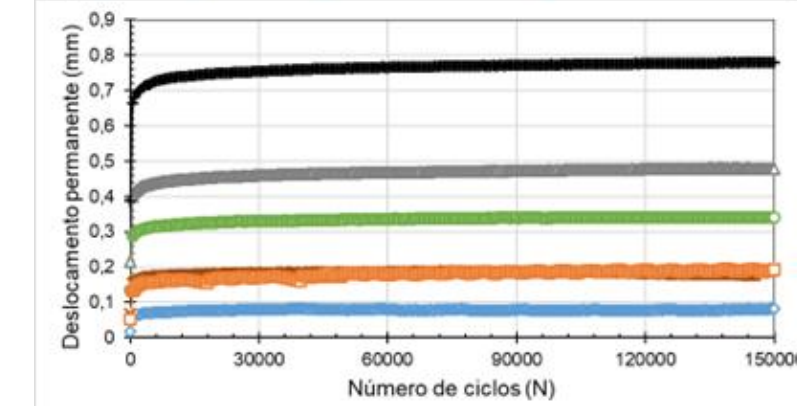
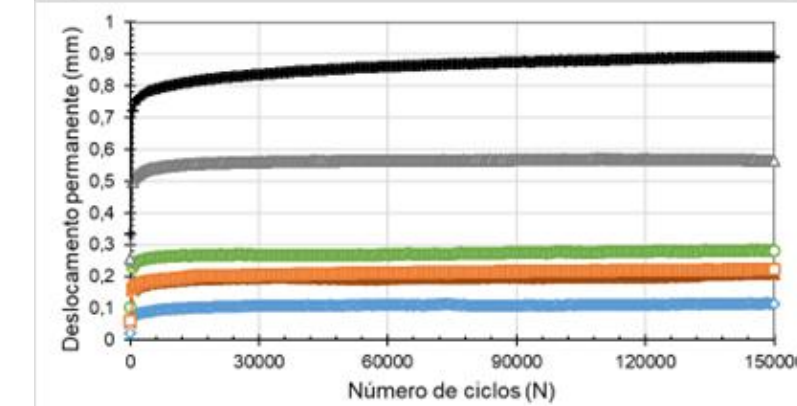
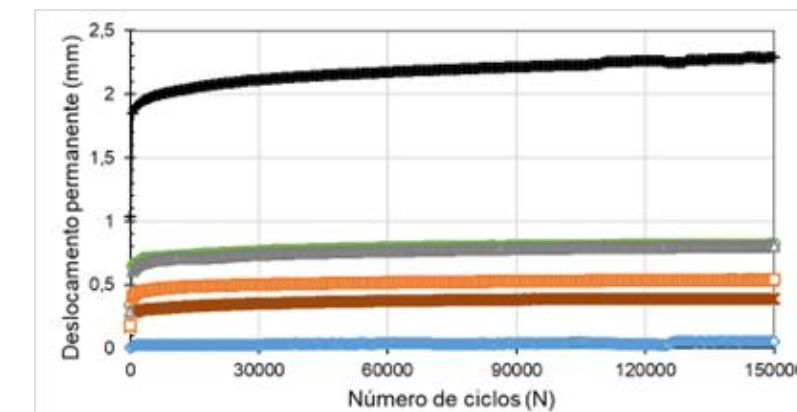


Equipamento de MR/LEP/UFCG

DEFORMAÇÃO PERMANENTE



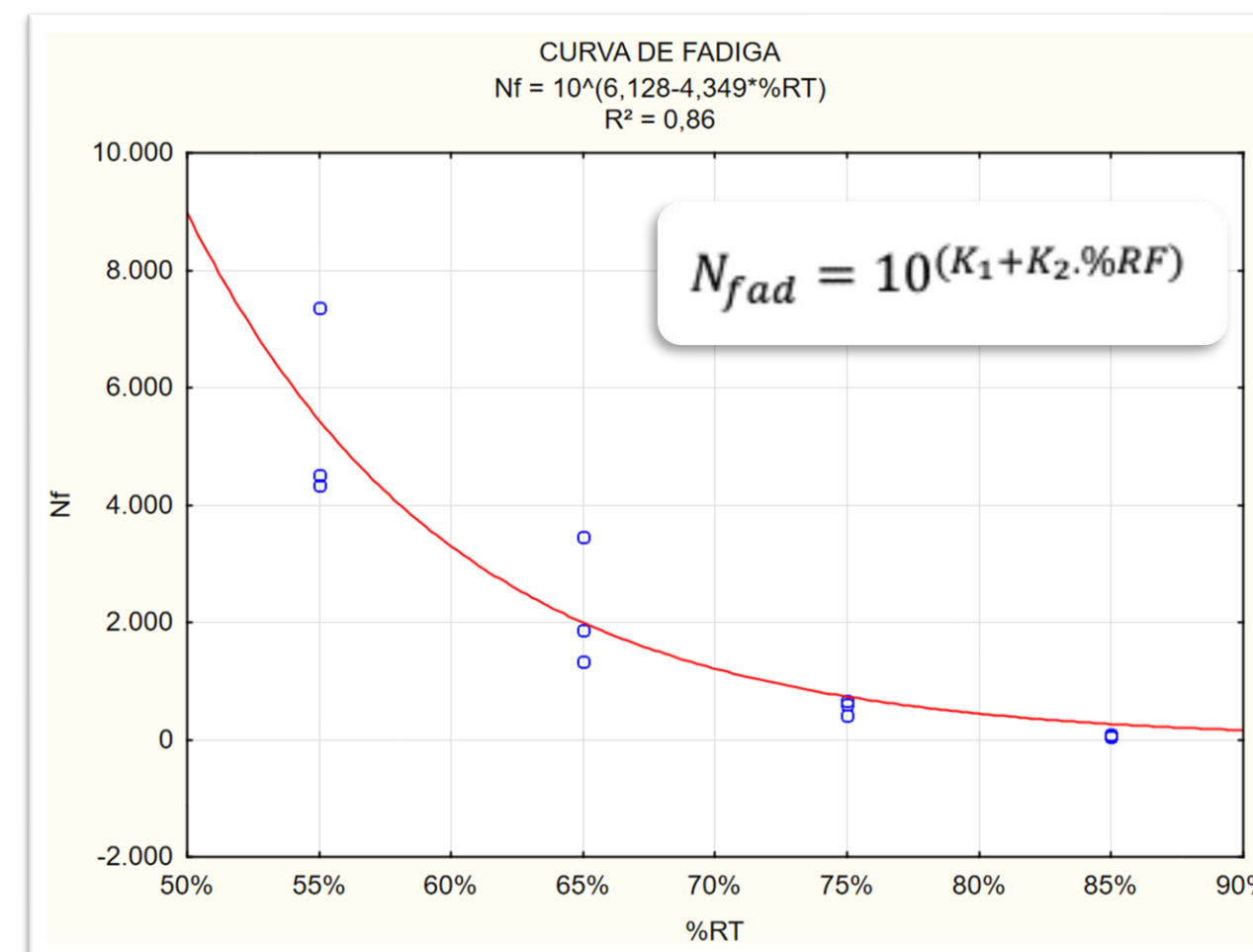
Equipamento DP/LEP/UFCG



Ensaio Mecânicos Avançados



FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL



Model is: $N_f = 10^{(K_1 + K_2 * \%RT)}$ (Spreadsheet1)
 Dep. Var. : Nf
 Level of confidence: 95.0% (alpha=0.050)

	Estimate	Standard error	t-value df = 10	p-value	Lo. Conf Limit	Up. Conf Limit
K1	6,12791	0,538768	11,37394	0,000000	4,92746	7,32836
K2	-4,34901	0,950172	-4,57708	0,001015	-6,46612	-2,23189

Estabilização: Do Convencional ao Sustentável

Cimento e Cal - Tese (FARIAS, 2023)



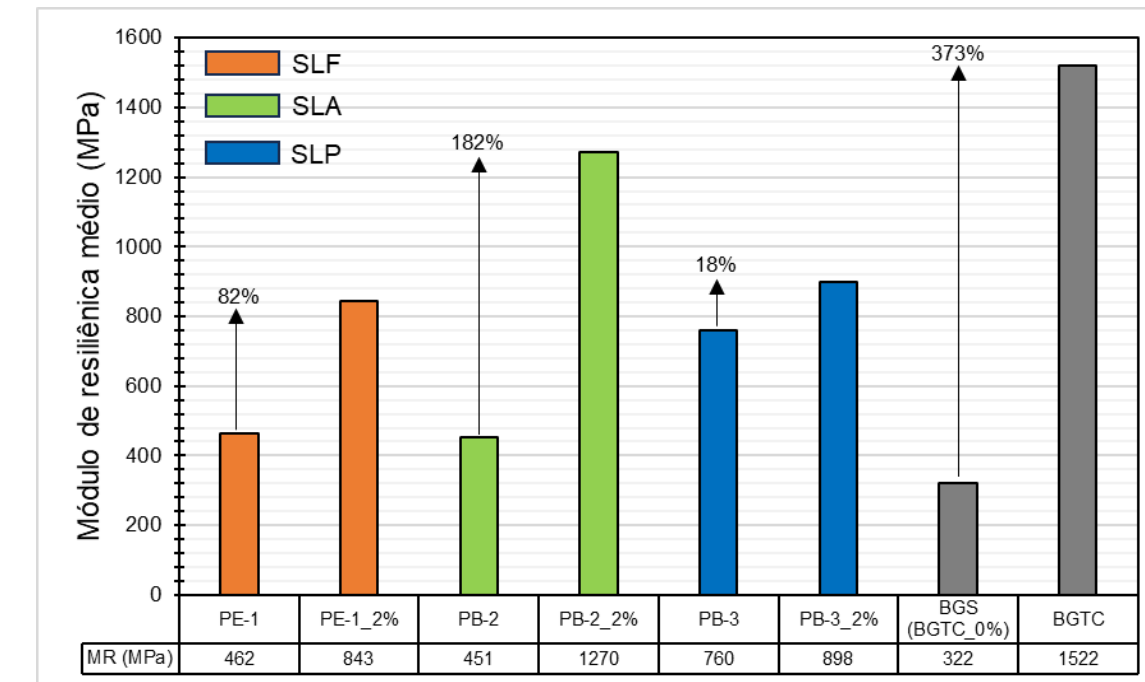
CIMENTO PORTLAND – CP IV



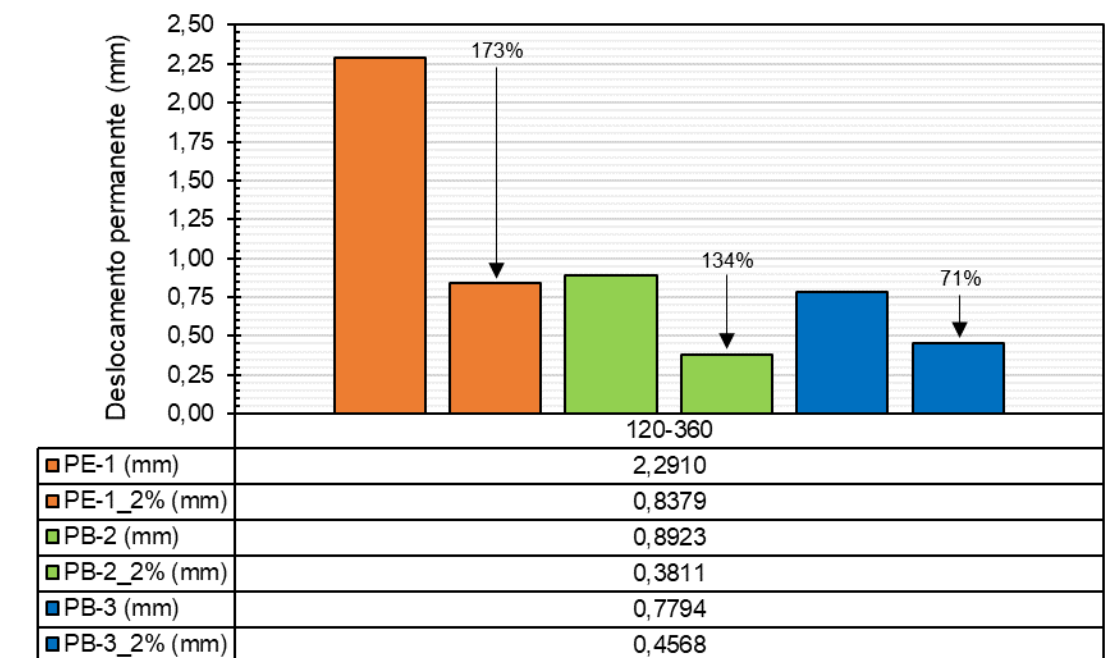
CAL HIDRATADA – CH I



MÓDULO DE RESILIÊNCIA

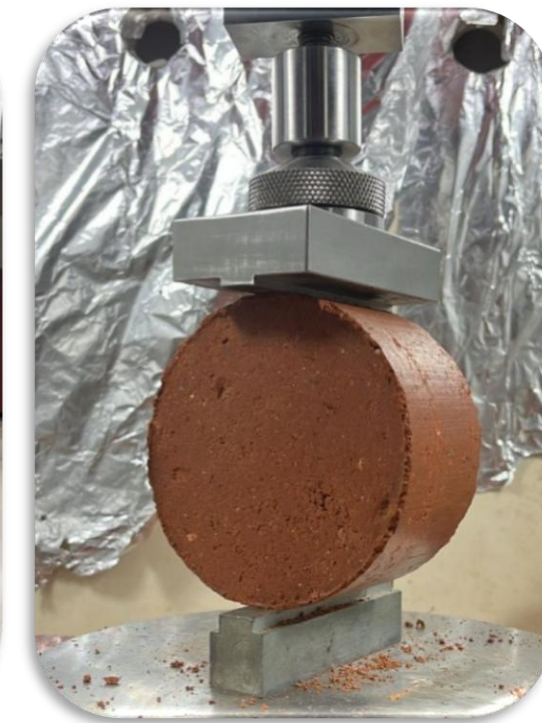
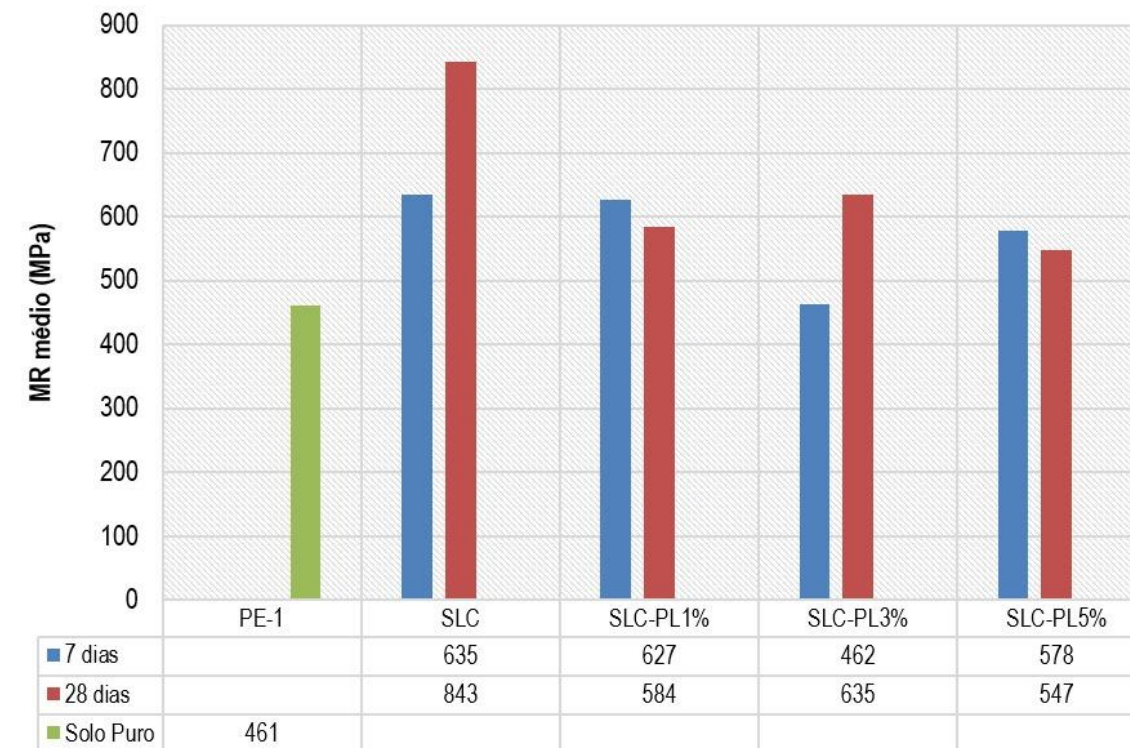


DEFORMAÇÃO PERMANENTE



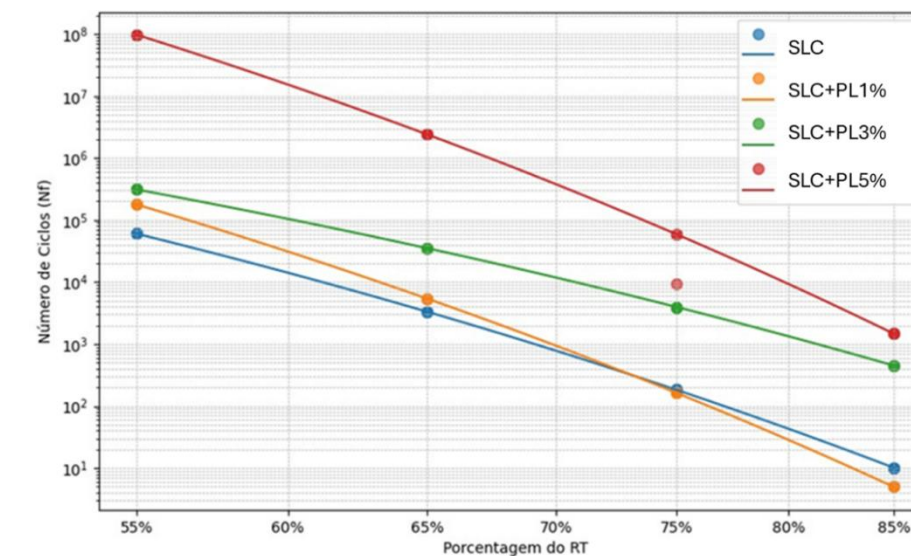
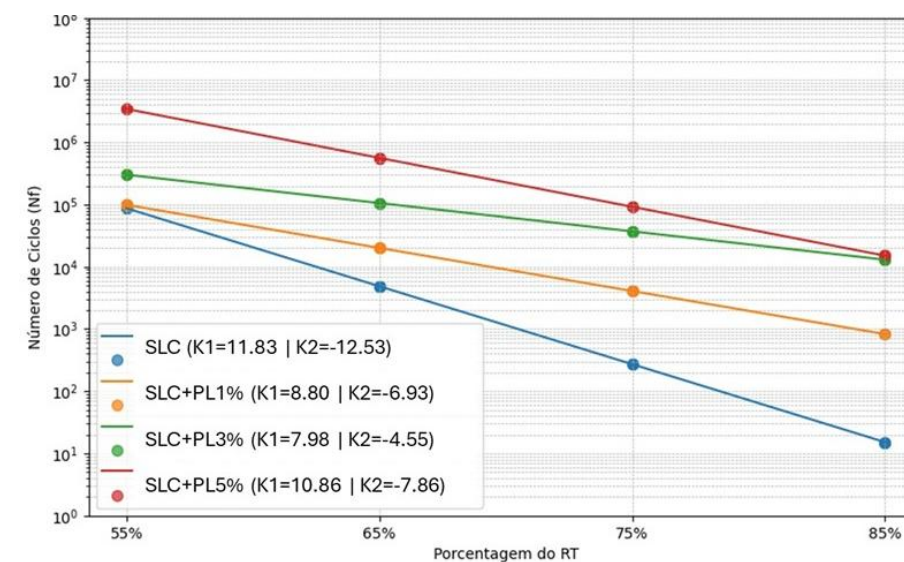
Estabilização: Do Convencional ao Sustentável

Polímero - Dissertação (ARRUDA, 2025)



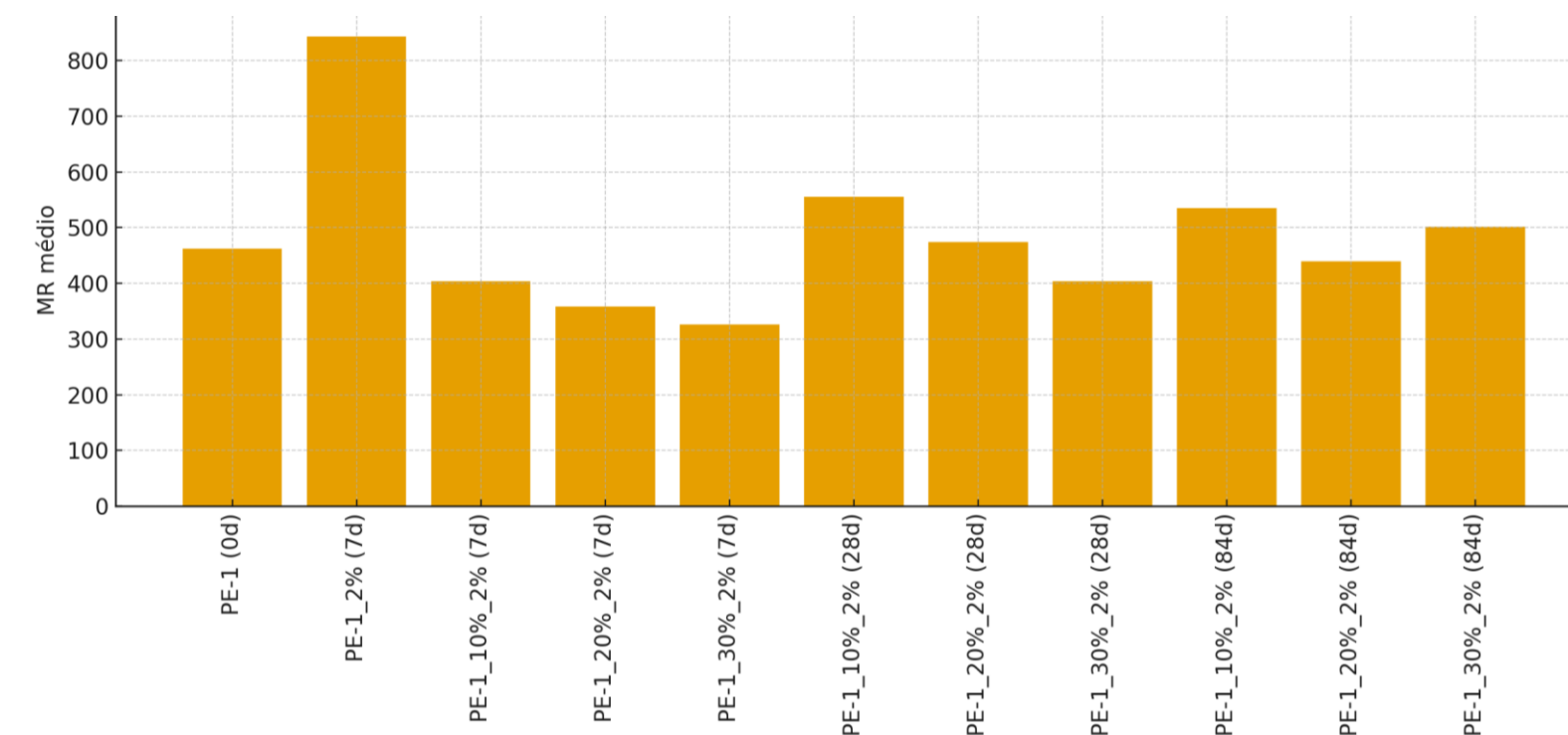
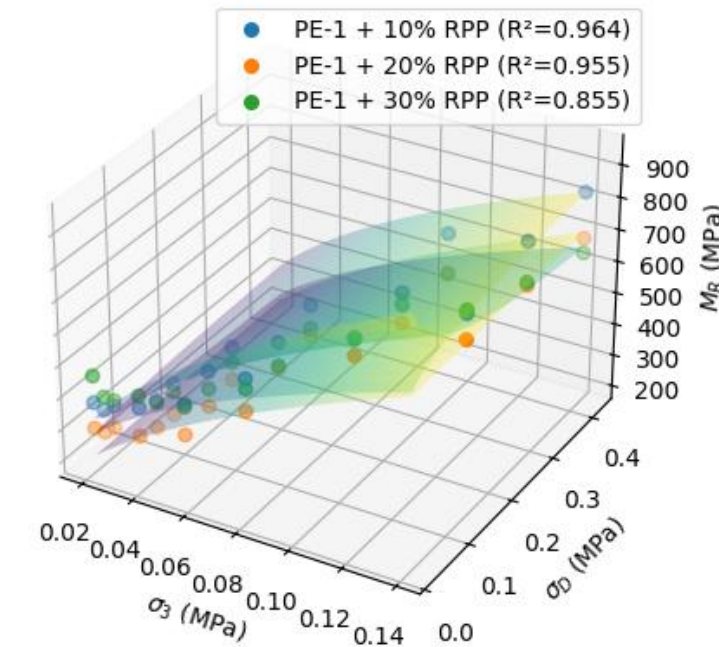
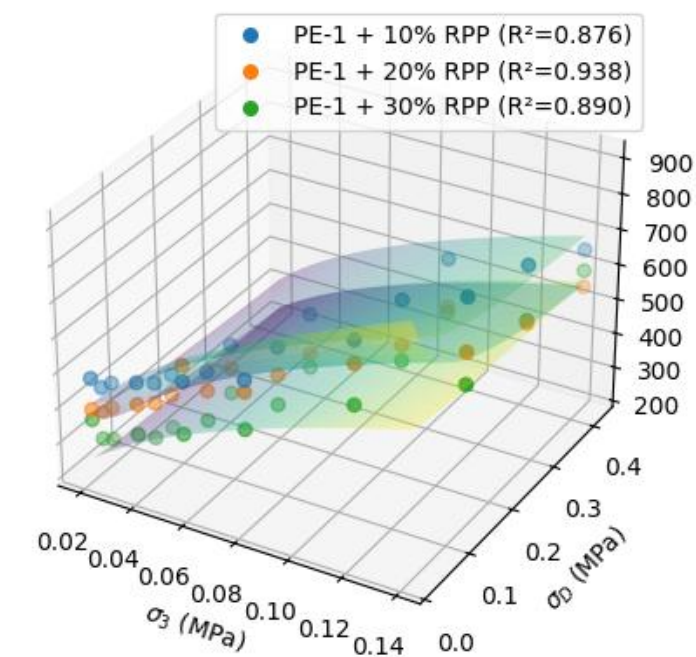
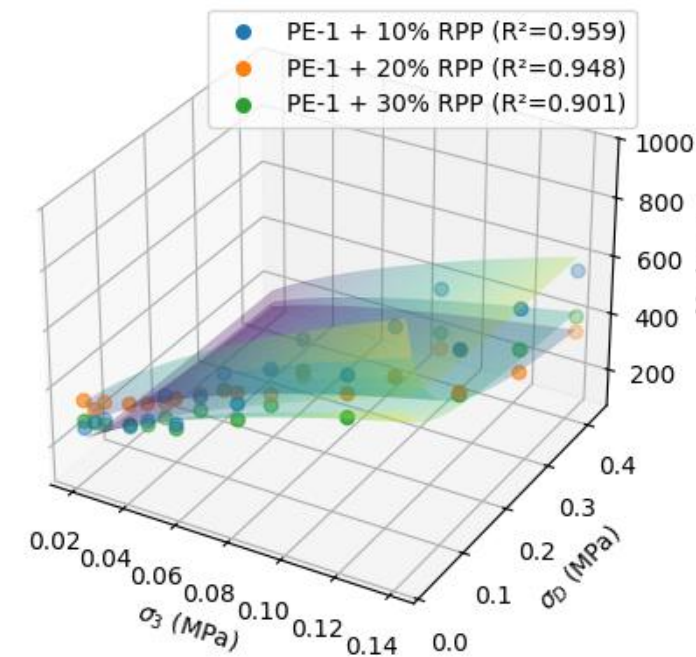
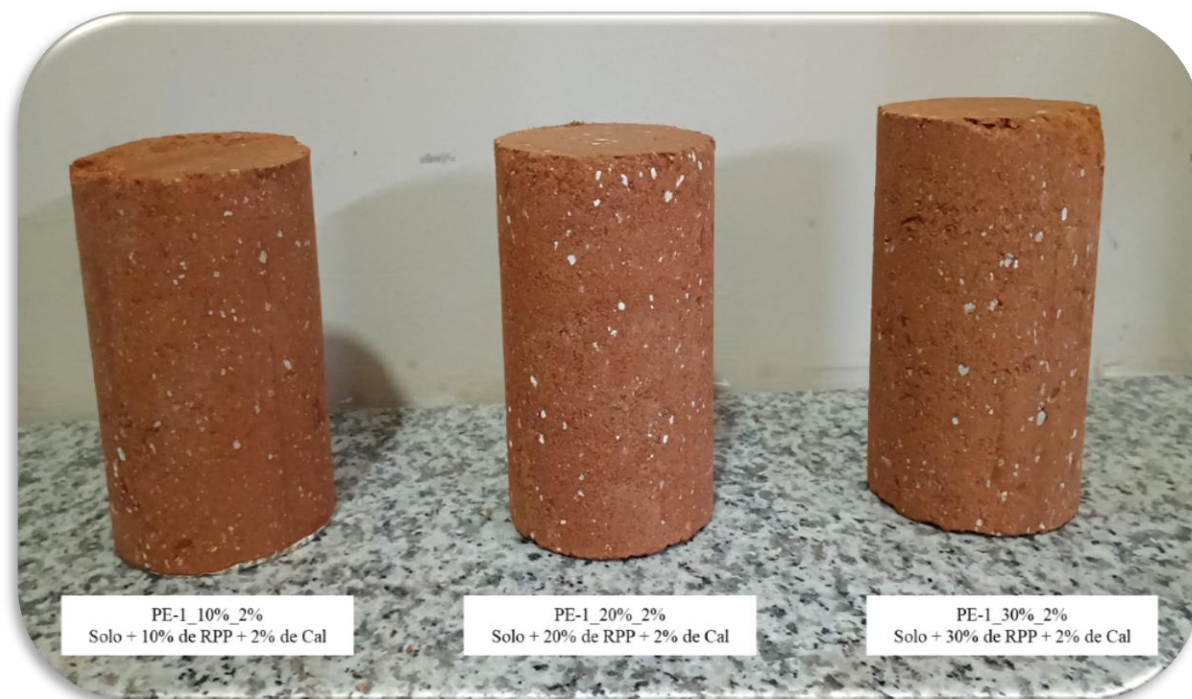
FADIGA – 7 DIAS

FADIGA – 28 DIAS



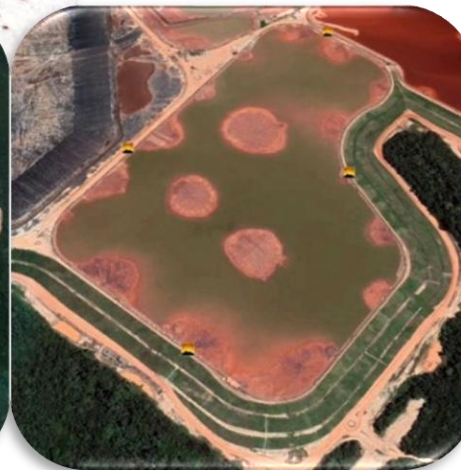
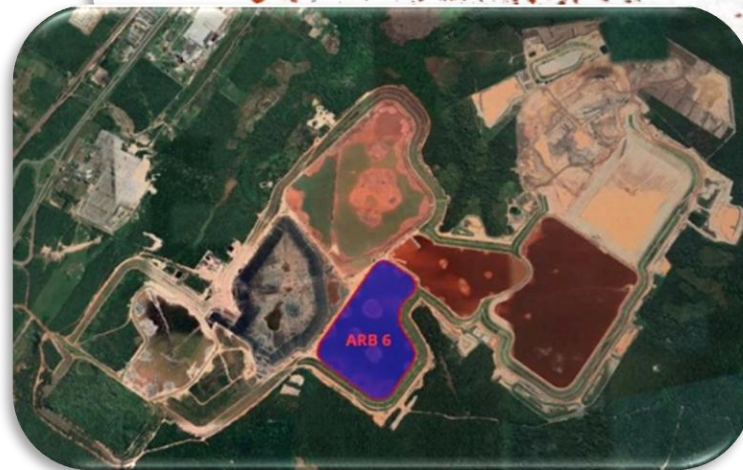
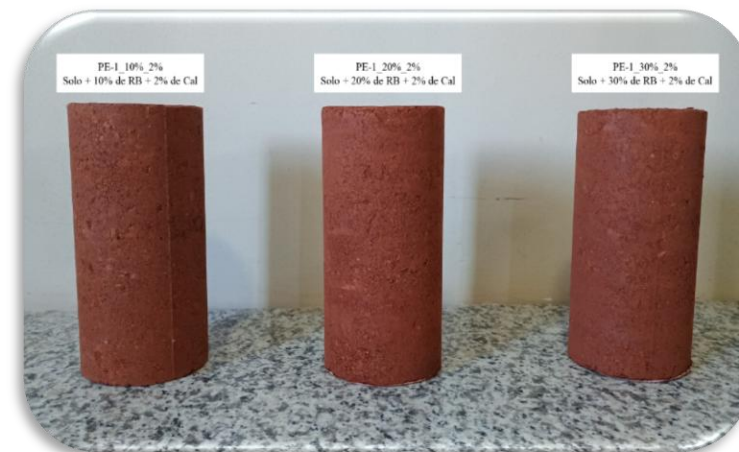
Estabilização: Do Convencional ao Sustentável

Resíduo de Polimento de Porcelanato-RPP - PIBIC (SOUZA, 2025)



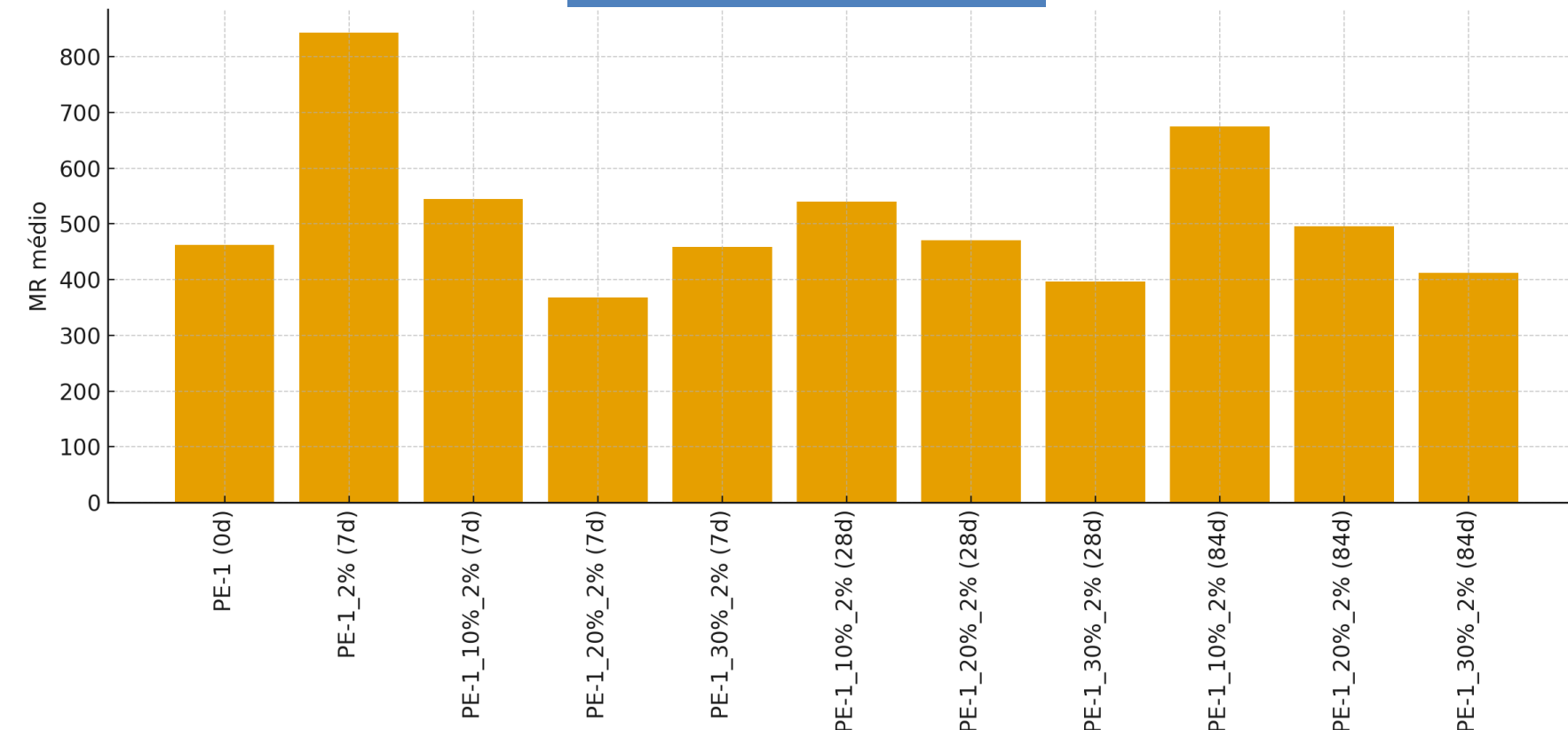
Estabilização: Do Convencional ao Sustentável

Rejeito de Bauxita-Geopolimerização - PIBITI (OLIVEIRA, 2025)



Fonte: Varela, 2024.

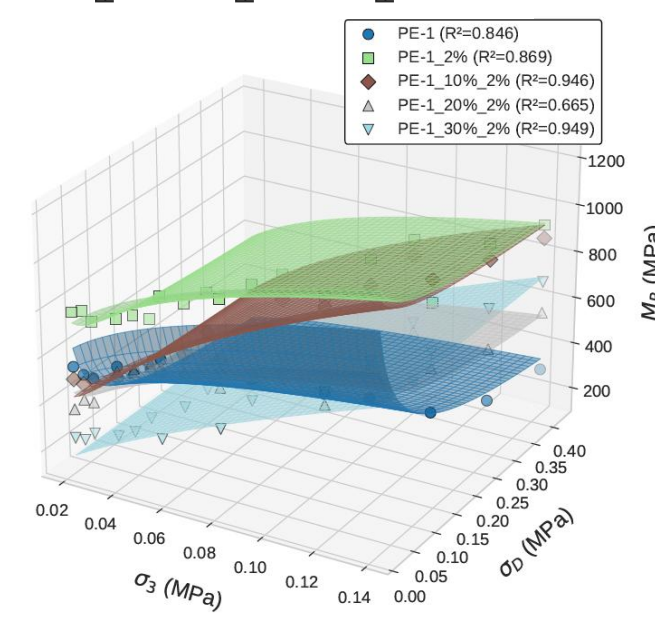
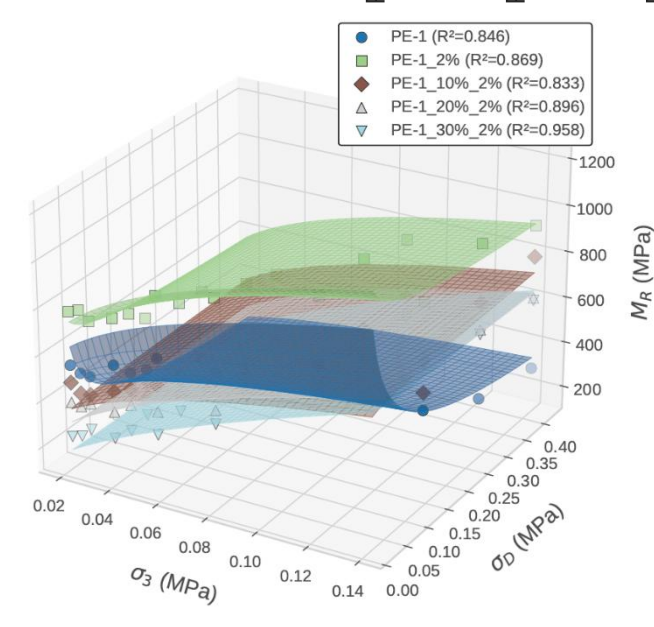
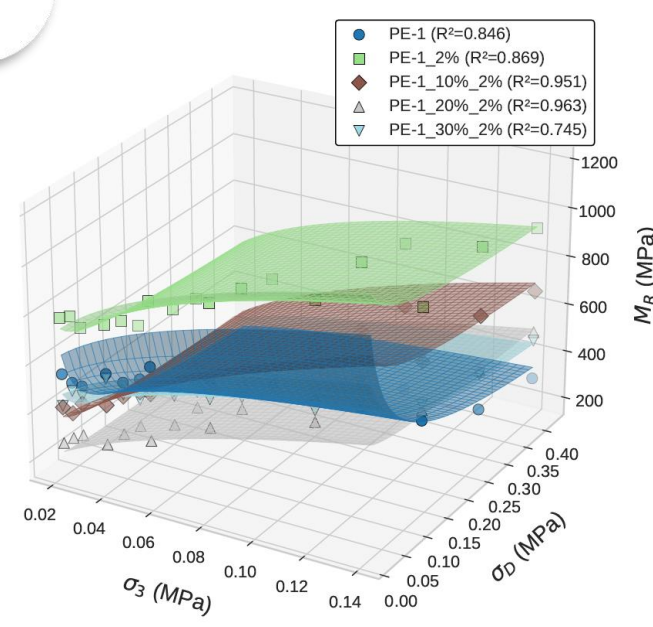
MÓDULO DE RESILIÊNCIA



HIDRÓXIDO DE SÓDIO



CAL HIDRATADA



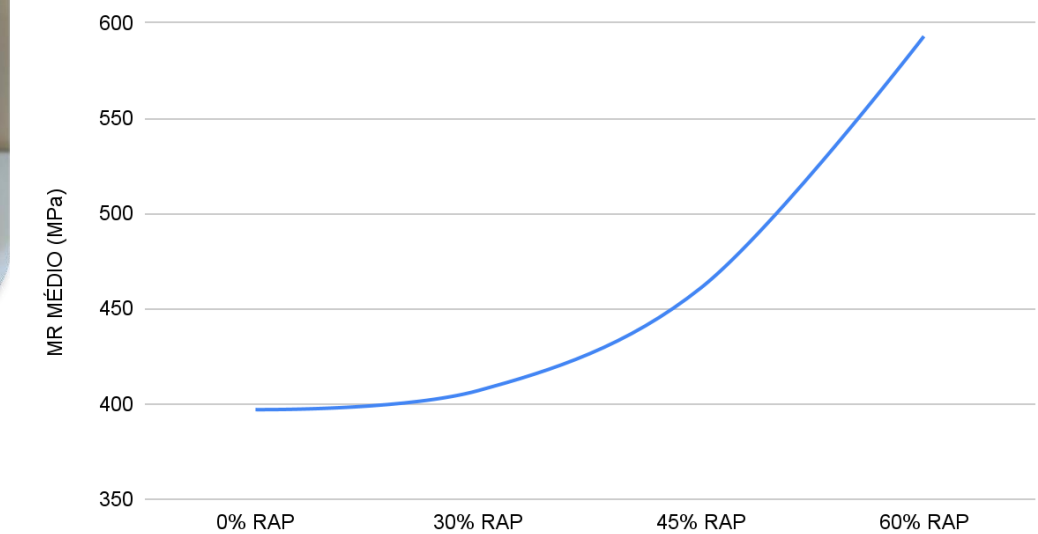
Estabilização: Do Convencional ao Sustentável

RAP - Trabalho de conclusão de curso (ALMEIDA FILHO, 2025; OLIVEIRA, 2025)

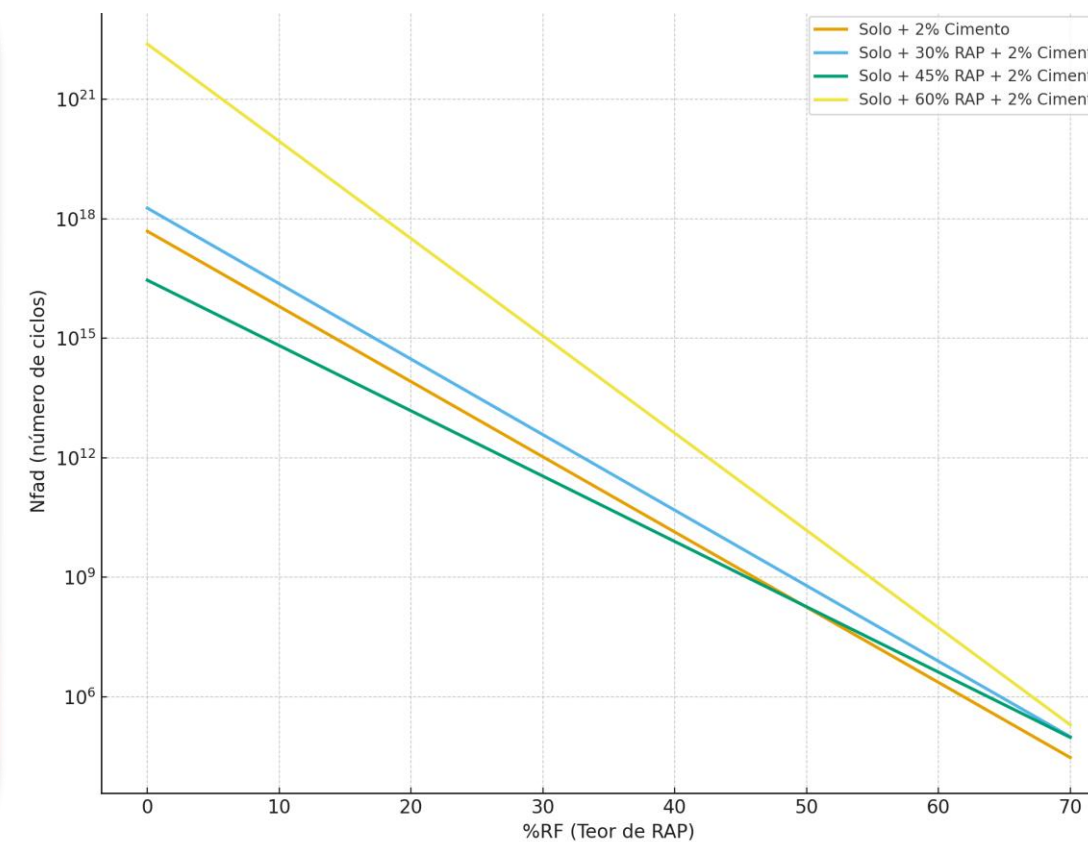


MÓDULO DE RESILIÊNCIA

MR MÉDIO (MPa)

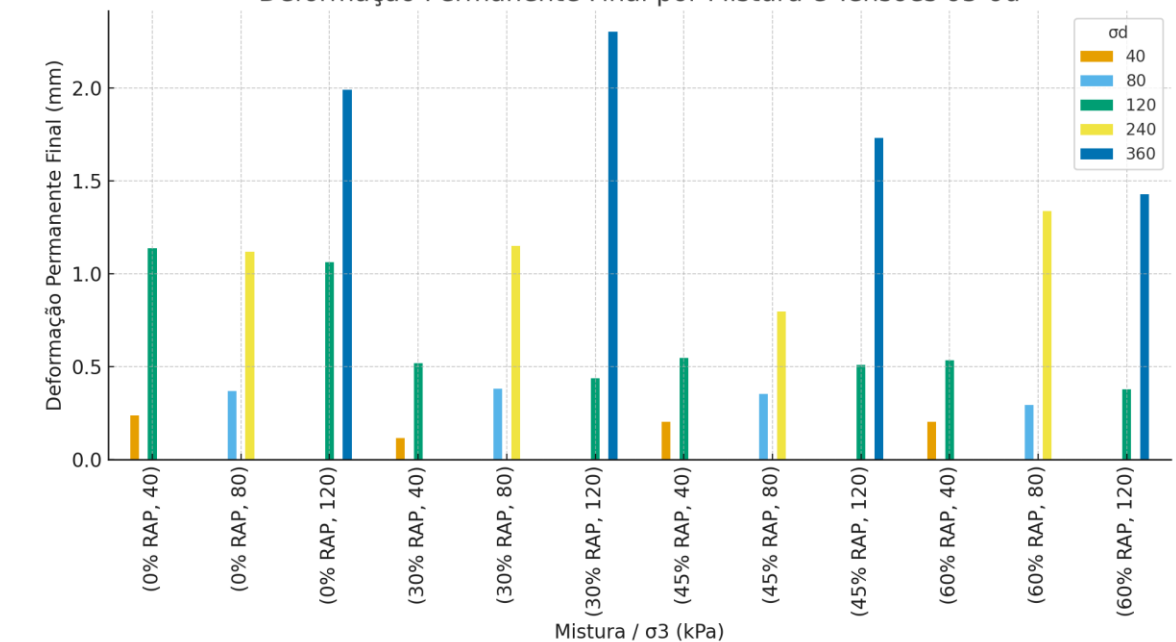


FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL



DEFORMAÇÃO PERMANENTE

Deformação Permanente Final por Mistura e Tensões $\sigma_3 - \sigma_d$



Macêdo, (2022)



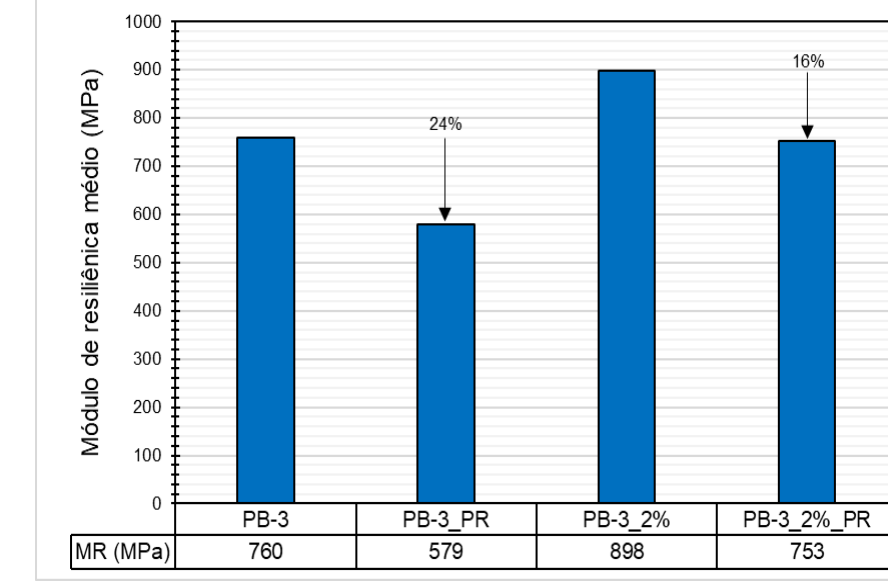
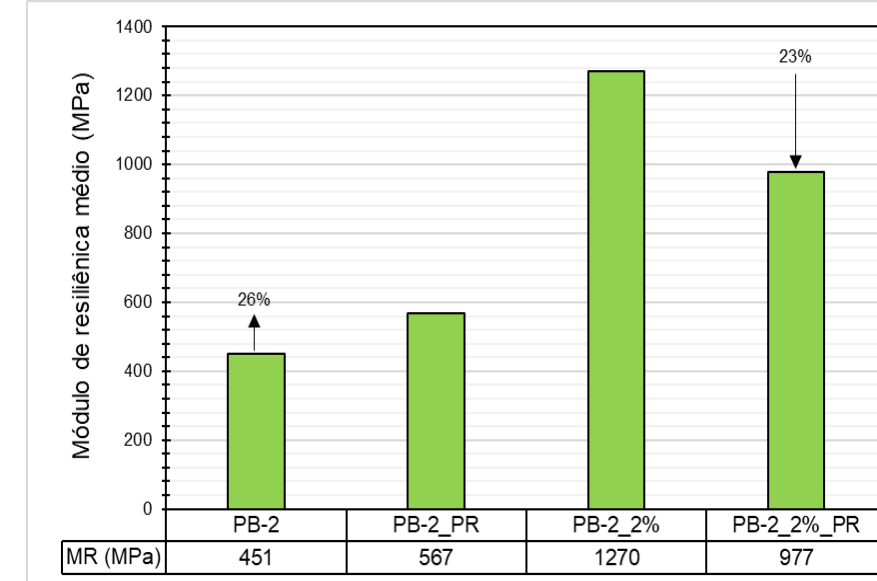
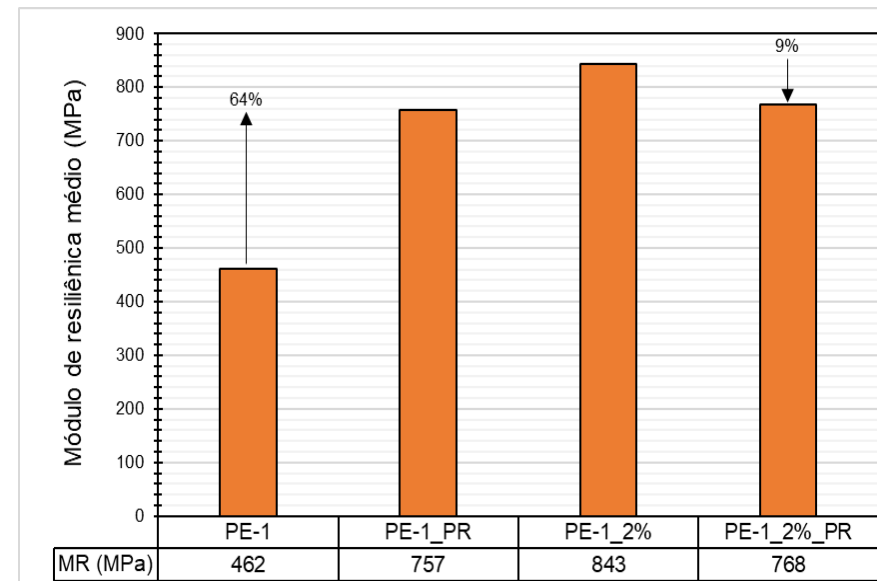
Deformação Permanente e Módulo de Resiliência



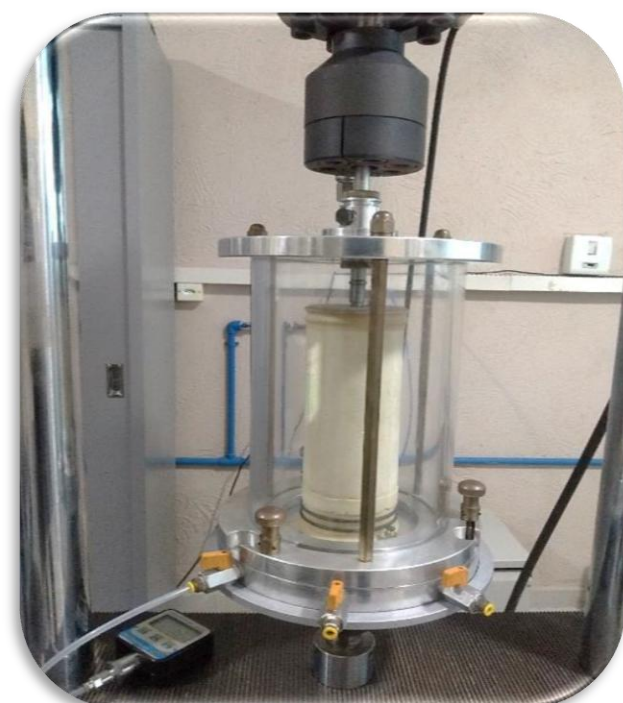
MÓDULO DE RESILIÊNCIA



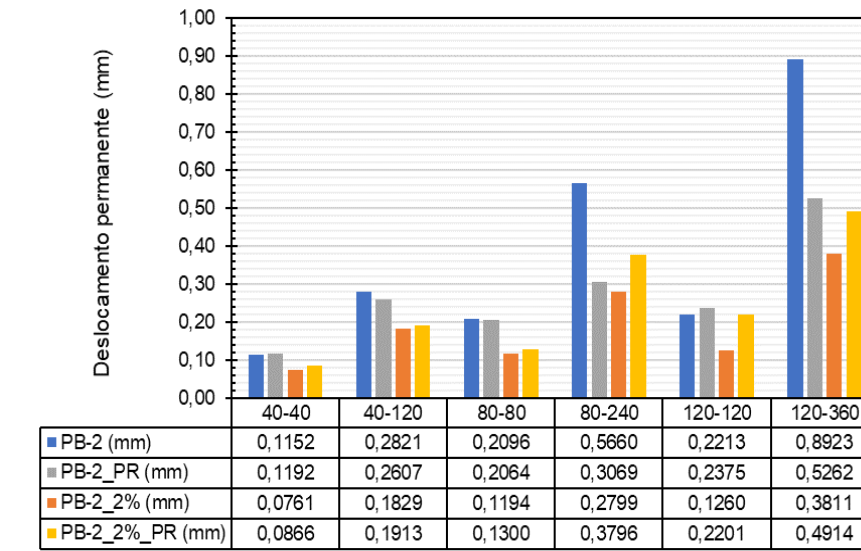
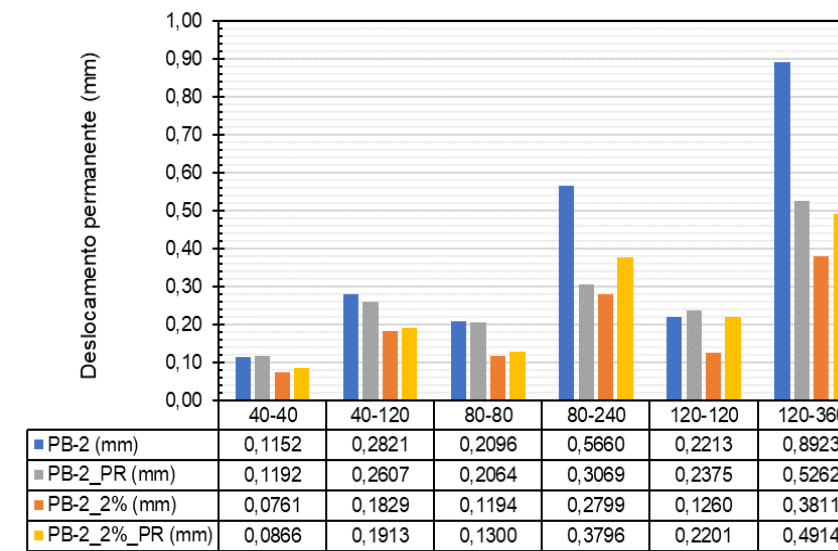
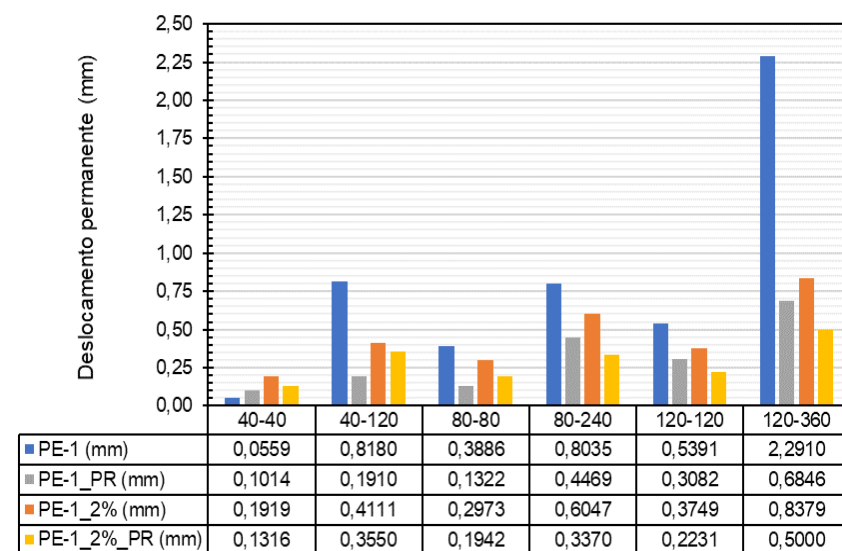
Equipamento de MR



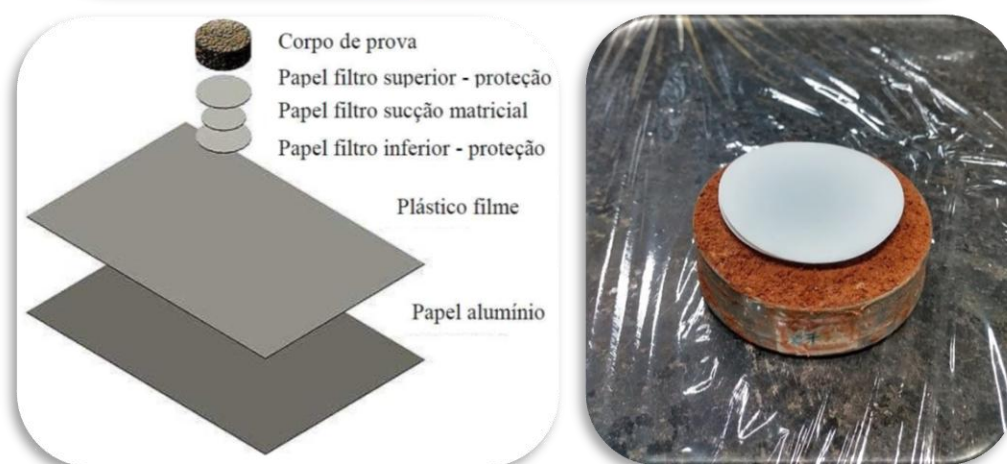
DEFORMAÇÃO PERMANENTE



Equipamento DP



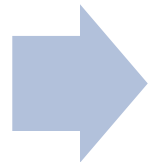
Sucção & Retração



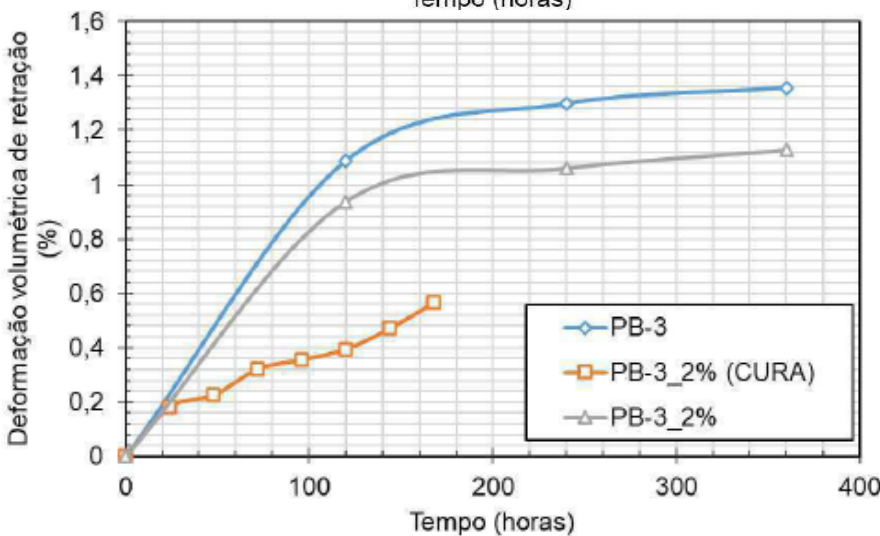
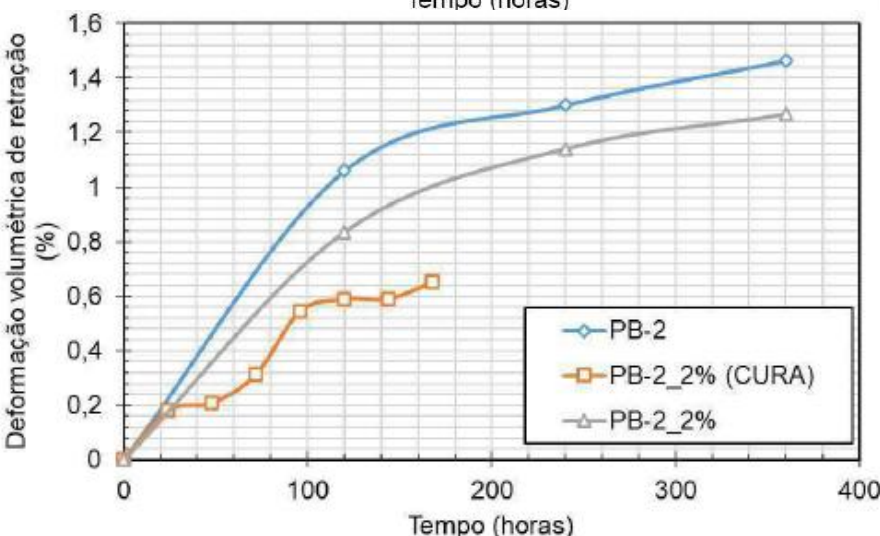
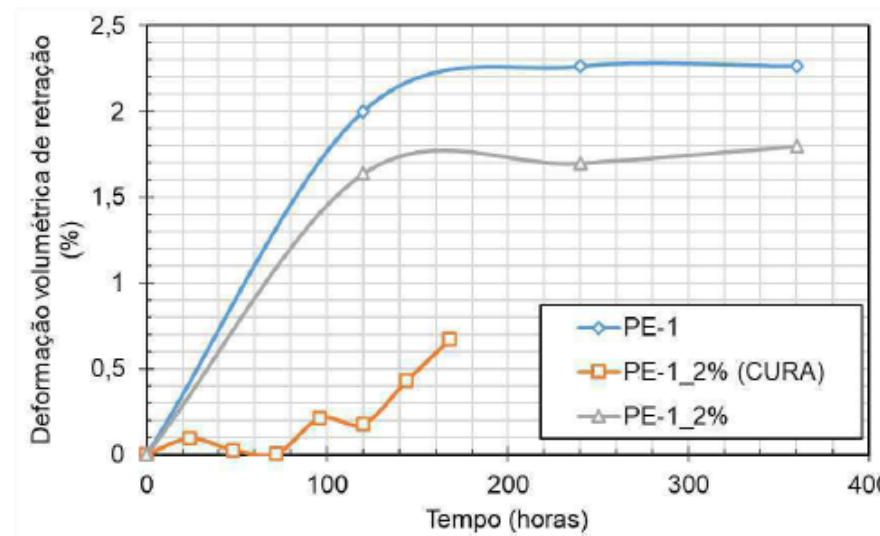
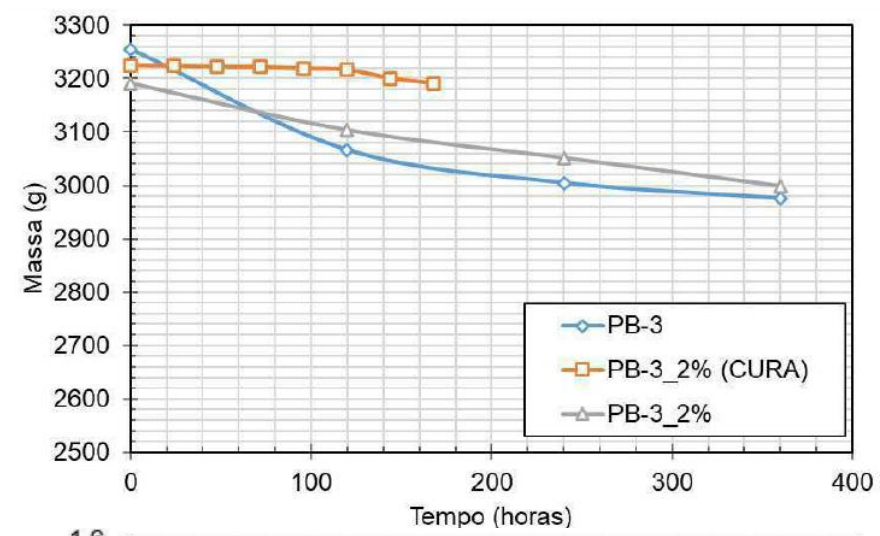
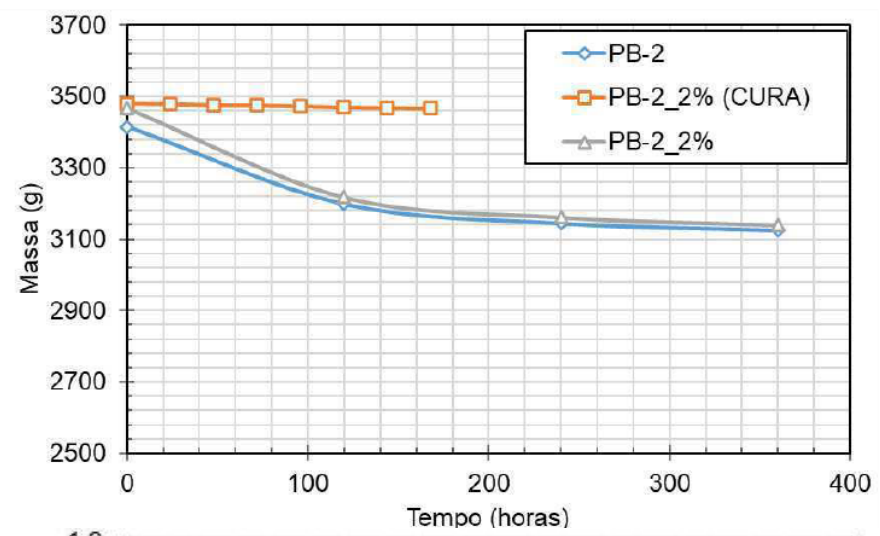
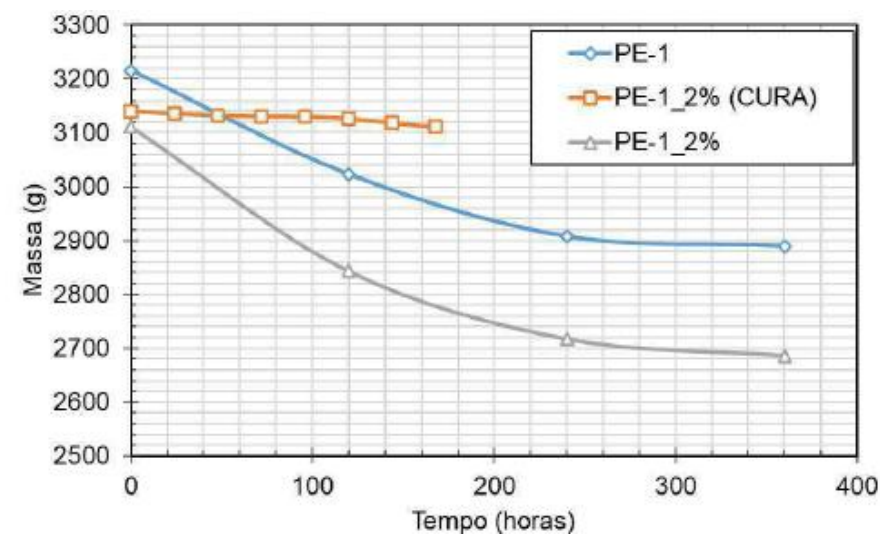
O período de retração melhora o módulo de resiliência e reduz a deformação permanente dos solos naturais, com efeito mais significativo em função da granulometria.



As maiores variações de massa e volume ocorrem nos primeiros 5 dias de secagem, fase em que também há maior suscetibilidade à formação de trincas;



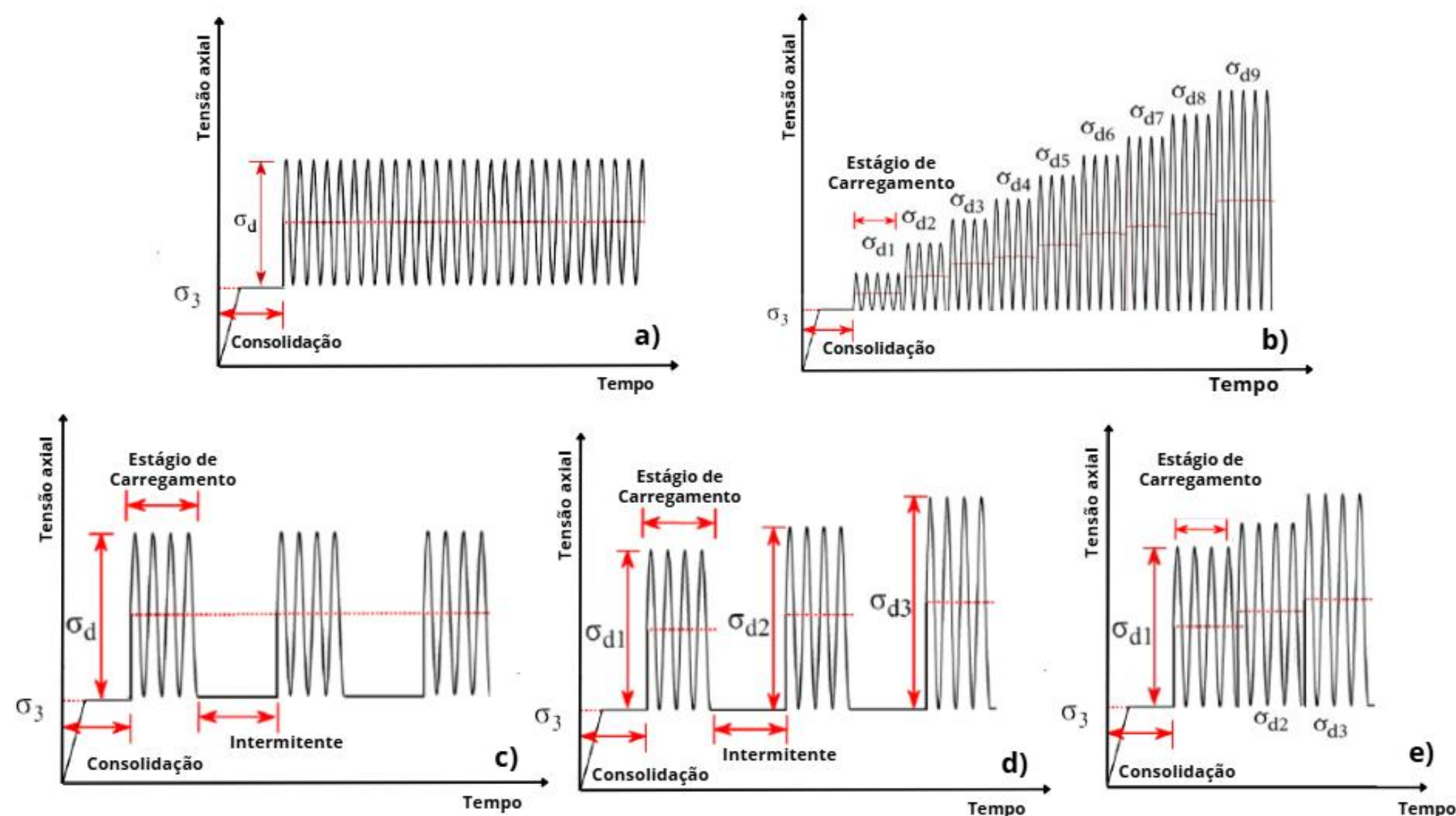
Recomenda-se um período mínimo de cura de 3 dias para mitigar a retração das camadas.



Futuro & Perspectivas



COMPORTAMENTO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE SOLO LATERÍTICO SOB VARIAÇÕES DE UMIDADE, SUCÇÃO MATRICIAL E REGIMES DE CARREGAMENTO CÍCLICO



Adaptado de Li et al. (2021)

Pares de tensões ensaio intermitente estágio único e multiestágio

Procedimento inicial						
Par de tensão	σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)			Número de ciclos	Frequência (Hz)
1	0,030	0,030			50	5
Sequência de tensões (Intermitente Estágio Único)						
Par de tensão	σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)			Número de ciclos	Frequência (Hz)
1	0,040	0,040			10000	5
2		0,080			10000	5
3		0,120			10000	5
4	0,080	0,080			10000	5
5		0,160			10000	5
6		0,240			10000	5
7	0,120	0,120			10000	5
8		0,240			10000	5
9		0,360			10000	5
Sequência de tensões (Intermitente Multiestágio)						
Par de tensão	σ_3 (MPa)	σ_d (MPa)			Número de ciclos	Frequência (Hz)
1	0,040	0,040	0,080	0,120	10000	5
2	0,080	0,080	0,160	0,240	10000	5
3	0,120	0,120	0,240	0,360	10000	5

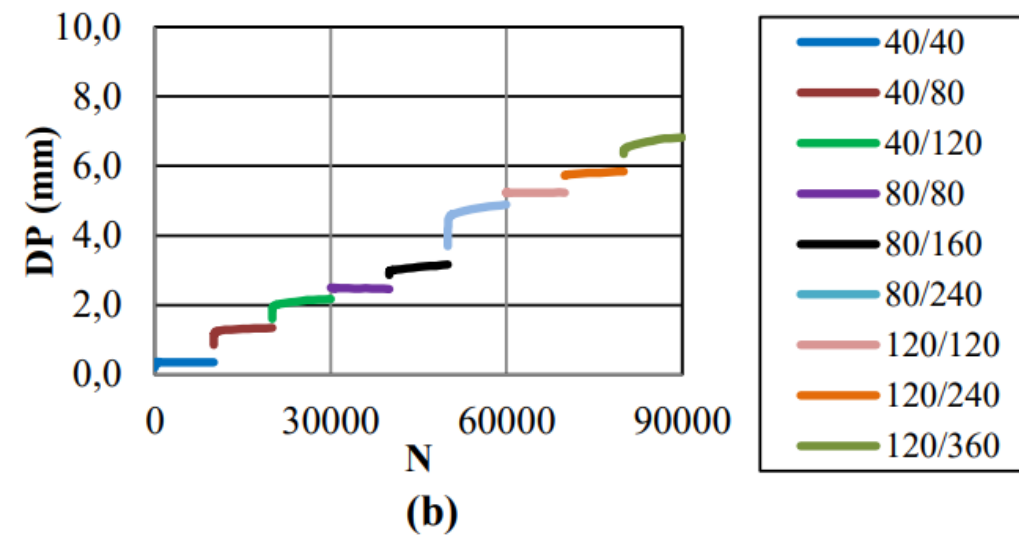
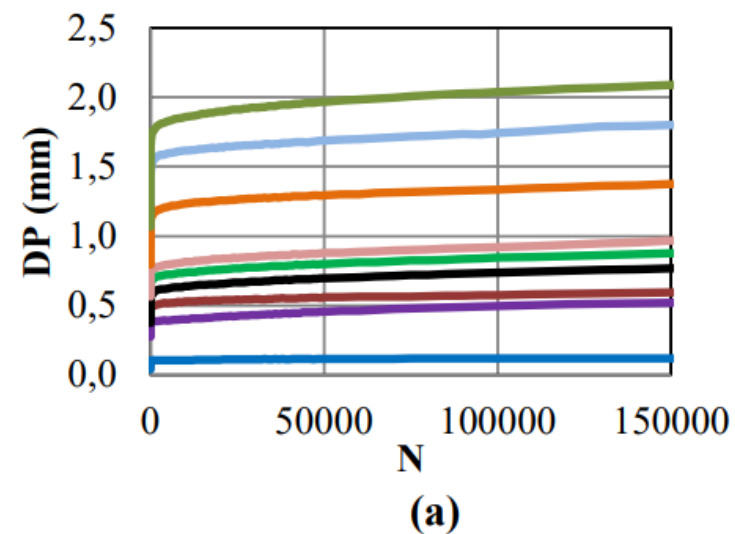
Adaptado de DNIT 179/2018

Futuro & Perspectivas

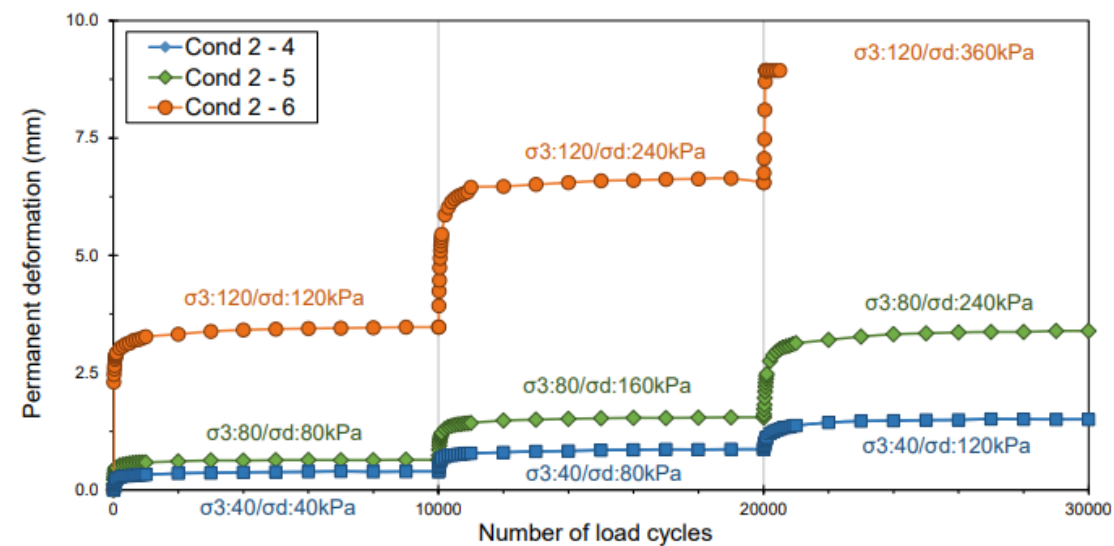
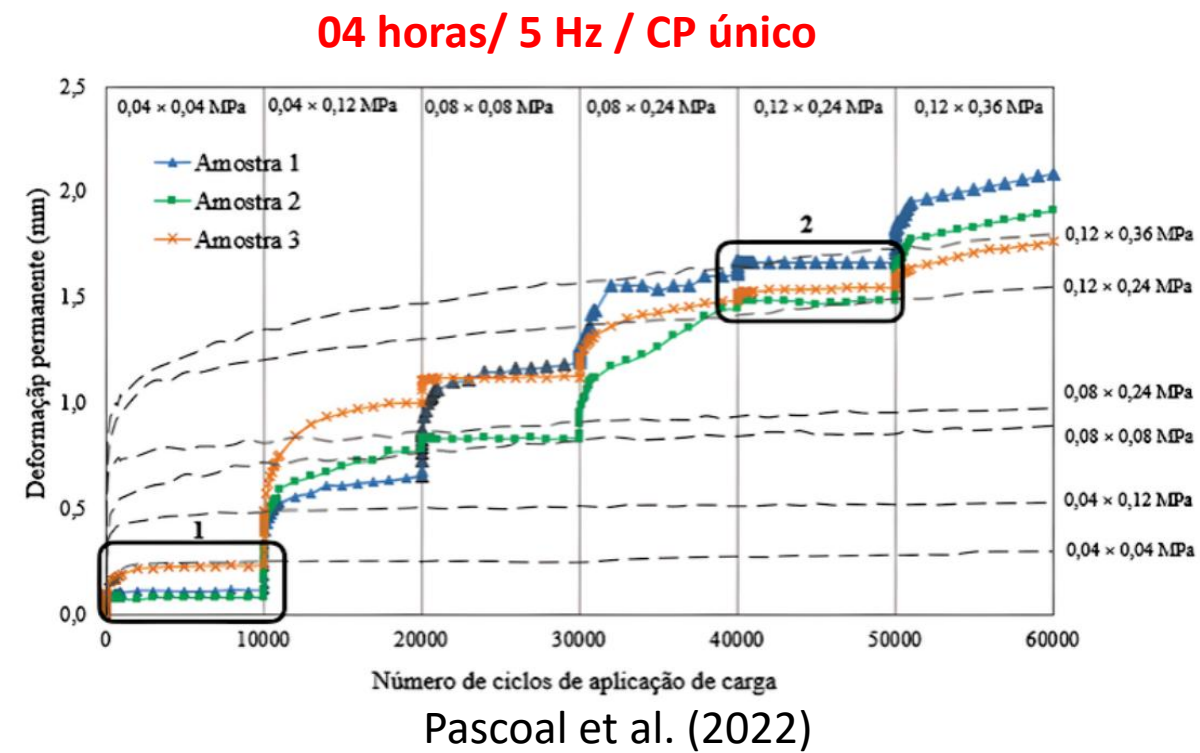


COMPORTAMENTO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE SOLO LATERÍTICO SOB VARIAÇÕES DE UMIDADE, SUCÇÃO MATRICIAL E REGIMES DE CARREGAMENTO CÍCLICO

Exemplos de curvas resultantes de solos ensaiados em (a) estágio único e (b) multiestágios

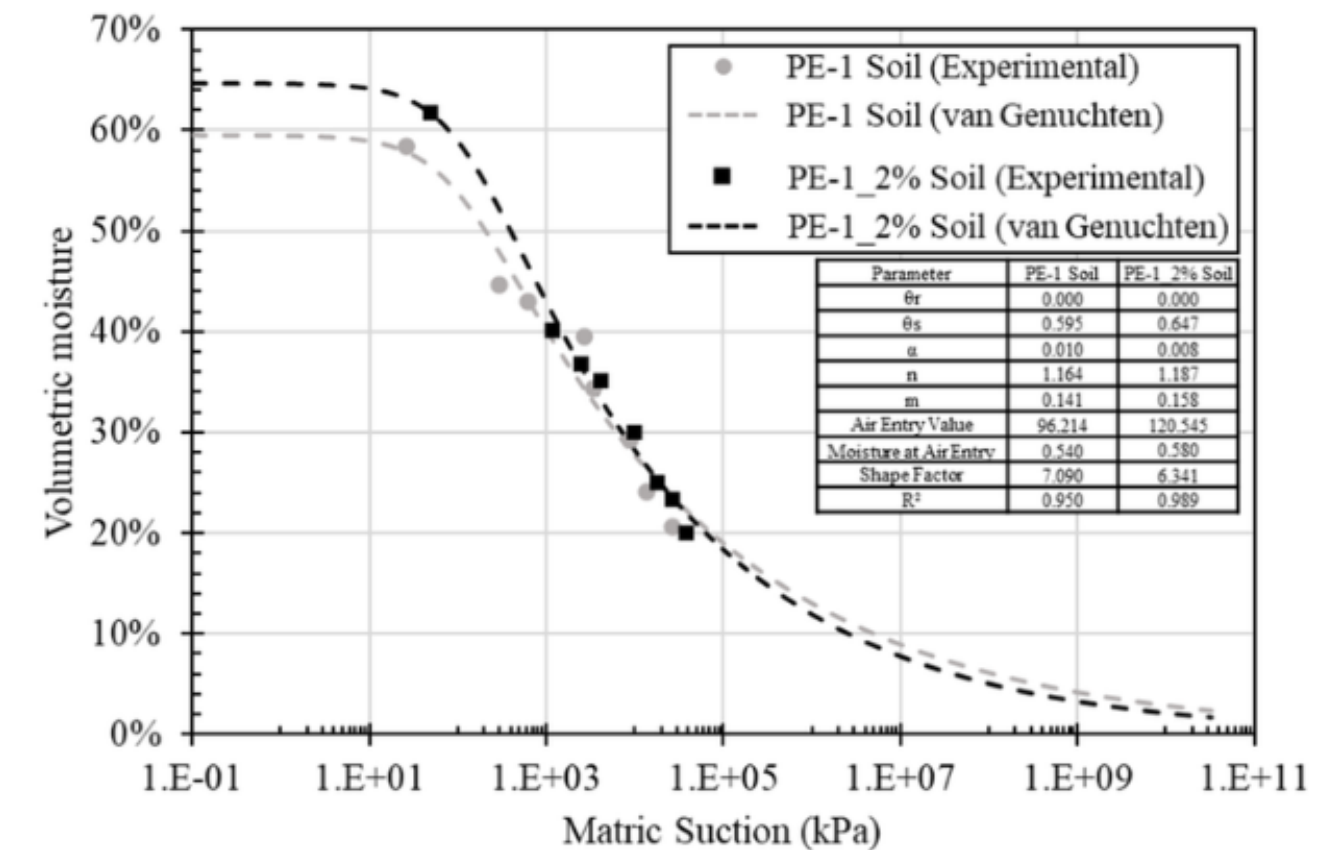


Barros et al., (2019)



Ben et al. (2024)

Soil-Water Characteristic Curves (SWCCs)

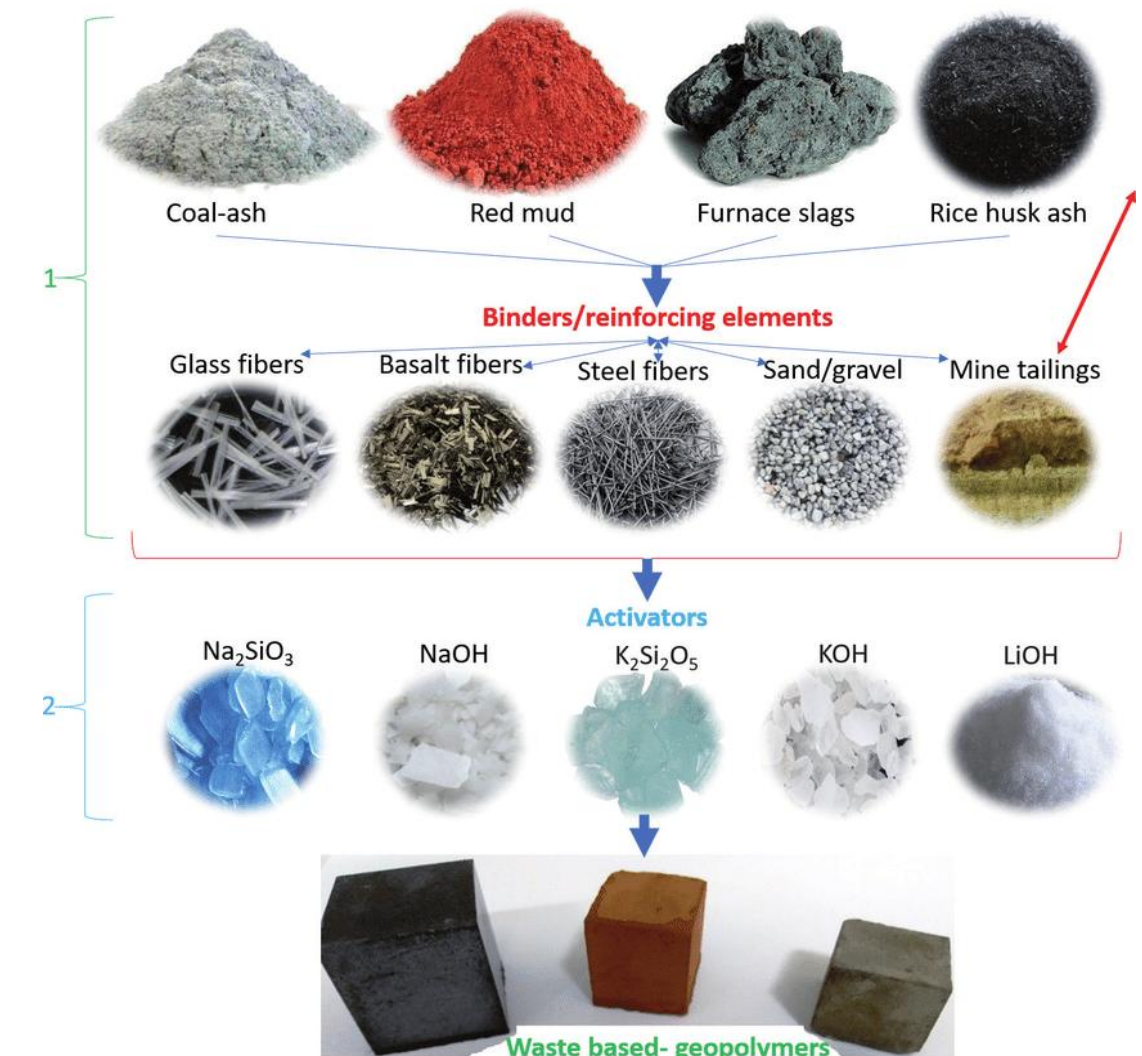


Futuro & Perspectivas



APLICAÇÃO DE GEOPOLÍMEROS DERIVADOS DE RESÍDUOS E REJEITOS INDUSTRIAIS COMO AGENTES ESTABILIZADORES DE SOLO LATERÍTICO PARA CAMADAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

GEOPOLÍMEROS



RPP



Lucas Goldenberg Py, 2018

REJEITO DE BAUXITA



Norsk Hydro ASA, 2025

Futuro & Perspectivas



EFEITOS DA SATURAÇÃO E DOS CICLOS DE UMIDECIMENTO-SECAGEM NO COMPORTAMENTO DE DEFORMAÇÃO RESILIENTE, PERMANENTE E DURABILIDADE DE SOLOS LATERÍTICOS

- Os ciclos terão como finalidade simular variações de umidade nas camadas do pavimento que ocorrem em clima tropical, bem como investigar a durabilidade da estabilização ao longo do tempo.
- ASTM D559 aborda os ensaios de umedecimento e secagem para misturas de solo-cimento.



Machado et al. (2006)



Weber (2013)



Cardozo et al. (2024)

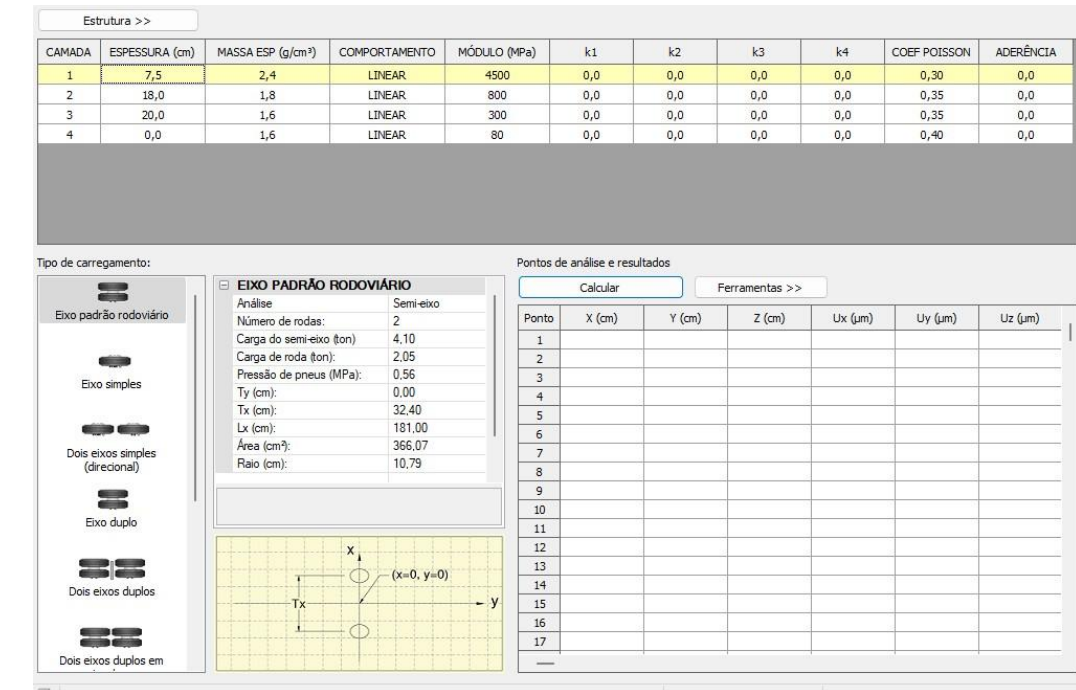
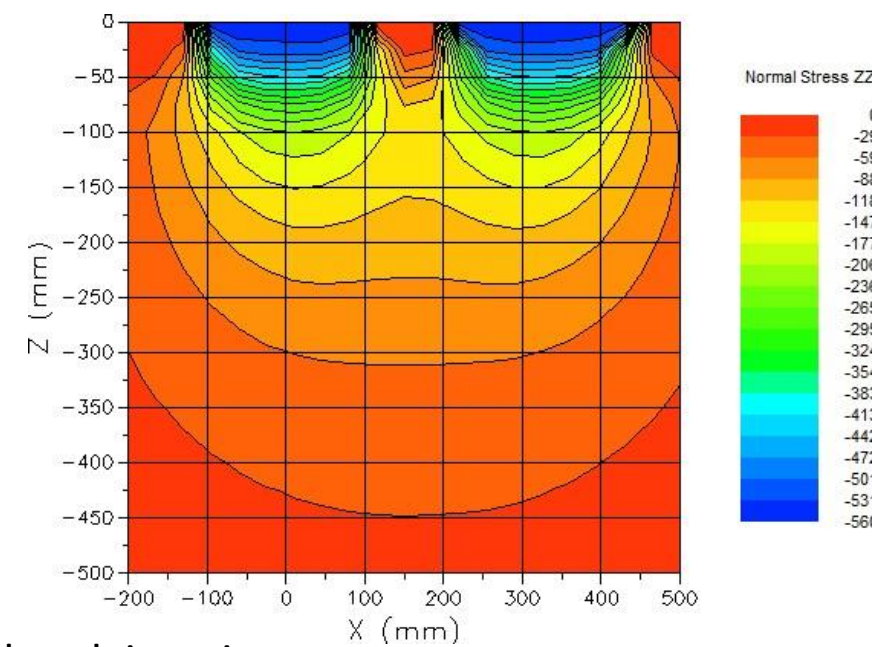
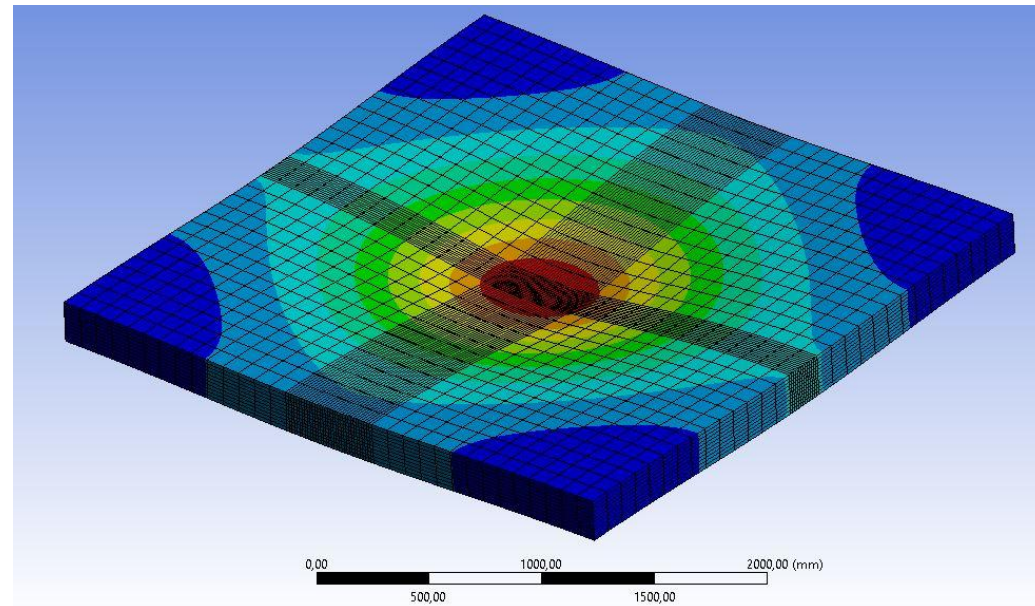


Aeroporto Internacional de Porto Alegre
Folha de São Paulo, 2024

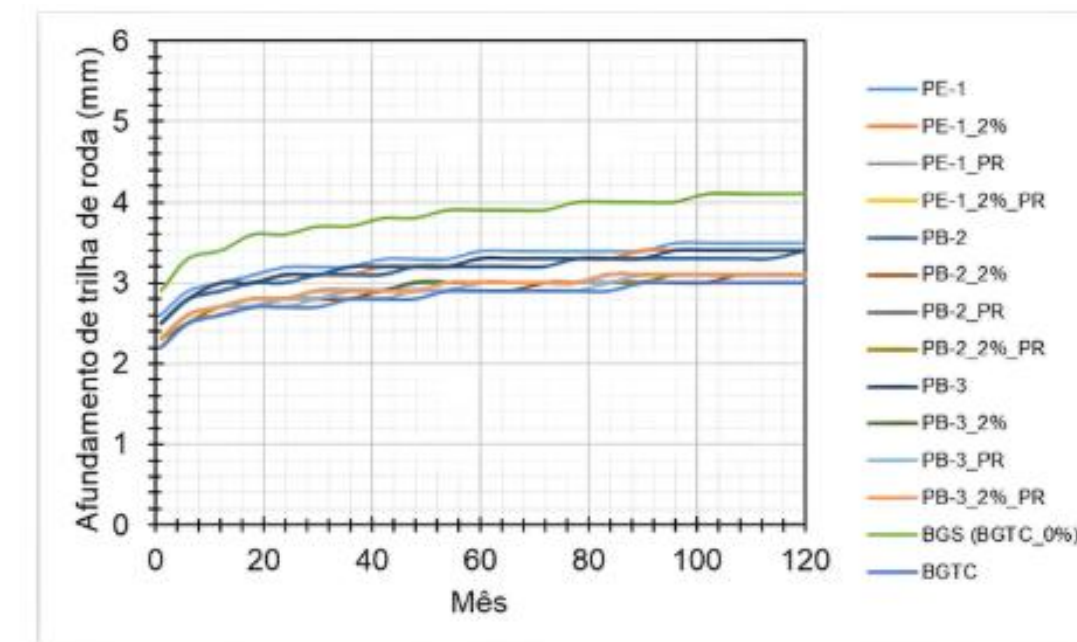
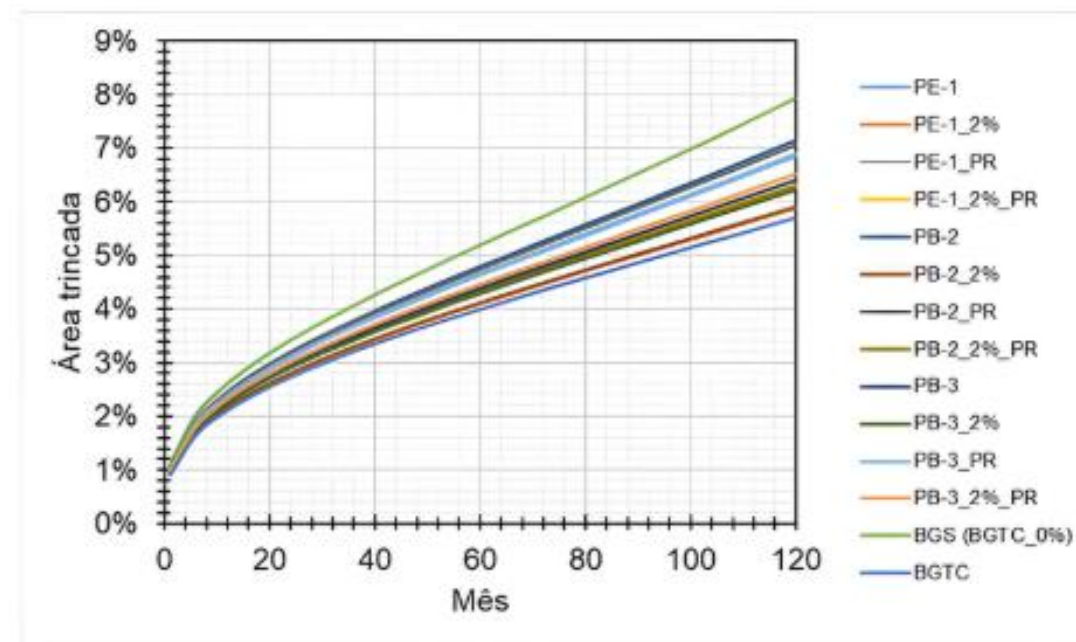
Futuro & Perspectivas



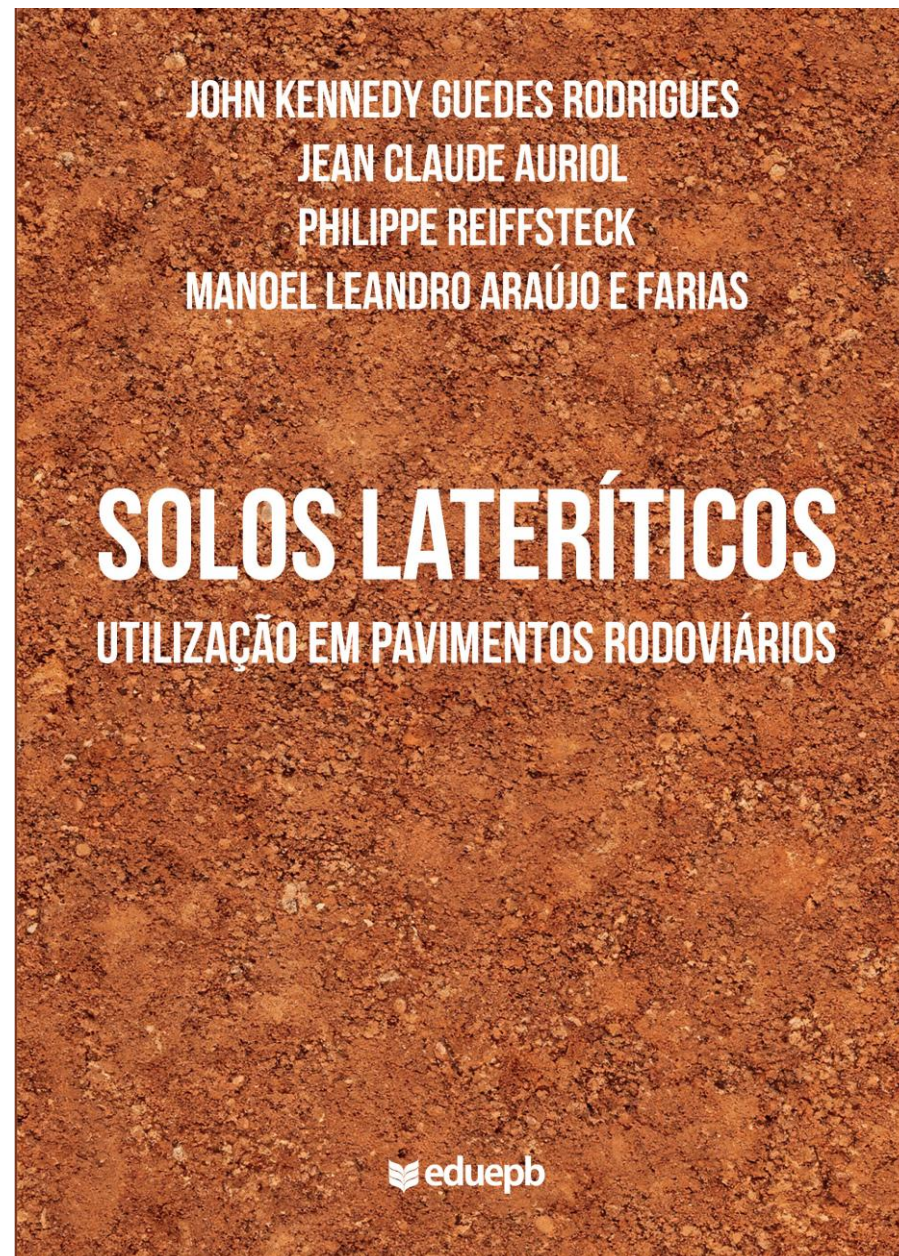
ANÁLISE MECANÍSTICA-EMPÍRICA E MODELAGEM NUMÉRICA



Felipe Cava (2021) – alemdainercia.com



Publicações e Desenvolvimento



Comparative analysis of tropical soil classification methods for highway pavement applications

Análise comparativa de métodos de classificação de solos tropicais para aplicações em pavimentos rodoviários

Manoel Leandro Araújo e Farias¹, John Kennedy Guedes Rodrigues¹, Ana Leticia Feitosa de Macêdo¹, Jonny Dantas Patricio¹, Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça¹, Leonardo Rodrigues Guedes¹, Henrique Antônio Oliveira Araújo¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil
 Contact: mlaf.engcivil@gmail.com, (MLAF); profkennedy@hotmail.com, (JKGR); leticiamacedo.engcivil@gmail.com, (ALFM); jonny_dantas@hotmail.com, (JDP); ana.duartemendonca@gmail.com, (AMGDM); leonardo.guedes@estudante.ufcg.edu.br, (LRG); henrique.zamouira@gmail.com, (HAOA)



39º ANPET
 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes
 Goiânia - GO | 10 a 14 de Novembro de 2025

Prezado(a) autor(a) Manoel Leandro Araújo e Farias,

Como Diretor Científico do 39º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, tenho a satisfação de informar que o trabalho intitulado "DESEMPENHO MECÂNICO DE SOLO LATERÍTICO ESTABILIZADO COM CAL HIDRATADA E RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO", de autoria de Manoel Leandro Araújo e Farias, John Kennedy Guedes Rodrigues, Ana Leticia Feitosa de Macêdo, Arthur dos Santos Souza, Felipe Borges de Oliveira, Arthur Nóbrega de Sousa, João Pedro Silveira Salustiano, Paulo Germano Tavares Marinho Filho, Jonny Dantas Patricio, Pedro Raimundo Santana Junior, foi aceito para publicação nos anais e para apresentação no ANPET 2025, a ser realizado em Goiânia-GO, em November 10 to November 14.



39º ANPET
 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes
 Goiânia - GO | 10 a 14 de Novembro de 2025

Prezado(a) autor(a) Manoel Leandro Araújo e Farias,

Como Diretor Científico do 39º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, tenho a satisfação de informar que o trabalho intitulado "POTENCIAL DO REJEITO DE BAUXITA COMO PRECURSOR GEOPOLIMÉRICO NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS ASSOCIADO À CAL HIDRATADA", de autoria de Manoel Leandro Araújo e Farias, John Kennedy Guedes Rodrigues, Ana Leticia Feitosa de Macêdo, Arthur dos Santos Souza, Felipe Borges de Oliveira, Jonny Dantas Patricio, Paulo Germano Tavares Marinho Filho, Ana Maria Gonçalves Duarte, Adla Jamilly Vieira Felipe, Allan Kewen Câmara de Oliveira, foi aceito para publicação nos anais e para apresentação no ANPET 2025, a ser realizado em Goiânia-GO, em November 10 to November 14.

REVISTAMATÉRIA V.30

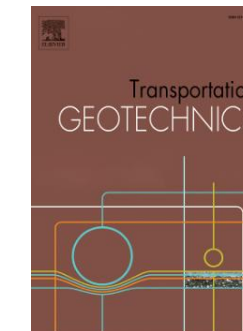
ISSN 1517-7076 articles e20250147, 2025

Propriedades mecânicas de solo laterítico natural e estabilizado com cal e polímero

Mechanical properties of natural lateritic soil and stabilized with lime and polymer

Amanda Mendes Arruda¹, John Kennedy Guedes Rodrigues¹, Manoel Leandro Araújo e Farias¹, Jonny Dantas Patricio¹, Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Laboratório de Engenharia de Pavimentos, Campina Grande, PB, Brasil
 e-mail: amadarruda@outlook.com, profkennedy@hotmail.com, mlaf.engcivil@gmail.com, jonny_dantas@hotmail.com, ana.duartemendonca@professor.ufcg.edu.br



Study of modified soils with polymers addition for use in roads pavements

Estudo de solos modificados com adição de polímeros para uso em pavimentos rodoviários

Jonny Dantas Patricio¹, John Kennedy Guedes Rodrigues¹, Lêda Christiane de Figueiredo Lopes Lucena¹, Manoel Leandro Araújo e Farias¹, Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça¹, Leonardo Rodrigues Guedes¹, Hillary de Oliveira Marinho¹, Paulo Germano Tavares Marinho Filho¹, Ana Leticia Feitosa de Macêdo¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil
 Contact: jonny_dantas@hotmail.com, (JDP); profkennedy@hotmail.com, (JKGR); ledach@uol.com.br, (LCFL); mlaf.engcivil@gmail.com, (MLAF); ana.duartemendonca@gmail.com, (AMGDM); leonardo.guedes@estudante.ufcg.edu.br, (LRG); hillyaroliveira@estudante.ufcg.edu.br, (HOM); marinho.paulo05@gmail.com, (PGTMF); leticiamacedo.engcivil@gmail.com, (ALFM)



Análise da aplicabilidade de Sistema de Classificação Universal para solos lateríticos utilizados em camadas de pavimentos

Analysis of the applicability of a Universal Classification System for lateritic soils used in pavement layers

Manoel Leandro Araújo e Farias¹, Henrique Antônio Oliveira Araújo², John Kennedy Guedes Rodrigues³

¹Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba – Brasil, mlaf.engcivil@gmail.com
²Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba – Brasil, henrique.zamouira@gmail.com
³Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba – Brasil, profkennedy@hotmail.com

Transportation Geotechnics Drying shrinkage and stabilization in lateritic soils: effects on permanent deformation and predictive modeling --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	TRGEO-D-25-01090
Article Type:	Original article
Section/Category:	The Americas
Keywords:	Permanent deformation; Matric suction; Lateritic soils; Chemical stabilization; Unsaturated conditions



DESEMPENHO MECÂNICO DE SOLOS LATERÍTICOS: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS SISTEMAS TRB E SUCSL EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA E DO GRAU DE INTEMPERISMO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS LATERÍTICOS

MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLOS LATERÍTICOS: ESTUDO POR CLASSES GRANULOMÉTRICAS SEGUNDO O SISTEMA UNIVERSAL DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS (SUCSL)

COMPORTAMENTO VOLUMÉTRICO E SENSIBILIDADE À ÁGUA EM SOLOS LATERÍTICOS PARA PAVIMENTAÇÃO

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS LATERÍTICOS FRENTE À FRIABILIDADE, FRAGMENTABILIDADE E DEGRADABILIDADE



COLABORADORES: Agradecimentos



AGRADECIMENTOS



UNICAMP



PETROBRAS



John Kennedy Guedes Rodrigues
profkennedy@hotmail.com



MESA REDONDA

Solos Tropicais e Exemplos de Estudos em Pernambuco

Roberto Quental Coutinho

Professor Titular - PPGECUFPE

Presidente Nacional da ABMS - Biênio 2023-2024 / 2025-2026

Brasília, 05 e 06 de Maio de 2026

Realização:





ÍNDICE



- **INTRODUÇÃO - IMPORTÂNCIA DOS SOLOS TROPICAIS PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS E FERROVIAS**
- **CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS TROPICAIS - LATERÍTICOS**
- **PESQUISAS GEGEP/UFPE - PERNAMBUCO:**
 - **Desempenho e Viabilidade de Solos Tropicais Finos na Infraestrutura de Transportes**
 - **Desempenho de Solo Reforçado para uso como Revestimento Primário em Estradas não Pavimentadas**
- **CONSIDERAÇÕES FINAIS**



INTRODUÇÃO - IMPORTÂNCIA DOS SOLOS TROPICAIS PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS E FERROVIAS (Contribuição da Engenharia Geotécnica)

SOLOS TROPICAIS

DEFINIÇÕES DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE SOLOS TROPICAIS: Tropicals'85, Brasília - Brasil

- **Solo tropical:** apresenta propriedades e comportamento peculiares quando comparado aos solos não tropicais, em decorrência de processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais úmidas.
- **Solo laterítico (Residual ou Transportado):** Pertence aos horizontes A ou B de perfis bem drenados, desenvolvidos sob clima tropical úmido; a fração argila é constituída essencialmente por minerais do grupo da caulinita e por óxidos hidratados de ferro e alumínio, sendo esses componentes organizados em estruturas agregadas peculiares, porosas e altamente estáveis (concreções lateríticas).
- **Solo saprolítico (Residual):** Solo, do ponto de vista geotécnico (dispensa o uso de explosivos para escavação), autenticamente residual; apresenta características estruturais claramente herdadas, que podem possibilitar a fácil identificação da rocha de origem.

- Solos tropicais, devido às peculiaridades decorrentes de sua formação, não seriam aceitos como materiais adequados para muitos tipos de obras de terra, com base nos sistemas tradicionais de classificação geotécnica (HRB e USCS).
- No entanto, muitos solos tropicais apresentam desempenho excepcional em campo.
- O conhecimento sobre como identificar os solos adequados e como utilizá-los da melhor forma precisou ser desenvolvido, tanto do ponto de vista científico quanto técnico.

IMPORTANTES CONTRIBUIÇÕES BRASILEIRA

- Utilização de solos locais
- **Redução de custos**
- Redução das emissões de carbono
- **Aprimoramento tecnológico**

- Proposta de Sistema de Classificação para Solos Tropicais foi desenvolvida: **M-MCT**

Principais Solos Tropicais para a construção de Ferrovias e Rodovias

- Cascalhos lateríticos
- Areias e solos finos arenosos lateríticos
- Argilas lateríticas

- Apresenta peculiaridades de propriedades e de comportamento, relativamente aos solos não tropicais, em decorrência da atuação no mesmo de processos geológicos e/ou pedológicos, típicos das regiões tropicais úmidas”. TC - Tropical Soils - ISSMFE (1985)
- Em regiões tropicais os depósitos de solos (saprolíticos + lateríticos) podem ocorrer de forma geral e atingindo espessuras de até 70 m; **Parte pode estar na Condição NSAT.**
- Estes solos são comumente utilizados em construções de aterros para barragens, aeroportos, rodovias e ferrovias; e, independente do teor de finos, geralmente exibem boa compactação e trabalhabilidade.
- Os Solos Lateríticos finos podem se apresentar porosos em campo, mas excelente quando compactados: alta resistência ao cisalhamento, baixa deformabilidade e baixa permeabilidade.
- **Mitchell and Coutinho (1991)** enfatiza as características de Solos nas Américas. Entre eles solos saprolíticos de diferentes origens, solo laterítico, colapsível, expansivos e outros. No caso dos solos residuais, é enfatizado a importância da rocha matriz, clima, topografia e a idade da deposição do depósito.



- * *Itumbiara Hydroelectric Plant, 106 m high. Earth dam, built in 1974 using fine-grained tropical soil, a common practice in Brazil also applied to highway embankments and other works.*

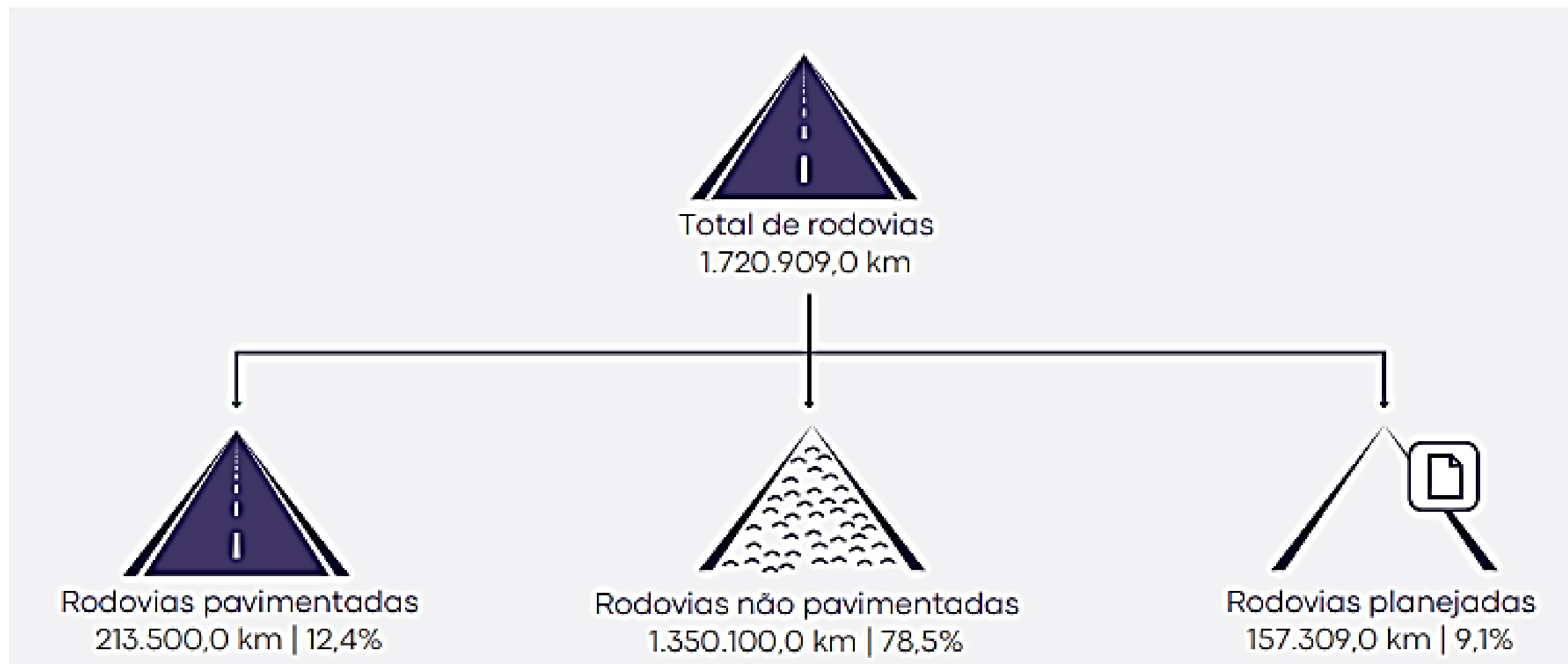
Mori, R.T.; Abreu, F.R. and Pan, Y.P. (1979).

Perspectivas futuras para o uso de solos tropicais na infraestrutura de transportes

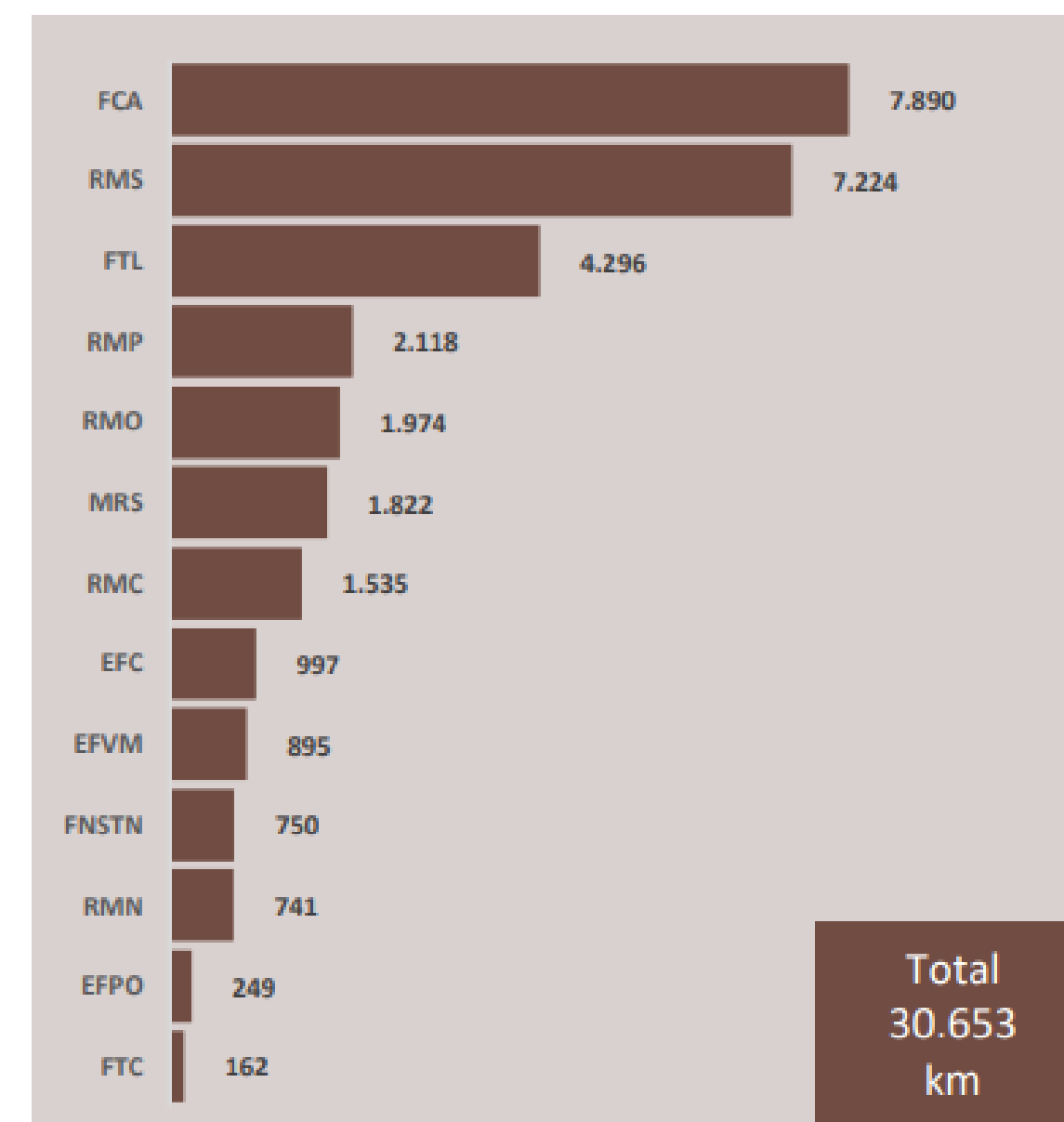
•A malha rodoviária brasileira atinge um total de aproximadamente 1,8 milhão de km, dos quais cerca de 1,4 milhão de km (77,8% do total) correspondem a estradas vicinais e locais não pavimentadas (SANTOS et al., 2024).

•As estradas não pavimentadas no Brasil são, de forma clara e inequívoca, responsáveis pelo escoamento inicial da produção agrícola e agroindustrial, bem como pelo deslocamento para atividades de trabalho, educação, acesso à saúde, turismo e visitas a áreas de preservação ambiental. Contudo, na ausência de manutenção adequada, podem ocorrer problemas, especialmente durante os períodos chuvosos.

Malha rodoviária brasileira



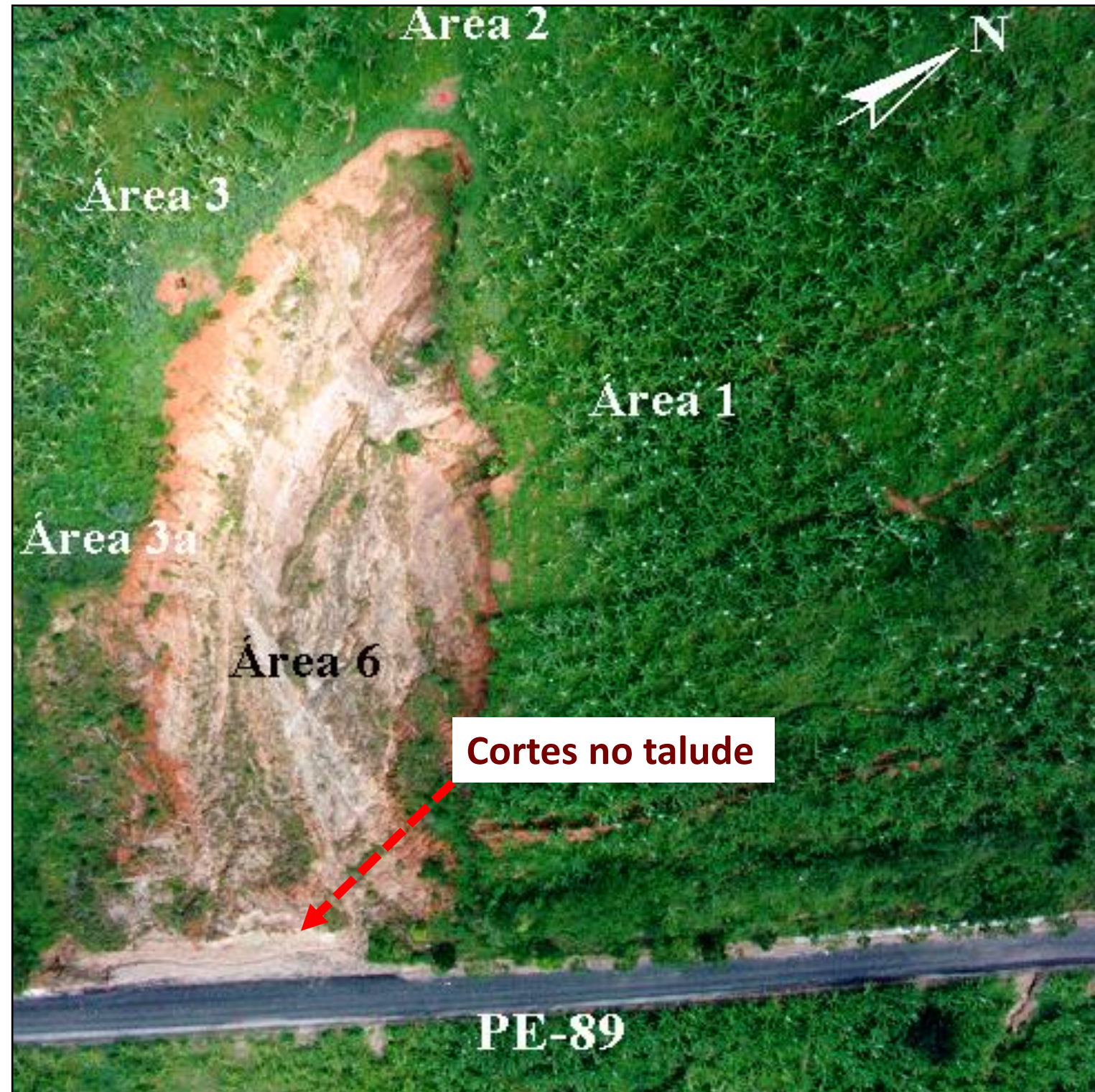
Distribuição da Malha Ferroviária Brasileira (KM)



Processos Geotécnicos em Rodovias: Deslizamento e Erosão

Processo Deslizamento - PE-89, Machado - PE
Coutinho et al. 2000-2025

Processo Deslizamento - Salvador, Bahia



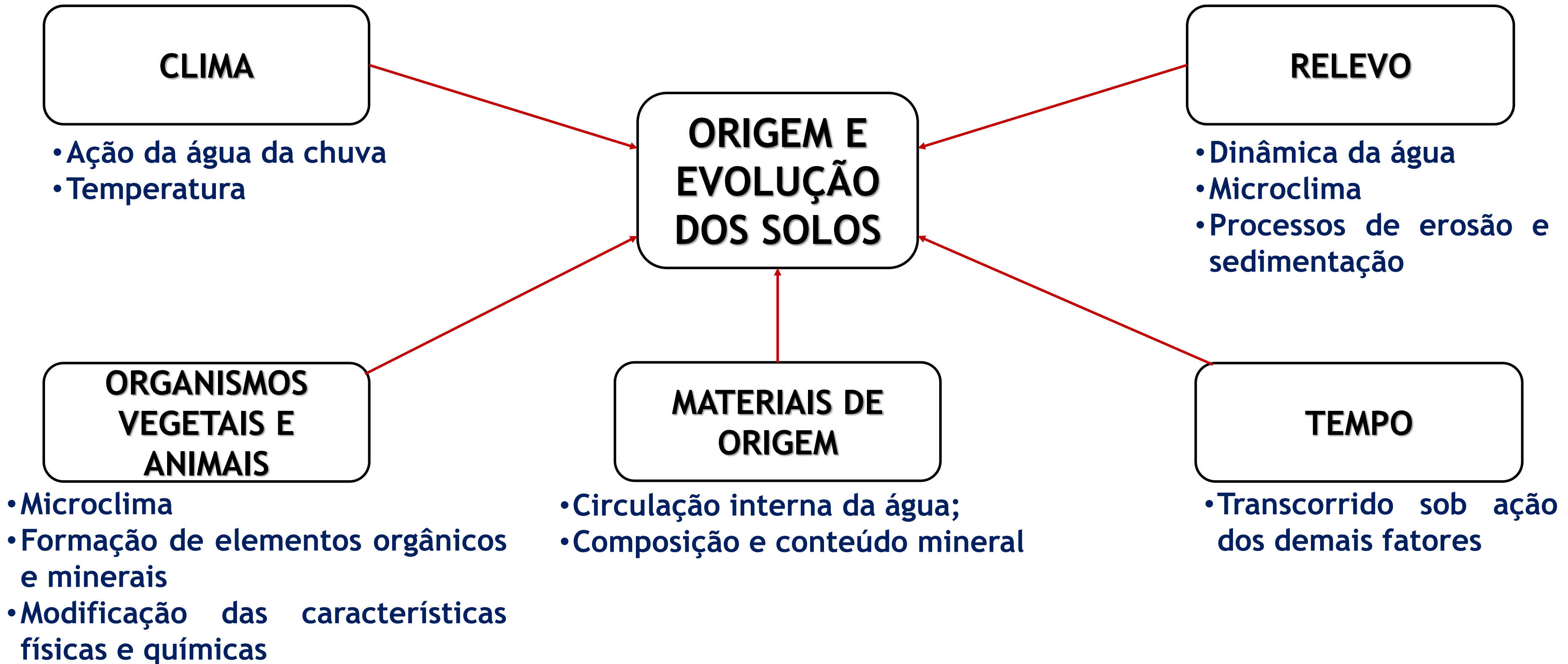
Coutinho, R., 2026.

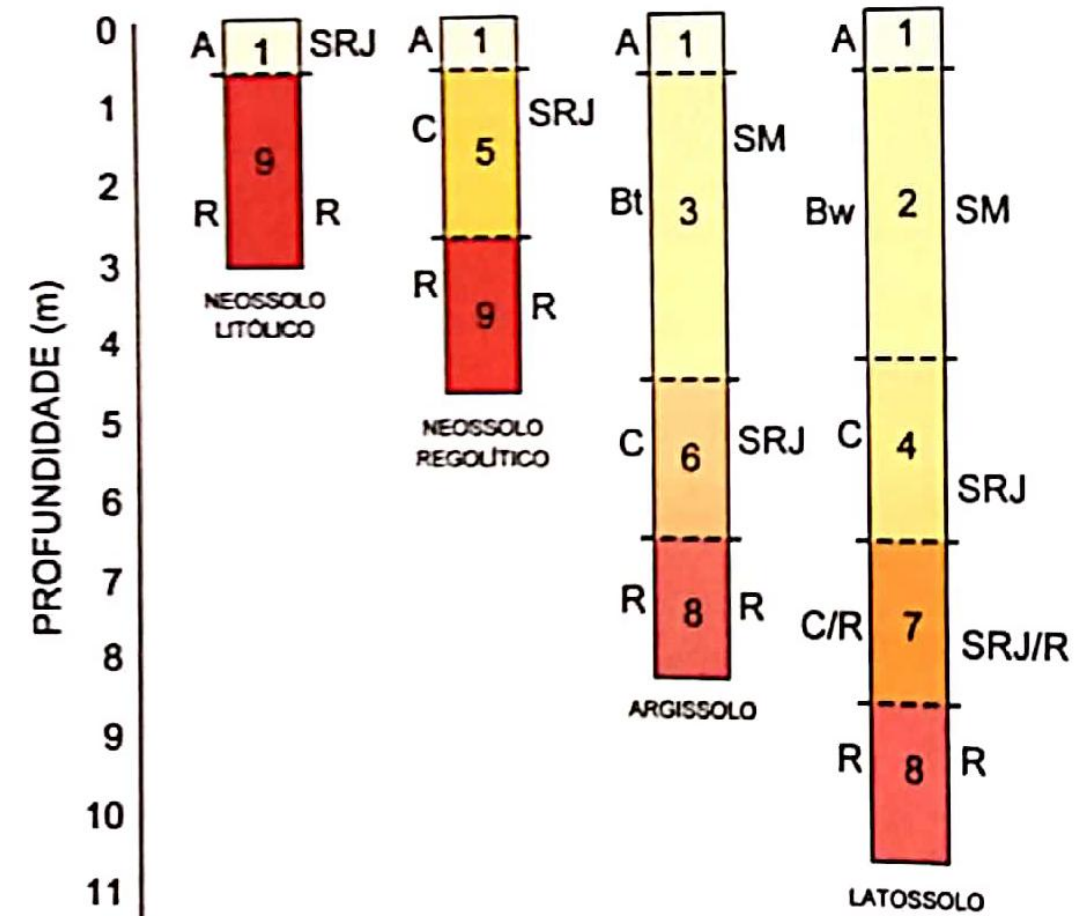


Verificar também nos estudos geotécnicos a presença na fundação de solos especiais: solos moles, expansivos e colapsíveis

Características dos Solos Tropicais - Lateríticos

FATORES DE FORMAÇÃO DOS SOLOS





PERFIL GEOTÉCNICO
 SM Solo maduro
 SRJ Solo residual jovem
 R Rocha alterada

PERFIL PEDOLÓGICO
 A Horizonte A
 Bt Horizonte B textural (Argisolo)
 Bw Horizonte B latossólico (Latosolo)
 C Horizonte C



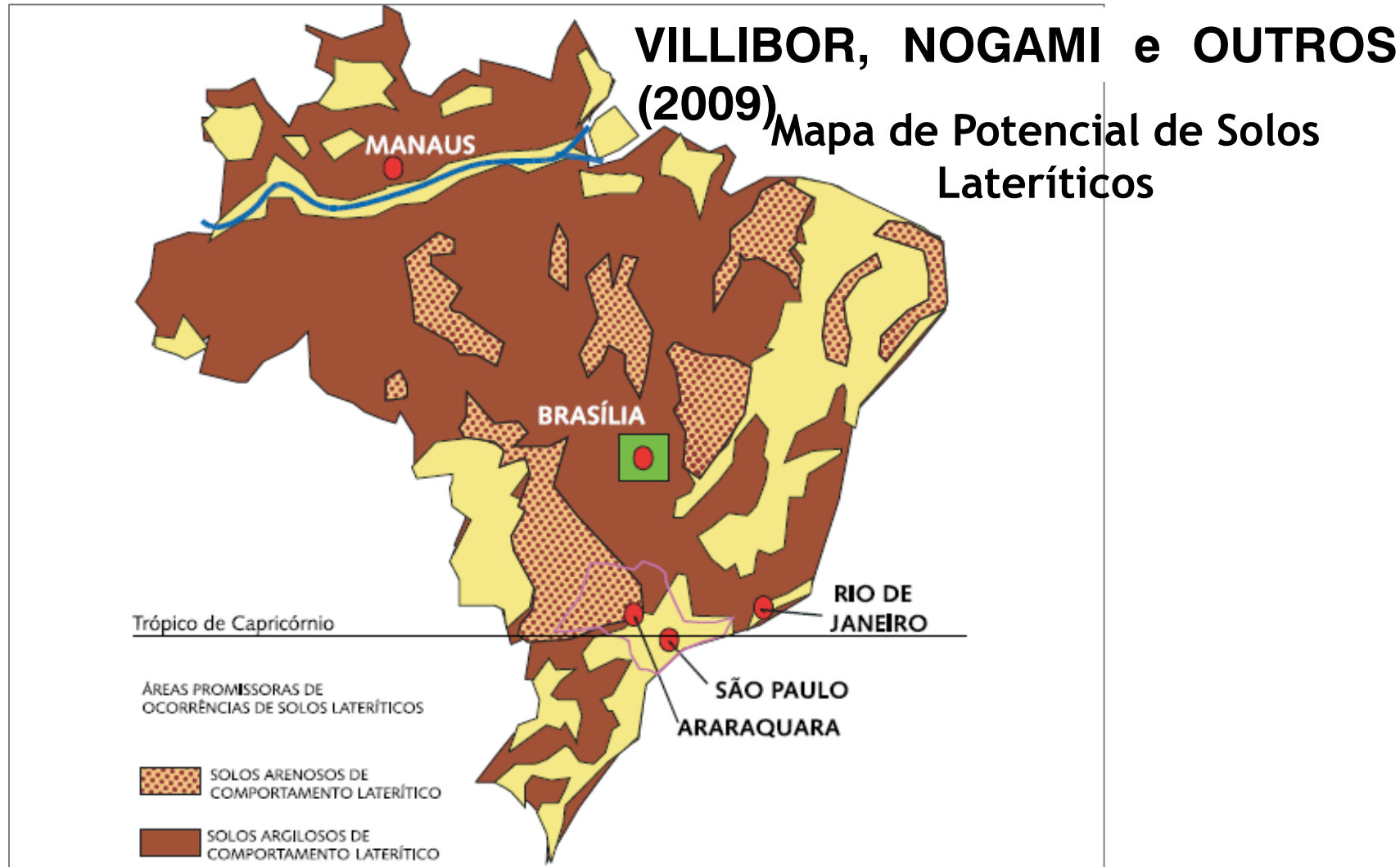
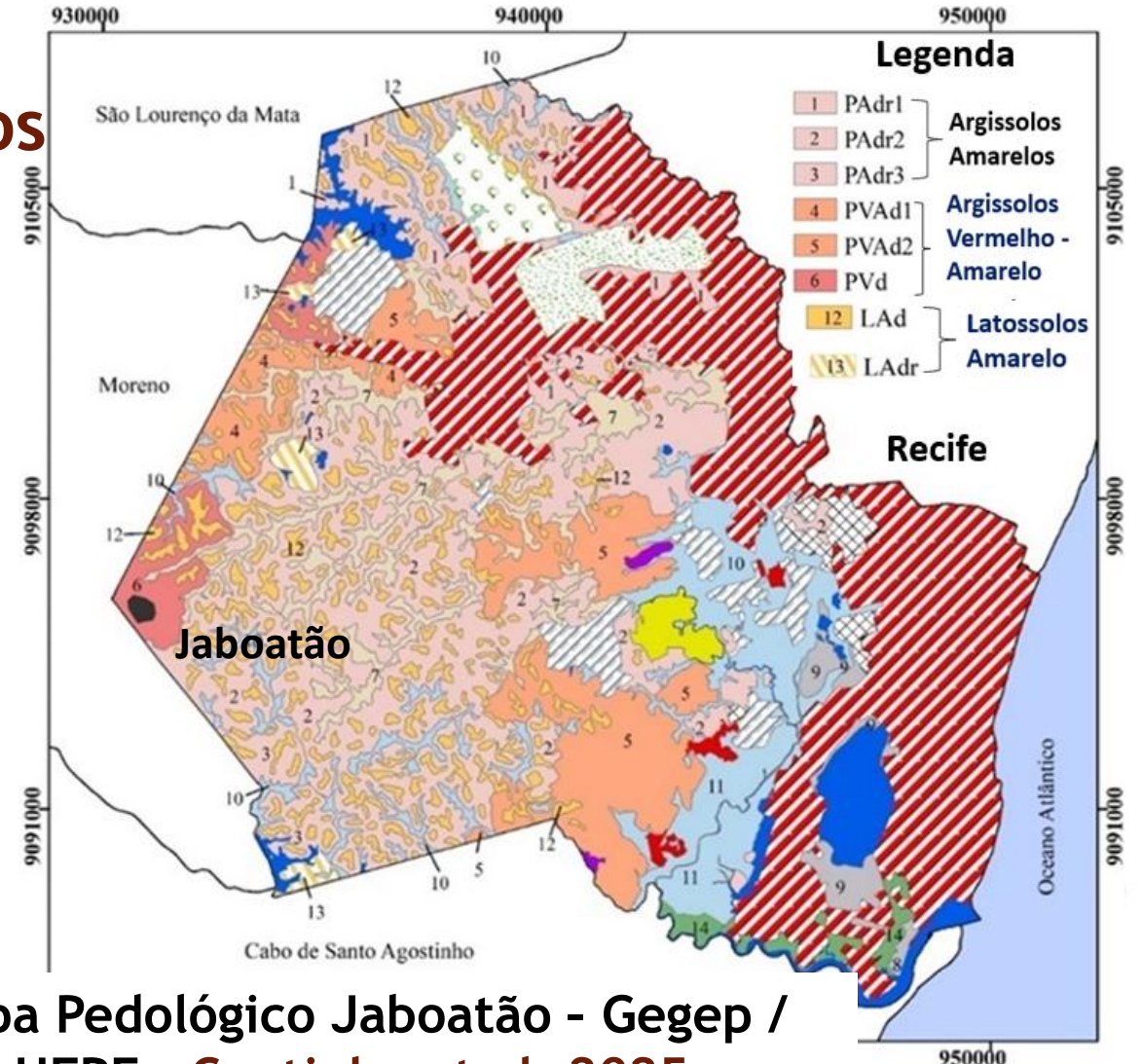
Perfil de Solo Tropical - Laterítico (Teixeira et al., 2001)

- 1** Areia fina a grossa com seixos de quartzo, cinza-escuro, estrutura em blocos, pouco porosa.
- 2** Areia argilosa vermelha, estrutura maciça porosa
- 3** Argila pouco arenosa, vermelho-amarelada, estrutura prismática, pouco porosa
- 4** Areia fina e grossa, silto-argilosa, com seixos e fragmentos centimétricos de quartzo cinza-escuro, estrutura em blocos, pouco porosa.
- 5** Areia fina e grossa, silto-argilosa, com seixos e fragmentos centimétricos de quartzo e rocha alterada, cores variadas (vermelho, cinza, amarelada, branco, ...), estrutura prismática, pouco porosa.

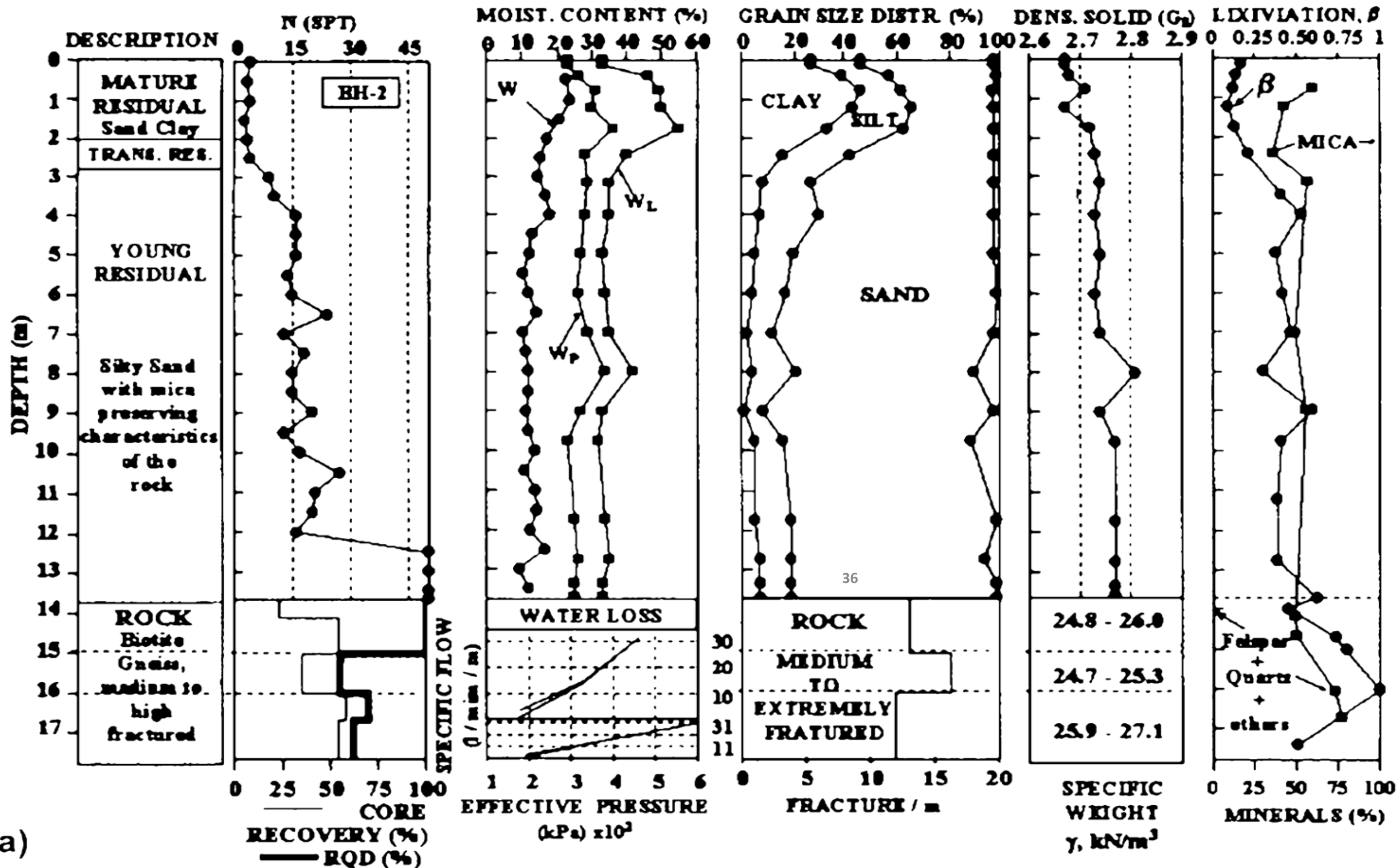
- 6** Areia argilo-siltosa com fragmentos de rocha e matacões, cores variadas, estrutura prismática, pouco porosa.
- 7** Areia fina a grossa, silto-argilosa, com fragmentos de rocha e matacões, cores variadas, estrutura prismática, pouco porosa.
- 8** Granito muito alterado com fraturas preservadas, abertas e preenchidas por materiais de alteração.
- 9** Granito pouco alterado e são.

Perfis esquemáticos de diferentes solos em substrato de granito, com nomenclatura pedológica e geotécnica - FONTE: (ABGE, 2018)
 Coutinho, R.C,2026.

Ferramentas Geotécnicas Mapas, Cartas, Afloramentos



**Sedimentos da Formação Barreiras - RM Recife
Alternância de Camadas Arenosas e Argilas**



Área de Estudo A1 Cond. Nat - NSAT

- **Solo maduro:**
Argila arenosa porosa
 $K_{sat} : 1.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
Espessura: 2 m
- **Solo jovem:**
Areia siltosa com mica
 $K_{sat} : 4.1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
Espessura: 12 m
- **Superfície de ruptura:**
Contato solo-rocha

Coutinho et al. (2000)

O solo residual maduro (argila arenosa) apresenta maior condutividade hidráulica saturada em comparação ao solo residual jovem (areia siltosa), em razão de sua estrutura granular e porosa. A variação da condutividade hidráulica com a sucção indica uma redução acentuada dos valores de K_r em baixos níveis de sucção nesse solo.

(Mitchell and Coutinho, 1991)

Formação: Resultam de intenso intemperismo químico in situ em climas tropicais, formando perfis de intemperismo espessos que podem atingir várias dezenas de metros.

Mineralogia: Predominância de caulinita, haloisita e gibbsita, com grandes quantidades de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (hematita, goethita).

Estrutura: Granular/agregada, com partículas ligadas por pontes de óxidos de ferro e alumínio, e presença simultânea de microporos e macroporos.

Plasticidade: Índice de plasticidade (IP) \approx 10-60%; limite de liquidez (LL) \approx 25-120%.

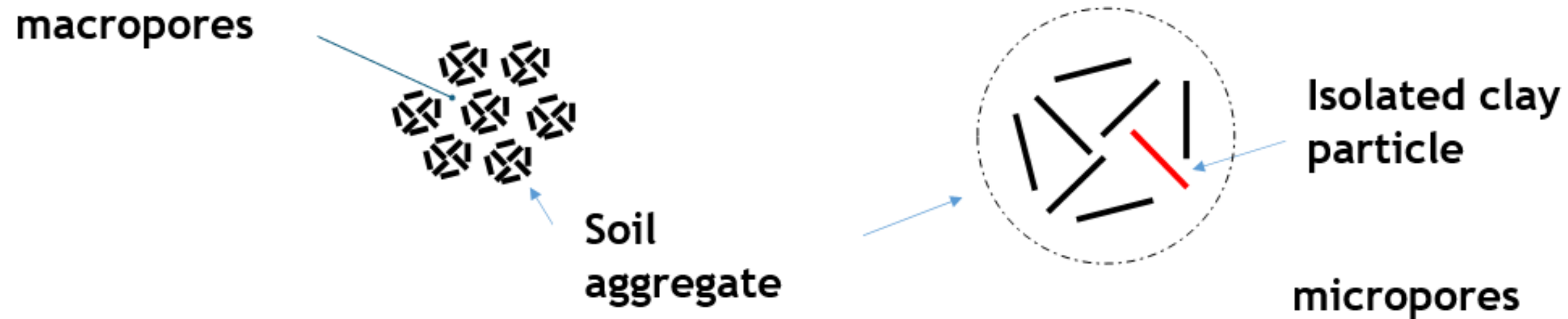
Compactação: Peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d_{max}}$): 13-22,8 kN/m³; teor de umidade ótimo (w_{opt}): 6-22%. Curvas de compactação (γ_d versus w) com formato característico mais definido.

Condutividade hidráulica: Varia de 10^{-5} a 10^{-7} m/s (no estado compactado).

Compressibilidade: Comportamento semelhante ao de solos sobreadensados, com tensão de escoamento associada à cimentação.

Resistência ao cisalhamento: Influenciada pela cimentação interpartículas e pelo estado de saturação parcial (condição não saturada).

- A laterização aumenta a resistência dos agregados e promove o isolamento dos minerais argilosos, reduzindo, assim, a atividade do solo*. Ademais, os agregados governam o comportamento mecânico, incluindo resistência, permeabilidade e compressibilidade.



- Os agregados, com dimensões comparáveis às de areia fina, são determinados por meio de ensaios de sedimentação sem o uso de defloculante. Quando bem compactados e drenados, comportam-se de maneira semelhante a solos arenosos, apresentando elevada coesão aparente decorrente da sucção nos microporos.
- Mitchell e Coutinho (1991) apresentaram as características gerais e os principais critérios para a identificação de solos lateríticos, incluindo intenso intemperismo químico *in situ*, composição mineralógica específica, estrutura agregada e comportamento característico quanto à plasticidade e à compactação. Ressaltaram, ainda, que tais propriedades não são adequadamente representadas pelas classificações geotécnicas tradicionais.

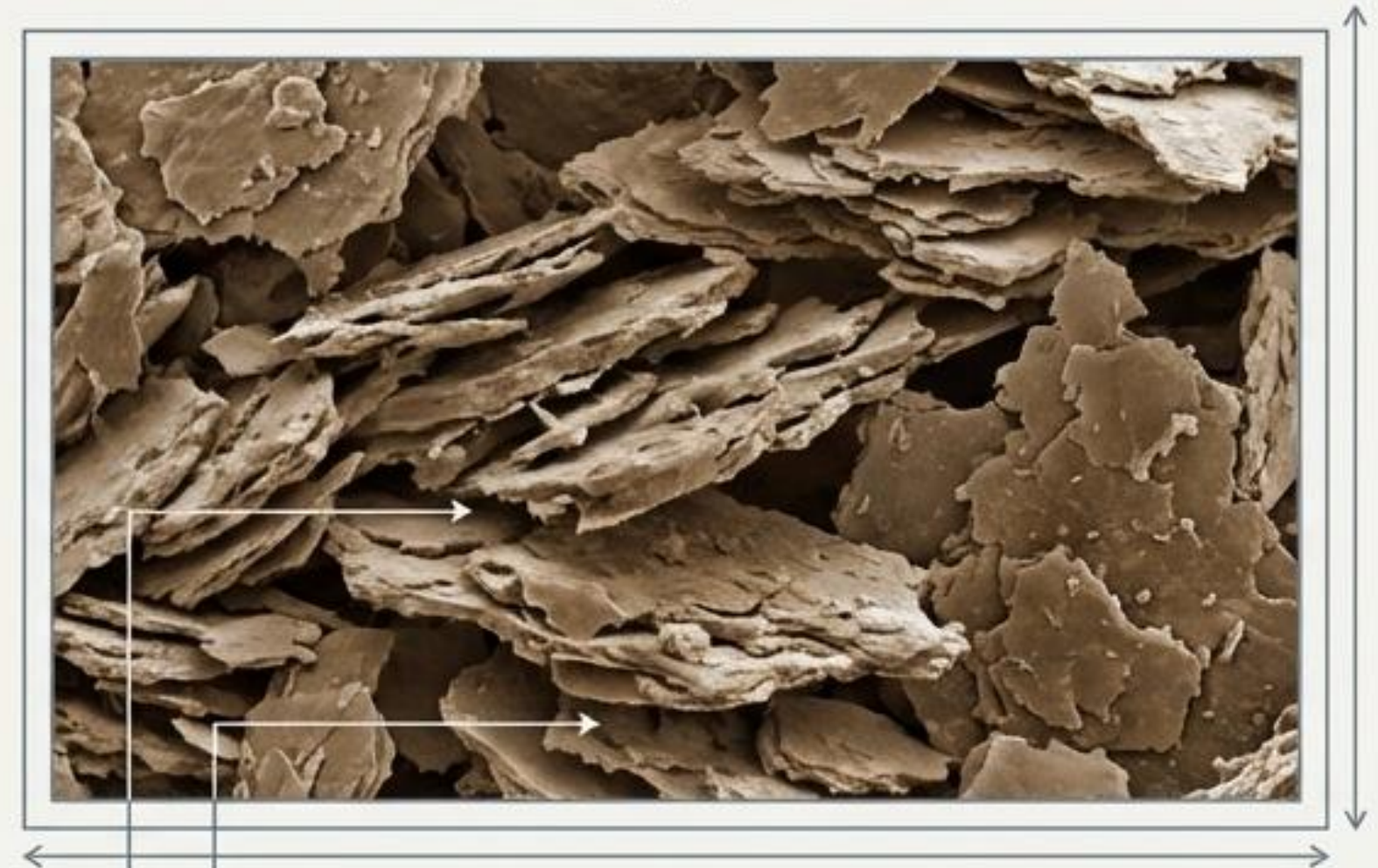
A Diferença Invisível: Estrutura Maciça vs. Lamelar

Solo Laterítico



→ **Microscopia:** Estrutura aglomerada, grãos cimentados por óxidos.
→ **Mecânica:** Garante baixa expansão e elevada resistência, mesmo possuindo variação na granulometria.

Solo Saprolítico



→ **Microscopia:** Estrutura lamelar, placas soltas.
→ **Mecânica:** Permite rápida infiltração de água, resultando em elevada expansão e colapso estrutural.

Adaptado de Nogami e Villibor (2009)

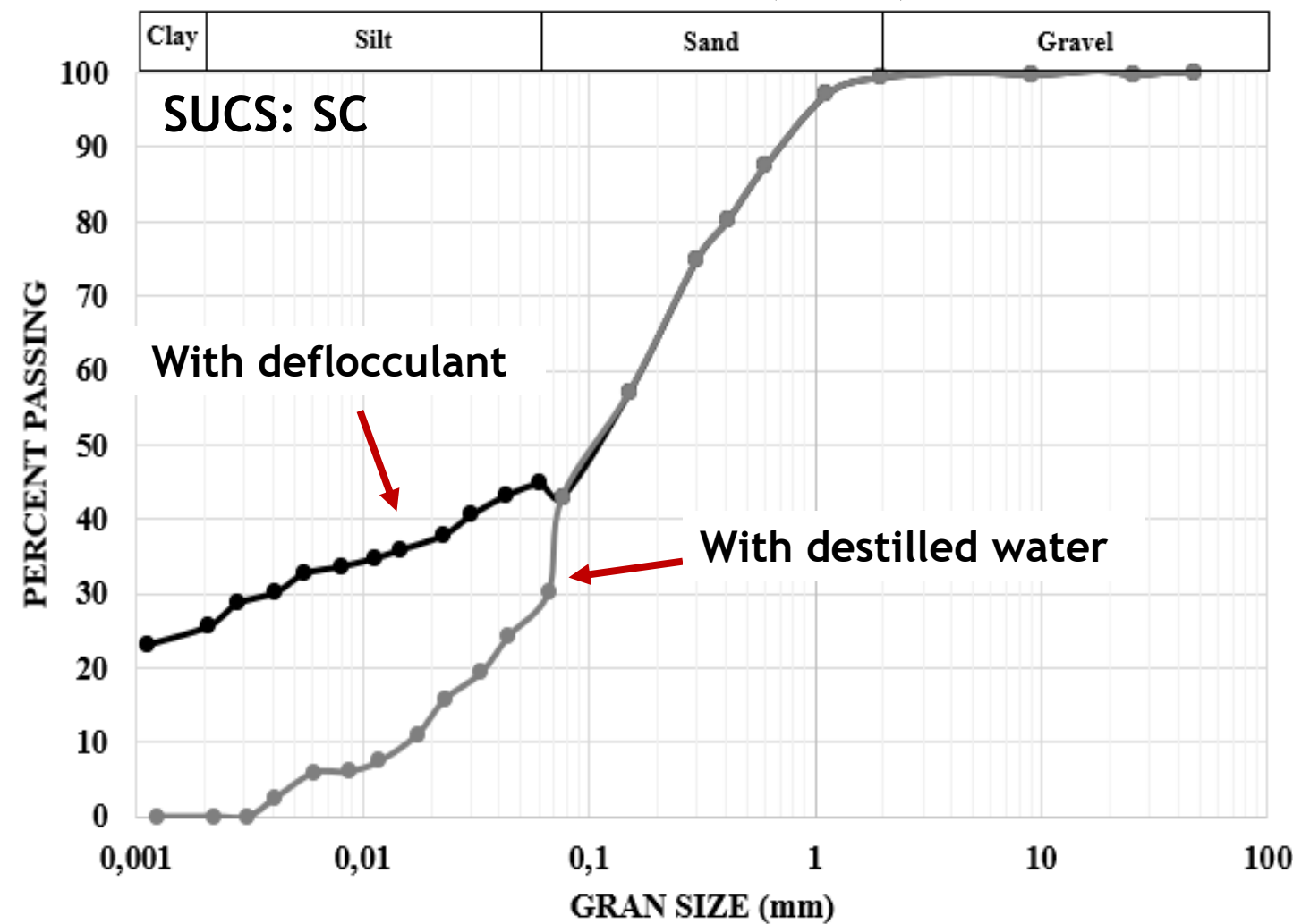
A resistência laterítica não vem do tamanho do grão (granulometria), mas da sua cimentação química natural.

Curva de distribuição granulométrica e curva de retenção de água no solo de solos tropicais

A curva de distribuição granulométrica do solo residual maduro tropical indica que, em seu estado natural, as partículas permanecem agregadas.

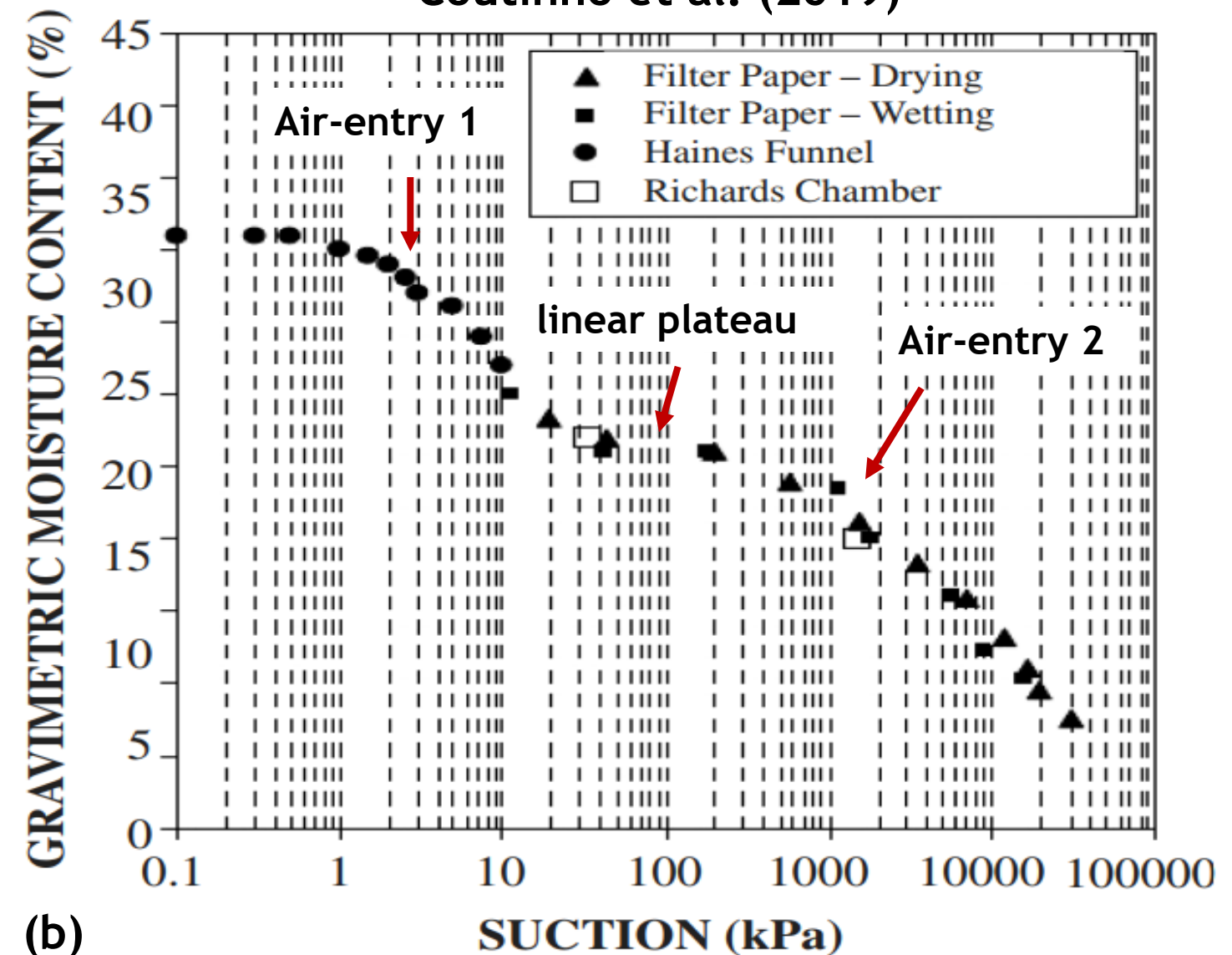
Solos de regiões tropicais frequentemente apresentam curvas de retenção de água no solo bimodais, resultantes da presença simultânea de macroporos e microporos.

Coutinho et al. (2019)



(a) —●— With deflocculant —●— With distilled water

Coutinho et al. (2019)



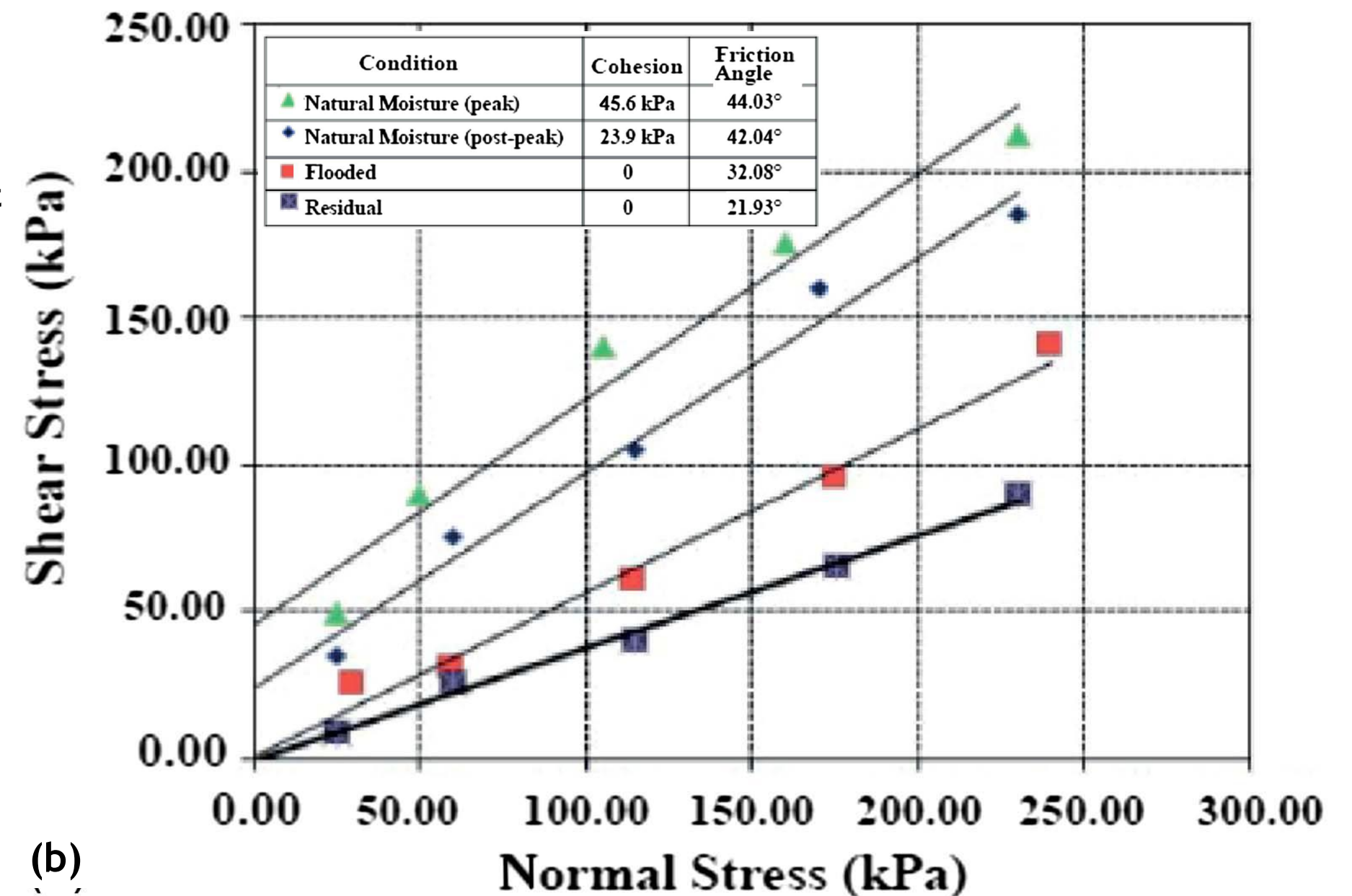
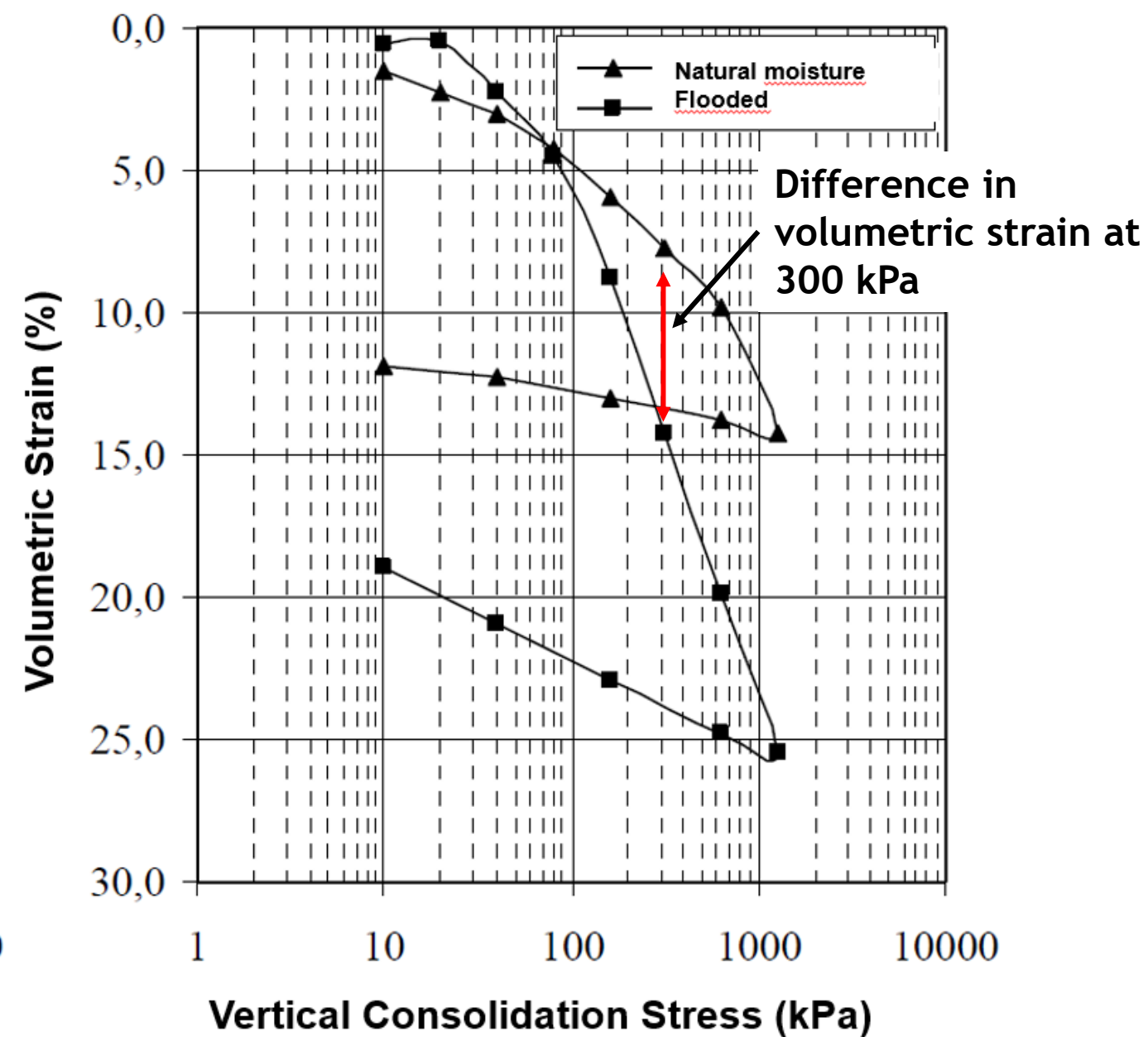
(b)

Mature Granite Residual Soil: (a) Gran Size Distribution; and (b) Soil Water Retention Curve. Coutinho, R.C,2026.

COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS TROPICAIS

Conforme ilustrado no exemplo, os solos tropicais podem ser classificados como suscetíveis ao colapso (Mitchell e Coutinho, 1991). **Conforme a geologia verificar o potencial de Expansão**

A figura ilustra que a resistência ao cisalhamento dos solos tropicais varia com a sucção, principalmente em função do aumento do intercepto de coesão.



Solo residual maduro de granito: (a) variação do índice de vazios com a tensão vertical de adensamento (Silva, 2007); e (b) envoltória de resistência ao cisalhamento - ensaio de cisalhamento direto. (Coutinho et al., 2019). Coutinho, R.C, 2026.

A Classificação Geotécnica Tradicional (HRB e USCS) vs Classificação Tropical

Sistema TRB (EUA)	Sistema MCT (Brasil)
Origem do Sistema	
Desenvolvido para climas frios e temperados.	Desenvolvido especificamente para clima tropical úmido (Nogami e Villibor).
Condição da Amostra	
Avalia amostras amolgadas (destruindo a estrutura real).	Miniatura, Compactado, Tropical. Avalia o solo em sua estrutura compactada (como será na obra).
Propriedades Foco	
Limites de Atterberg e Granulometria rigorosa.	Comportamento estrutural (Mini-MCV e Perda de massa por imersão).

Pesquisas GEGEP/UFPE - Pernambuco

Pesquisa Conjunta GEGEP-UFPE / COPPE-UFRJ

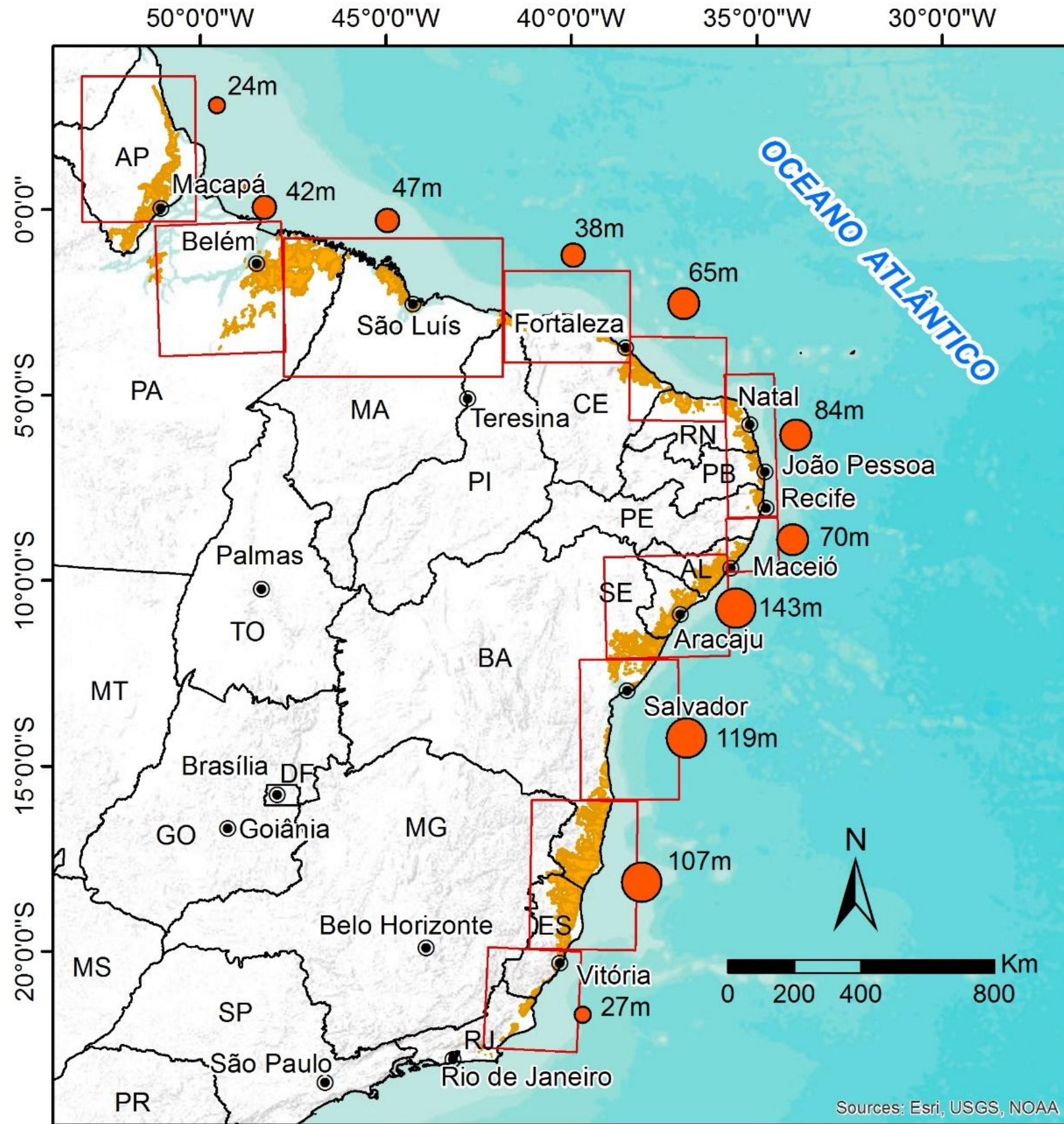
Desempenho e Viabilidade de Solos Tropicais Finos na Infraestrutura de Transportes

Sousa, M. A. S.; Coutinho, R. Q. & Motta, L. M. G. (2022) Clustering of Fine-Grained Tropical Soils using Data Science Tools Applied to their Geotechnical Properties. Global Journal of HUMAN-SOCIAL SCIENCE: B. Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management.

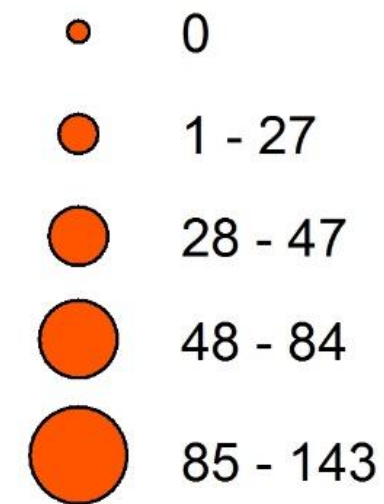
Sousa, M. A. S.; Coutinho, R. Q. & Motta, L. M. G. (2021) Analysis of the unsaturated behaviour of compacted lateritic fine-grained tropical soils for use in transport infrastructure, Road Materials and Pavement Design

Sousa, M. A. S.; Motta, L. M. G. e Coutinho, R. Q. (2021) Análise da aplicabilidade de solos tropicais finos em estruturas de pavimento flexível utilizando o novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). In 35° Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET).

Coutinho R.Q., da Silva Sousa M.A. (2021) Analysis of the Applicability of USCS, TRB and MCT Classification Systems to the Tropical Soils of Pernambuco, Brazil, for Use in Road Paving. In: Tutumluer E., Nazarian S., Al-Qadi I., Qamhia I.I. (eds) Advances in Transportation Geotechnics IV. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 164. Springer,



Altitude (m)



Distribuição da Ocorrência da Formação Barreiras no Brasil

*** Atenção nos contatos entre formações geológicas**

Domínio geológico












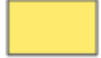
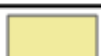
□ Áreas de interesse para a média de altitude.

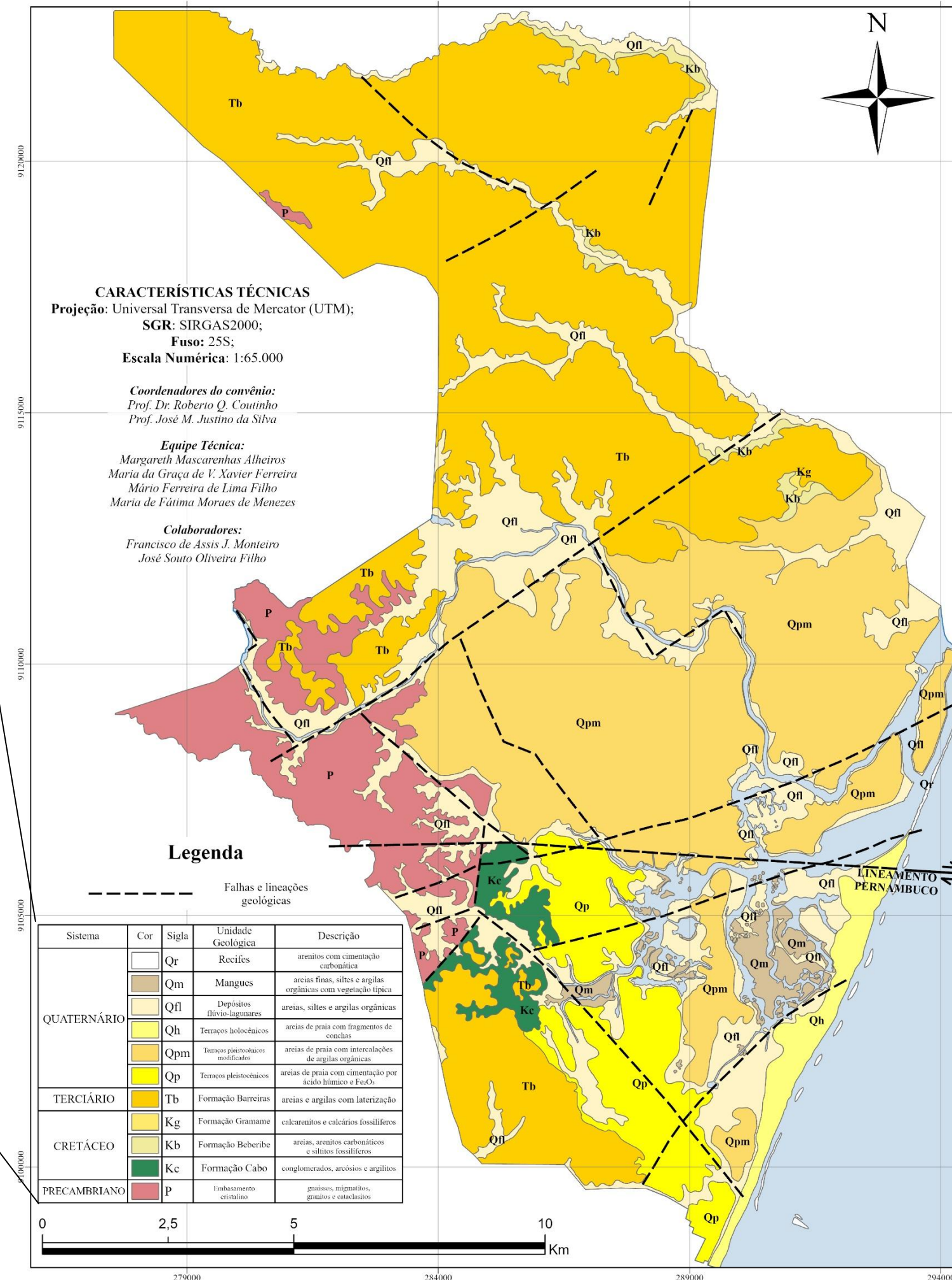
● Capitais

□ Unidades Federativas

Sistema de Coordenadas Geodésicas
Sistema de Referência Geodésico SIRGAS 2000
Base de dados e Geologia do IBGE
Altitude baseada em Rossetti et al.,(2013)

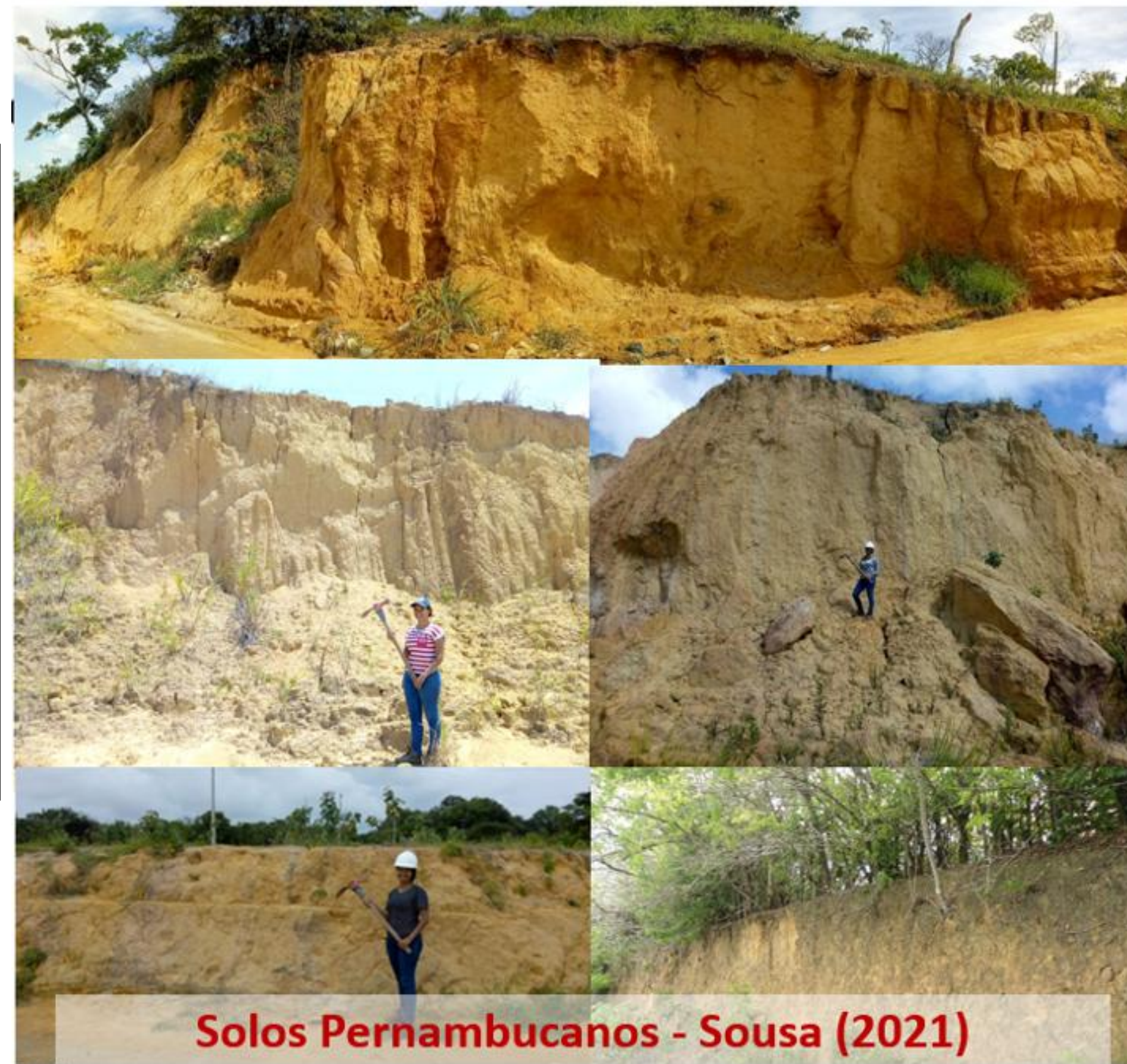
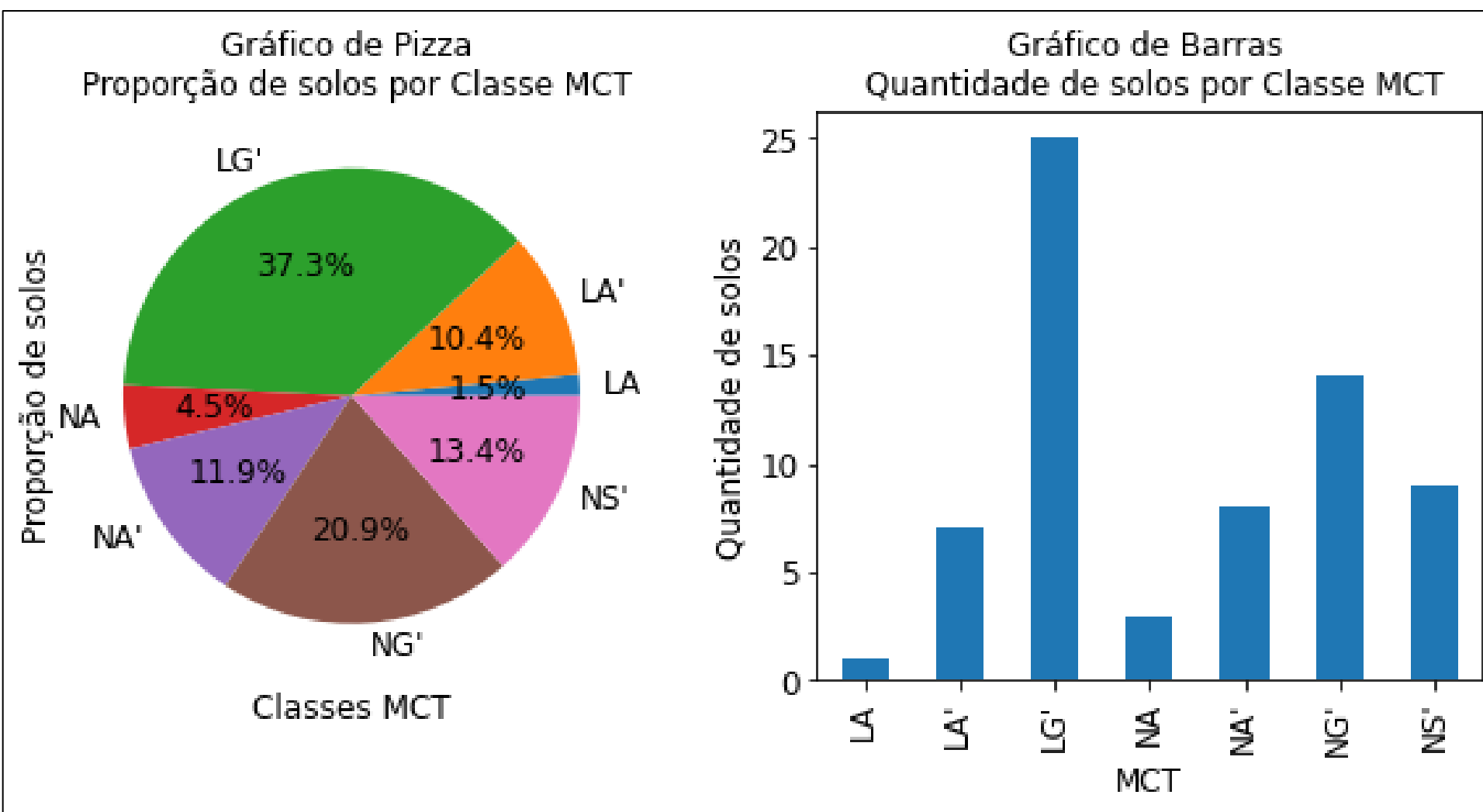
✓ Mapa Geológico Cidade do Recife

Sistema	Cor	Sigla	Unidade Geológica	Descrição
QUATERNÁRIO		Qr	Recifes	arenitos com cimentação carbonática
		Qm	Mangues	areias finas, siltes e argilas orgânicas com vegetação típica
		Qfl	Depósitos flúvio-lagunares	areias, siltes e argilas orgânicas
		Qh	Terraços holocênicos	areias de praia com fragmentos de conchas
		Qpm	Terraços pleistocênicos modificados	areias de praia com intercalações de argilas orgânicas
		Qp	Terraços pleistocênicos	areias de praia com cimentação por ácido húmico e Fe ₂ O ₃
TERCIÁRIO		Tb	Formação Barreiras	areias e argilas com laterização
CRETÁCEO		Kg	Formação Gramame	calcarenitos e calcários fossilíferos
		Kb	Formação Beberibe	areias, arenitos carbonáticos e siltitos fossilíferos
		Kc	Formação Cabo	conglomerados, arcósios e argilitos
PRECAMBRIANO		P	Embasamento cristalino	gnaiesses, migmatitos, granitos e cataclasitos



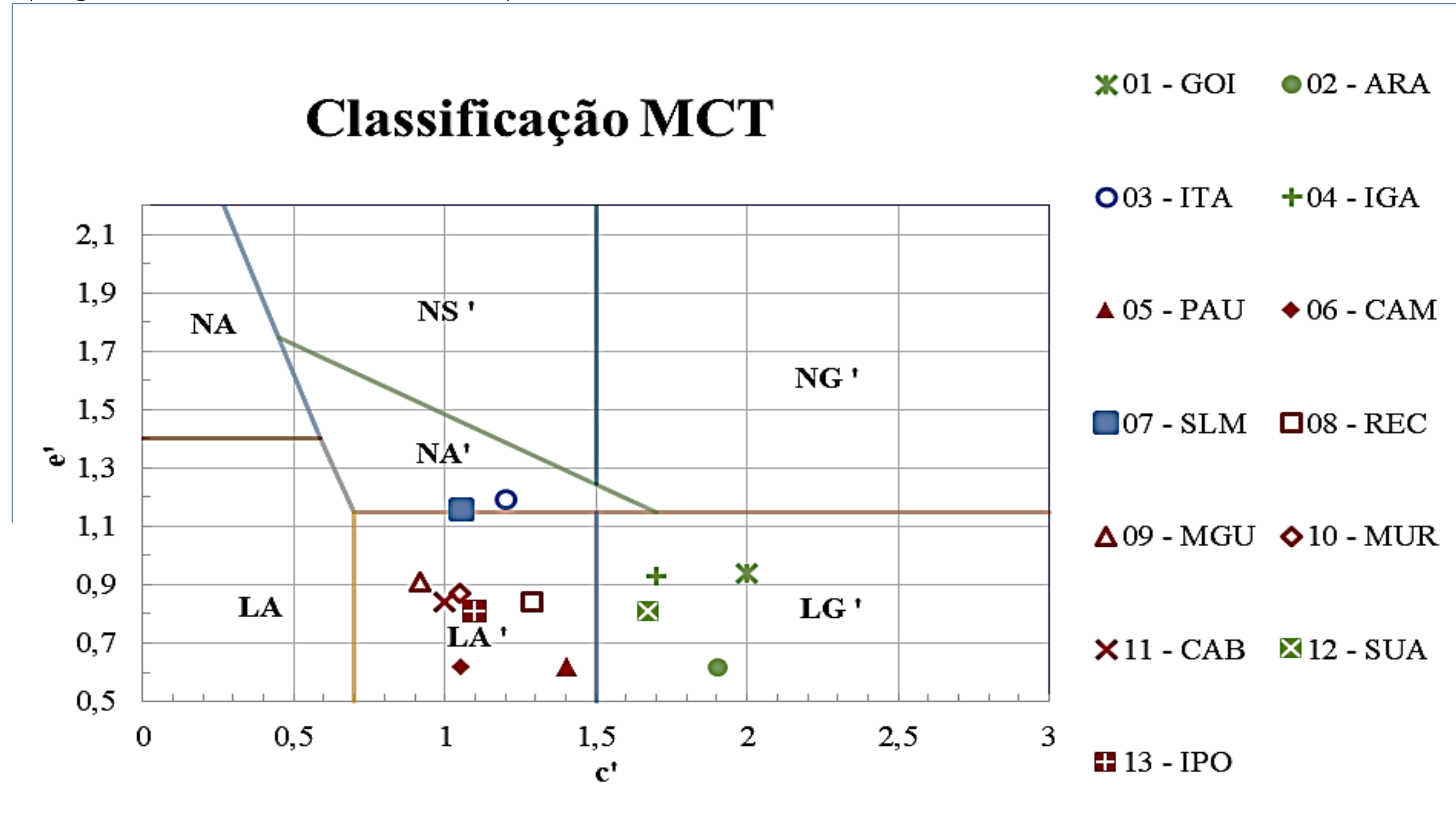
Fonte: Convênio Carta Geotécnica da Cidade do Recife FINEP/LSI-DEC-UFPE (1995)
Coordenadores do convênio: Prof. Dr. Roberto Q. Coutinho; Prof. José M. Justino da Silva
Equipe técnica: Margareth Mascarenhas Alheiros, Maria da Graça de V. Xavier Ferreira, Mário Ferreira de Lima Filho, Maria de Fátima Moraes de Menezes
Colaboradores: Francisco de Assis J. Monteiro, José Souto Oliveira Filho

BANCO DE DADOS DE SOLOS FINOS - SOUSA (2021)



- **Critérios: MCT, MR e DP.**
- **Quantidade total de trabalhos: 10 (dez); 67 solos, 85 atributos, 9 estados (ou mais).**

(Nogami and Villibor, 1991;1995)

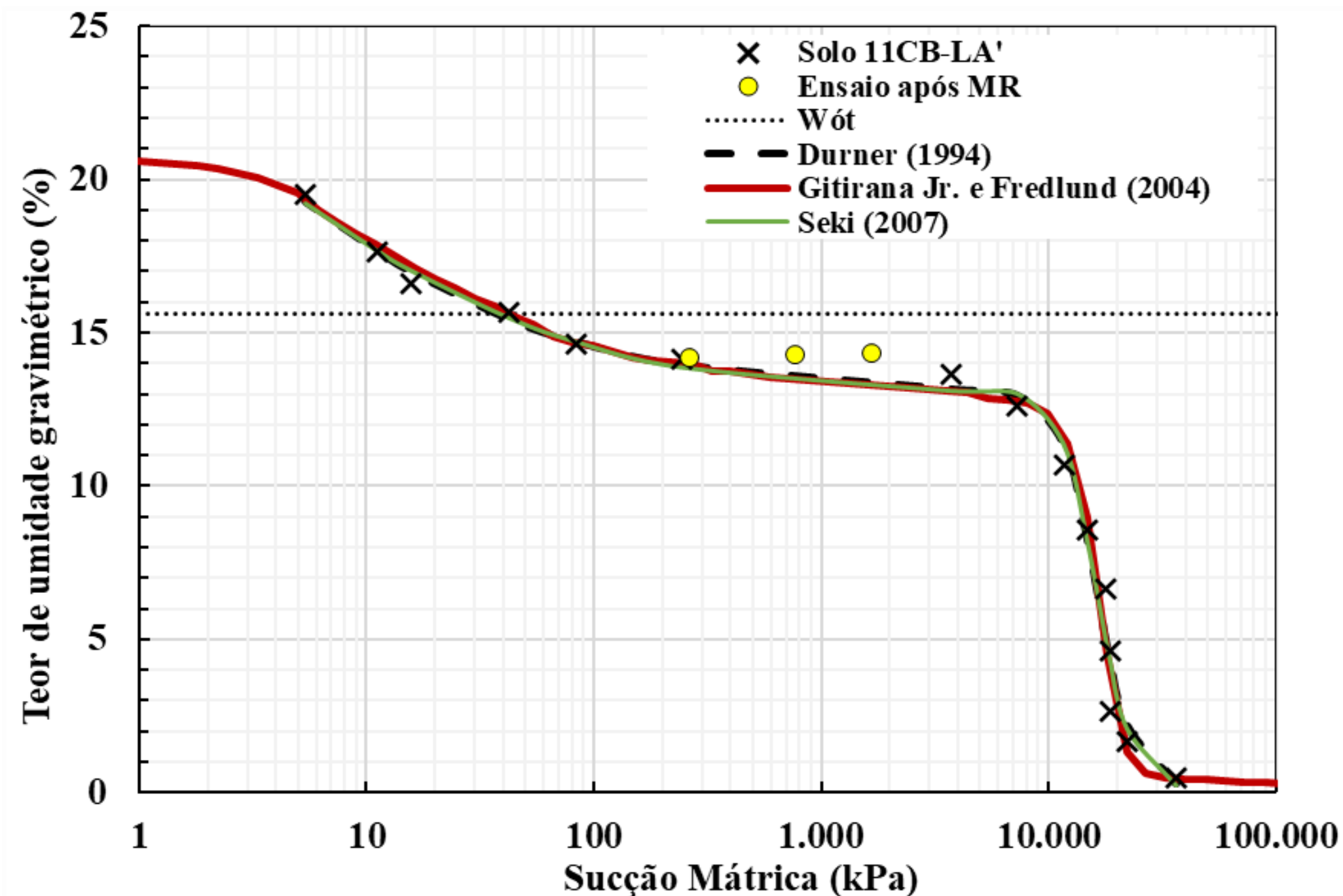


Legenda
L = Lateritic
N = Not lateritic
A = Sand
A' = Sandy
G' = Clayey

Resultados - Classificação M-MCT de Solos de Pernambuco.

Souza, 2021 / Sousa, M. A. S.; Coutinho, R. Q. & Motta, L. M. G. (2021) - RMPD

CURVA CARACTERÍSTICA – CP Compactado - Modelagem



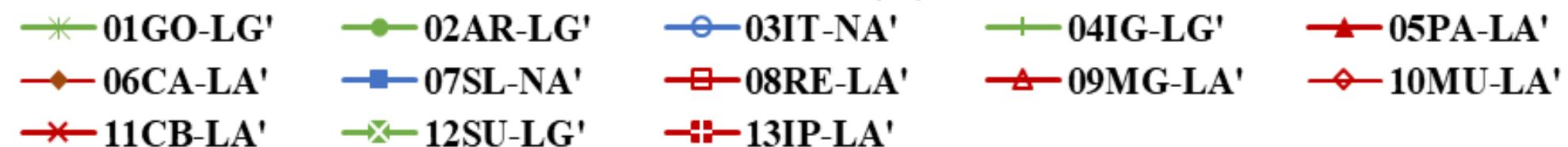
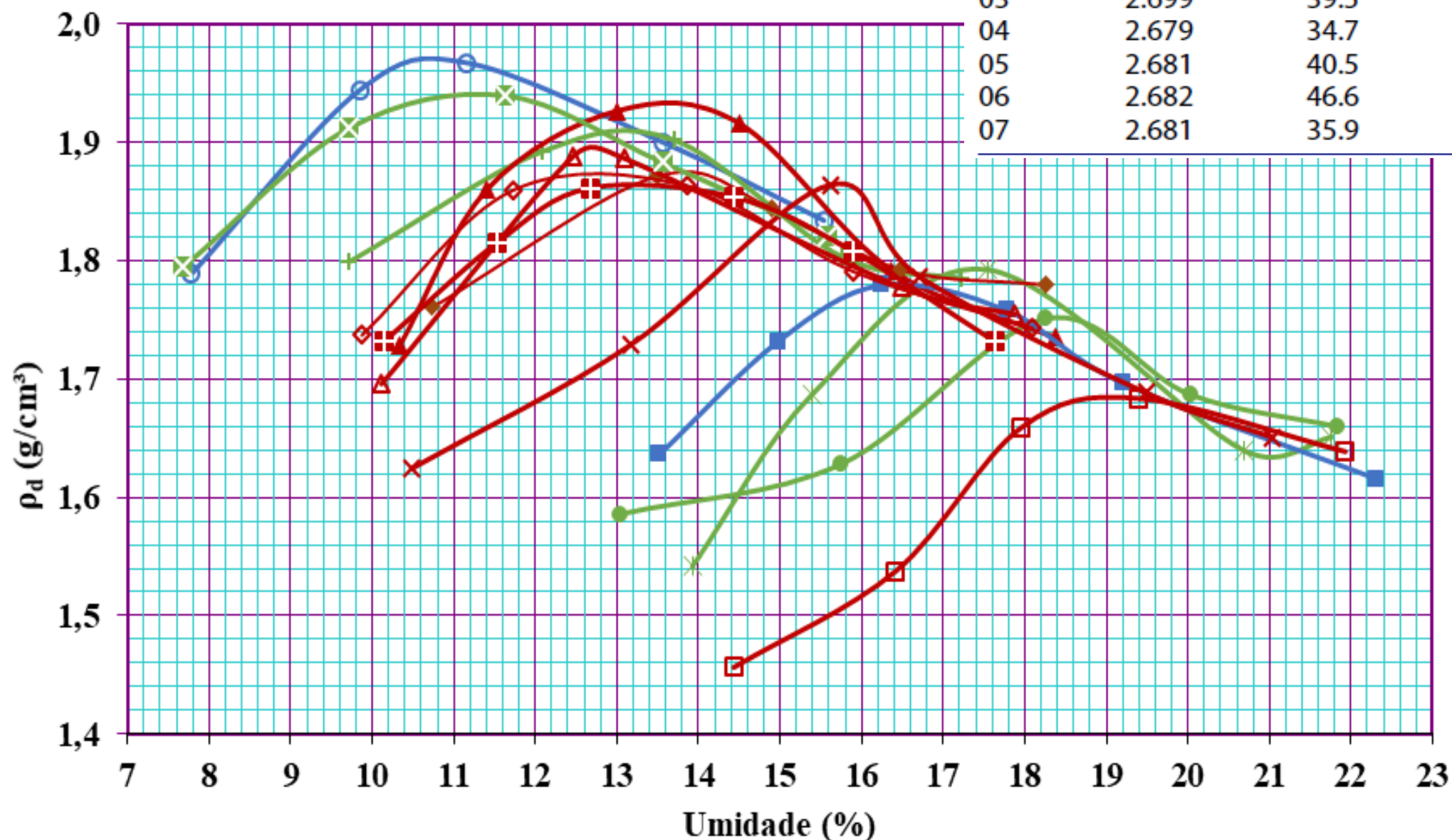
Curva Característica do solo 11CB-LA' e os ajustes segundo os modelos de Durner (1994), Gitirana e Fredlund (2004) e Seki (2007).

Artigo: Sousa, M. A. S.; Coutinho, R. Q. & Motta, L. M. G. (2021) – RMPD

- **Comportamento mecânico não-saturado – Solos LA':**
 - Tendência de aumentar a sucção com o aumento da MR, e ambos são inversamente proporcionais ao teor de umidade.
 - A sucção matricial mostrou-se mais sensível à variação da umidade do que a MR;
 - Considerar as incertezas inerentes à medição realizada pelo método do papel de filtro e ao comportamento bimodal do SWCC.

Classificação/Compactação é decisiva para o comportamento de solos tropicais, pois controla sua estrutura, resistência e deformabilidade

Soil	δ (g/cm ³)	LL (%)	PI (%)	%Clay	%Silt	%Sand	%Gra-vel	TRB	USCS	MCT
01	2.642	37.9	14.8	41.69	4.82	51.83	1.65	A-6	SC	LA'
02	2.666	39.9	13.4	42.55	5.15	52.23	0.07	A-6	SM	LA'
03	2.699	39.5	7.1	47.01	19.30	33.61	0.08	A-4	ML	LA'
04	2.679	34.7	9.8	41.99	5.70	52.30	0.00	A-4	SM	LA'
05	2.681	40.5	15.1	40.31	8.07	50.86	0.75	A-7-6	SC	LA'
06	2.682	46.6	16.5	45.45	6.84	47.67	0.05	A-7-5	ML	LA'
07	2.681	35.9	11.7	44.69	8.40	46.86	0.05	A-6	CL	LA'



Resultados de Classificação e Compactação
Sousa (2021) ;
Sousa, M.; Coutinho, R. & Motta, L. (2021) RMPD
Sousa, Coutinho & Motta, 2023 - Anpet.

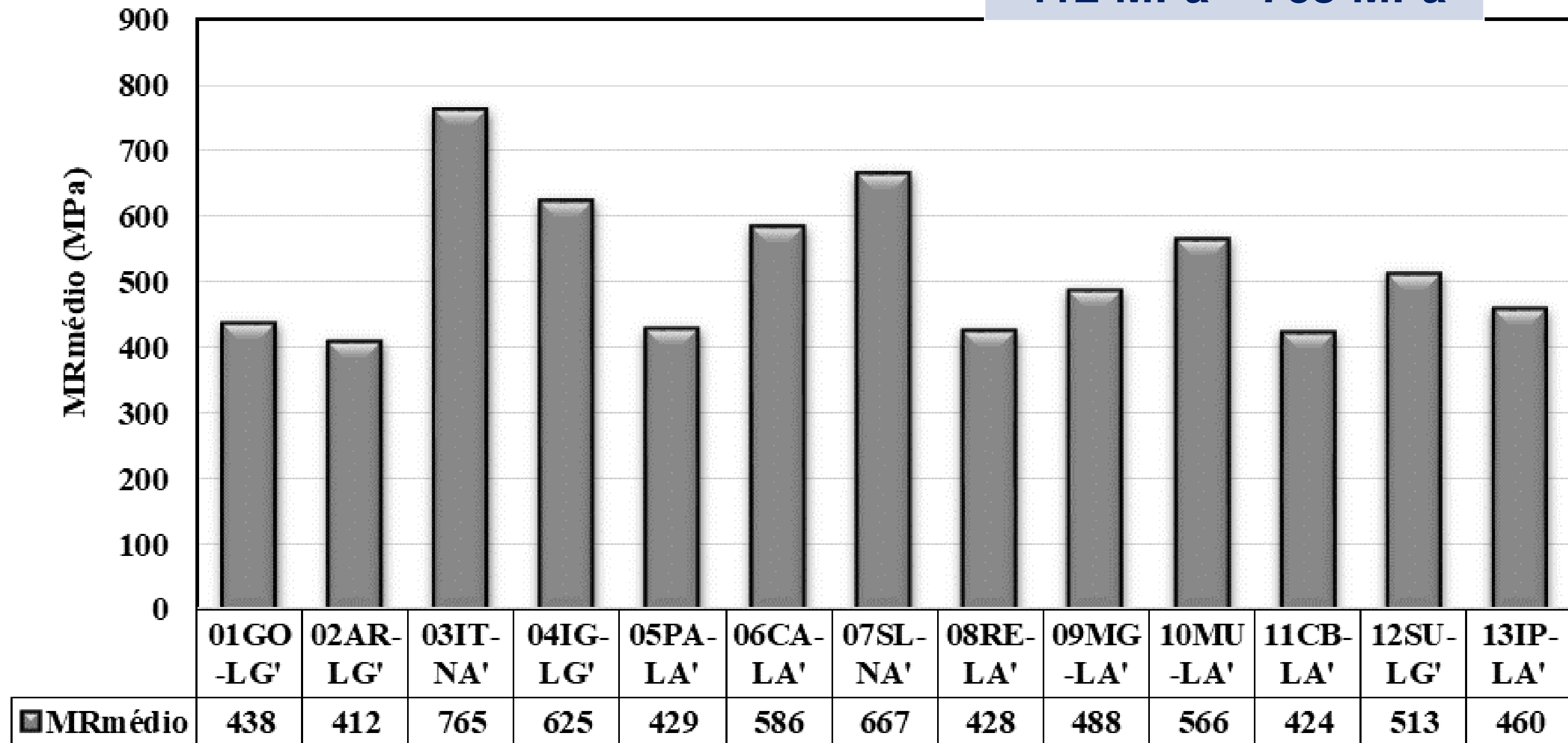
$\rho_{d\text{máx}}$	$W_{\text{ót}}$
1,69 - 1,97 g/cm ³	10,6 - 19 %

Curvas de Compactação (energia intermediária)

COMPORTAMENTO RESILIENTE

MR_{médio}

412 MPa – 765 MPa



Amostras
MR_{médio} dos CPs mais próximos da umidade ótima.

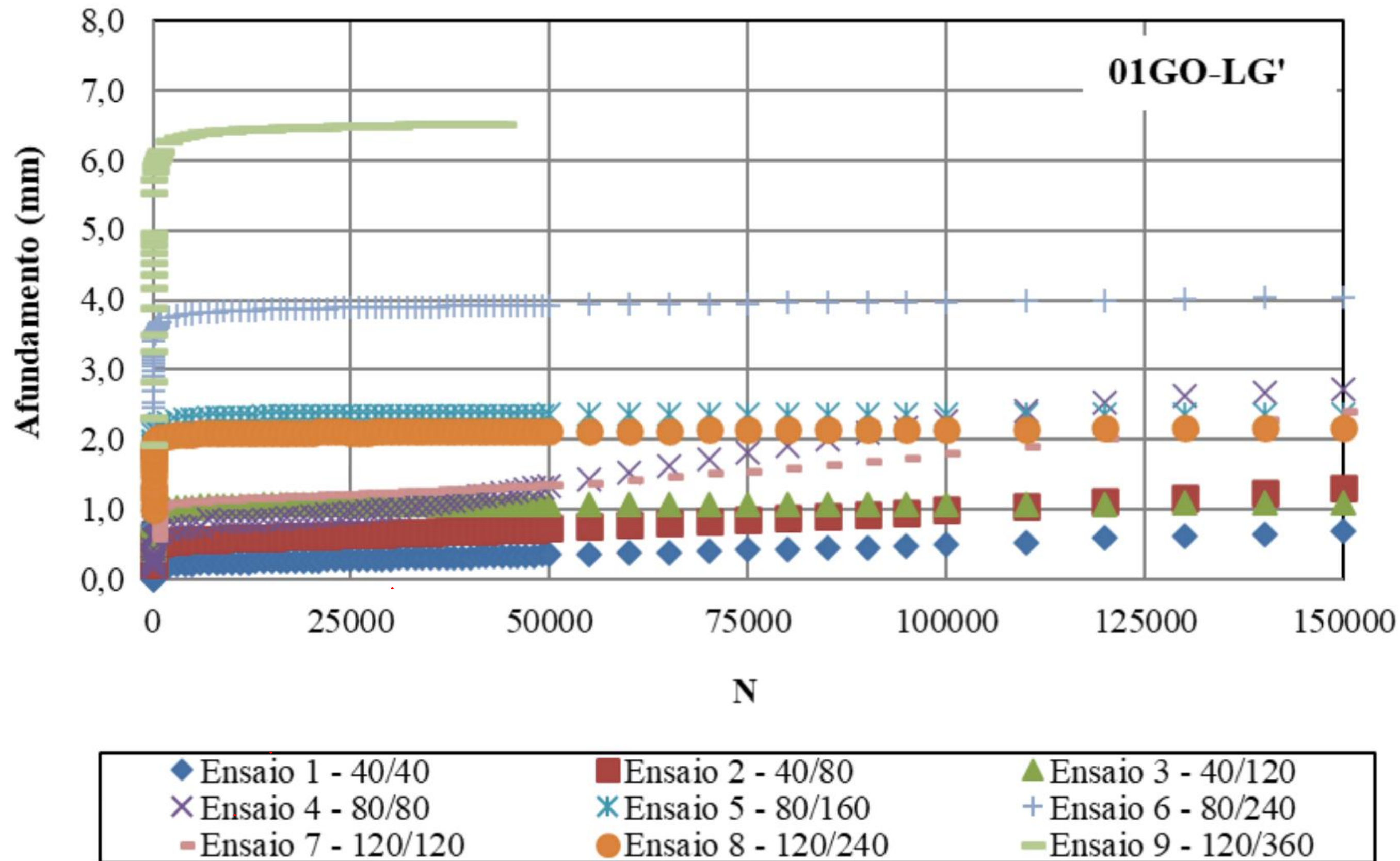


Gráfico de deformação permanente (mm) dos solos.

Resumo dos resultados das simulações feitas com o Solo 09MG-LA'.

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
N	10 ⁵	10 ⁵	5x10 ⁵	5x10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶	5x10 ⁶	5x10 ⁶	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	5x10 ⁷	
Revestim ento	Tipo	TSD	TSD	TSD	TSD	Classe 1	Classe 1	CAP 50/70	CAP 50/70	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 4	Classe 1
	Esp. (cm)	2	2	2	2	5	5	8,5	7,7	14,4	12,2	10,4	7,5	8,5	5
	MR (MPa)	1000	1000	1000	1000	5764	5764	9588	9588	5764	6743	8000	10492	10492	5764
Base	Esp. (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Tipo	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	Solo cimento M5
Sub-base	Esp. (cm)	-	-	-	-	15	15	30	30	30	30	30	30	30	15
	Tipo	-	-	-	-	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'
Subleito	Tipo	09MG-LA'	NS'	09MG-LA'	NS'	09MG-LA'	NS'	NS'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	09MG-LA'	NS'	09MG-LA'
Área trincada (%)	-	-	-	-	6,3	6,9	29,2	29,1	29,0	28,4	28,7	28,6	28,3	17,7	
ATR (mm)	1,4	3,0	1,5	3,3	3,2	4,5	3,4	3,1	2,5	2,7	2,8	3,3	3,5	1,0	

Resumo dos resultados das simulações feitas com o Solo 01GO-LG'.

Seção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
N	10 ⁵	10 ⁵	5x10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶	5x10 ⁶	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	5x10 ⁷	
Revestimen to	Tipo	TSD	TSD	TSD	Classe 1	Classe 1	CAP 50/70	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 4	Classe 1
	Espessura (cm)	2	2	2	5	5	8,8	14,5	12	10	7,5	8,0	5
	MR (MPa)	1.000	1.000	1.000	5.764	5.764	9.588	5.764	6.743	8.000	10.492	10.492	5.764
Base	Espessura (cm)	15	30	30	15	15	20	20	20	20	20	20	15
	Tipo	BGS C5	01GO- LG'	01GO- LG'	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	BGS C5	Solo cimento M5
Sub-base	Espessura (cm)	30	-	-	30	30	20	30	30	30	30	30	30
	Tipo	01GO- LG'	-	-	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO-LG'	01GO- LG'
Subleito	Tipo	01GO- LG'	01GO- LG'	NS'	01GO- LG'	NS'	NS'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	01GO- LG'	NS'	01GO- LG'
Área trincada (%)	-	-	-	6,3	6,6	28,4	28,5	29,2	29,0	28,1	29,2	17,3	
ATR (mm)	10,5	10,3	7,9	11,4	8,8	5,4	5,9	6,9	7,6	9,1	6,6	4,9	

PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O USO DE SOLOS TROPICAIS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

- A seleção adequada, seguida da caracterização física e mecânica, pautada na deformabilidade, e a adoção de um método de dimensionamento de pavimento moderno pode promover o aproveitamento dos solos finos e pavimentos econômicos.
- Nesta Pesquisa verificou-se a viabilidade do uso de 13 solos finos da Região Metropolitana do Recife, apresentando, como exemplo, vinte e seis estruturas de pavimentos, dimensionadas pelo programa MeDiNa, que atenderam integralmente aos requisitos de projeto para uma via típica de um Sistema Arterial Primário, considerando diferentes níveis de tráfego (10^5 a 5×10^7).

Pesquisas GEGEP/UFPE - Pernambuco

DESEMPENHO DE SOLO REFORÇADO PARA USO COMO REVESTIMENTO PRIMÁRIO EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

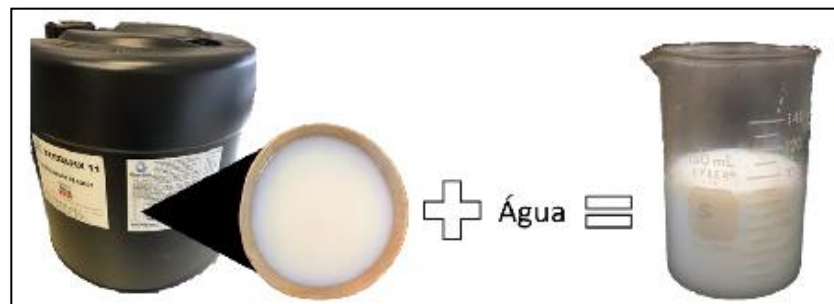
Pesquisa Conjunta GEGEP-UFPE / Universidade do Porto

Autores: GUEDES, S., COUTINHO, R. e VIANA DA FONSECA, A.

Artigos

- **Método de dimensionamento da espessura do revestimento das estradas de terra (GEOTECNIA – 2014).**
- **Critérios para determinar o teor em cimento no solo para uso como camada de pavimento (GEOTECNIA – 2015).**
- **Detalhes sobre os ensaios de compressão não confinada tração por compressão diametral (GEOTECNIA – 2016).**
- **Comportamento de Um Solo Melhorado por Processos Mecânico (Compactação), Químico (Cimento), Físico (Fibras) e Químico-Físico (Cimento-Fibra) para Aplicação como Material Contra Erosão para as Estradas de Terra Existentes no PMAHC/Cabo de Santo Agostinho (COBRAMSEG – 2014).**
- **Detalhes do Processo de Homogeneização das Fibras de Polipropileno Numa Mistura de Solo-Cimento (COBRAMSEG – 2014).**
- **Effect of Varying The Content And Length Of Fibers In The Behavior of A Cemented Soil (REGNE – 2025).**
- **Deformational Behavior of Soil-Cement Reinforced with Microfibers (REGNE – 2025).**

- Devido ao elevado custo de pavimentação dessas vias, têm sido intensificados os esforços para a utilização dos solos disponíveis no leito de construção (subleito), com o objetivo de torná-los mais resistentes às condições climáticas da região e às solicitações impostas pelas cargas dos veículos.
- Nesse contexto, têm sido incorporados ao solo diferentes tipos de produtos: produtos comerciais tradicionais (cal, cimento, entre outros), produtos comerciais não tradicionais patenteados (polímeros sintéticos, misturas enzimáticas, entre outros) e produtos alternativos (resíduos da construção civil, resíduos minerais, entre outros).
- **TÉCNICAS DE MELHORIA, REFORÇO E ESTABILIZAÇÃO:** Solos de Fundação, Estabilidade de Taludes, Aterros Sobre Solos Moles, Base de Pavimentos, Estradas Não Pavimentadas...



EXEMPLOS DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DE IMPORTÂNCIA E POSSÍVEIS PROBLEMAS DURANTE PERÍODOS CHUVOSOS



Soybean transportation on BR-163



School transportation – Manaus / AM



**Tourism – Environmental
Preservation Area – PMAHC / PE**



Soybean transportation on BR-163

(SOURCE: <https://agroemdia.com.br/2019/03/06>)



School transportation – Manaus / AM



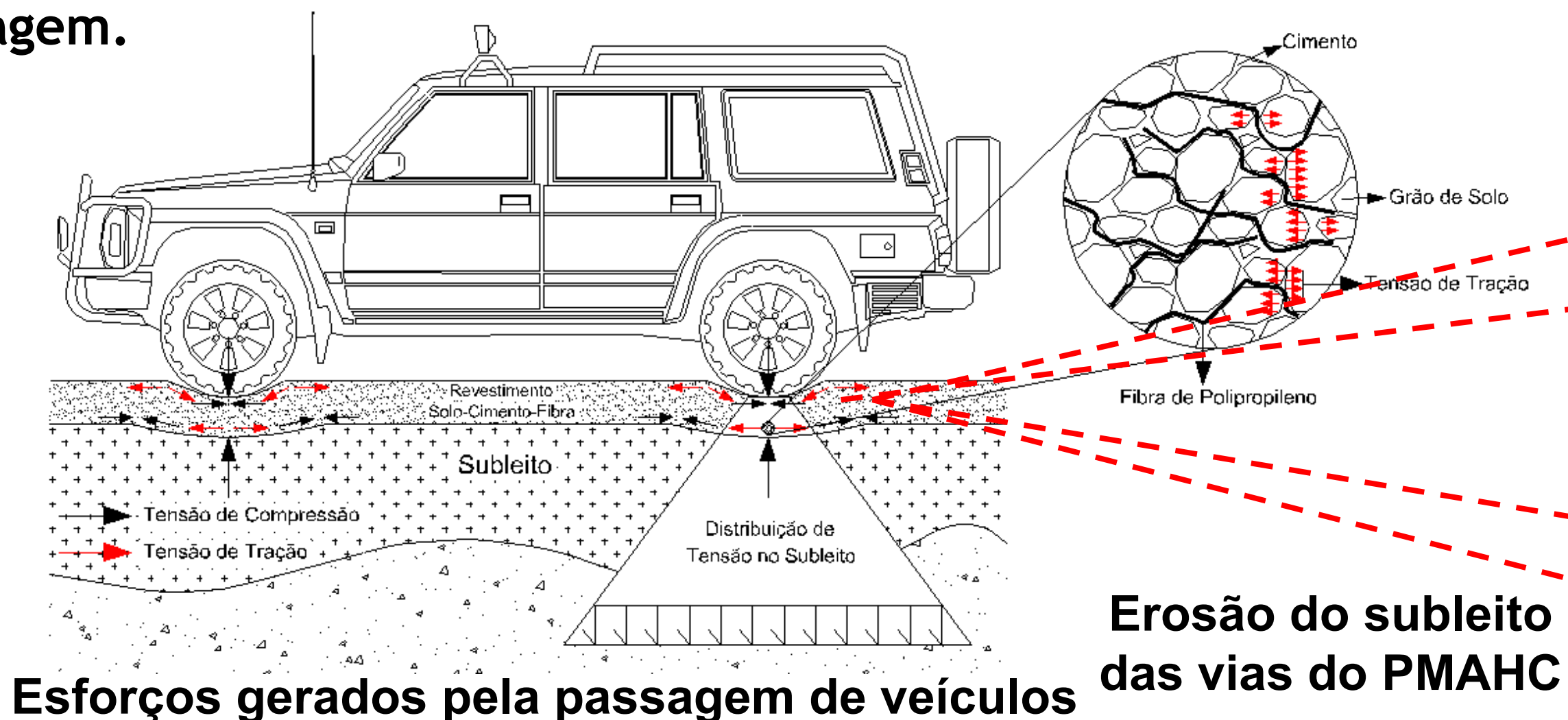
**Tourism – Environmental
Preservation Area – PMAHC / PE**

Coutinho, R.C,2026.

COMPORTAMENTO MECÂNICO DO SOLO-CIMENTO-FIBRA PARA USO EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: GUEDES, COUTINHO and VIANA DA FONSECA (2013) Coutinho, R.C,2026.



- As estradas não pavimentadas contidas na área de preservação ambiental pertencente ao Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti (PMAHC)/PE encontram-se deterioradas pela erosão.
- O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um revestimento primário utilizando o próprio solo da via, tornando-o mais resistente à erosão, às solicitações das rodas de veículos de passeio e às condições climáticas adversas que afetam a região.
- Para obter uma camada mais resistente, foi desenvolvido inicialmente um estudo com a incorporação de cimento ao solo de subleito e, posteriormente, outro estudo com a introdução de fibras de polipropileno ao solo-cimento, visando reduzir sua elevada rigidez e a tendência à fissuração após a secagem.



- O solo é composto por: 64% da fração areia e 32 % da fração argila (Mal Graduado);

- Fração Argila: Inorgânica de Baixa Plasticidade;

- Argila Inativa (Índice de Atividade = 0,4);

- Não Dispersiva (Ensaio Sedimentológico Comparativo = 18,45 %);

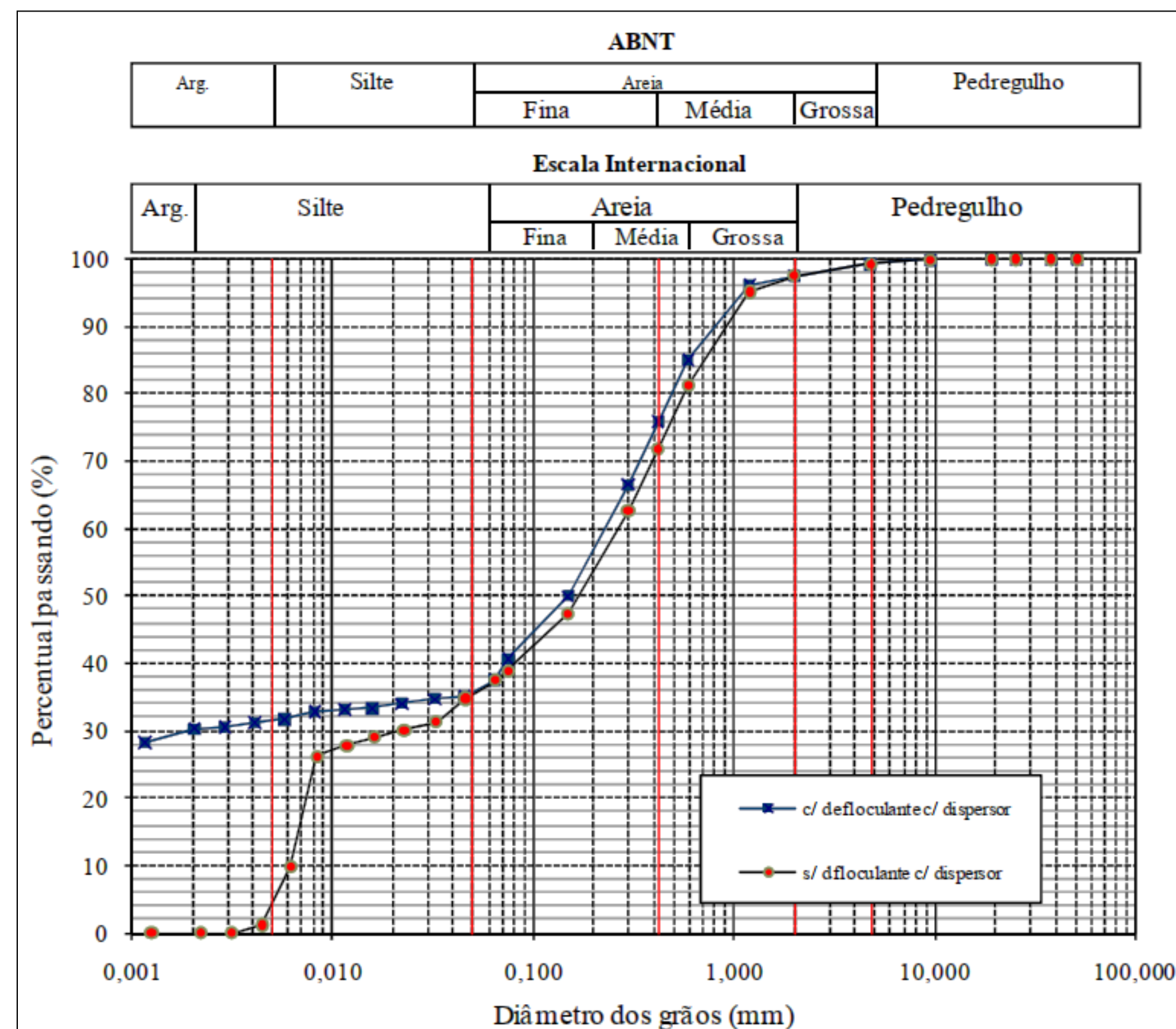
- Razão de Dispersão de Middleton (1930) = 100 % → Solo Erodível;

- Não Expansivo & Não Colapsível;

- Curva Característica: Modelo Bimodal;

- Classificação MCT: Admite o Mesmo Comportamento de uma Areia Argilosa Laterítica – LA`.

- LL = 30 %, LP = 18% e IP = 12 %

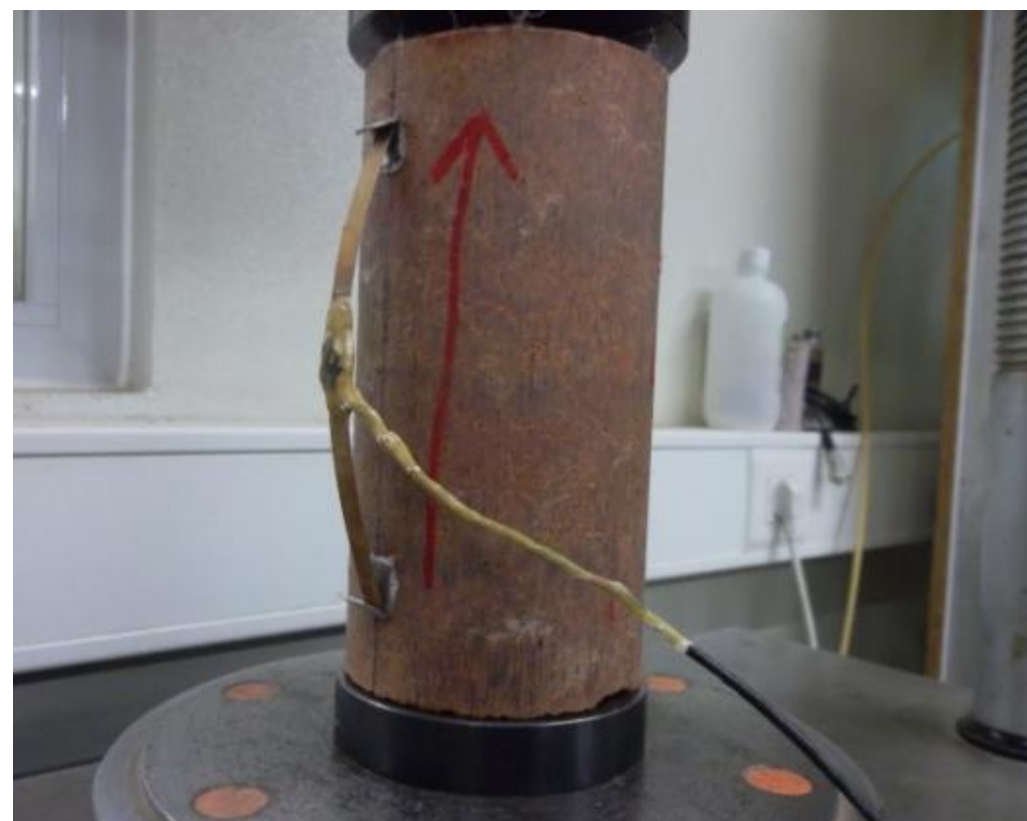


Solo de PE
HRB – A-2-6 / SUCS - SC

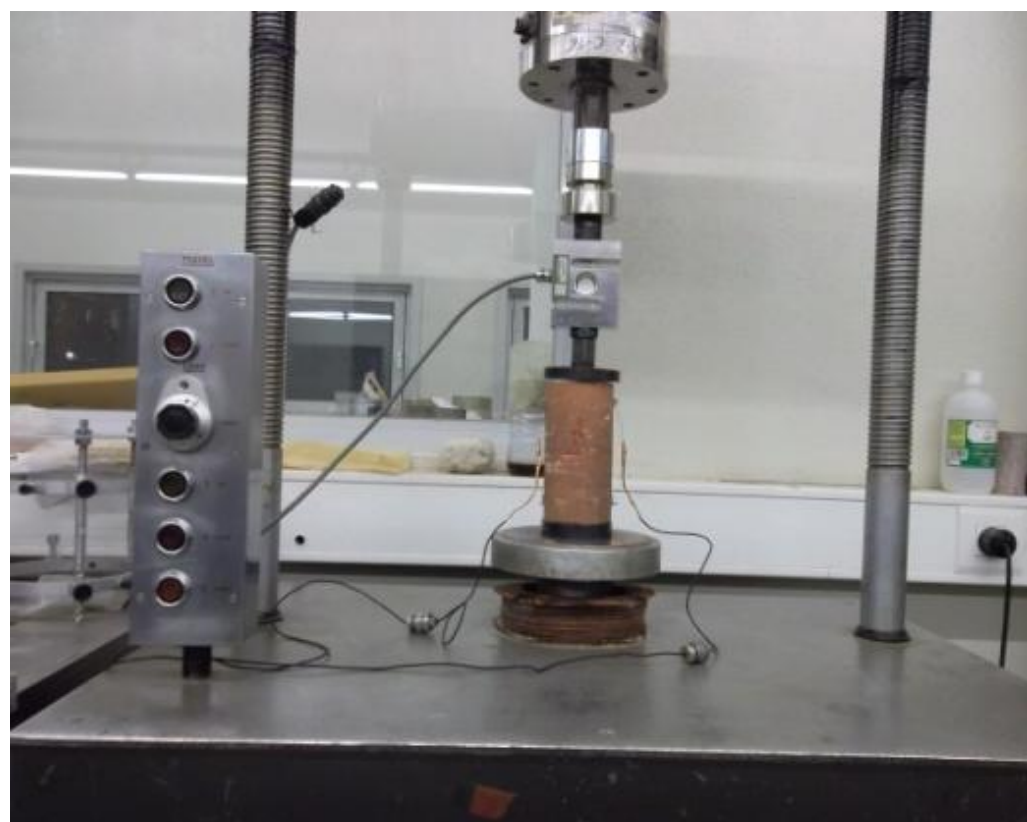
Para o desenvolvimento, foram utilizados os seguintes materiais e realizados os seguintes ensaios:

- Tipo de solo: Areia argilosa da Formação Barreiras
- Tipo de cimento: Cimento de alta resistência inicial
- Tipo de fibra: Fibras de polipropileno (6 e 24 mm de comprimento e diâmetro de 18×10^{-3} mm)



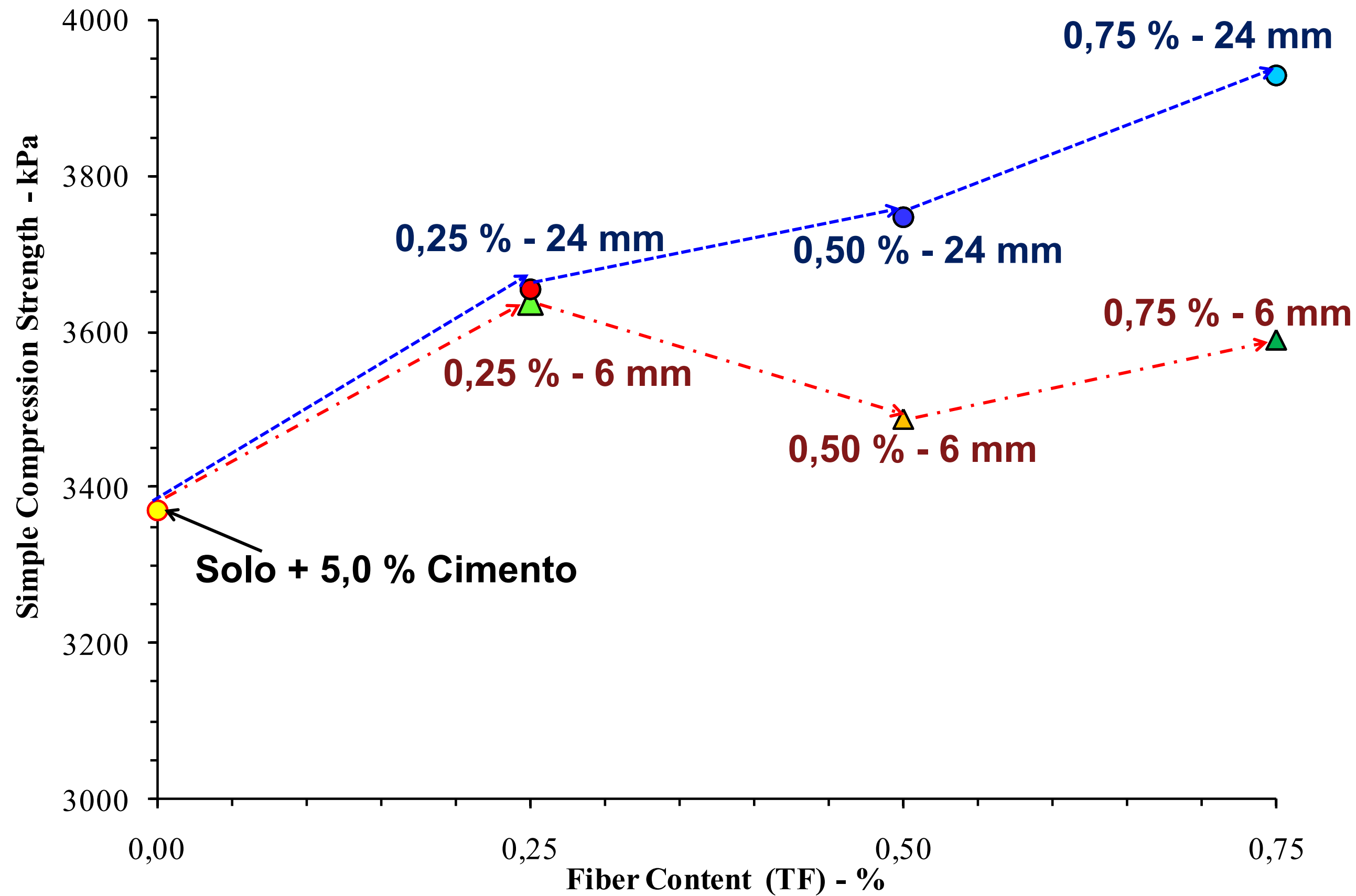


MEDIDOR DE DEFORMAÇÃO VERTICAL



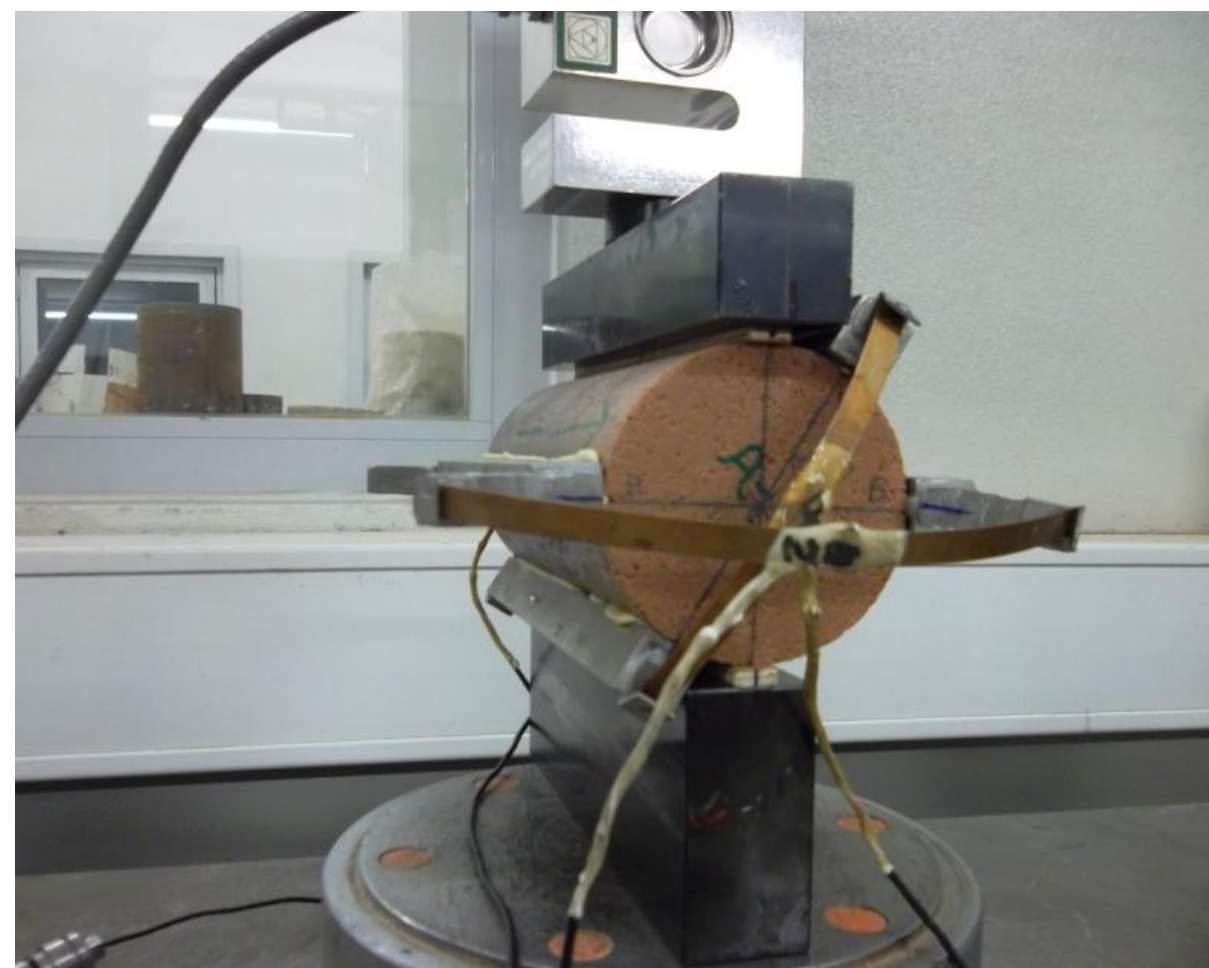
Ensaio de Compressão Simples

Norma: NBR-12243/2012

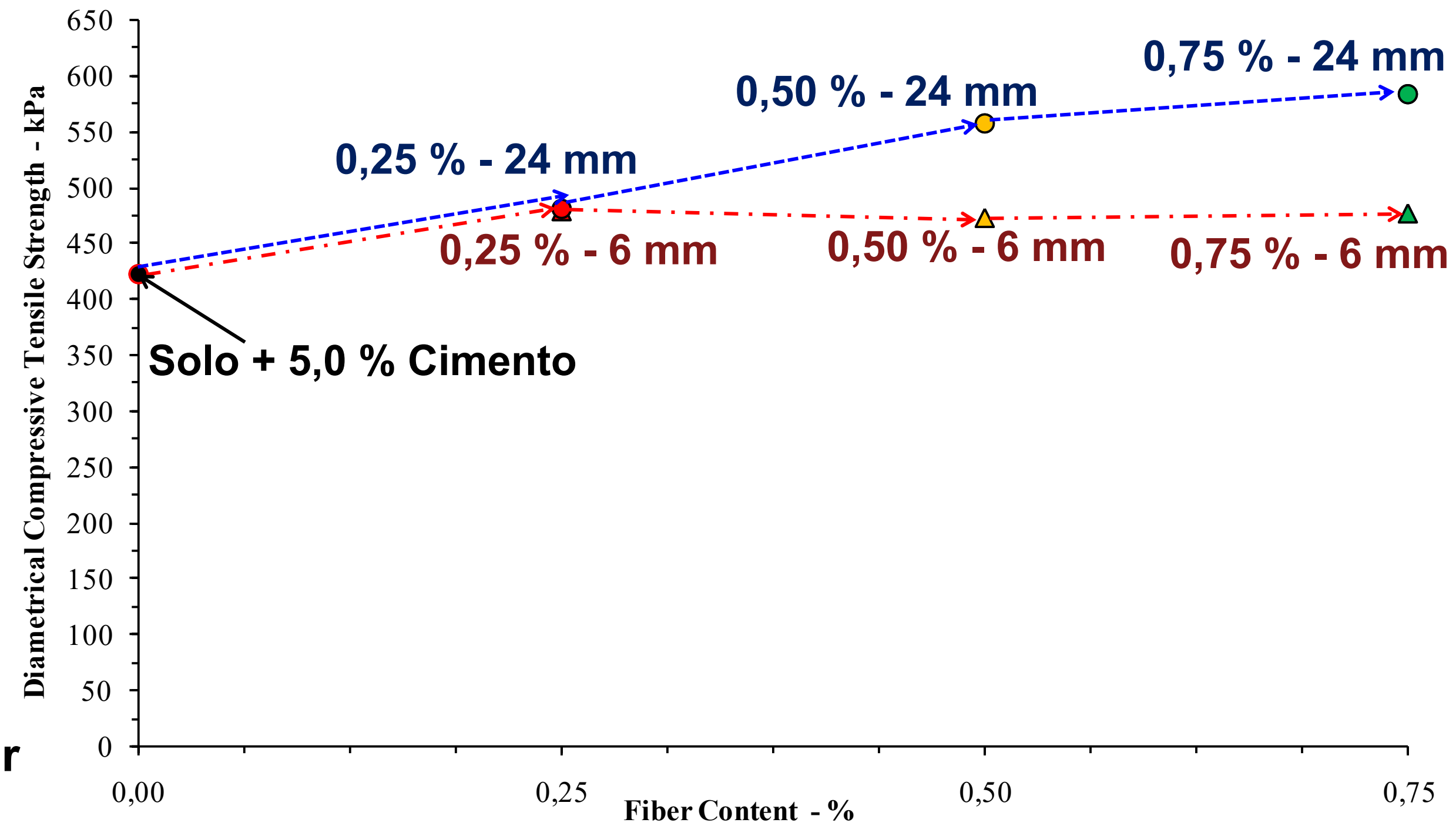


Resistência à Compressão Simples em Função do Teor e Comprimento das Fibras

RESULTADOS: ENSAIO DE COMPRESSÃO POR TRAÇÃO DIAMETRAL

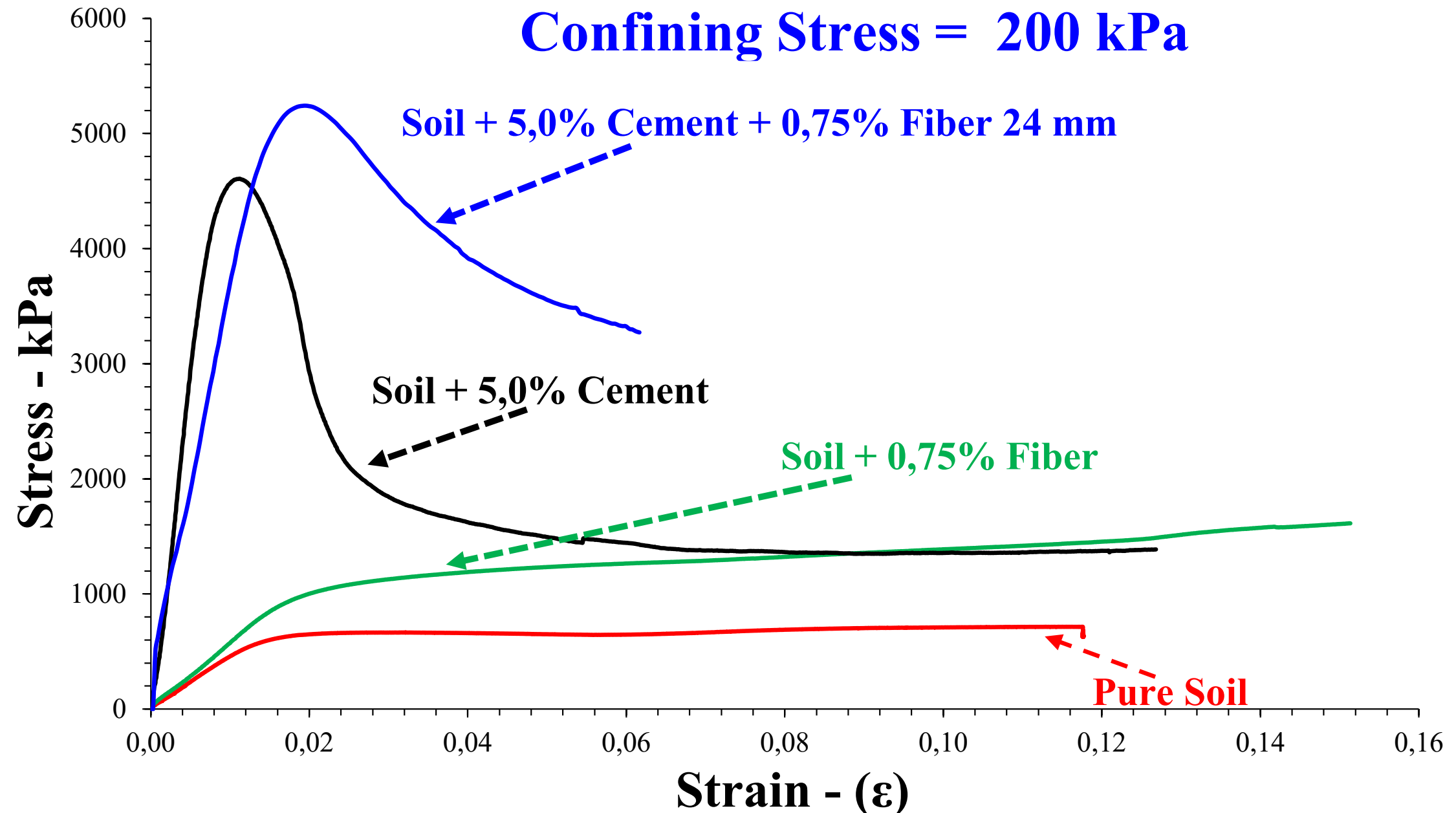


**Procedimento Adotado Para
Realização do Ensaio de Tração por
Compressão Diametral
Norma: EN-13286/2003**



**Resistência A Tração Por Compressão Diametral
Versus Teor e Comprimento de Fibra**

RESULTADOS: ENSAIO TRIAXIAL CID – TENSÃO × DEFORMAÇÃO



**Ensaio Triaxiais – CID
Pesquisa Conjunta**

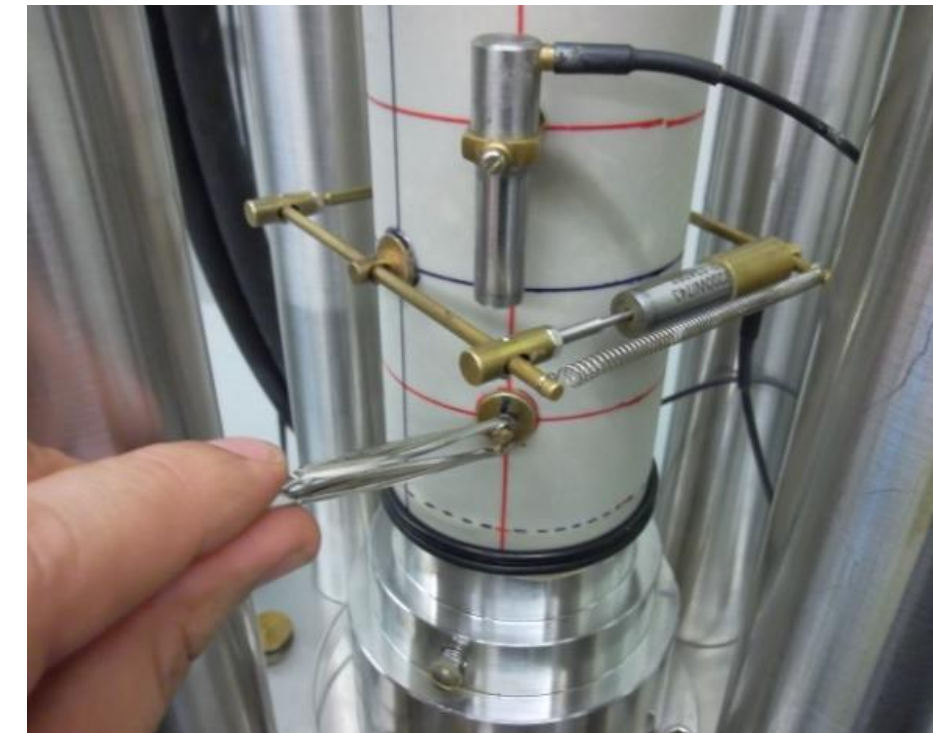
Universidade do Porto / UFPE

**Normas: NBR-16907-/2022
and ASTM-D3999-91/2003**

Parâmetros de Resistência de Mohr-Coulomb

Tipo de Material:	Coesão - kPa	Ângulo de Atrito - (ϕ')
Solo Puro	26,205	36,9°
Solo + 0,75 % de Fibra de 24 mm	114,209	45,1°
Solo + 5,0% de Cimento	415,865	48,2°
Solo+ 5,0 % Cimento + 0,75 % Fibra 24 mm	744,094	47,7°

Coutinho, R.C,2026.

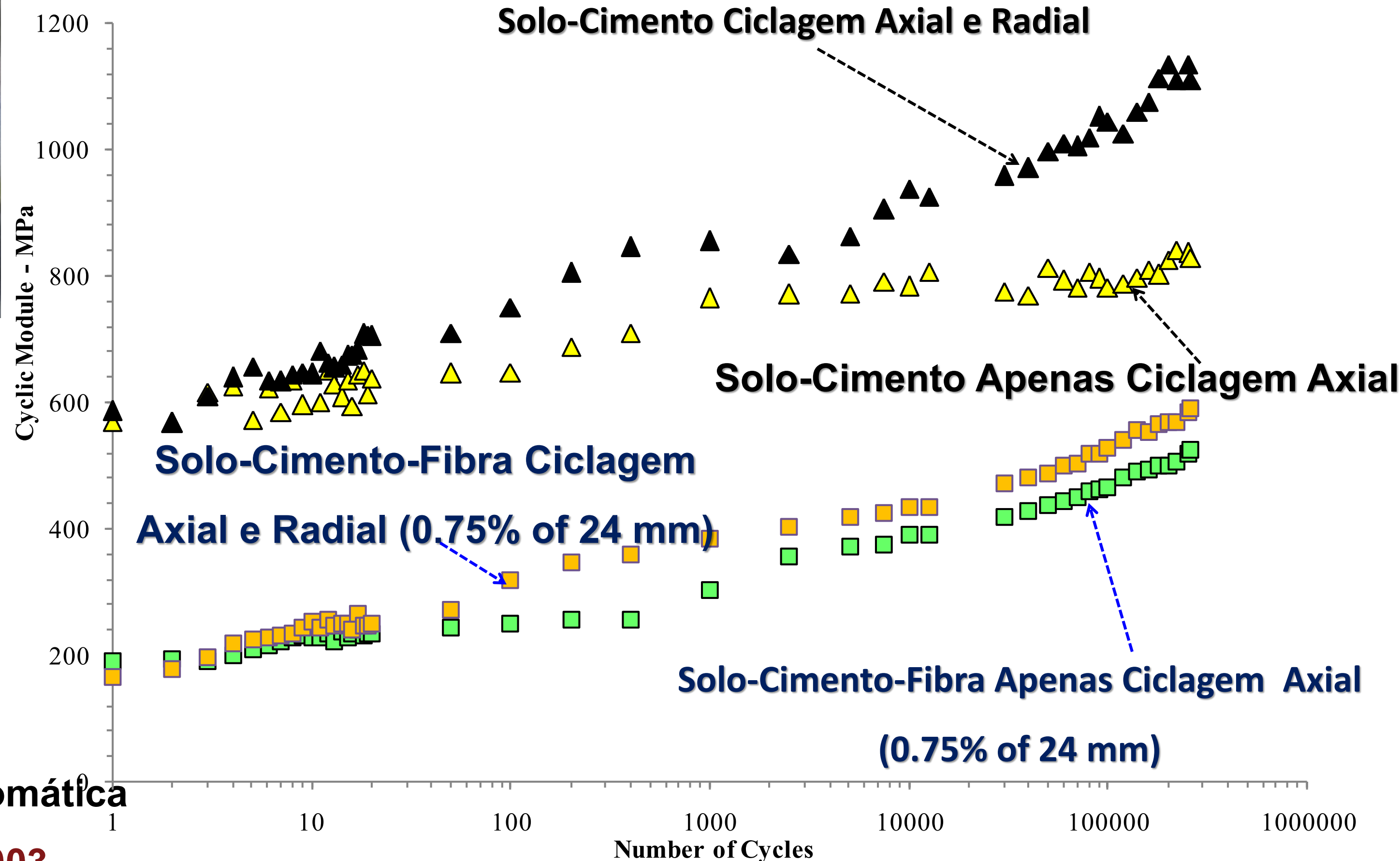


Detalhes do Ensaio



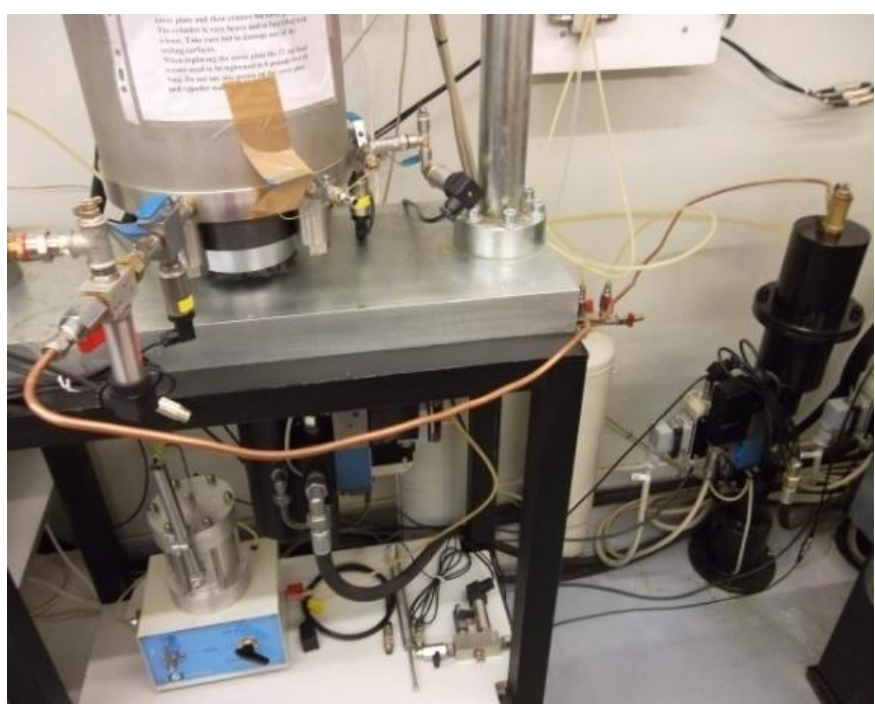
Detalhes da Prensa Automática

Norma: EN-13286/2003



Comportamento do Módulo Cíclico

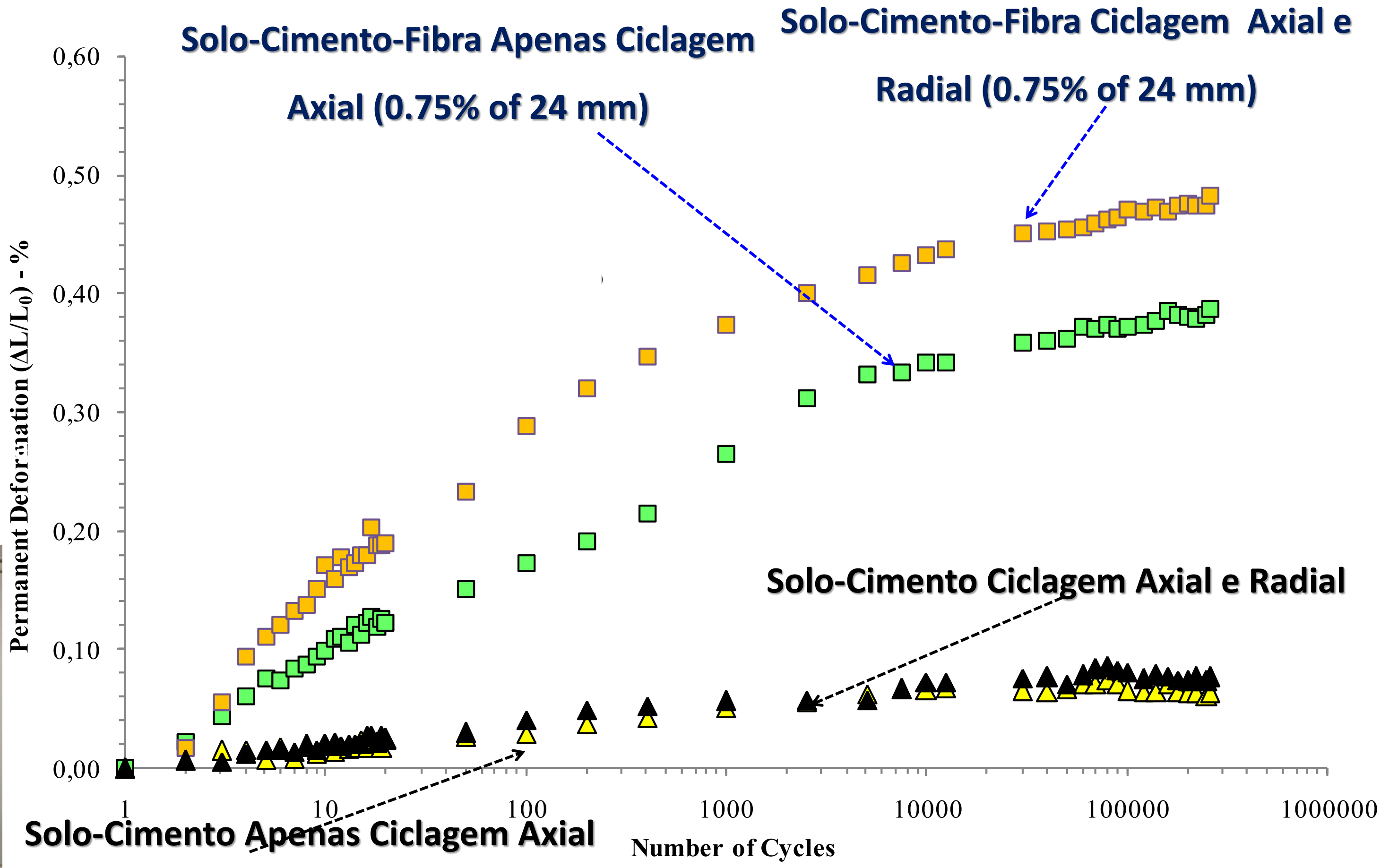
RESULTADOS: ENSAIO TRIAXIAL CÍCLICO – DEFORMAÇÃO PERMANENTE



Sistema de Ciclagem Radial
Norma: AASHTO-T307/99



Atuador de Ciclagem Axial



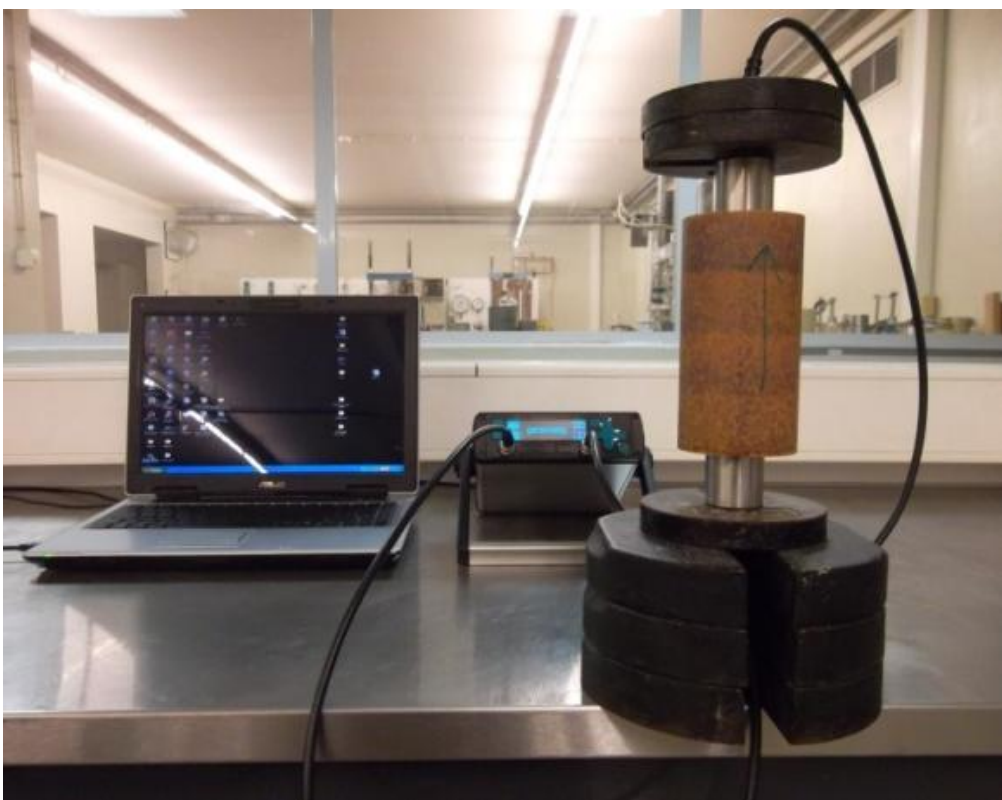
Deformação Permanente em Função do Número de Ciclos

Coutinho, R.C,2026.

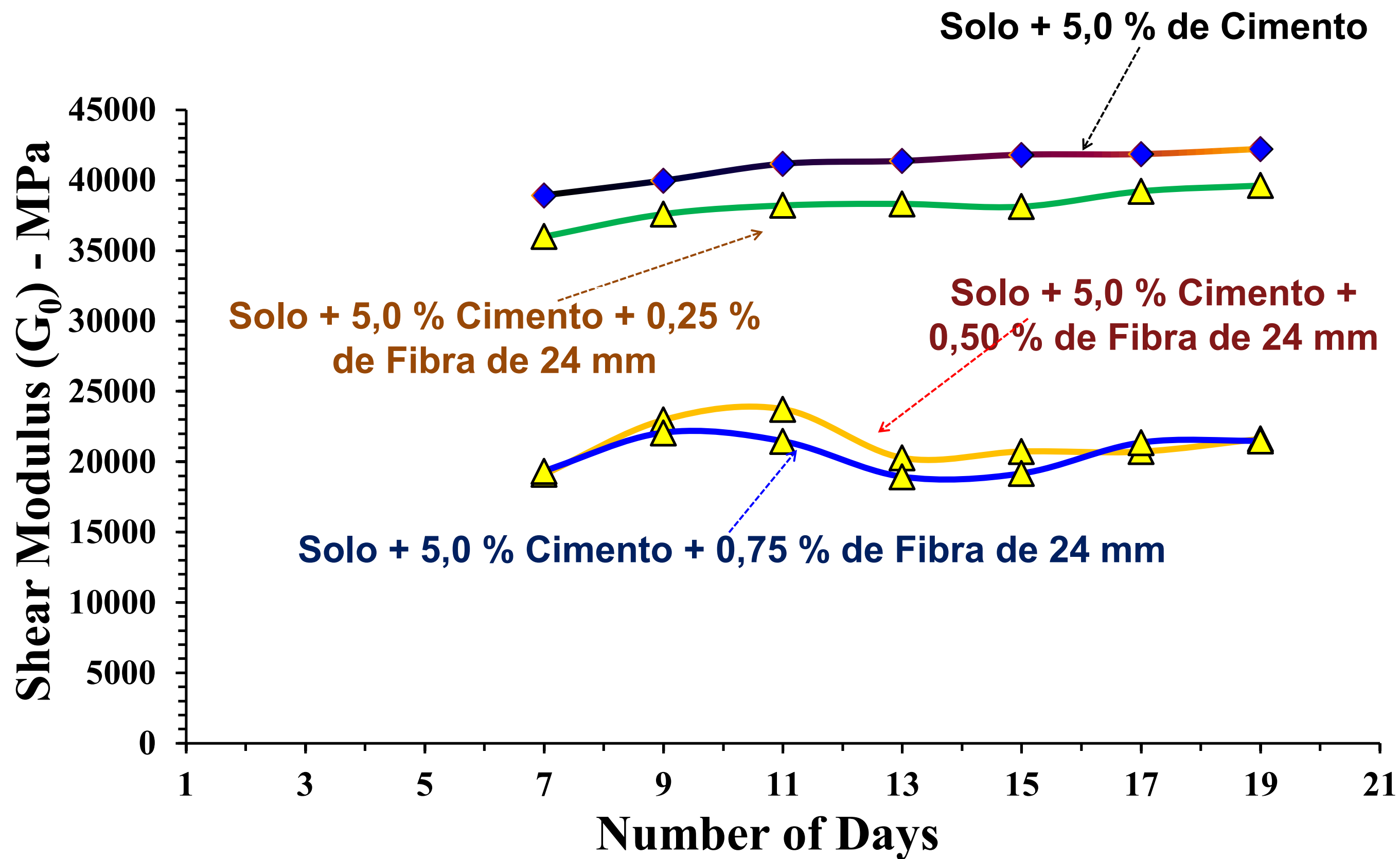
RESULTADOS: ENSAIOS SÍSMICOS – MÓDULO CISALHANTE



Equipamento Sísmico



Ensaio Sísmico



Comportamento do Módulo de Cisalhamento (Solo + 5,0% de Cimento) em Função do Teor e do Comprimento das Fibras Coutinho, R.C,2026.

Após a conclusão deste trabalho, concluiu-se que as especificações abaixo da mistura solo-cimento-fibra apresentaram comportamento adequado para uso como revestimento primário de estradas não pavimentadas em área de preservação ambiental:

- Energia de compactação: Proctor intermediário;
- Teor de cimento Portland em relação ao solo seco: 5,0%;
- Comprimento da fibra de polipropileno: 24 mm;
- Teor de fibra polipropileno em relação ao solo seco + 5,0% de cimento: 0,75%.

Coutinho, R.C,2026.

•**Nota:** Estudos também tem sido realizados incorporando ao solo diferentes tipos de produtos

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- **Contribuição da Engenharia Geotécnica Brasileira: Estudos, Conhecimentos, Procedimentos Metodológicos, Infraestrutura de Laboratórios / Equipamentos, Ferramenta de Modelagem Moderna, Aplicação na Prática com forte interação Academia e Órgãos Públicos. Estudos e aperfeiçoamento continuam!**
- **IS - 247 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários DNIT (2021)**
- **Importante Interação DNIT - IPR / CT Pavimentos ABMS / Academia**

AGRADECIMENTOS

- Organização do 2 WORKSHOP NACIONAL
CT Pavimentos ABMS / DNIT - IPR / Infra Lab - UnB
- ABMS Nacional
- À Equipe do GEGEP/UFPE

OBRIGADO PELA ATENÇÃO DE TODOS!

**Profº Dr. Roberto Quental Coutinho - PPGEC
Coordenador do GEGEP**

roberto.coutinho@ufpe.br

**Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres
Universidade Federal de Pernambuco**



Cordiais saudações e que esta Mesa Redonda seja amplamente proveitosa para os(as) participantes.

Minha gratidão à Comissão Organizadora do Evento pelo honroso convite para estar neste momento participando desta Mesa Redonda.

Realização:





Algumas Reflexões sobre os Solos Lateríticos Aplicáveis em Obras de Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária

José Camapum de Carvalho

Professor Titular Aposentado, UnB, PPG-Geotecnia

camapumdecarvalho@gmail.com

Realização:





Esta apresentação tem por objetivo abordar particularidades relevantes nos estudos, projetos e obras de Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária e será finalizada com um acróstico de minha autoria intitulado 'Solos Lateríticos'.

Aspectos climáticos e geomorfológicos

Os solos lateríticos apresentam, em consequência da atuação do clima, suas **propriedades e comportamentos dinâmicos no tempo e no espaço** – dinâmicas estas, dependentes de fatores **internos e externos**.

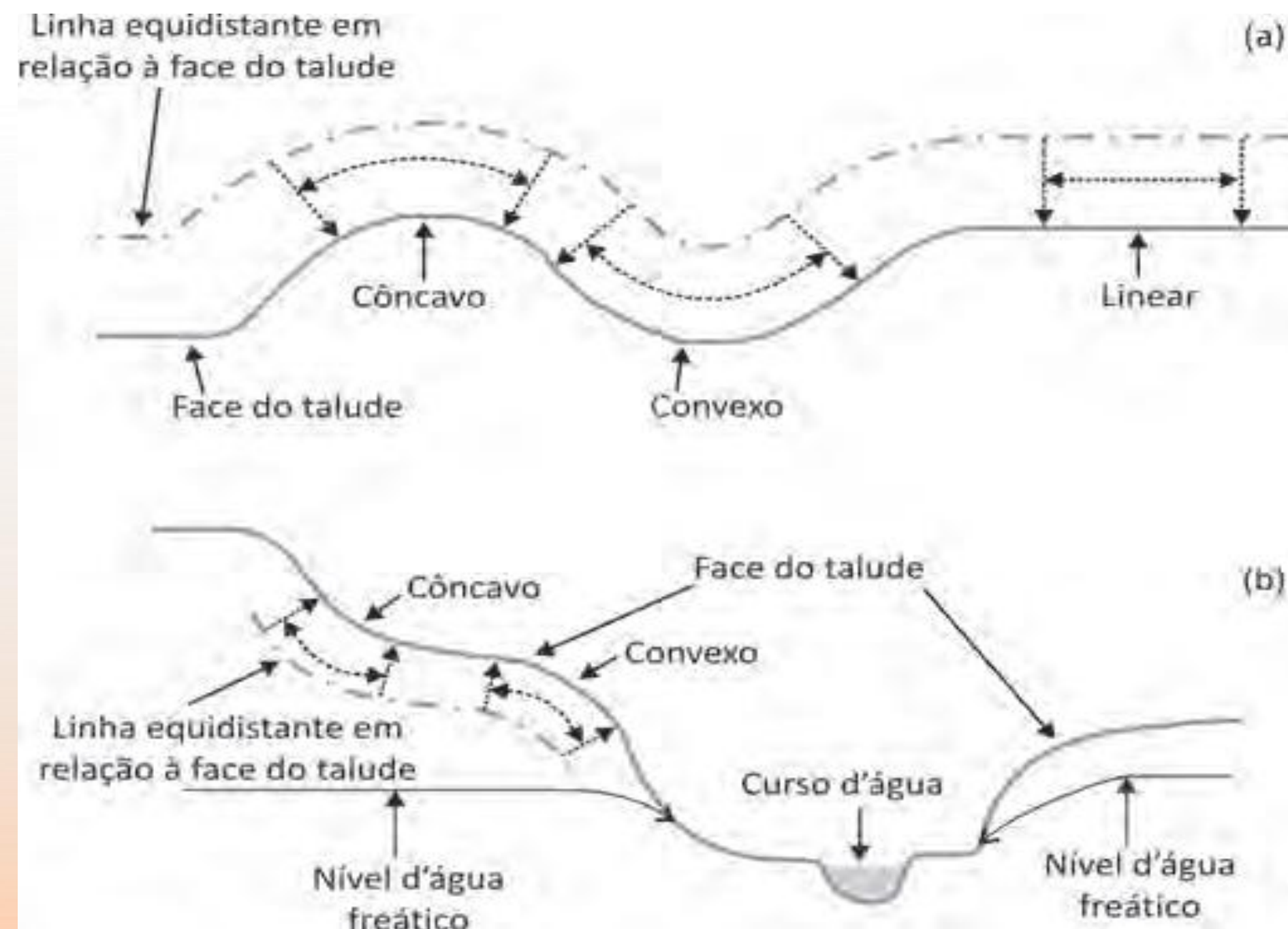
Climaticamente, **a umidade e a temperatura** afetam propriedades e comportamentos dos solos lateríticos (Collantes, 2022).

A geomorfologia, acoplada à infiltração de águas pluviais e ao fluxo no meio saturado e no meio não saturado, assume papel relevante nas **dinâmicas temporal e espacial** (Lima, 2003).

O **clima**, por meio das precipitações, da temperatura e dos ventos, está constantemente atuando no processo de intemperização dos maciços, e a geologia e a geomorfologia assumem grande relevância.



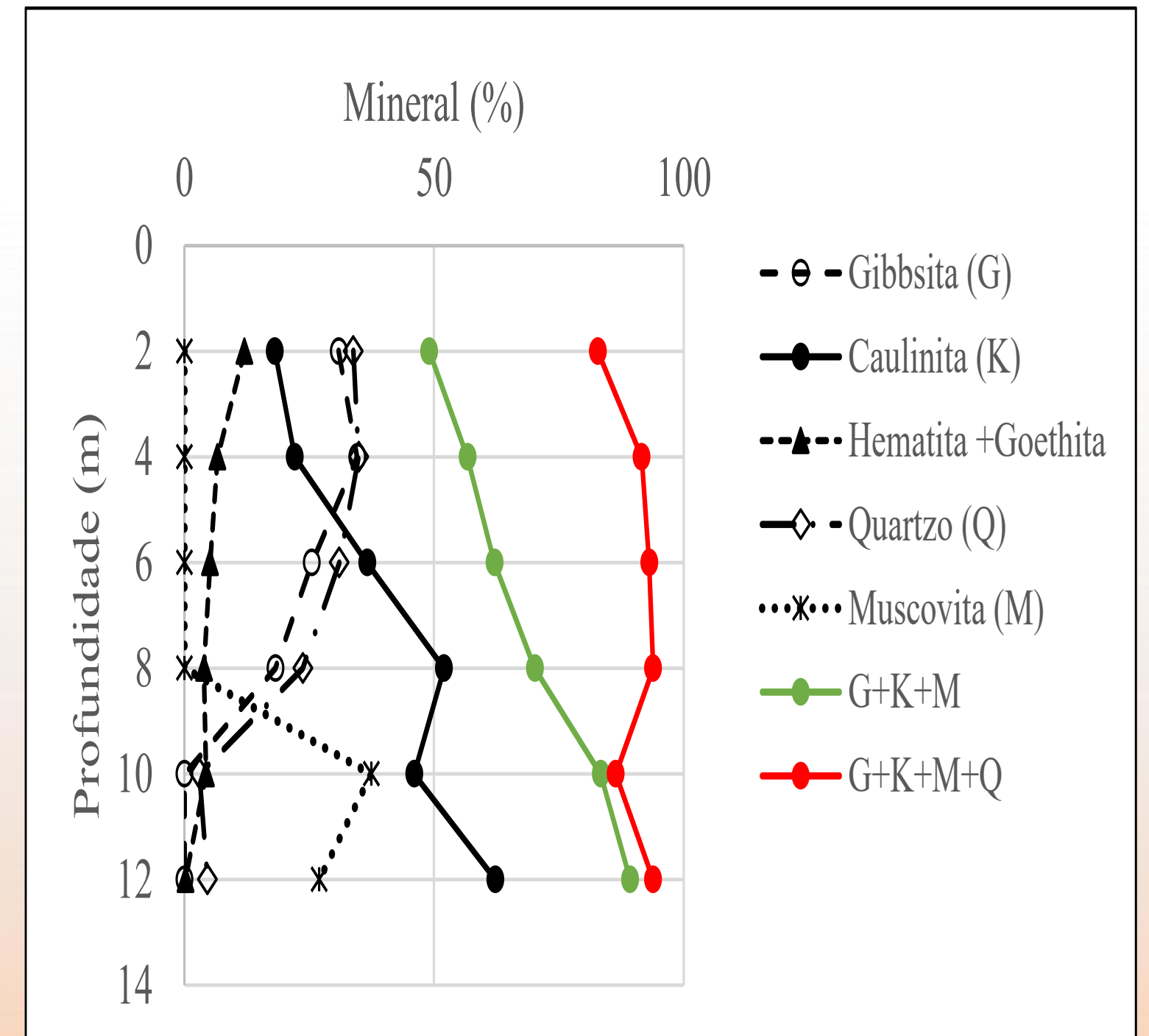
Fluxo de umidade



Jesus (2013); Jesus et al. (2017).

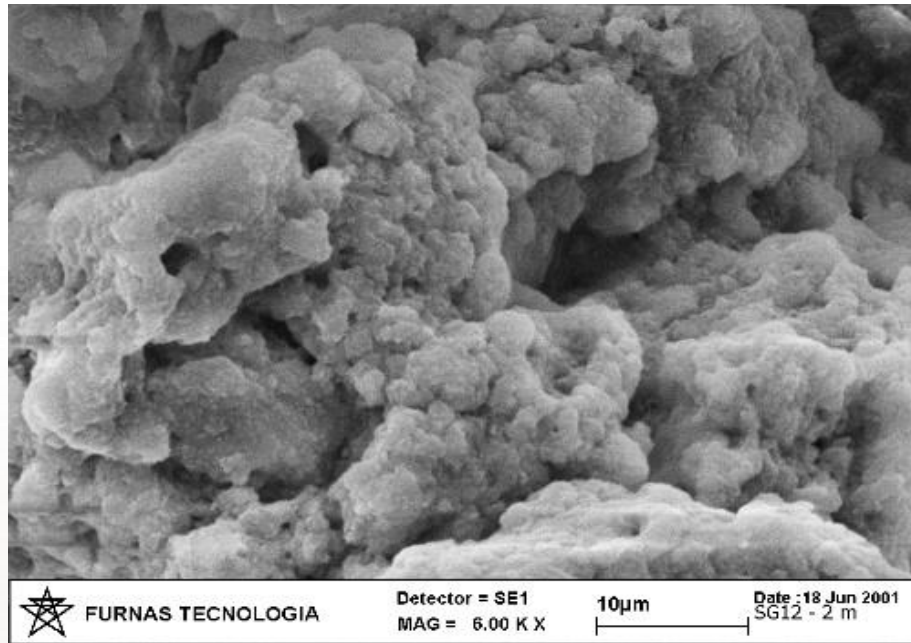
Aspectos mineralógicos dos perfis de intemperismo

Esta figura ilustra a mineralogia de solos presentes em perfis de intemperismo do Distrito Federal, mas muitos resultados são apresentados na literatura para solos de outras regiões do Brasil (Lucena 1976, 1982, Camapum de Carvalho 1981, Pessoa 2004, ...).

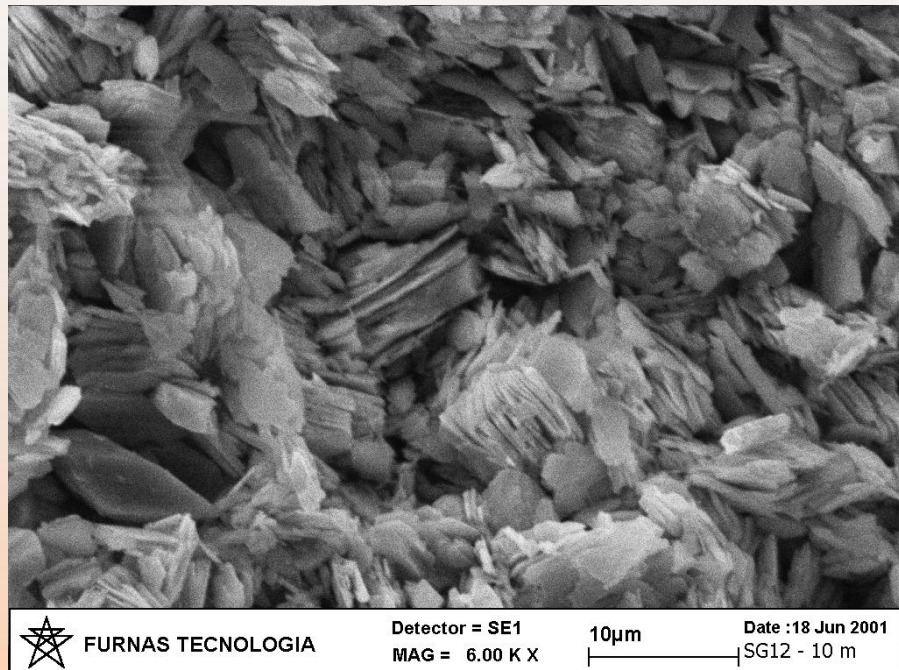


Rodrigues (2017).

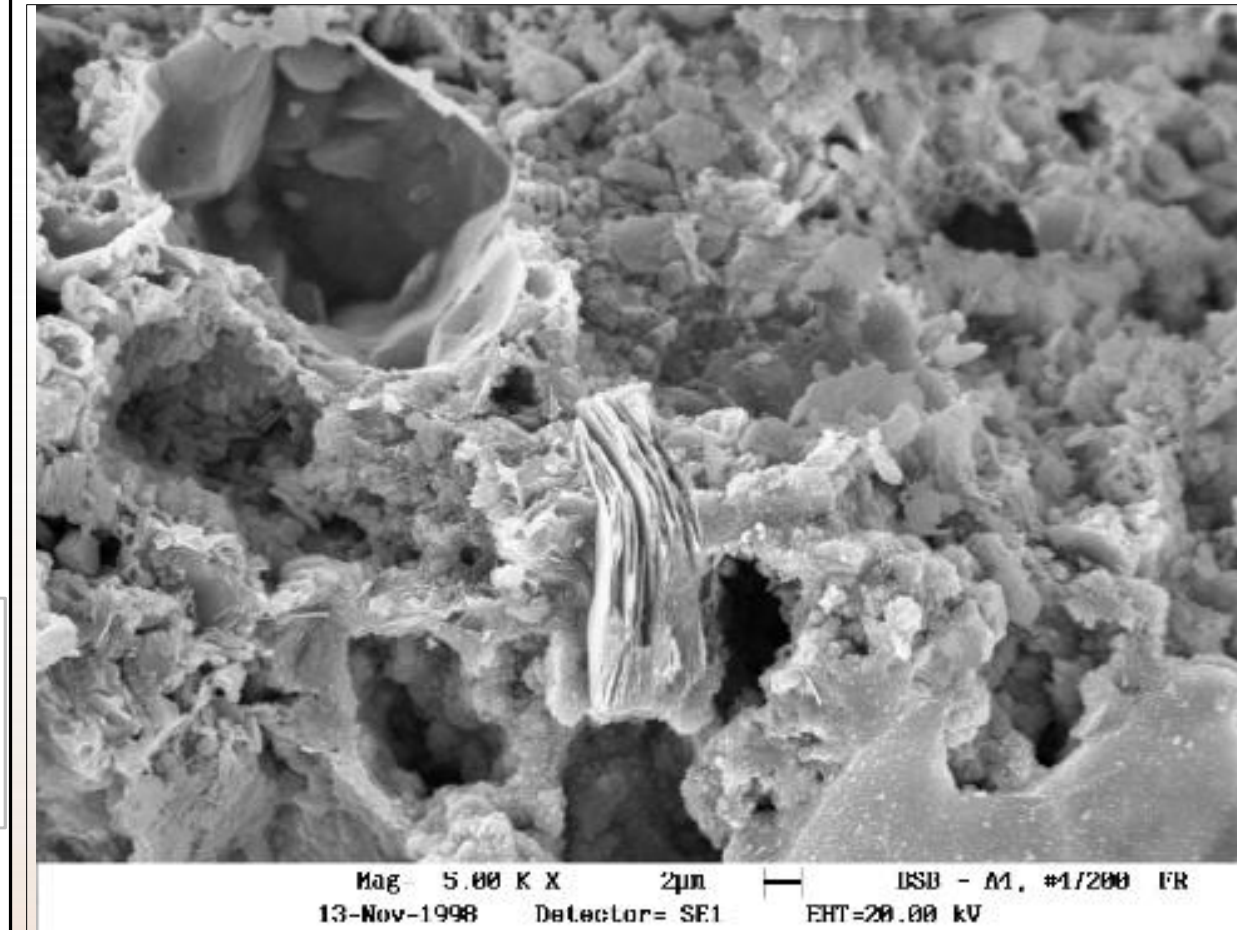
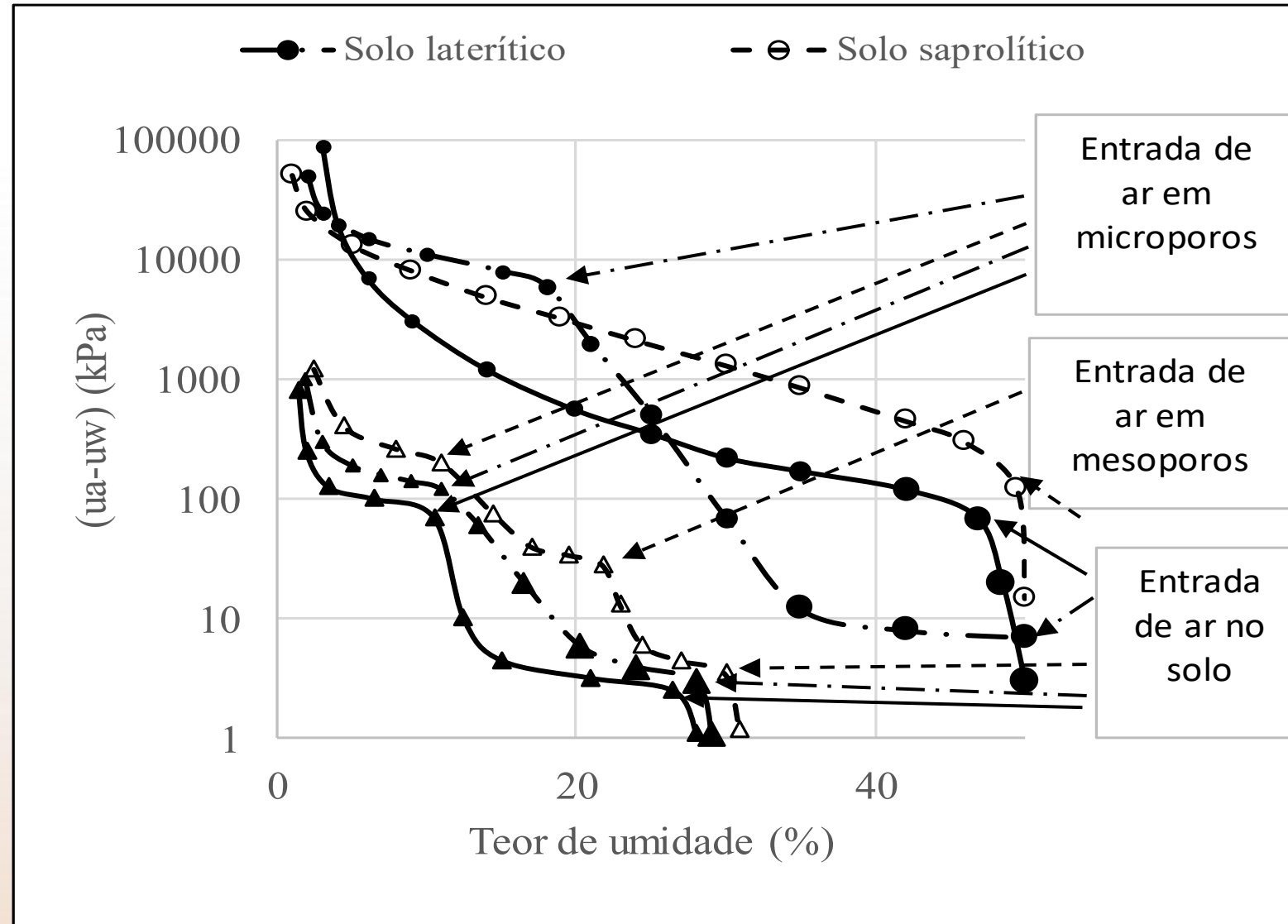
Impactos mineralógicos e estruturais nas curvas características



Solo laterítico fino



Solo saprolítico



Cascalho laterítico

Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021).

Classificação e Comportamento de Solos Lateríticos

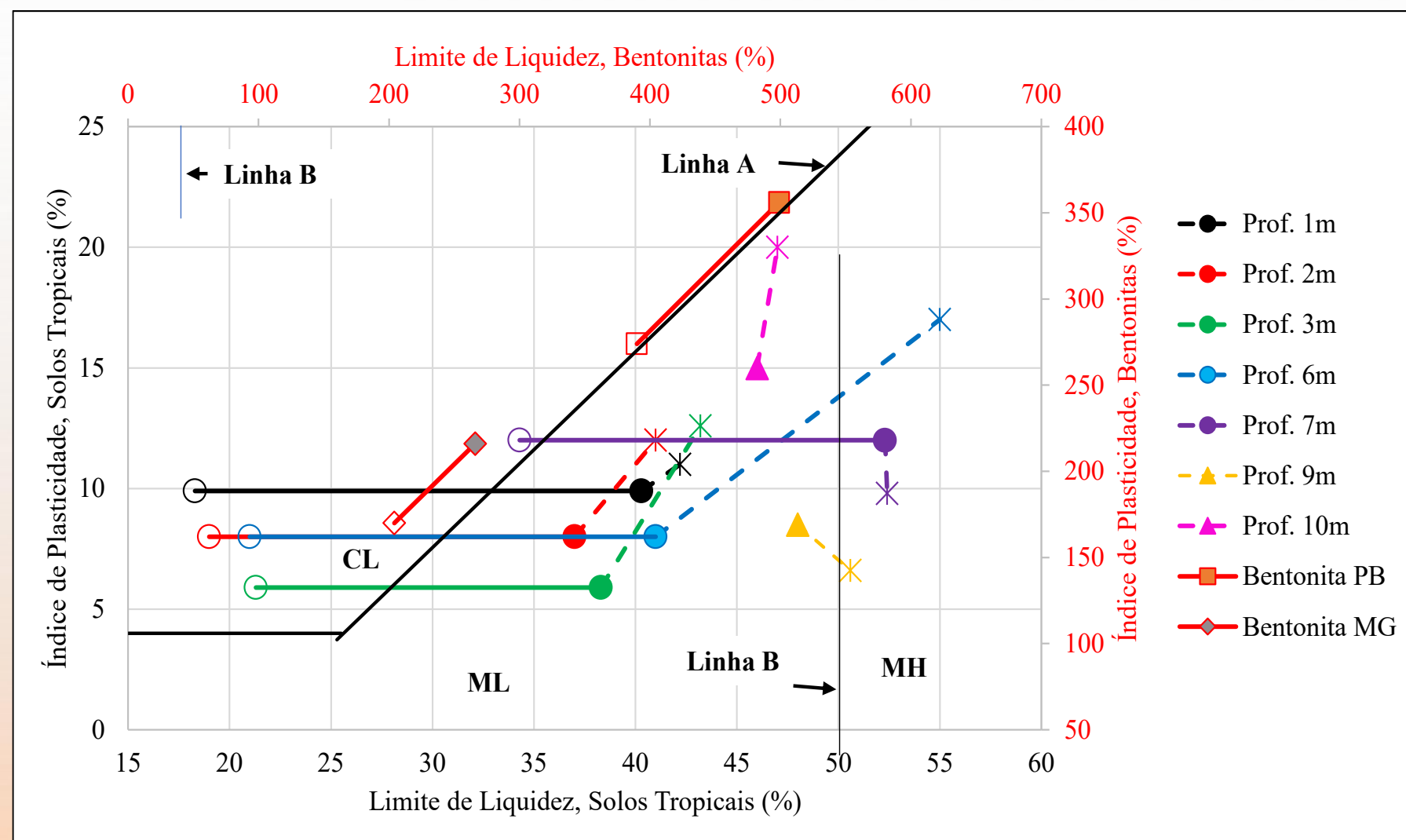
Qualquer que seja o sistema de classificação utilizado para os solos lateríticos, faz-se necessário atentar para as suas particularidades de **composição químico-mineralógica e estrutural**.

Surgem então questões como:

- Se a classificação do solo objetiva oferecer uma ideia do comportamento em campo, qual o seu significado no caso de solos contendo haloisita e/ou que possuam agregações e que tenham sido secos ao ar?
- Como fica a condição de compactação de campo fixada com base nos resultados obtidos em laboratório para os solos lateríticos contendo haloisita e/ou agregações?
- Outras questões podem ser formuladas ...



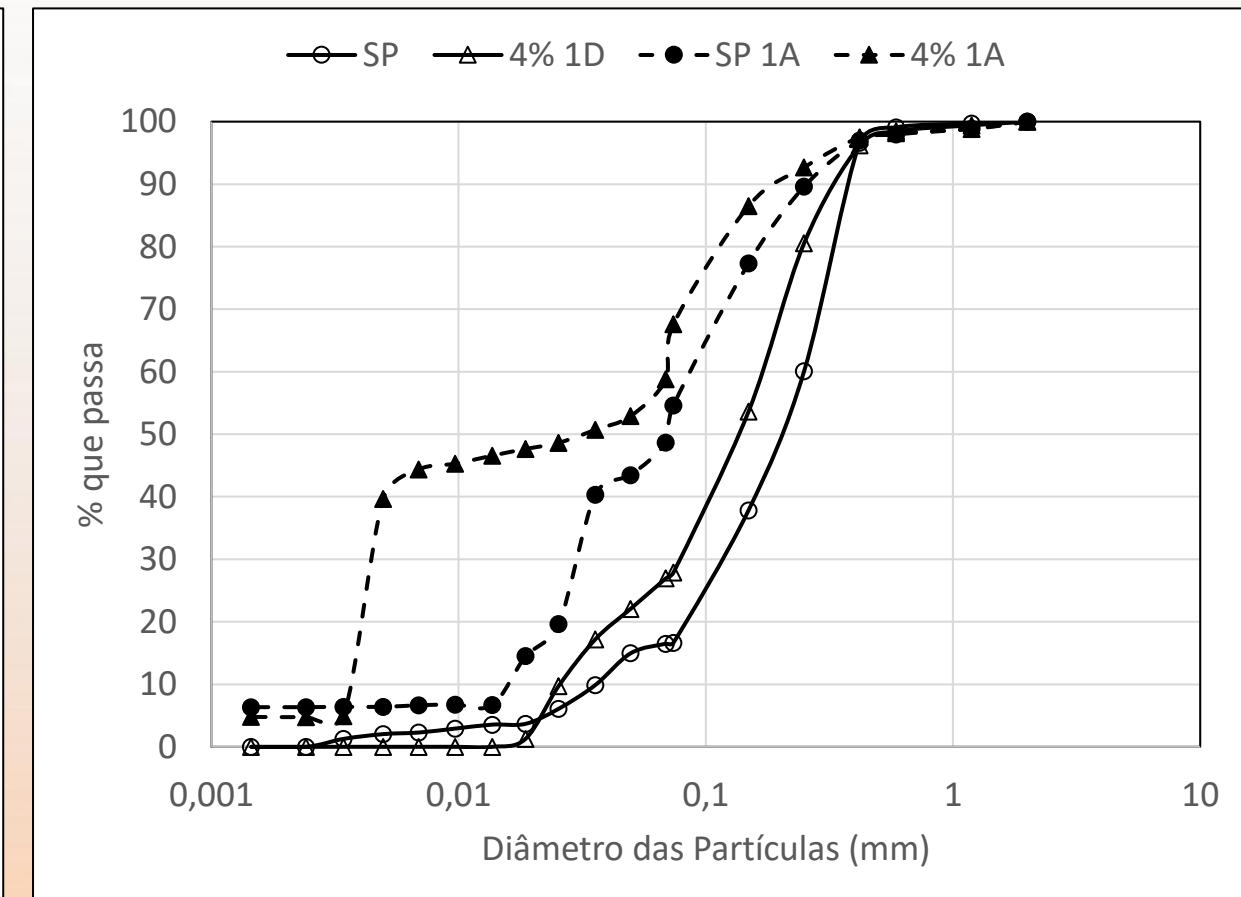
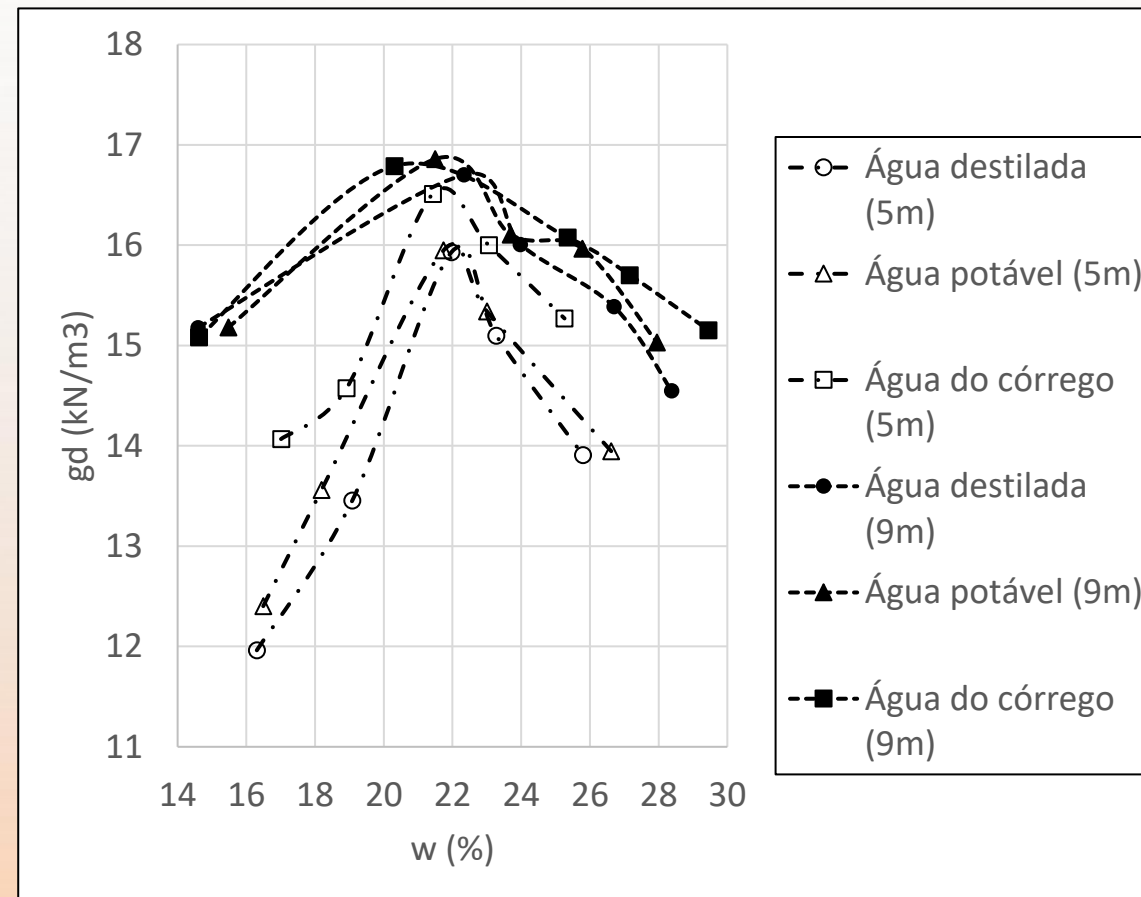
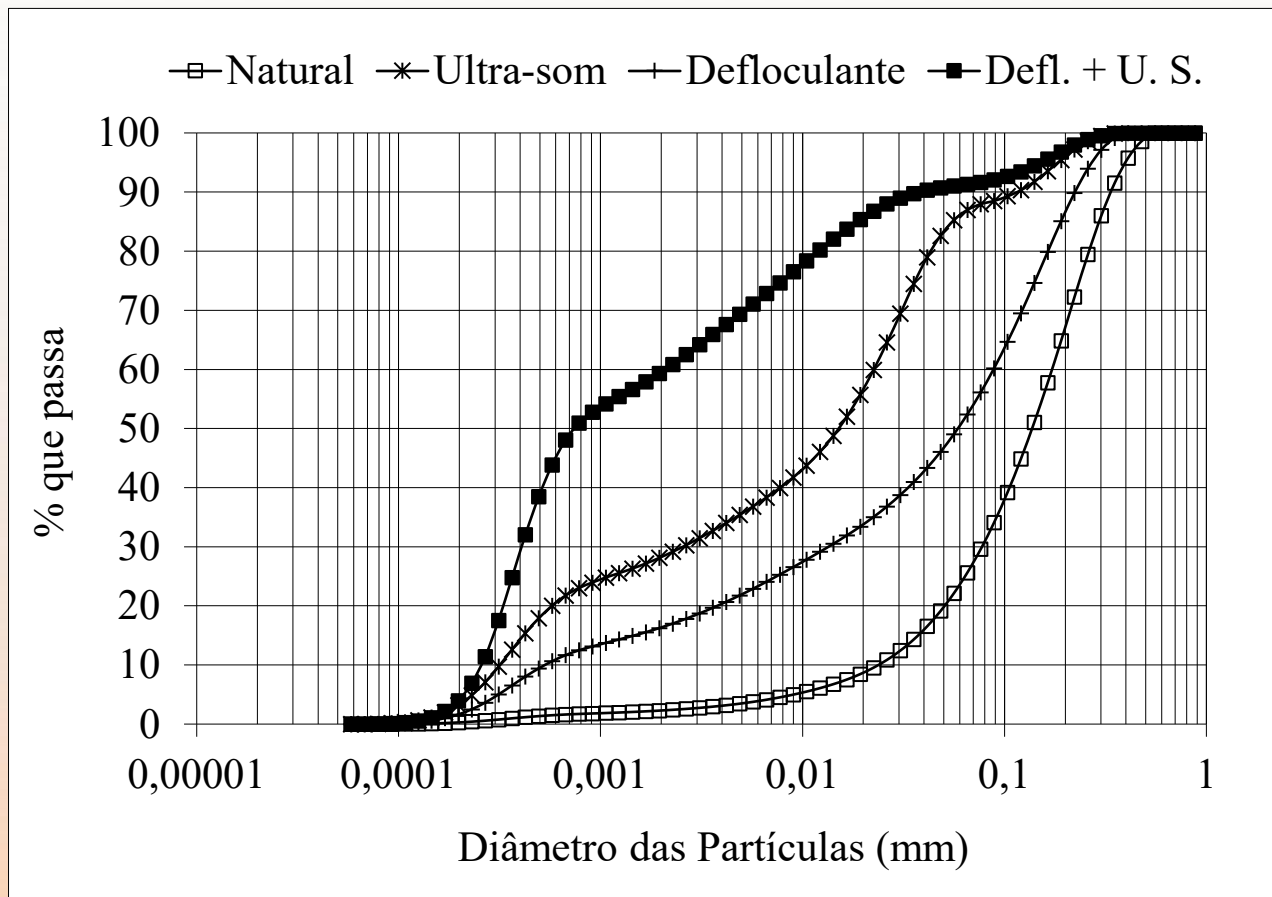
A Figura a seguir, obtida para um solo laterítico fino e para bentonitas com e sem a remoção da água contida nos microporos das agregações e entre as camadas da montmorilonita, mostra a relevância de se entender e analisar corretamente os resultados.



Camapum de Carvalho e Gitirana Jr. (2021).

Impactos químicos sobre as propriedades e comportamentos de solos lateríticos

É importante que os estudos de laboratório guardem relação com o campo, cabendo interrogações como: **Qual será a condição de trabalho do solo em campo? Qual a qualidade da água que será usada? Em um solo a ser estabilizado quimicamente, a cura em laboratório retrata a de campo?**

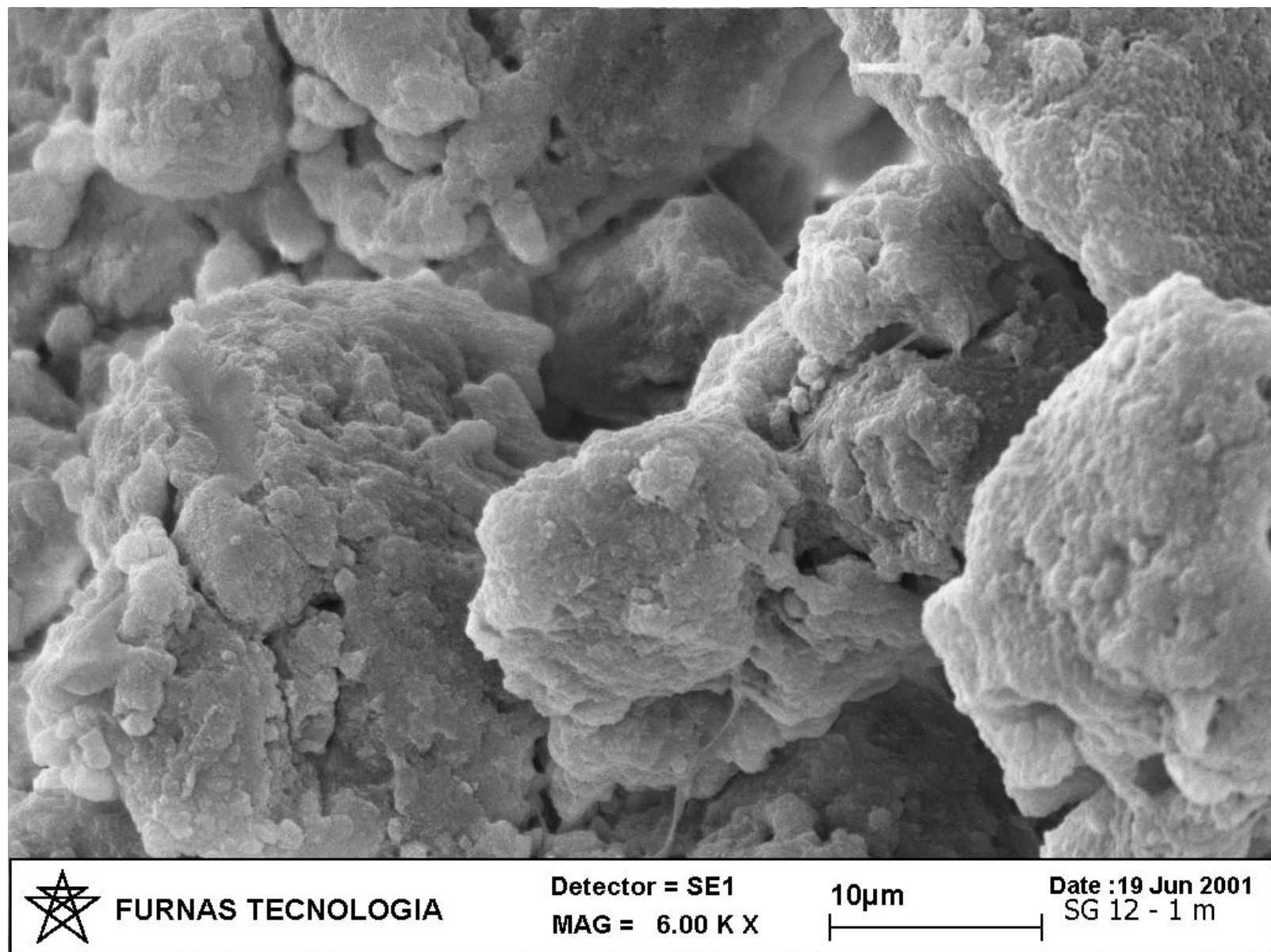


Roseno e Camapum de Carvalho (2007).

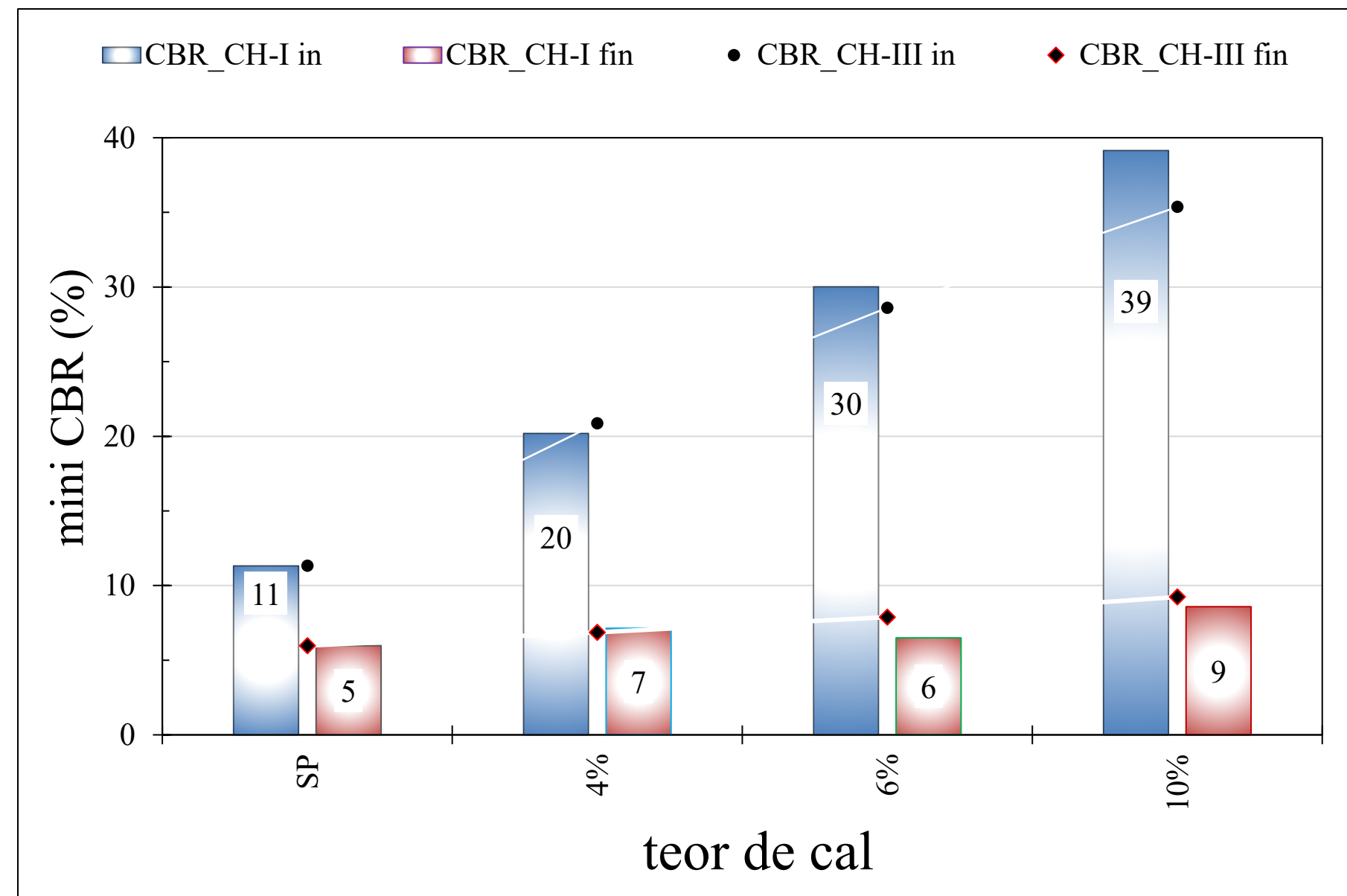
Coelho et al. (2016).

Ayala (2020).

Exemplo de impacto no comportamento mecânico:



Solo laterítico fino



Ayala (2020).



Com oacróstico a seguir, expresse minha gratidão a todos e a todas que conosco compartilham este momento.

SOLOS LATERÍDICOS

Acróstico, José Camapum de Carvalho

Solos lateríticos me fazem lembrar as ruas da cidade onde passei minha infância,
Origem de belas e importantes lembranças,
Longe ficaram elas, mas ainda recordo-me, apesar da distância.
Originaram-se depois boas memórias mais recentes,
Sobressaindo delas aspectos que podem contribuir para realidades geotécnicas diferentes.

Latentes aspectos dos solos lateríticos,
Apareceram ao longo de minha caminhada,
Trazendo à luz aspectos pouco considerados, mas verídicos,
Enchendo-me de esperanças que às minhas atividades foram alinhadas,
Raíam a cada dia novas percepções,
Ímpetos de intuições,
Transbordantes dos trabalhos de equipe e de dedicações somadas,
Inspiradas em conhecimentos, observações e reflexões,
Caminho a ser trilhado quando se busca na Engenharia Geotécnica apropriadas decisões.
Os solos lateríticos – lembrem-se – nas obras de infraestrutura rodoviária e ferroviária,
São portadores de particularidades cuja consideração faz-se necessária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, R. J. L. (2020). Melhoria de solos com fibras provenientes da indústria avícola. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília. 300 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. (1981). Influência das energias térmica e mecânica em propriedades de engenharia selecionadas de alguns solos lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil. Campina Grande: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 184 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JR, G. P. N. (2021). Unsaturated soils in the context of tropical soils. In. Soils and Rocks, 44(3). www.soilsandrocks.com
- COELHO, J. A., AQUINO, S. C. N. & CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2016). Análise da influência da qualidade da água na compactação de solos tropicais. Proc. 45ª RAPV, 19º ENACOR. Brasília. 1-13.
- COLLANTES, R. C. P. (2022). Influência da temperatura na sucção e comportamento mecânico dos solos tropicais compactados. Brasília: Tese de Doutorado em Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 177 p.
- JESUS, A. S. (2013). Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis (GO). Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 367 p.
- JESUS, A. S.; SOUSA, M. S.; NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. A.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2017). A influência de aspectos geomorfológicos, de cobertura do solo e climáticos no surgimento e evolução de processos erosivos no entorno de reservatório. In: SALES, M. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; MASCARENHA, M. M. A.; LUZ, M. P.; SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.). Erosão em borda de reservatório. 1ª Ed. Goiânia: Escola de Engenharia Civil e Ambiental, GECON, v. 3, cap. 22, pp. 511-530. ISBN: 978-85-495-0118-9
- LIMA, M.C. (2003). Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas. Brasília: Tese de Doutorado em Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 336 p. <https://www.geotecnia.unb.br/index.php/pt/producao-academica/teses-e-dissertacoes>
- LUCENA, F. B. DE (1976). A natureza e propriedades de solos vermelhos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro: Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 194 p.
- LUCENA, F. B. DE (Coordenador), (1982). Projeto sobre solos lateríticos. Campina Grande: Relatório sobre a etapa 1, Convênio IPR/DNER/UFPB, 4 volumes.
- PÉREZ, A. C. (2022). Análise da influência de insumos minerais no comportamento de um perfil de solo tropical. Brasília: Tese de Doutorado em Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 138 p.
- PESSOA, F. H. C. (2004). Análises dos solos de Urucu para fins de uso rodoviário. Brasília: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Publicação: G.DM-117A/04, 151 p.
- RODRIGUES, S. M. (2017). Caracterização Mineralógica e microestrutural de um perfil intemperizado de Brasília. Monografia (Conclusão do Curso de Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Anápolis, Anápolis, 117 p.
- ROSENO, J.L., CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2007). Avaliação granulométrica de um perfil de solo tropical usando o granulômetro a laser. In: III Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste. Cuiabá. Wilson Conciani, CEFETMT. 136-147.

WEBINÁRIO
ESPECIAL

06 DE MAIO • 10h



Aplicação de Solos Lateríticos em Obras de Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária

Debatedores:

John Kennedy Guedes Rodrigues - UFCG

Suely Barroso - UFC

José Camapum de Carvalho - UnB

Roberto Quental Coutinho - UFPE

Mediadores:

Luiz Heleno Albuquerque - Coordenador-Geral do IPR

Magnos Baroni - UFSM





MESA REDONDA

Perguntas e discussões

Aplicação de Solos Lateríticos em Obras de
Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária



MESA REDONDA

Aplicação de Solos Lateríticos em Obras de
Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária

Obrigado pela atenção de
todo(a)s