

ESTABILIZAÇÃO DE UMA AREIA ARGILOSA SEDIMENTAR PROVENIENTE DE UMA JAZIDA LOCALIZADA NO RS COM O USO DO ADITIVO QUÍMICO LIGNOSULFONATO DE CÁLCIO (LS)

Lisandra Rocha de Moraes

Professora do curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil Costeira e Portuária e Engenharia Civil Empresarial da Universidade Federal do Rio Grande - FURG

lisandra_moraes@hotmail.com

Felipe Morrone Barbat Parfitt

Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG

felipeparfitt@gmail.com

Cezar Augusto Burkert Bastos

Professor do curso de Engenharia Civil e Engenharia Civil Costeira e Portuária da Universidade Federal do Rio Grande - FURG

cezarbastos@furg.br

Resumo. A pesquisa relatada neste trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade técnica de estabilizar uma areia argilosa sedimentar da região de Santa Vitória do Palmar/RS com a adição do aditivo químico Lignosulfonato de Cálcio (LS). A metodologia do trabalho consistiu em desenvolver um programa experimental de ensaios que permitiu conhecer e analisar o melhoramento das propriedades do solo em questão, com o uso de diferentes porcentagens de LS como agente estabilizante. Foram comparados os resultados de ensaios de resistência à compressão simples de corpos de prova moldados sem inclusão de agente estabilizador e amostras com diferentes teores de LS e, desta maneira, é comprovado o desempenho dos diferentes traços estudados em diferentes tempos de cura. A estabilização do solo areno-argiloso sedimentar com lignosulfonato resultou em melhoria na resistência, suficiente para ser utilizada em camadas de reforço de subleito ou como revestimento primário de vias interiores do município.

Palavras-chave: Estabilização de solos, Lignosulfonato de cálcio, Estabilização química de solos.

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho pretende-se avaliar o potencial do uso do Lignosulfonato de Cálcio como aditivo químico estabilizante de uma areia argilosa sedimentar proveniente de uma estrada vicinal localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul.

Segundo estudos internacionais é relatado que o Lignosulfonato de Cálcio melhora propriedades de solos argilosos, com aumento na capacidade de suporte e redução na plasticidade e expansão. A abordagem sobre este composto justifica-se pela carência de estudos relacionados a ele em âmbito científico nacional, uma vez que atualmente, no Brasil, são utilizados apenas aditivos químicos alcalinos – por exemplo, cimento e cal - na estabilização de solos com baixa capacidade de suporte. Não obstante, o LS vem sendo bastante explorado pela comunidade acadêmica internacional – principalmente em Universidades na Austrália

- com resultados surpreendentes. Portanto, a ideia de pesquisar os impactos positivos do uso do Lignosulfonato de Cálcio (LS) na estabilização de solos constituiria uma alternativa para os aditivos químicos comumente utilizados, empregando como alicerce teórico outros estudos sobre o tema.

O Lignosulfonato de Cálcio tem origem na lignina, que constitui um subproduto do processamento de madeiras reflorestadas para obtenção de celulose em indústrias de fabricação de papel. Na estabilização de solos trata-se de um aditivo relativamente econômico em vista dos baixos teores indicados nos estudos desenvolvidos internacionalmente, e que, nestas proporções, proporciona benefícios mais expressivos se comparado com os supracitados aditivos químicos normalmente empregados. Dentre os seus aspectos positivos, podemos rapidamente citar: não é tóxico; é um composto renovável e sustentável; não polui o solo nem águas subterrâneas e por consequência não interfere na utilização posterior do terreno para fins agrícolas.

O enfoque deste trabalho está em determinar quais serão as alterações de resistência do solo em questão a partir da adição do Lignosulfonato de Cálcio e, por consequência, contribuir com o conhecimento sobre o LS no meio acadêmico brasileiro, servindo como referência para posteriores estudos e aplicações práticas deste aditivo em Geotecnia.

2. CENÁRIO DE ESTUDO

Mediante o desenvolvimento econômico das regiões junto à Planície Costeira do Rio Grande do Sul, observa-se a necessidade crescente de pavimentação de estradas secundárias muito utilizadas para escoamento de produtos agrícolas, para acesso a estruturas de geração e transmissão de energia elétrica, dentre outros. Nestes locais os solos

sedimentares de terraços lagunares são caracterizados por apresentarem baixa capacidade de suporte, sendo assim inadequados para obras de terra, como aterros e bases para pavimentos. Geralmente, esses solos são substituídos por materiais de empréstimo mais nobres, contudo, essa substituição acaba encarecendo as obras pelo custo de aquisição e transporte de materiais. Dessa forma, torna-se pertinente o estudo de técnicas a fim de utilizar o material local como parte das camadas de pavimentos, bem como o estudo da viabilidade técnica e econômica de tais soluções de projeto.

O local de estudo situa-se no interior do município de Santa Vitória do Palmar – RS, nas proximidades da Subestação de Energia Elétrica Marmeleiro (Fig. 1), onde foi encontrado solo areno-argiloso com as características descritas e a problematização do uso do material local.

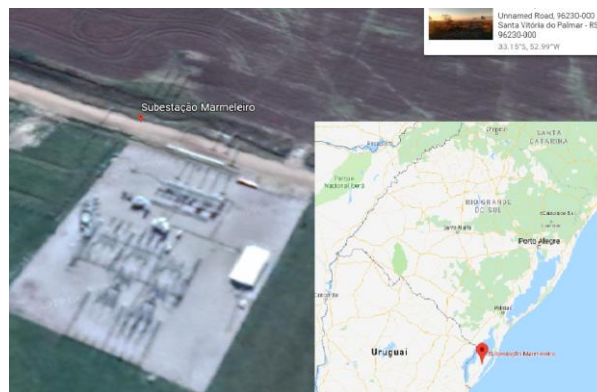


Figura 1. Ponto de amostragem do solo estudado. Fonte: Google Earth (2019).

3. MATERIAIS

3.1. Solo

As amostras do solo foram coletadas no acesso a uma subestação de energia da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica), denominada Subestação Marmeleiro (coordenadas $33^{\circ}8'47''S$ e $52^{\circ}59'7''W$), conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2. Local onde foram extraídas as amostras do solo. Ao fundo Subestação Marmeleiro da CEEE. Fonte: Autores (2018).

Conforme citado por Aguiar (2016), para a obra desta subestação, em 2013, foram pesquisadas 26 jazidas visando se utilizar deste solo local em obras de aterro compactado. Destaca-se que apenas duas das jazidas apresentaram solos com índice CBR maior que 15%, valor mínimo especificado no projeto dos aterros. O referido acesso é de fundamental importância para a realização das obras complementares, para futura operação da instalação, assim como para o escoamento da produção agrícola do entorno. Logo, é de interesse privado e público que a via em questão fosse pavimentada. O solo coletado representa as características dos solos na região, constituindo o subleito de outras estradas vicinais de grande interesse público. A Figura 3 ilustra o perfil de solos no local da retirada de amostras.



Figura 3. Foto do perfil de solo do local de obtenção das amostras. Fonte: Autores (2018).

3.2. Lignosulfonato de Cálcio

Foi utilizado o aditivo químico Lignosulfonato de Cálcio, industrializado pela empresa Borregaard Lignotech e doado pela mesma para a pesquisa. Este aditivo é um sal derivado da lignina, que é um composto obtido de madeiras reflorestadas durante a extração da celulose. Sendo caracterizado, portanto, como um composto biodegradável, renovável, não tóxico e não poluente.

Conforme citado por Schwendler (2013), este composto funciona por adsorção sobre o substrato e o efeito de ligação resulta de forças intermoleculares entre a lignina e o substrato. Isso forma um sistema vinculativo filme inativo. Acredita-se que o tamanho da molécula de ligação pode ter um efeito direto sobre a coesão do solo. A molécula de lignina é única, pois tem vários grupos polares diferentes e sistemas aromáticos. Isto aumenta a afinidade da molécula resultando na melhoria da adesão, e torna-a adequada para uma vasta gama de substratos.

As especificações técnicas detalhadas sobre este aditivo são encontradas no site da empresa (<https://www.lignotechfeed.com.br>).

A Figura 4 apresenta o produto em embalagem de 25 kg e uma amostra do mesmo, respectivamente.



Figura 4. Lignosulfonato de Cálcio. Fonte: Autores (2019).

3.3. Misturas solo-lignosulfonato

As misturas de solo-lignosulfonato foram preparadas usando quatro dosagens (0.5, 1, 2 e 4%) de LS por peso de solo seco. Diversos autores, dentre os quais Vinod e Indraratna (2011), Qingsheng (2014), Ta'negonbadi e Noozard (2017), dentre outros, mencionam que os resultados com dosagens de LS = 6% e 8% estavam muito próximos aos dados para LS = 4%, e que os melhores resultados eram obtidos com dosagens mais baixas, portanto, foi optado por não apresentar dosagens acima de 4% nesta pesquisa.

4. MÉTODOS

4.1. Caracterização geotécnica

Após a extração de uma amostra representativa deformada do solo, de acordo com a norma NBR 6457 (ABNT, 2016), a mesma foi seca ao ar e destorroada, e com ela realizados os ensaios convencionais para caracterização geotécnica, conforme as normas correspondentes, sendo esses: análise granulométrica segundo NBR 7181 (ABNT, 2016), limites de Atterberg conforme NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016) e ensaio de picnômetro para determinação da massa específica dos grãos de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984). Com os resultados dos ensaios foi realizada a classificação do solo segundo o sistema HRB (ASTM, 1993).

4.2. Ensaios de compactação

Para obtenção do peso específico aparente seco máximo e umidade ótima de compactação foram executados ensaios de compactação nas amostras de solo natural e solo tratado com 4% LS. Esses ensaios foram realizados com a energia Proctor Normal,

utilizando o cilindro pequeno, segundo as recomendações da NBR 12023 (ABNT, 2012).

Foi testado inicialmente apenas o maior teor de aditivo dentre os estabelecidos, a fim de verificar se ocorreriam grandes alterações nos parâmetros de compactação com as adições. Caso houvessem, seriam realizados ensaios de compactação para todos os teores definidos para a pesquisa.

4.3. Ensaios para a determinação da resistência a compressão simples

Preparação dos corpos de prova. Os corpos de prova utilizados para a determinação da resistência à compressão simples foram compactados dinamicamente, na energia do Proctor Normal. As dimensões consideradas aceitáveis foram de 50 ± 1 mm de diâmetro e 100 ± 1 mm de altura. Os parâmetros de compactação foram obtidos através do ensaio de compactação na energia do Proctor Normal. Foram moldados três corpos de prova para cada teor de lignosulfonato e para cada tempo de cura. O teor de umidade de moldagem foi aferido pelo método da estufa a partir do material excedente.

Após a compactação e extração do corpo de prova, esse foi identificado e acondicionado em embalagem plástica e em câmara úmida, de forma a evitar a perda de seu teor de umidade durante o processo de cura. A temperatura de acondicionamento foi mantida em (23 ± 2) C° e umidade relativa do ar não inferior a 95%. Os corpos de prova com diferentes teores de LS foram deixados no processo de cura de 7, 14 e 28 dias, a fim de avaliar a diferença de comportamento do solo estabilizado para cada tempo de cura.

Imersão dos corpos de prova. Posteriormente a cura e antecedendo o ensaio, os corpos de prova foram colocados em imersão durante 4 horas antes. Imediatamente antes do ensaio eles foram retirados da imersão e secos

superficialmente com papel absorvente, conforme sugere a NBR 12025 (ABNT, 2012).

Aquisição de dados. Para o ensaio de compressão simples, é necessária uma prensa com capacidade para a aplicação da carga de compressão de forma contínua e a velocidade constante. Foi usada nesse estudo uma prensa elétrica da marca Wille Geoteknik com capacidade 6 tf, e a velocidade de 1 mm/min. O ensaio foi instrumentado com uma célula de carga de capacidade para 10 kN, a qual realiza as leituras de força aplicada. Foi empregado também um transdutor de deslocamento do tipo LVDT para medição da deformação axial. Para aquisição de dados da célula de carga e do transdutor de deslocamento foi utilizado a unidade de aquisição de dados Spider® (da HBM) e os resultados processados pelo software CatMan®. A Figura 5 mostra a aquisição de dados durante a ruptura de um dos corpos de prova, realizada na prensa elétrica logo ao fundo na imagem.

De posse dos resultados dos ensaios, foi possível estimar o teor ideal de aditivo para estabilizar o solo em questão, garantindo a melhoria de suas propriedades mecânicas.

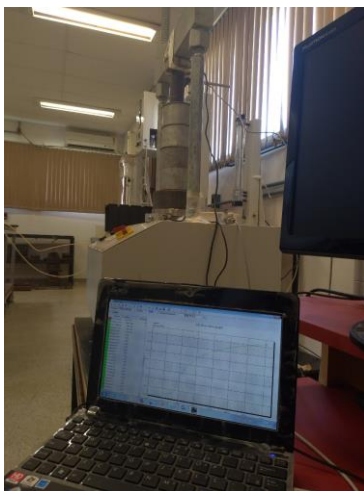


Figura 5. Aquisição de dados no ensaio de compressão simples.
Fonte: Autores (2019).

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização geotécnica

A Figura 6 apresenta a curva granulométrica do solo. As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica obtidos para o solo natural.

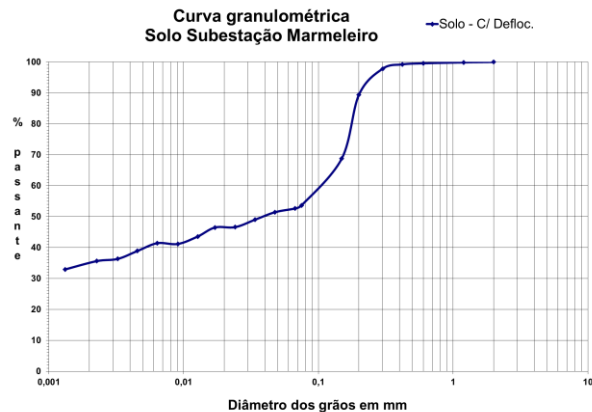


Figura 6. Curva Granulométrica. Fonte: Autores (2019).

Tabela 1. Resultado da granulometria

Granulometria	
Areia grossa (%)	0
Areia média (%)	10
Areia fina (%)	38
Silte (%)	17
Argila (%)	35

Fonte: Autores (2019).

Tabela 2. Demais resultados da caracterização geotécnica

Parâmetros	
γ_s (kN/m ³)	26,3
LL (%)	37
LP (%)	19
IP (%)	18
Ia	0,51
Classificação HRB	A-6(7)

Fonte: Autores (2019).

Segundo a classificação HRB, o solo natural é classificado como A-6 (7). O solo natural, segundo o índice de atividade coloidal, é classificado como inativo.

Conforme apresentado na Tabela 3, constatou-se que não houve alteração tanto no limite de liquidez, quanto no limite de plasticidade, utilizando-se o teor de lignosulfonato que apresentou melhor ganho de resistência. Por consequência, não houve alteração no índice de plasticidade das amostras deste solo tratadas com a mesma porcentagem de aditivo.

Tabela 3. Resultados dos limites de consistência

	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	37	19	18
Solo + 1% LS (28 dias)	37	19	18

Fonte: Autores (2019).

As curvas de compactação estão apresentadas na Figura 7. A curva de saturação traçada é referente ao solo natural. Os parâmetros de compactação a partir destas curvas estão mostrados na Tabela 4.

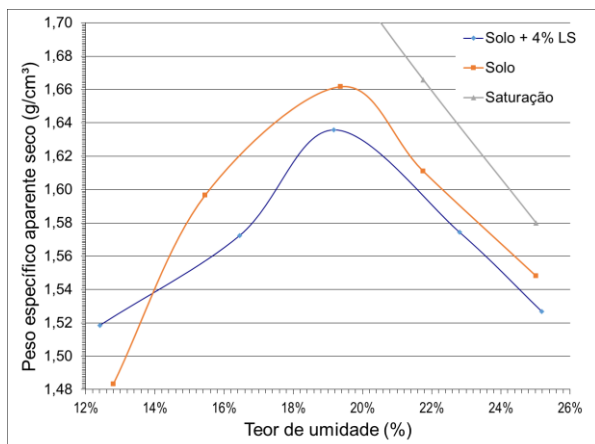


Figura 7. Curvas de compactação para o solo natural e solo com 4% de LS. Fonte: Autores (2019).

Tabela 4. Parâmetros de compactação correspondentes à energia Proctor Normal

	γ_d máx. (kN/m³)	w _{ót} (%)
Solo	16,63	19,50
Solo + 4% LS	16,36	19,18

Fonte: Autores (2019).

5.2. Resistência à compressão simples

Os resultados de resistência à compressão simples (RCS) do solo tratado com diferentes teores de lignosulfonato, em diferentes tempos de cura, conforme o processo de cura-imersão-ruptura, são apresentados nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5. Resultados do ensaio de RCS do solo-LS, tempo de cura de 7 dias com imersão

Ruptura aos 7d - 0,5%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	88,73	96,96	113,44
Ten. Rup. Med. (kPa)	99,71		
Ruptura aos 7d - 1,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	93,37	77,36	92,58
Ten. Rup. Med. (kPa)	87,77		
Ruptura aos 7d - 2,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	36,48	84,47	90,45
Ten. Rup. Med. (kPa)	87,46		
Ruptura aos 7d - 4,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	81,49	86,19	81,18
Ten. Rup. Med. (kPa)	82,95		

Fonte: Autores (2019).

Tabela 6. Resultados do ensaio de RCS do solo-LS, tempo de cura 14 dias com imersão

Ruptura aos 14d - 0,5%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	121,35	128,66	129,89
Ten. Rup. Med. (kPa)	126,63		
Ruptura aos 14d - 1,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	82,16	65,51	92,36
Ten. Rup. Med. (kPa)	80,01		
Ruptura aos 14d - 2,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	110,27	119,60	116,05
Ten. Rup. Med. (kPa)	115,31		
Ruptura aos 14d - 4,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	95,32	98,51	94,80
Ten. Rup. Med. (kPa)	96,21		

Fonte: Autores (2019).

Tabela 7. Resultados de RCS do solo-LS, tempo de cura 28 dias com imersão

Ruptura aos 28d - 0,5%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	118,61	114,95	100,30
Ten. Rup. Med. (kPa)	111,29		
Ruptura aos 28d - 1,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	147,92	145,24	145,74
Ten. Rup. Med. (kPa)	146,30		
Ruptura aos 28d - 2,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	71,16	128,14	72,13
Ten. Rup. Med. (kPa)	90,48		
Ruptura aos 28d - 4,0%			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	105,25	105,43	114,50
Ten. Rup. Med. (kPa)	108,40		

Fonte: Autores (2019).

A Figura 8 apresenta o gráfico resumo dos resultados do ensaio de RCS com as amostras tratadas com LS.

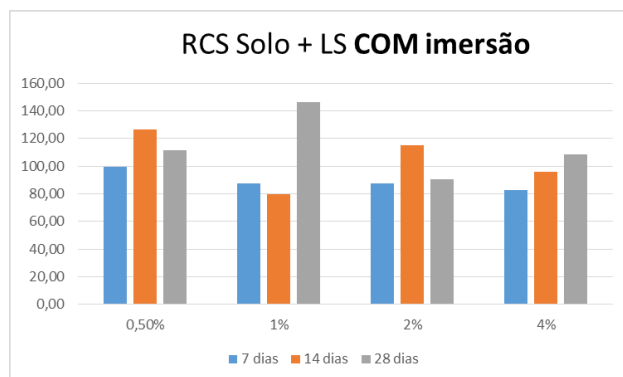


Figura 8. Resultados de RCS do solo-LS com imersão. Fonte: Autores (2019).

Os corpos de prova das amostras de solo natural não resistiram ao processo de imersão antes da ruptura por compressão simples, conforme mostra a Figura 9. Por conta disso, foram moldados novos corpos de prova de amostras de solo não tratado, a fim de obtermos uma comparação com amostras tratadas também não imersas antes da ruptura.

Nesta etapa, foram moldados novos três corpos de prova, com base nos melhores resultados de resistência obtidos na primeira ruptura com imersão. Neste caso, o melhor comportamento foi obtido com o teor de 1%

de lignosulfonato em um tempo de cura de 28 dias. A Tabela 8 e a Figura 9 apresentam os resultados de RCS dos corpos de prova de solo e de solo-LS.



Figura 9. Corpos de prova de solo natural em imersão antes do ensaio de resistência à compressão simples mostrando dispersividade.

Fonte: Autores (2019).

Tabela 8. Resultados de RCS do solo natural e solo+1%LS curado em 28 dias, sem imersão

Ruptura aos 28d - 1,0% s/ IMERSÃO			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	39,31	280,47	303,88
Ten. Rup. Med. (kPa)	292,18		
Ruptura s/ LS			
	CP1	CP2	CP3
Ten. Rup. (kPa)	101,65	129,41	9,08
Ten. Rup. Med. (kPa)	115,53		

Fonte: Autores (2019).

A Figura 10 apresenta os resultados do ensaio de compressão simples sem imersão do solo natural e tratado com a porcentagem que apresentou o melhor resultado de resistência.

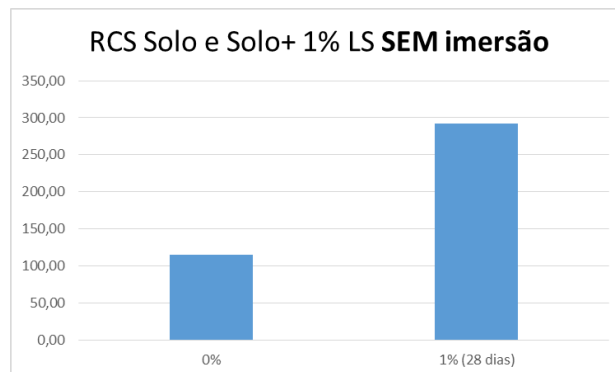


Figura 10. Resultados de RCS do solo e solo-LS sem imersão. Fonte: Autores (2019).

A Figura 11 apresenta um comparativo das curvas tensão desviadora x deformação específica axial do solo natural e do solo tratado com 1% de LS, ambos sem imersão.

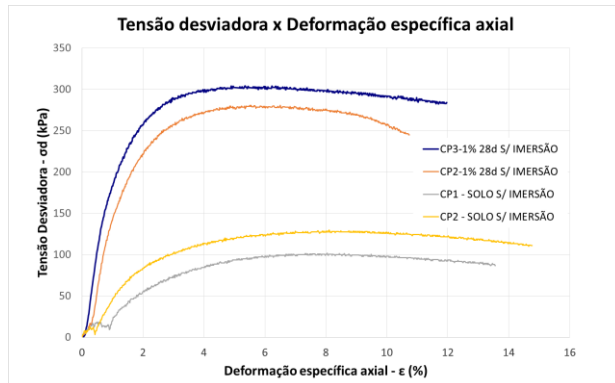


Figura 11. Comparação entre os resultados de RCS do solo natural e do solo-LS, sem imersão. Fonte: Autores (2019).

6. CONCLUSÕES

O objetivo da pesquisa foi avaliar o uso do aditivo químico Lignosulfonato de Cálcio em uma areia argilosa sedimentar presente como subleito no interior do município de Santa Vitória do Palmar-RS, material com potencial de emprego em pavimentações.

Contatou-se que o uso do aditivo garantiu uma resistência à compressão significativa e reduziu a dispersividade que se manifesta quando o solo não tratado é submetido previamente à imersão que antecede o ensaio de compressão simples, conforme preconiza a norma. Pelo efeito da dispersão o valor de RCS do solo não tratado seria zero, e qualquer resultado de resistência do solo-LS seria significativo.

Analisando o comportamento do solo natural e do solo tratado com 1% de LS, curado por 28 dias, ambos sem imersão, pode-se perceber um ganho de resistência à compressão. Além disto, na Figura 11, pode-se perceber que o solo tratado com o aditivo se apresentou mais rígido.

Estas alterações possibilitariam a aplicação deste solo estabilizado com o lignosulfonato na melhoria de estradas de terra já existentes, para reforço de subleitos ou ainda para melhoria de revestimentos primários. No entanto, o ganho de resistência não viabilizaria a utilização deste solo-LS em camadas estruturais de pavimentos, como base e sub-base.

O teor de aditivo que apresentou melhor resultados de resistência e, aparentemente, maior rigidez, não apresentou alterações no que se refere aos limites de consistência.

Cabe ainda destacar que ao analisar o comportamento de dispersividade do solo ao ser submetido ao processo de imersão, o uso do aditivo mostrou-se altamente eficiente, reduzindo em muito o fenômeno. Devido ao fato, as etapas sequenciais deste estudo envolverão a análise da dispersão do solo em questão ao ser estabilizado com o aditivo Lignosulfonato de Cálcio, bem como avaliar a influência sobre esta propriedade com diferentes teores e tempos de cura.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Borregaard Lignotech pela doação do aditivo químico Lignosulfonato de Cálcio para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. M. **Estudo de projeto de pavimentação usando como base solo local de baixa capacidade de suporte da região de Santa Vitória do Palmar – RS estabilizado com cimento**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande RS, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo –**

Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro, 9p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2p. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 12p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023: Solo Cimento – Ensaio de Compactação – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2p. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 5p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 3p. 2016.

ASTM – American Society For Testing and Materials. **Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction D 3282.** Philadelphia, 1993.

QINGSHENG, C.; INDRARATNA, B. Shear behaviour of sandy silt treated with lignosulfonate. **Canadian Geotechnical Journal**, v.52, n.8, dezembro 2014

SCHWEDLER, D. H. **Estabilização de dois solos do Rio Grande do Sul com lignosulfonato de cálcio para fins rodoviários.** 2013. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UCS, Santa Cruz do Sul, 2013.

TA'NEGONBADI, B.; NOOZARD, R. Stabilization of clayey soil using

lignosulfonate. **Transportation Geotechnics**. v.12, p 45-55, 2017.

VINOD, J. S.; INDRARATNA, B. A conceptual model for lignosulfonate treated soils. In: 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, **Proceedings...** p. 296-300, Sydney, Australia, 2011.