



Estudo de Misturas Solo-Cimento Aplicado a Zonas de Confinamentos Bovinos em Estações de Pré-Embarque do Sul Riograndense

Luiza Voss Vieira

Discente, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, luiza.voss.vieira13@gmail.com

Matheus da Costa Schwantz

Discente, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, matheuscschwantz@gmail.com

Ingrid Milena Reyes Martinez Belchior

Professora Adjunta, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, ingridbelchior17@gmail.com

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo de estabilização de solos com cimento Portland aplicado a zonas de confinamento bovino em Estações de Pré-Embarque (EPE) no Sul do Rio Grande do Sul. A baixa capacidade de suporte dessas áreas compromete a eficiência operacional e o bem-estar animal. Amostras de solo da EPE – Fazenda Astúrias, em Capão do Leão, foram submetidas a ensaios de caracterização física, compactação, resistência à compressão simples e método expedito das pastilhas. O solo foi classificado como SM (areia siltosa) pelo SUCS e A-4 pela AASHTO. Analisaram-se misturas com 1%, 3% e 5% de cimento, com curas de 7 e 28 dias, enfocando o desempenho mecânico. Os resultados mostraram que o solo natural possui baixa resistência, enquanto a adição de cimento, especialmente a partir de 3%, aumentou significativamente a capacidade de suporte. Uma análise econômica comparou duas alternativas: uma camada única com 3% de cimento e uma solução em duas camadas, com 1% na superior e 3% na inferior. Concluiu-se que a estabilização com solo-cimento é viável técnica e economicamente, demandando menos insumos que uma concretagem convencional, promovendo segurança, durabilidade e eficiência às operações em áreas de confinamento bovino.

PALAVRAS-CHAVE: melhoramento de solos, solo-cimento, capacidade de carga de solos, resistência de solos.

ABSTRACT: This article presents a study on soil stabilization with Portland cement applied to cattle confinement areas at Pre-Boarding Stations (EPE) in southern Rio Grande do Sul, Brazil. The low bearing capacity of these areas compromises operational efficiency and animal welfare. Soil samples were collected from EPE – Fazenda Astúrias, located in the municipality of Capão do Leão, and subjected to laboratory tests including physical characterization, compaction, unconfined compressive strength, and the tablet method. The soil was classified as SM (silty sand) according to the USCS and as A-4 according to AASHTO. Mixtures containing 1%, 3%, and 5% cement were analyzed, with curing times of 7 and 28 days, focusing on mechanical performance. The results showed that the natural soil exhibited low strength, while the addition of cement—particularly from 3% onward—significantly improved bearing capacity. An economic analysis compared two alternatives: a single 3% cement layer and a dual-layer solution with 1% in the upper layer and 3% in the lower. It was concluded that soil-cement stabilization is technically and economically feasible, requiring fewer inputs than conventional concreting, while promoting safety, durability, and efficiency in cattle confinement areas.

KEYWORDS: soil improvement, soil-cement, soil bearing capacity, soil strength.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo e é líder na exportação de carne bovina (USDA, 2024). O Rio Grande do Sul destaca-se na produção nacional, com rebanho superior a 11 milhões de cabeças, em sua maioria voltado à exportação (NESPRO, 2023). Parte essencial dessa cadeia logística ocorre



2025
BENTO GONÇALVES - RS

nas Estações de Pré-Embarque (EPE), onde os animais permanecem confinados temporariamente antes do transporte. Nesses ambientes, a combinação entre alto tráfego de animais pesados e condições climáticas desfavoráveis compromete a integridade do solo, dificultando o manejo, elevando os custos operacionais e colocando em risco o bem-estar animal.

Para mitigar esses efeitos, práticas como drenagem superficial, aplicação de pisos reforçados e estabilização química com cimento têm sido empregadas. Dentre elas, o solo-cimento destaca-se por sua viabilidade técnica e econômica, sendo possível utilizar o solo local e reduzir os custos com insumos. Além disso, proporciona piso nivelado e estável, facilitando a limpeza e a manutenção das instalações. Por outro lado, o concreto apresenta custo elevado e pode causar abrasões nos cascos dos animais, sobretudo quando molhado, tornando essa alternativa inviável (De Mundo, 2024).

Apesar da aplicação crescente dessas técnicas, ainda são escassos os estudos voltados à resistência dos solos em zonas de confinamento bovino, especialmente nas áreas de pré-embarque, o que evidencia a importância de pesquisas focadas em soluções eficazes e de baixo custo.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida a partir de amostras coletadas na Estação de Pré-Embarque – Fazenda Astúrias, localizada na BR-293, município de Capão do Leão/RS. O solo coletado no potreiro 15 apresentava histórico de uso para confinamento, com presença de matéria orgânica. O cimento utilizado foi o CP II-F-32, por ser mais acessível economicamente. A água empregada foi potável, proveniente da rede pública.

As amostras foram extraídas com ferramentas manuais a cerca de 30 cm de profundidade e armazenadas em sacos plásticos vedados. No laboratório, foram submetidas à secagem ao ar, destorramento e preparação conforme a NBR 6457/86. Foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais:

- Caracterização física: granulometria (NBR 7181/2025), limites de liquidez (NBR 6459/16) e plasticidade (NBR 7180/16);
- Compactação: ensaio Proctor Normal (NBR 7182/16 e NBR 12023/92), determinando-se a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima;
- Método expedito das pastilhas, proposto por Nogami e Villibor (1994), aplicado com o objetivo de avaliar o comportamento das misturas solo-cimento quanto à retração volumétrica e à resistência superficial. O ensaio foi dividido em duas etapas principais: a primeira consistiu na medição da contração diametral das pastilhas após a secagem, e a segunda avaliou a resistência à penetração, por meio de um minipenetrômetro, após a saturação das amostras em diferentes tempos;
- Resistência à compressão simples (RCS): realizada conforme a NBR 12025/90, em corpos de prova de 5×10 cm, moldados com 0%, solo natural, 1%, 3% e 5% de cimento. Os corpos de prova foram curados por 7 e 28 dias e testados em prensa hidráulica, com exceção do solo natural que foi testado sem tempo de cura.

Foram preparados três corpos de prova por teor de cimento e tempo de cura, totalizando 21 amostras. A moldagem seguiu o teor de umidade ótimo definido no ensaio de compactação. Os corpos de prova foram curados ao ar, acondicionados em sacos plásticos, desconsiderando-se os efeitos de sucção durante o processo. Os resultados de resistência foram analisados com base nos valores mínimos exigidos para suportar pressões estáticas (210 kPa) e dinâmicas (até 420 kPa) impostas pelos bovinos. Essas pressões foram estimadas a partir do peso médio de um bovino, distribuído entre os cascos, considerando uma área de 60 a 90 cm² por casco, conforme proposto por Billota et al. (2007).

A análise dos dados foi conduzida por meio de planilhas eletrônicas, com o objetivo de avaliar a variação da resistência à compressão simples (RCS) em função do tempo de cura para cada teor de cimento, bem como RCS em função do teor de cimento para cada período de cura. Além disso, foram analisadas as curvas de compactação correspondentes às diferentes dosagens empregadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação do Solo Puro

Para a caracterização do solo foram realizados ensaios de granulometria e limites de Atterberg. A análise granulométrica permitiu determinar a distribuição das partículas do solo conforme seu tamanho,



2 0 2 5

fornecendo subsídios importantes para sua classificação e previsão de comportamento mecânico. Os resultados estão apresentados na Figura 1.

A curva revelou uma distribuição contínua e bem definida, sem variações abruptas entre as porcentagens de material passante. Essa curva indicou que a fração predominante do solo é composta por partículas menores que 1 mm, sugerindo uma composição arenosa com presença significativa de silte.

A presença de partículas finas pode influenciar nas propriedades como a plasticidade e a capacidade de compactação, fatores importantes na estabilização de solos.

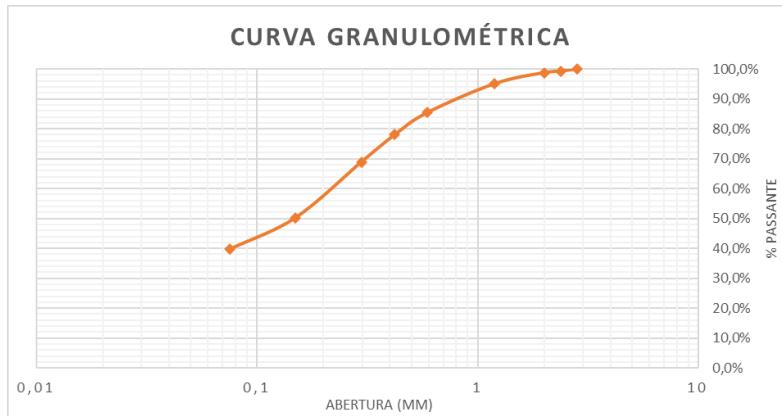


Figura 1. Curva granulométrica do solo puro.

Os ensaios de limites de Atterberg permitiram quantificar a plasticidade do solo. O limite de liquidez (LL) foi determinado em 18%, por meio da curva de fluidez, apresentada na Figura 2. O limite de plasticidade (LP) resultou em um valor de 16%. Com os limites de liquidez e plasticidade previamente obtidos, o índice de plasticidade (IP) calculado foi de 2%, classificando o solo como de baixa plasticidade. Essa característica o torna inadequado para estabilização com cal, mas altamente compatível com a adição de cimento Portland, conforme indicado por Benetti (2015). A escolha do estabilizante é, portanto, justificada tecnicamente pela natureza mineralógica do solo e seu comportamento físico, evitando reações ineficazes ou antieconômicas.

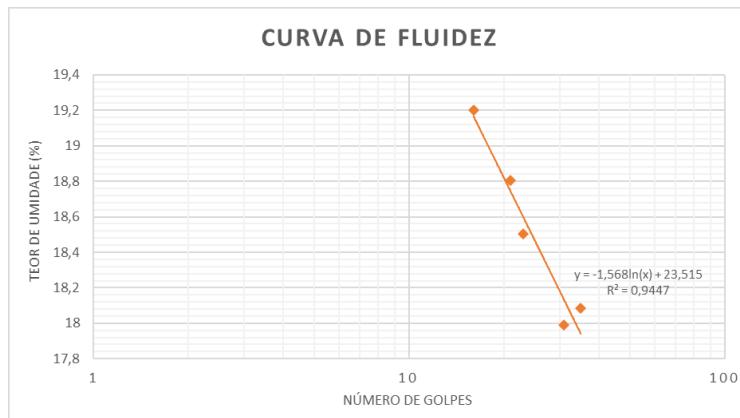


Figura 2. Curva de fluidez do solo puro.

Após a adição de cimento às misturas, os ensaios de limites de consistência não puderam ser realizados, pois o material perdeu sua capacidade de moldagem manual, comportamento comum em misturas com reação pozolânica ativa. De acordo com Rojas (2015), esse fenômeno ocorre porque o cimento promove a flocação das partículas finas e a cimentação das estruturas do solo, eliminando a plasticidade e transformando o solo em um material não-plástico (NP). Esse comportamento é desejável para fins de estabilização, pois indica maior rigidez e menor suscetibilidade a deformações.

Com base nas análises granulométricas e nos limites de consistência, o solo foi classificado como SM (areia siltosa) segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), e como A-4 conforme a AASHTO, grupo característico de solos siltosos com comportamento variável sob ação de umidade.



3.2 Compactação Proctor Normal

O ensaio de compactação foi realizado com energia Proctor Normal, tanto para o solo natural quanto para cada uma das misturas de solo-cimento. As curvas de compactação, apresentadas na Figura 3, ilustram a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo puro e para as misturas analisadas.

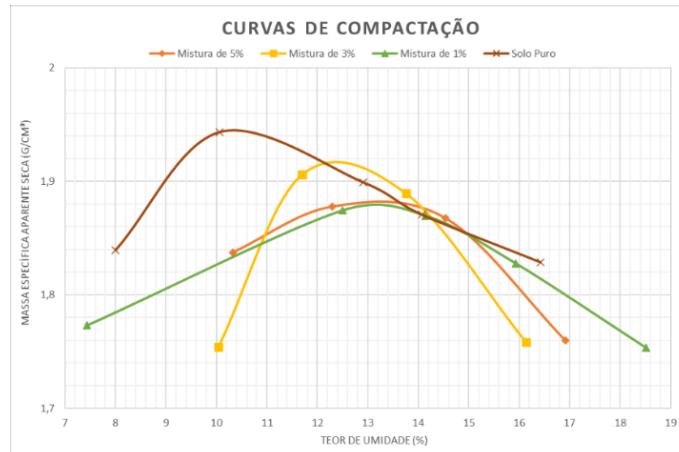


Figura 3. Curvas de compactação.

Observou-se que, com o aumento do teor de cimento, houve um deslocamento da curva para a direita, indicando elevação da umidade ótima das misturas. Esse comportamento é explicado pelo fato de que o cimento, ao reagir com a água durante o processo de hidratação, demanda maior teor de umidade para atingir a densidade máxima. Esse fenômeno é amplamente descrito na literatura (Inglês & Metcalf, 1972), sendo característico de misturas solo-cimento.

A mistura com 3% de cimento apresentou a maior densidade seca máxima com uma umidade ótima relativamente baixa em comparação às demais misturas estabilizadas, sugerindo um arranjo mais eficiente entre as partículas e maior potencial de resistência mecânica após a cura.

Destaca-se que a densidade obtida nas condições de compactação influencia diretamente o desempenho mecânico do solo estabilizado. Solos mais densos tendem a apresentar menor porosidade e maior resistência ao cisalhamento e à compressão, conforme demonstrado em diversos estudos, como os de Foppa (2005) e Consoli et al. (2007).

3.3 Resistência à Compressão Simples

Os resultados obtidos estão representados nas Figuras 4 e 5, que demonstram, respectivamente, a variação da resistência em função do tempo de cura e da porcentagem de cimento. A Tabela 1, apresenta os valores médio de resistência.

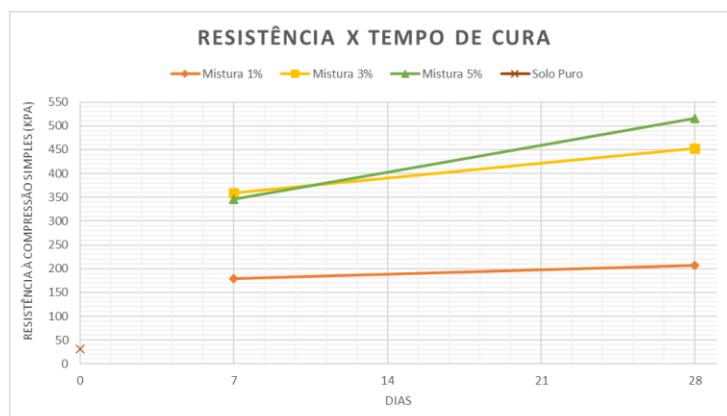


Figura 4. Resistência à compressão simples em função do tempo de cura.

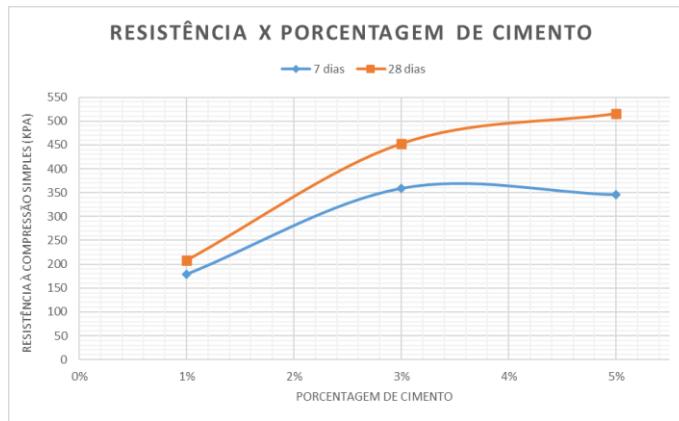


Figura 5. Resistência à compressão simples em função do teor de cimento.

Tabela 1. Resistências obtidas nos ensaios de resistência à compressão simples.

DIAS	0	7	28	% incremento de resistência de 7 a 28 dias
MIST.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (kPa)			
0%	30,61	-	-	-
1%	-	178,57	207,48	16,19
3%	-	358,84	452,38	26,07
5%	-	345,24	515,31	49,26

Os resultados demonstram que o tempo de cura foi mais influente nas misturas com teores mais elevados de cimento, como 3% e 5%, que apresentaram aumentos de resistência de 26% e 49,3%, respectivamente, no intervalo de 7 para 28 dias. Já a mistura com 1% de cimento apresentou aumento menor, de 16,2% no mesmo período.

Em relação à porcentagem de cimento, nota-se que a resistência cresce linearmente com o aumento do teor de cimento, com exceção da mistura com 5%, que em 7 dias apresentou uma leve queda em relação à mistura com 3%. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que, em idades iniciais, as reações do cimento ainda não estavam completamente desenvolvidas, resultando em menor ganho de resistência inicial (Rojas, 2015).

É relevante destacar que mesmo a mistura com 1% de cimento, o menor teor estudado, já atingiu uma resistência significativamente superior à do solo puro (30,61 kPa) em apenas 7 dias. Isso demonstra que pequenas adições de cimento já são suficientes para melhorar substancialmente o desempenho mecânico do solo.

Durante os ensaios, também foi possível observar a diferença nos modos de ruptura dos corpos de prova. As amostras estabilizadas com cimento apresentaram ruptura predominantemente por cisalhamento, com planos de fratura bem definidos, indicativos de um material mais rígido e coeso. Esse tipo de ruptura é esperado em misturas com ligações estruturais mais fortes entre as partículas, proporcionadas pela ação do cimento.

3.4 Método Expedito das Pastilhas

Os resultados demonstraram que o aumento do teor de cimento reduziu a contração diametral, conforme ilustrado na Figura 6. Esse comportamento está associado ao efeito estabilizante do cimento, que promove a ligação entre as partículas do solo, reduzindo sua mobilidade e, consequentemente, a retração durante a secagem. No entanto, observou-se que a amostra com 5% de cimento apresentou contração diametral semelhante à da amostra com 3%, sugerindo que, a partir desse ponto, incrementos adicionais de cimento não resultam em ganhos significativos na redução da retração.



2025

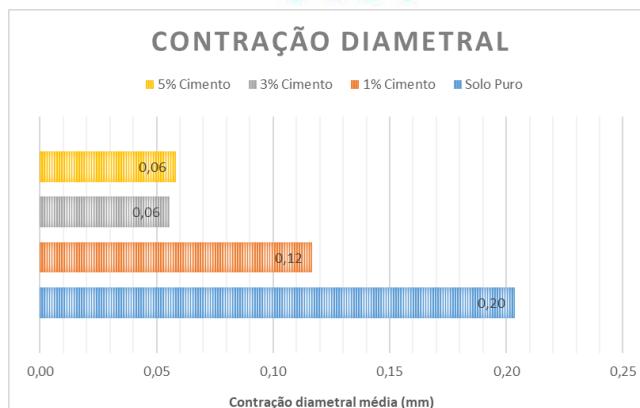


Figura 6. Gráfico da contração diametral média das amostras

Os resultados de penetração, apresentados na Tabela 2, mostram que a profundidade de penetração diminuiu progressivamente com o aumento do teor de cimento, evidenciando o ganho de resistência superficial das amostras estabilizadas. Esse comportamento está relacionado à maior coesão interna e à formação de ligações cimentantes mais efetivas entre as partículas do solo.

Por outro lado, foi observado que aumentos no tempo de saturação resultaram em maiores profundidades de penetração, indicando que a exposição prolongada à água reduz a resistência das pastilhas. Ainda assim, mesmo após 2 horas de saturação, as misturas solo-cimento apresentaram valores de penetração relativamente baixos, permanecendo abaixo da altura do anel. Em contraste, o solo puro apresentou penetração superior à altura do anel, demonstrando baixa resistência à ação da água e ausência de estrutura coesiva eficaz.

Tabela 2. Ensaio de saturação das pastilhas.

Solo	Penetração (mm)		
	t= 5 min	t= 30 min	t= 2 horas
Solo Puro	< 1	4	> 5
1% Cimento	0	< 1	2
3% Cimento	0	< 1	1
5% Cimento	0	0	< 1

Com os resultados de contração diametral e o valor final da penetração das amostras, foi possível realizar a Classificação Expedita MCT pelo Método das Pastilhas. Todas as amostras apresentaram comportamento não laterítico. A amostra de solo puro foi classificada como NA - NS', enquanto as amostras com cimento foram classificadas como de comportamento de areia não-laterítica (NA).

Essa classificação reforça que a adição de cimento promoveu melhorias significativas nas características físico-mecânicas do solo, em especial quanto à resistência à erosão hídrica, tornando o material mais adequado para aplicações em áreas de confinamento bovino e outras estruturas sujeitas à ação da água e ao tráfego.

3.5 Análise de Viabilidade Econômica Simples

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da aplicação de solo-cimento em áreas de confinamento bovino, foi realizado um cálculo estimativo da quantidade de cimento necessária para diferentes alternativas de espessura de camada e teor de aglomerante. O levantamento considerou exclusivamente o custo do cimento, desconsiderando despesas com operações, maquinários, mão de obra e demais insumos. A área adotada como base para o estudo foi de 1.555,39 m², correspondente ao potreiro 15 da Estação de Pré-Embarque da Fazenda Astúrias, no município de Capão de Leão / RS.

A análise comparou duas alternativas de estabilização do solo:

1. Camada única de 30 cm de espessura, com 3% de cimento em relação à massa seca do solo;



- Camadas duplas, sendo uma superior de 15 cm com 1% de cimento e outra inferior de 15 cm com 3% de cimento.

Os cálculos foram realizados com base no valor do cimento retirado do SINAPI 05/2025 e utilizando as massas específicas secas máximas determinadas nos ensaios de compactação com energia Proctor Normal para cada mistura solo-cimento. As especificações de cada alternativa estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de cada alternativa.

Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	
Espessura (cm)	30,0	15,0	15,0
Camadas	única camada com 3% de cimento	1% de cimento	3% de cimento
Volume de Material (m³)	466,62	233,31	233,31
Densidade (kg/m³)	1.900,00	1.880,00	1.900,00
Massa de Solo (kg)	886.572,30	438.619,98	443.286,15
Massa de Cimento (kg)	26.597,17	4.386,20	13.298,58
Quant. Sacos (un)	532,0	88,0	266,0
Custo Estimado	R\$ 23.940,00	R\$ 15.930,00	

Os resultados indicaram que a segunda alternativa (camadas duplas) representa uma redução significativa no consumo de cimento, sem comprometer os requisitos técnicos de resistência à compressão simples, necessários para suportar as pressões estáticas e dinâmicas típicas do confinamento bovino (entre 210 e 420 kPa). A camada superior, com menor teor de cimento, confere maior conforto aos animais, enquanto a camada inferior, mais rígida, funciona como fundação, suportando os esforços estruturais.

Outro benefício da solução em camadas é a possibilidade de aplicação gradual, com acompanhamento técnico in loco, o que permite realizar ajustes conforme o desempenho observado e contribui para a redução de desperdícios e otimização do uso de materiais.

4 CONCLUSÃO

A estabilização de solos com cimento Portland demonstrou ser uma solução eficiente para melhorar a capacidade de suporte em áreas de confinamento bovino. Os ensaios laboratoriais evidenciaram que a resistência à compressão simples aumentou proporcionalmente ao teor de cimento e ao tempo de cura. As misturas com 3% de cimento atingiram valores adequados para suportar tanto as cargas estáticas (mínimo de 210 kPa) quanto as dinâmicas (até 420 kPa) geradas pelo peso dos bovinos, enquanto a mistura com 1% mostrou-se suficiente apenas para cargas estáticas. A dosagem de 5% apresentou ganho de resistência pouco expressivo em relação à de 3%, tornando seu uso economicamente inviável.

O ensaio expedito das pastilhas também confirmou os benefícios da estabilização, como menor contração diametral e maior resistência à penetração. Entretanto, deve-se considerar que o excesso de rigidez no piso pode afetar o conforto dos animais, especialmente em superfícies mais duras, o que reforça a importância de se avaliar o desempenho in loco.

Além do desempenho técnico, a viabilidade econômica foi determinante. A proposta de aplicação em duas camadas – com 1% de cimento na superior e 3% na inferior – reduziu o consumo de insumo e manteve a resistência adequada, além de garantir maior conforto ao casco dos animais. A aplicação gradual da estabilização, com monitoramento das áreas, permite adaptações conforme a necessidade real de desempenho. Para futuras pesquisas, estudos mecanísticos devem ser realizados para determinação da espessura ideal de cada camada, considerando desempenho estrutural e conforto animal.

Outro aspecto relevante diz respeito à destinação de uso do solo estabilizado. A técnica, apesar de eficiente para trânsito de animais, torna o solo inadequado para atividades agrícolas, devido à significativa perda de permeabilidade. Dessa forma, sua aplicação deve ser restrita às áreas destinadas ao confinamento.

Conclui-se que a técnica de solo-cimento é tecnicamente viável, economicamente atrativa e pode ser aplicada de forma controlada e progressiva. A adoção cuidadosa da solução garante maior durabilidade das instalações, reduz os custos operacionais e contribui para o bem-estar animal, atendendo aos critérios técnicos e econômicos.



Agradecimento às instituições de ensino envolvidas pela estrutura e suporte fornecido ao longo do desenvolvimento deste trabalho, em especial à Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e à Universidade Federal do Rio Grande (FURG), pelos laboratórios, equipamentos e apoio técnico. Agradecemos também à orientadora, pelo acompanhamento atento e pelas contribuições fundamentais durante toda a pesquisa. Estendemos ainda o agradecimento às pessoas que, direta ou indiretamente, ofereceram incentivo, apoio moral e motivação ao longo do processo, contribuindo para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). NBR 6457. *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182. *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990). NBR 12025. *Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.
- Benetti, Mozara. (2015) *Comportamento hidráulico e mecânico de um solo residual tratado com cal*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 110f.
- Bilotta, G. S.; Brazier, R. E.; Haygarth, P. M. *The impacts of grazing animals on the quality of soils, vegetation, and surface waters in intensively managed grasslands*. Advances in Agronomy, Academic Press. Reino Unido, v. 94, p. 237-280, 2007.
- Consoli, N.C.; Foppa, D.; Festugato, L.; Heineck, K. S. (2007) Key parameters for strength control of artificially cemented soil. American Society of Civil Engineers, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- De Mundo, Rodrigo. (2024) *Uso de solo-cimento em confinamentos*. Scot Consultoria. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/58079/uso-de-solo-cimento-emconfinamentos>>. Acesso em: 17, fev. 2025.
- Foppa, Diego. (2005) *Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 146f.
- Inglês, O. G.; Metcalf, J. B. (1972) *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Butterworths, Melbourne.
- NESPro – Carta Conjuntural NESPro – *Bovinocultura de Corte do RS* – N. 6 (out-dez/2022), Porto Alegre, 2023, 53p.
- Nogami, J. S., Vollibor, D. F. (1994) Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. Foz do Iguaçu. *Anais do X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*.
- Rojas, José Waldomiro Jiménez. (2015) *Estabilização de solos*. Coleção Ciências do Pampa. Universidade Federal do Pampa. Campus Caçapava do Sul. n. 1.
- USDA. (2024) *United States Department of Agriculture*. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2024.