XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/106

Melhoramento com Cal de Solos Dispersivos da Planicie Costeira Sul do Rio Grande do Sul

Cezar Augusto Burkert Bastos
Docente, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, cezarbastos@furg.br

Lisiane Moreira Ramis
Acad. Eng. Civil Empresarial, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, lisianeramis@hotmail.com

Regis Pinheiro Maria
Eng. Civil, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande/RS, Brasil, regis.pinheiro@furg.br

Rinaldo José Basbosa Pinheiro
Docente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil, rinaldo@ufsm.br

RESUMO: A dispersão dos solos é um fenômeno relevante na Geotecnia e na conservação ambiental, impactando a estabilidade estrutural e a integridade dos solos. Solos dispersivos possuem uma estrutura vulnerável à ação da água, o que resulta em fácil desagregação e transporte de partículas em suspensão. Como resultado, tem-se frequentemente processos erosivos acelerados em terrenos com solos dispersivos. Essa vulnerabilidade estrutural está associada a presença de íons de sódio trocáveis e a fatores como mineralogia da argila, pH e sais dissolvidos na água intersticial. Na Planície Costeira Interna do RS, a ocorrência de solos dispersivos é um desafio geotécnico reconhecido. Perfis com solos dispersivos são encontrados em terrenos das bordas de um terraço aluvionar, onde se tem a ocorrência de argilas sódicas em horizontes subsuperficiais. O artigo apresenta dados obtidos na caracterização geotécnica de solos dos horizontes pedogenéticos B e C presentes em terreno de um empreendimento de habitação social situado no município de Pelotas/RS, com destaque a avaliação da dispersibilidade pelo Crumb Test e pelo ensaio sedimentométrico comparativo, assim como apresenta os resultados obtidos com o melhoramento de tais solos com cal hidráulica. A cal promove a troca iônica do sódio pelo cálcio e é elemento reconhecido no melhoramento de solos dispersivos. Foi avaliado o efeito mitigador da dispersão nos teor de 2% de cal hidráulica. Os resultados confirmam que os solos são dispersivos e que 2% de cal hidraulica já inibe a dispersão, indicando a viabilidade técnica de seu emprego.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Dispersivos, Planície Costeira, Melhoramento com Cal, Ensaios de Laboratório.

ABSTRACT: Soil dispersion is a relevant phenomenon in geotechnics and environmental conservation, affecting the structural stability and integrity of soils. Dispersive soils have a structure vulnerable to the action of water, resulting in easy disaggregation and transport of suspended particles. As a result, accelerated erosion processes are frequently observed in terrains with dispersive soils. This structural vulnerability is associated with the presence of exchangeable sodium ions and factors such as clay mineralogy, pH, and dissolved salts in interstitial water. In the Inner Coastal Plain of Rio Grande do Sul, the occurrence of dispersive soils is a recognized geotechnical problem. Profiles with dispersive soils are found in terrains on the edges of an alluvial terrace, where sodic clays occur in subsurface horizons. This paper presents data obtained from the geotechnical characterization of soils from pedogenetic horizons B and C present in a social housing development located in the municipality of Pelotas/RS, highlighting the evaluation of dispersibility using the Crumb Test and the comparative sedimentometric test, as well as presenting the results obtained with the improvement of these soils using hydraulic lime. Lime promotes the ion exchange of sodium for calcium and is a recognized element in the improvement of dispersive soils. The mitigating effect on dispersion at a 2% hydraulic lime content was evaluated. The results confirm that the studied soils are dispersive and that 2% hydraulic lime already inhibits dispersion, indicating technical viability.

KEYWORDS: Dispersive Soils, Coastal Plain, Lime Improvement, Laboratory Tests

1 INTRODUÇÃO

A dispersão dos solos é um fenômeno em que as partículas finas do solo, especialmente de argila, se separam e dispersam na presença de água. Esse processo vem a ocorrer em solos com alto teor de sódio. É importante ressaltar que os processos erosivos relacionados à dispersão apresentam uma variedade de impactos, como a degradação dos terrenos e a instabilidade estrutural de maciços de solo (colapsos e rupturas em taludes), assim como podem vir a comprometer a funcionalidade e a durabilidade de obras de engenharia.

No sul do estado do Rio Grande do Sul, particularmente em terraços aluvionares da Planície Costeira Interna, a ocorrência de solos dispersivos é um desafio reconhecido. Nesse sentido, esse estudo tem como foco um estudo de caso, no terreno das unidades habitacionais do Projeto XXV de Julho, em Pelotas/RS.

O objetivo principal da pesquisa foi estudar os processos erosivos que se manifestam no local, como em taludes de corte e platôs de terraplanagem, e investigar em laboratório o potencial efeito de uma técnica de melhoramento de solos para mitigação dos problemas. No local foram coletadas amostras deformadas e indeformadas dos horizontes pedogenéticos B e C para avaliar a dispersibilidade, por meio do ensaio sedimentométrico comparativo e do ensaio do torrão (Crumb Test). Como potencial técnica de remediação dos processos erosivos por dispersão de solos, foi avaliado o melhoramento físico-químico com o uso da cal hidráulica. A cal promove a troca iônica do sódio pelo cálcio e é elemento reconhecido no melhoramento de solos dispersivos. O efeito secundário da cal sobre outras propriedades do solo de importância para fins da obra em questão foi investigada por Ramis (2025). Com esse estudo de caso, busca-se contribuir com o avanço no conhecimento para minimização dos impactos da erosão em obras de engenharia e em áreas degradadas envolvendo os solos dispersivos da região.

2 SOLOS DISPERSIVOS

A dispersão dos solos é associada à presença de íons sódio trocáveis em sua estrutura (Figura 1), e sua ocorrência resulta da interação de múltiplos fatores, incluindo mineralogia, pH, teor de umidade, composição química das argilas e concentração de sais dissolvidos na água intersticial (Umesh et al., 2011). A dispersão de um solo ocorre quando partículas finas do solo, especialmente de argila, desagregam e dispersam na presença de água. Esse fenômeno ocorre em solos caracterizados pela Pedologia como sódicos ou solódicos.

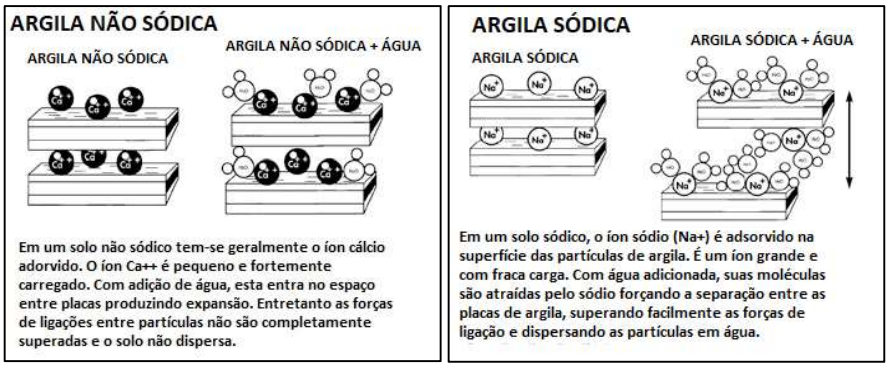


Figura 1. Dispersão dos solos associada à presença de íons sódio (Anon, 1999 apud Hardie, 2009)

Portanto, os solos dispersivos caracterizam-se pela instabilidade micro-estrutural das partículas finas quando em contato com a água, levando a elevada suscetibilidade à erosão mesmo sob baixos gradientes hidráulicos. A dispersão das partículas de argila favorece o carreamento de finos pela água, resultando em fenômenos como erosão interna (piping) e formação de ravinas e voçorocas, levando ao comprometimento da estabilidade de taludes e de obras de terra.

Na Planície Costeira Interna Sul do Rio Grande do Sul, a ocorrência de solos dispersivos é recorrente e tem sido associada a problemas em obras de infraestrutura urbana e rural, sistemas de drenagem pluvial e na implantação de loteamentos urbanos. Maria et al. (2024) destacam que a não identificação desse comportamento contribui para a intensificação dos processos erosivos e para o consequente aumento no custo das obras (p.ex. custos de terraplanagem e instalação de redes de água e esgoto), reforçando a importância da caracterização adequada do solo antes do início das obras.

Existem diferentes métodos para a identificação da dispersibilidade dos solos, a começar pelo reconhecimento em campo e partindo para ensaios de laboratório qualitativos e quantitativos, onde entre os mais usuais estão o Crumb Test, Pinhole Test e o ensaio sedimentométrico comparativo. Esses ensaios podem ser associados a análises químicas, como a determinação da porcentagem de sódio trocável, possibilitando uma avaliação mais precisa do potencial dispersivo do solo, pois, a dispersibilidade está diretamente relacionada ao desequilíbrio eletroquímico no complexo de troca catiônica e ao aumento das forças repulsivas entre partículas de argila (Sherard et al., 1976).

São aspectos característicos da erosão em solos dispersivos o rápido, profundo e regularmente espaçado sulcamento da superfície de solo exposto e a notória remoção dos finos do solo, com deposição destes nos caminhos de drenagem, conforme ilustrado na Figura 2a. Outra característica marcante de processos erosivos envolvendo solos dispersivos é a presença de finos em constante suspensão em poças ou cursos de água naturais ou artificiais próximos, conforme Figura 2b.

(a)  (b) 

Figura 2. Erosão em solos dispersivos: (a) sulcamento colunar em taludes de corte; (b) finos em suspensão

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na Planície Costeira Interna Sul do Rio Grande do Sul, especificamente no terreno das unidades habitacionais do Projeto XXV de Julho, na cidade de Pelotas/RS. É um empreendimento imobiliário de habitação social do Programa Minha Casa Minha Vida, do governo federal do Brasil.

O empreendimento fica localizado na transição entre as planícies alta e baixa de um terraço aluvionar da Planície Costeira, onde se manifestam graves processos erosivos, principalmente quando modificada a estrutura do perfil pedogenético e/ou retirada da cobertura vegetal por ação antrópica, como foi o caso da construção do loteamento. O terreno apresenta processos erosivos intensos e acelerados desde o início de sua terraplanagem. As erosões por sulcos e ravinas atingem os lotes, o arruamento e os taludes lindeiros, prejudicando o andamento das obras e com perspectiva de gerar persistentes problemas aos futuros moradores. A Figura 3 ilustra as obras e os processos erosivos presentes.

(a)  (b) 

Figura 3. (a) Processos erosivos junto às unidades habitacionais comprometendo obras de drenagem pluvial; (b) Ao fundo talude fortemente erodido

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) constitui-se na mais ampla planície costeira do Brasil, possuindo uma área de aproximada de 33.000 km² e alcançando, em alguns setores, larguras superiores a 100 km, possibilitando preservar o registro geológico e geomorfológico do Cenozóico e, em especial, do Quartenário. Durante o Quarternário, a PCRS desenvolveu um amplo leque de sistemas aluviais, situados em sua parte mais interna, próximo das áreas-fonte e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira (Villwock e Tomazelli, 1995).

Na Planície Continental e Costeira Interna são mapeadas duas unidades referentes ao Sistema de Leques Aluviais e sete unidades associadas ao Sistema Laguna-Barreira (Xavier, 2017). O empreendimento tem seu terreno na transição do terraço da unidade depósitos de leques aluviais (dla), a qual ocupa quase 50% da área urbana de Pelotas/RS, com a planície baixa aluvionar (da) (Figura 4). Os depósitos de leques aluviais têm sua formação a partir dos depósitos sedimentares originários, principalmente do segundo evento transgressivo regressivo pleistocênico, que corresponde ao primeiro estágio na evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas (Villwock e Tomazelli, 1995). Seus sedimentos são compostos, principalmente por areias finas, síltico-argilosas, pobremente selecionadas e de coloração creme, laminação plano-paralela incipiente, com concreções carbonáticas e ferro-manganíferas. Os depósitos de leques aluviais apresentam-se totalmente retrabalhados em ambiente marinho e lagunar, durante os eventros transgresivos pleistocênicos, o que explica os teores de sódio presentes junto aos minerais de argila nos sedimentos.

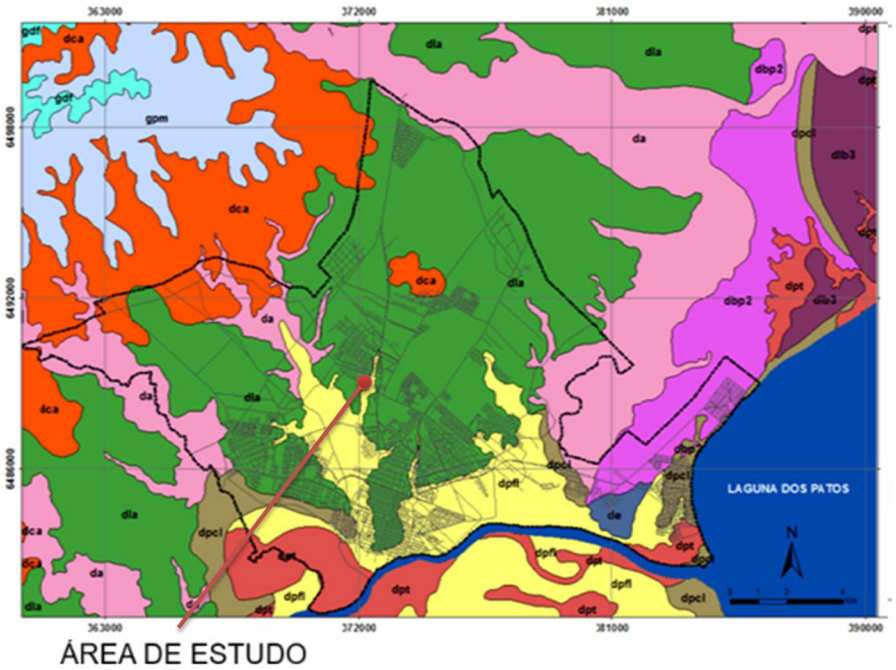


Figura 4. Recorte do mapa geológico de Pelotas (modificado de Xavier, 2017) e indicação da área de estudo

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Trabalho de campo e amostragem

Foi realizado trabalho de campo para identificação e registro dos processos erosivos, caracterizando as feições erosivas e materiais envolvidos. Cabe destacar que os processos erosivos já haviam sido inicialmente identificados em investigações pretéritas, realizadas nos anos de 2019 e 2023 (Maria et al., 2024).

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas dos horizontes pedogenéticos B e C junto ao talude lindeiro ao loteamento, conforme ilustrado na Figura 5. As amostras deformadas foram coletadas para realização dos ensaios laboratoriais de análise granulométrica, determinação dos limites de Atterberg, ensaio sedimentométrico comparativo e Crumb Test.



Figura 5. Amostragem dos horizontes B e C em talude de corte

4.2 Caracterização geotécnica

Os ensaios de caracterização geotécnica foram realizados segundo as normas brasileiras: NBR 6457/2024 (Amostras de Solos – Preparação de Amostras para Ensaios de Compactação e Caracterização e Determinação de Umidade), NBR 7181/2025 (Solo – Análise Granulométrica), NBR 6459/2025 (Solos - Determinação do Limite de Liquidez) e NBR 7180 (Solos – Determinação do Limite de Plasticidade).

4.3 Ensaios para avaliação da dispersibilidade

Para avaliação da dispersibilidade foram realizados Crumb Tests (ensaios do torrão), segundo NBR 13601/2020, e ensaios sedimentométricos comparativos, pela NBR 13602/2020.

No Crumb Test, um torrão de pequenas dimensões é submetido a imersão em água destilada e registra-se qualitativamente o comportamento apresentado pelo mesmo sob efeito da água (p.ex. desboroamento, fragmentação, formação de nuvem coloidal). O Grau de Dispersibilidade é conferido conforme a Figura 6. Os ensaios Crumb Test foram realizados com os torrões dos solos na condição natural (agregados coletados no talude) e também obtidos de corpos de prova compactados (sem e com melhoramento com cal).

No ensaio sedimentométrico comparativo se compara o teor de argila (neste caso < 0,005mm) avaliado com e sem agente defloculante no ensaio de sedimentação. Define-se como Porcentagem de Dispersão (% dispersão) a relação porcentual entre teor de argila sem e com agente defloculante.

Grau	Comportamento
1	**Comportamento não dispersivo:** o torrão de solo pode absorver água, sofre esborroamento e esparramar-se no fundo do béquer, formando uma pilha achatada, mas não se observa sinal de turvação no líquido;
2	**Comportamento levemente dispersivo:** há indícios de turvação na água, próximos à superfície do torrão;
3	**Comportamento moderadamente dispersivo**: observa-se uma nuvem de colóides em suspensão, geralmente finos espalhando-se no fundo do béquer;
4	**Comportamento fortemente dispersivo:** observa-se uma nuvem coloidal, geralmente uma película muito fina, cobrindo quase todo o fundo do béquer. Em casos extremos, toda a água torna-se turva.

Figura 6. Graus de dispersibilidade pelo Crumb Test segundo a NBR 13601/2020

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização Geotécnica

As frações granulométricas (segundo NBR 6502/2022), o peso específico dos grãos e os limites de Atterberg são apresentados na Tabela 1. A Figura 7 apresenta as curvas granulométricas das amostras com e sem o uso de defloculante.

Tabela 1. Resultados dos ensaios para caracterização geotécnica

Amostra	Pedregulho (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	γ_s (kN/m^3)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Hor.B cd	3	9	9	18	29	32	26,3	43	19	24
Hor.B sd	3	10	11	13	43	20				
Hor.C cd	4	8	9	18	28	33	26,4	36	20	16
Hor.C sd	4	10	10	17	29	30				

Hor. B: Horizonte B; Hor. C: Horizonte C; cd: com defloculante; sd: sem defloculante; γs: peso específico real dos grãos; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP: índice de plasticidade.

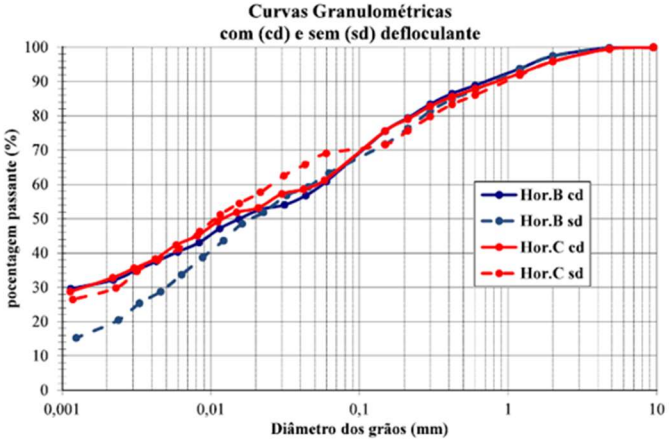
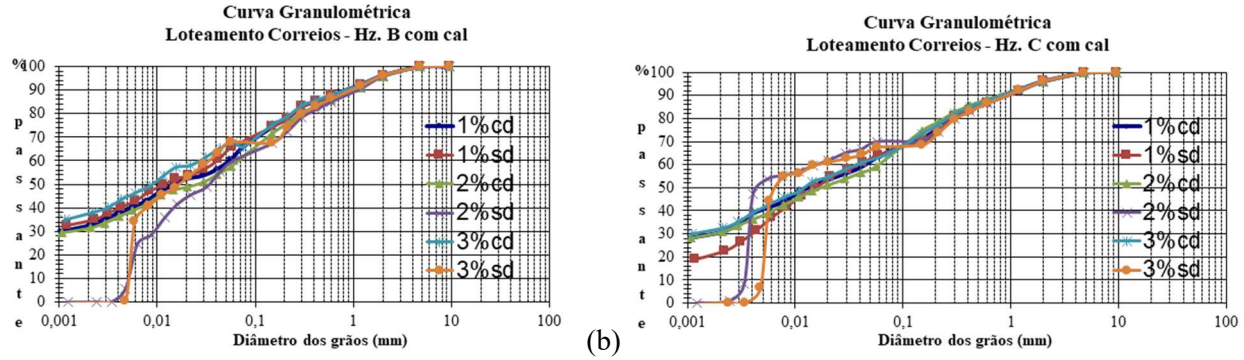


Figura 7. Curvas granulométricas dos solos

Os solos são caracterizados texturalmente como areias silto-argilosas. Entretanto, as significativas porcentagens passante na peneira 200 (maior que 50%) definem os solos dos dois horizontes como finos. Com valores de IP > 15% são considerados altamente plásticos. Pelo Sistema Unificado de Classificações dos Solos (SUCS), os solos dos horizontes B e C são classificados como CL (solos argilosos de baixa compressibilidade).

O efeito da cal na floculação das partículas dos solos foi avaliado a partir de análises granulométricas com a adição de 1%, 2% e 3% de cal hidráulica comercial em peso seco (Figura 8). Percebe-se que o teor de 2% é suficiente para promover a agregação das partículas finas dos solos. Logo, foi o teor adotado nesse estudo.



(a) (b)

Figura 8. Curvas granulométricas dos solos melhorados com diferentes teores de cal

4.2 Dispersibilidade dos solos e sua mitigação com o melhoramento com cal

A Tabela 2 sumariza os resultados obtidos nos Crumb Tests nas três condições (natural, compactado sem cal e compactado com 2% de cal). Tempos de cura da cal de 7 e 28 dias foram adotados. A título de ilustração, a Figura 9 mostra ensaios de Crumb Test com os solos dos horizonte B e C.

Tabela 2. Resultados dos Crumb Tests.

	Condição	Grau de Dispersão
Hz. B	Natural	3 – moderadamente dispersivo
	Compactado sem cal	1 – não dispersivo
	Compactado com cal – 7 dias	1 – não dispersivo
	Compactado com cal – 28 dias	1 – não dispersivo
Hz. C	Natural	4 – altamente dispersivo
	Compactado sem cal	4 – altamente dispersivo
	Compactado com cal – 7 dias	1 – não dispersivo
	Compactado com cal – 28 dias	1 – não dispersivo

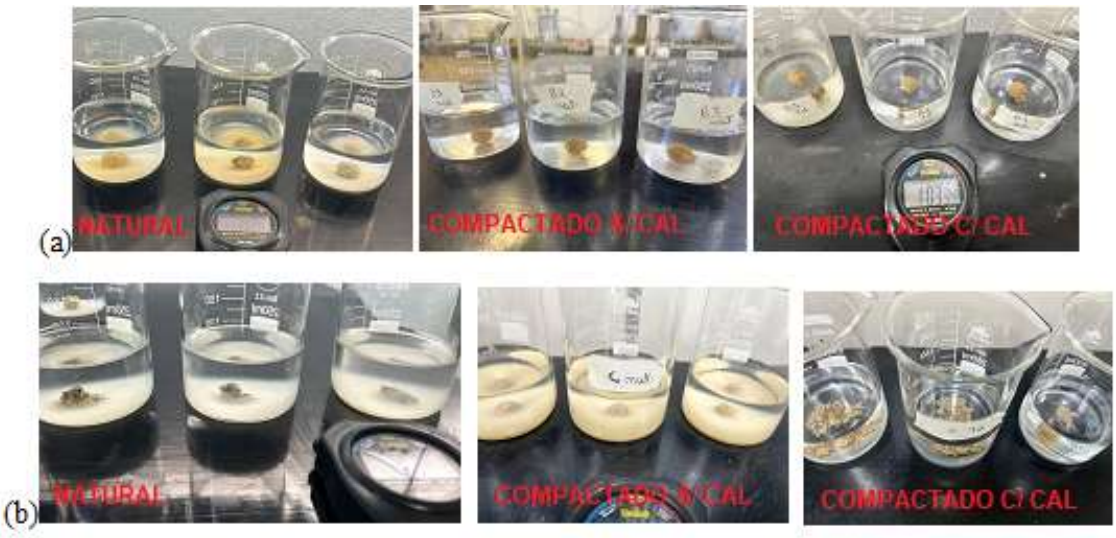


Figura 9. Crumb Tests com solos dos (a) horizonte B e (b) horizonte C

O solo do horizonte B, na condição natural, apresenta grau de dispersão 3 (moderadamente dispersivo), onde é observada uma reação moderada, com uma nuvem de suspensão coloidal nitidamente visível ao redor do torrão. Após a compactação do corpo de prova, ou seja, ainda sem a adição de cal, o ensaio já mostrou grau de dispersão 1 (não dispersivo). Logo, para o horizonte B, apenas a compactação foi o suficiente para mitigar esse problema de dispersibilidade. A adição de cal manteve a avaliação positiva. Já para o horizonte C, na condição natural o solo apresenta grau de dispersão 4 (altamente dispersivo), onde é observada uma reação forte com uma nuvem de suspensão coloidal. Após a compactação do corpo de prova foi observado que o comportamento se manteve o mesmo, mas após o tratamento com 2% de cal, na condição de cura em 7 dias, o grau de dispersão passou a ser 1 (não dispersivo). Logo, para o horizonte C o tratamento com cal foi fundamental para mitigar o problema de dispersão.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios sedimentométricos comparativos dos solos dos horizontes B e C, com e sem adição da cal hidráulica (no teor de 2%). Segundo critério explicitado na norma do ensaio, uma % de dispersão acima de 50% já caracteriza o solo como erodível por dispersão. Logo, a adição de 2% de cal já reverte a expectativa de se ter erosão associada à dispersão natural dos solos estudados.

Tabela 3. Resultados dos ensaios sedimentométricos comparativos.

Amostra	Condição	Argila (%)	Condição	Argila (%)	% dispersão
Hz.B – natural	cd	35	sd	30	77%
Hz.B - 2% cal	cd	32	sd	0	0%
Hz.C - natural	cd	41	sd	39	95%
Hz.C - 2% cal	cd	28	sd	1	3%

5 CONCLUSÕES

A pesquisa conduzida atingiu seus objetivos ao estudar os processos erosivos decorrentes do fenômeno de dispersão dos solos que se manifestam no empreendimento habitacional XXV de Julho, em Pelotas/RS, bem como investigar em laboratório o potencial efeito de uma técnica para mitigação do problema, o melhoramento com cal. A análise granulométrica, realizada com diferentes teores de cal hidráulica comercial, permitiu definir o teor de 2% em peso como o mínimo capaz de produzir a completa floculação das partículas finas dos solos dos dois horizontes. O Crumb Test realizado com solos compactados dos horizonte B e C, sem e com cal, em tempos de cura de 7 e 28 dias, mostraram que o melhoramento com cal reduz o grau de dispersão para 1 (não dispersivo). A reversão da dispersão através do melhoramento com 2% de cal foi também confirmada com o ensaio sedimentométrico comparativo, com porcentagem de dispersão de no máximo 3% verificada no solo do horizonte C melhorado com cal.

Logo, é possível concluir que o comportamento dispersivo dos solos estudados são identificados por ensaios de laboratório indicados por normas brasileiras (Crumb Test e ensaios sedimentométrico comparativo) e que o melhoramento com 2% de cal mitiga o problema. Cabe ainda destacar que com o melhoramento com cal existirá o ganho secundário em outras propriedades geotécnicas de interesse para obras dessa natureza (aumento em capacidade de suporte, resistências ao cisalhamento e à compressão simples e rigidez e a redução na expansibilidade), como foi registrado e discutido no trabalho ampliado conduzido por Ramis (2025).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos responsáveis pela obra por permitirem as atividades de investigação e à FAPERGS pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hardie, M. (2009) *Dispersive Soils and their Management - Technical Reference Manual*. Department of Primary Industries and Water of Tasmania. 1996.

Maria, R. P.; Bastos, C. A. B. ; Pinheiro, R. J. B.; Rodrigues, L. C. (2024) *Avaliação expedita do potencial dispersivo de perfil de solo pertencente à Planície Interna Costeira Sul do Rio Grande do Sul*. In: XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Anais... ABMS: Balneário Camboriú/SC, 2024.

Ramis, L. M. (2025) *Caracterização de Solos Dispersivos e Técnica de Estabilização – estudo de caso Projeto XXV DE JULHO - Cooperativa Habitacional dos Correios – Pelotas/RS*. Projeto de Graduação em Engenharia Civil Empresarial. Universidade Federal do Rio Grande - FURG. 91p. 2025.

Sherard, J. L.; Dunnigan, L. P.; Decker, R. S.; Steele, E. F. (1976) Pinhole test for identify dispersive soils. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, v 102, p. 65-85, 1976.

Umesh, T.S.; Dinesh, S.V.; Sivapullaiah, P.V. (2011) Characterization of dispersive soils. *Materials Sciences and Applications*, v. 2, p.629-633, 2011.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. (1995) *Geologia Costeira do Rio Grande do Sul*. Notas Técnicas. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, 8. p. 1-45, 1995.

Xavier, S.C. (2017) *Mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento do uso e ocupação do solo da cidade de Pelotas/RS - estudo voltado à expansão urbana*. Tese de Doutorado - UFRGS. Porto Alegre, 339p. 2017.