

## INFLUÊNCIA DO TEOR DE CIMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE UM SOLO RESIDUAL CIMENTADO ARTIFICIALMENTE

Thaise Canton Somensi<sup>1</sup>, Guilherme Togni<sup>2</sup>, Augusto Armani<sup>3</sup>,  
Helena Batista Leon<sup>4</sup>, João Rodrigo Guerreiro Mattos<sup>5</sup>,  
Emanuele Amanda Gauer<sup>6</sup>

**Resumo:** O solo é um material essencial para qualquer obra de engenharia, entretanto, o mesmo pode não apresentar os parâmetros solicitados em projeto. Em vista disso, inúmeros são os métodos para contornar esse problema, entre eles, a estabilização de solos. O presente artigo tem por finalidade avaliar e comparar o comportamento mecânico de uma mistura de um solo residual estabilizado com cimento. As amostras foram moldadas no sistema de triplicatas, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Para as misturas, foram empregados duas massas específicas aparente secas ( $\rho_d$ ) nos valores de 1,25 e 1,35 g/cm<sup>3</sup> e quatro diferentes teores de cimento, sendo eles 5%, 7%, 9% e 11%. A fim de realizar uma comparação, também foram moldados corpos de prova sem a adição de cimento. Após moldagem, todas as amostras permaneceram em cura durante 7 dias em câmara úmida, a uma temperatura de 23°C ± 2°C, com umidade relativa do ar superior a 95%. A fim de minimizar os efeitos de sucção, os corpos de prova foram colocados em imersão 24 horas antes de ser realizada a ruptura. A resistência das amostras foi obtida através do ensaio de resistência à compressão simples. Verificase que a resistência mecânica dos corpos de prova cresce com o aumento do teor de cimento adicionado nas misturas e da massa específica aparente seca de moldagem. Dessa forma, conclui-se que tanto a compactação como a adição do cimento CPV-ARI apresentaram um grande potencial para a estabilização do referido solo.

**Palavras-chave:** Estabilização de solos. Solo-cimento. Resistência à compressão.

---

1 Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari.

2 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari.

3 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari.

4 Engenheira Civil, Mestre, Professora da Universidade do Vale do Taquari.

5 Engenheiro Civil, Doutor, Professor da Universidade do Vale do Taquari.

6 Engenheira Civil, Doutora, Professora da Universidade do Vale do Taquari.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Consoli et al. (2007), o uso de técnicas tradicionais de engenharia geotécnica muitas vezes apresenta limitações devido ao custo elevado e/ou sustentabilidade ambiental. Por exemplo, a construção de rodovias com bases granulares torna-se inviável financeiramente quando a pedreira é longe da obra. Outro exemplo é a construção de fundações em solos que apresentam baixa capacidade de suporte, cujos custos de uma fundação profunda podem ser incompatíveis com o orçamento disponível para a construção.

Nesse contexto, uma alternativa viável para a melhoria do solo local é a estabilização química pela adição de cimento Portland. Internacionalmente, a técnica do solo-cimento é usada com sucesso em vários tipos de obras civis. Entretanto, no Brasil, não se vê a sua aplicação sendo muito difundida. Isso se justifica em parte devido ao fato de não existir uma metodologia de dosagem consolidada, como, por exemplo, existe para o concreto. A primeira experiência de campo relatada consiste na pavimentação de um trecho de 500 metros de extensão no acesso ao aeroporto de Bauru, onde o solo local foi estabilizado com um teor volumétrico de 11% de cimento Portland. Em seguida, foi pavimentado o acesso ao aeroporto de Presidente Prudente, com 14 km de extensão e teor de cimento variando entre 12% e 14% (SENÇO, 2001).

A estabilização com cimento Portland é adequada para uma grande variedade de solos, desde materiais granulares a materiais siltosos e argilosos, pois os efeitos da cimentação são decorrentes não apenas da interação aglomerante e solo, mas também das propriedades do próprio cimento, além de possuir a vantagem do rápido ganho de resistência. Em geral, a resistência à compressão simples aumenta com o incremento da quantidade de cimento, porém a taxa desse acréscimo depende do tipo de solo estabilizado. Estudos de Ingles e Metcalf (1972) apresentaram a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples de alguns solos estabilizados com cimento Portland.

Consoli et al. (2011) afirmaram que a medida que ocorre a hidratação do cimento, a mistura de solo-cimento ganha resistência e as propriedades mecânicas do solo natural são aprimoradas. Os autores afirmam que as variáveis que controlam as propriedades e características das misturas de solo-cimento são o tipo de solo, o teor de cimento na dosagem, as condições de umidade e o grau de compactação. Ao estabilizar uma argila siltosa com teores de cimento variando entre 3% e 9% e massas específicas aparente secas entre 1,4 g/cm<sup>3</sup> e 1,67 g/cm<sup>3</sup> constataram uma relação diretamente proporcional do aumento da resistência à compressão simples com a adição de cimento. Os melhores resultados foram obtidos para as amostras ensaiadas com  $\rho_d$  igual a 1,67 g/cm<sup>3</sup> e 9% de cimento.

Schnaid et al. (2001) também demonstraram que existe uma relação linear entre a resistência à compressão simples e o aumento do teor de cimento

para solos granulares artificialmente cimentados, afirmando que a resistência à compressão simples é uma medida do grau de cimentação do solo.

Diante disto, este estudo tem como objetivo avaliar a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples de um solo residual cimentado artificialmente. Para tanto, realizou-se a caracterização do solo estudado através dos ensaios de granulometria, massa específica dos grãos, limite de liquidez, limite de plasticidade e compactação. De posse dos resultados, definiu-se o teor de umidade e o valor da massa específica aparente seca para realizar as moldagens das misturas solo-cimento com diferentes teores de cimento.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

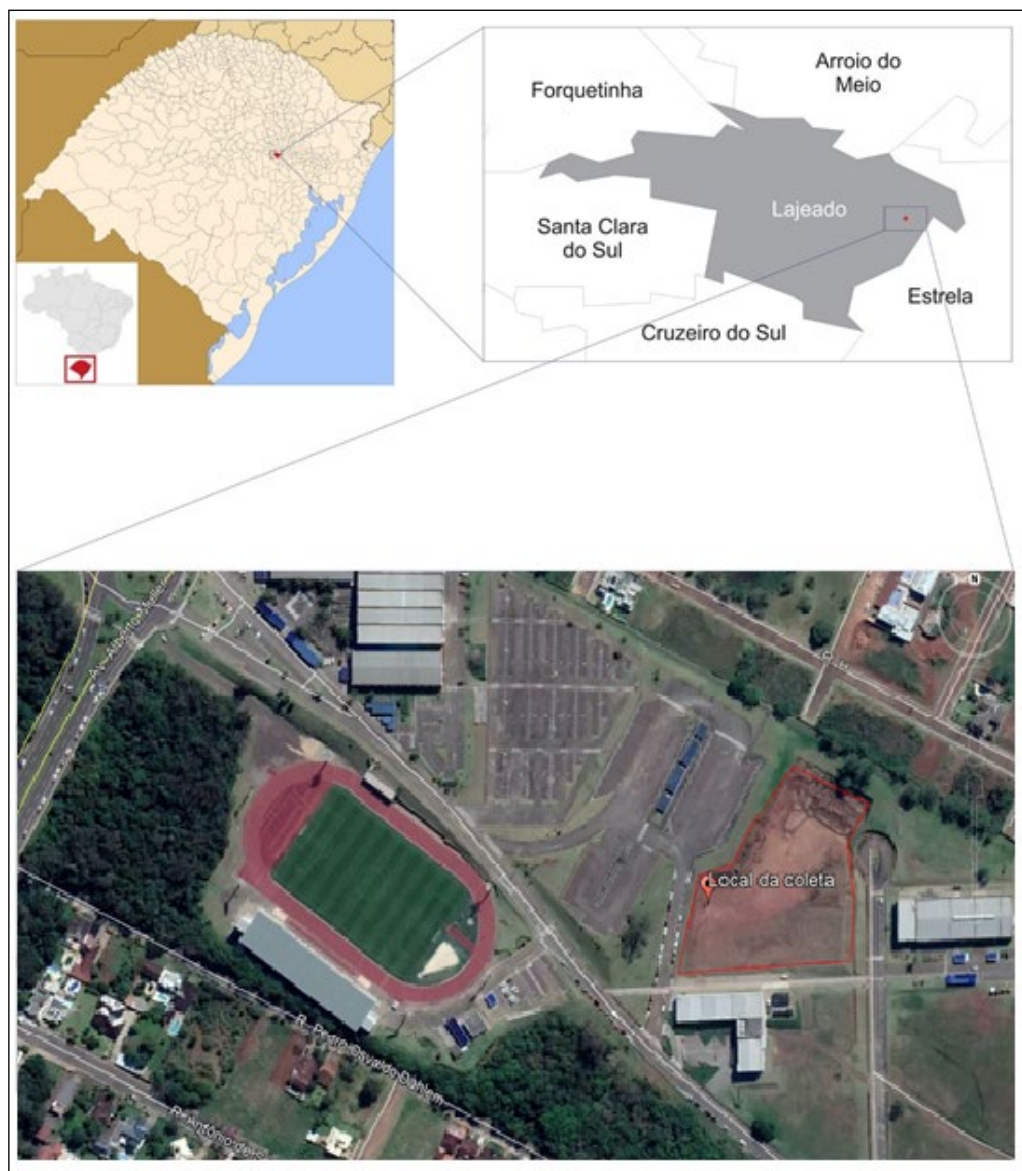
O material empregado na pesquisa consiste de diferentes dosagens de solo-cimento para verificar a influência do teor de cimento no ganho de resistência à compressão simples. Para tanto, empregou-se uma metodologia de pesquisa classificada como quantitativa, descritiva e experimental.

### **2.1 Caracterização do solo**

O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado no município de Lajeado-RS e trata-se de um solo residual de basalto, pertencente à formação Serra Geral. Streck et al. (2008) classificam este solo como um Chernossolo Háplico Órtico, que pode ser encontrado nas várzeas próximas dos rios que drenam a encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul.

A coleta da amostra de solo foi realizada com o auxílio de equipamentos manuais de escavação, atentando para coletar uma amostra homogênea de material e que não fosse superficial para evitar a presença de matérias orgânicas da vegetação. Na Figura 1, apresenta-se um mapa de situação indicando o município de Lajeado, junto com um de localização apontando o local em que foi realizada a coleta do solo.

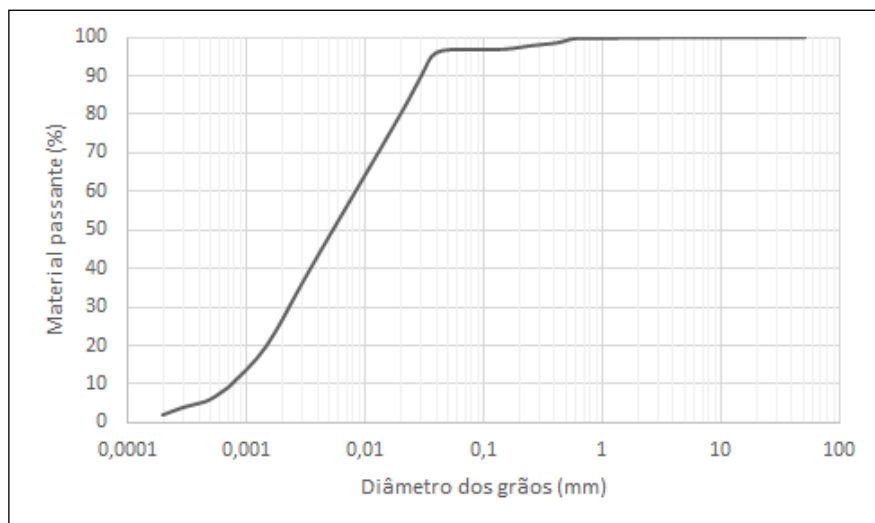
Figura 1 – Local de extração do solo residual.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A análise granulométrica do solo foi realizada pelo peneiramento (fino e grosso) e sedimentação, conforme o procedimento descrito na NBR 7181 (ABNT, 2016a). A Figura 2 mostra a curva granulométrica do solo residual de Lajeado, pela qual, percebe-se que ele é formado predominantemente por solo fino, ou seja, por grãos com dimensões inferiores a 0,075 mm.

Figura 2 – Curva granulométrica do solo residual de Lajeado-RS.

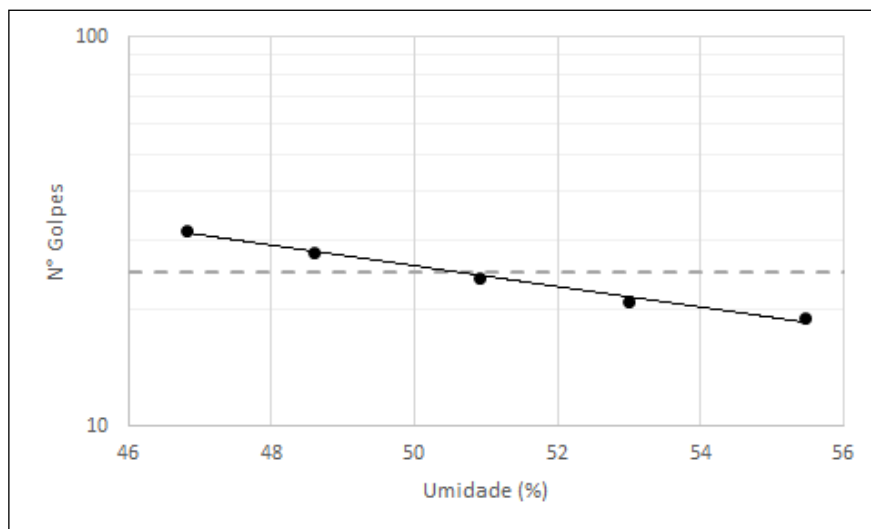


Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Como pode ser observado na curva granulométrica da Figura 2, o solo estudado é composto por 4% de areia, 70% de silte e 26% de argila. A massa específica dos grãos ( $\rho_s$ ), obtida conforme descrito na NBR 6458 (ABNT, 2017a), apresenta o valor de 2,857 g/cm<sup>3</sup>.

Quanto aos limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP), expressos em números inteiros, seguiu-se o especificado na NBR 6459 (ABNT, 2017b) e NBR 7180 (ABNT, 2016b), respectivamente. A Figura 3 mostra o número de golpes aplicados até que as bordas inferiores da ranhura realizada no solo se unam ao longo de, aproximadamente, 13 mm de comprimento para diferentes teores de umidade. Enquanto que, na Tabela 1, apresentam-se os teores de umidade com os quais foram possíveis moldar um cilindro com diâmetro de 3 mm.

Figura 3 – Gráfico do limite de liquidez para o solo residual de Lajeado-RS.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Ajustando uma reta pelos pontos obtidos no ensaio, o LL do solo é o teor de umidade correspondente a 25 golpes. Dessa forma, conforme a Figura 3, o LL do solo de Lajeado é igual a 51%.

Tabela 1 - Teores de umidades do limite de plasticidade para o solo residual de Lajeado-RS, 2019

Ensaio	Umidade	Média
1	45,13	45,29
2	45,16	
3	45,59	

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O LP do solo corresponde ao teor de umidade médio de, no mínimo, três ensaios que não podem apresentar uma variação maior do que  $\pm 5\%$  da média. De acordo com a Tabela 1, o LP do solo de Lajeado é igual a 45%.

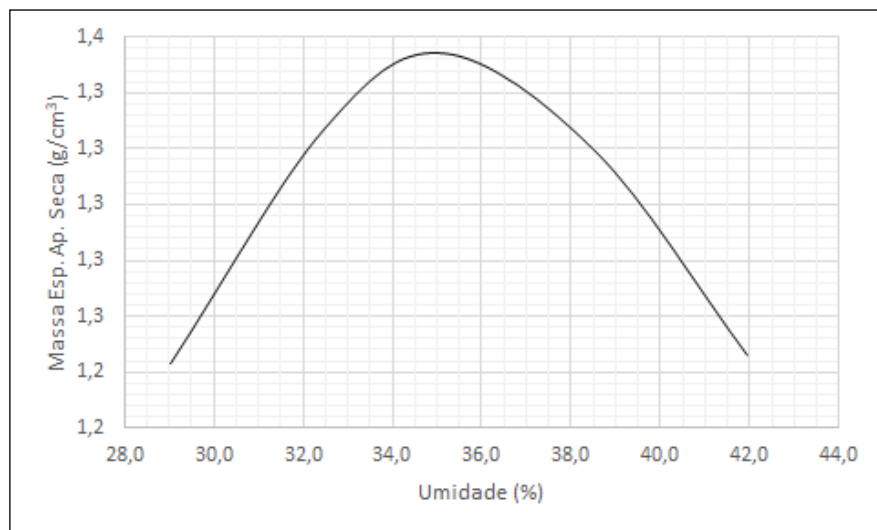
O índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o LL e LP, tem o valor de 6%. Portanto, como o IP é inferior a 7%, a argila presente no solo é fracamente plástica. Quanto ao índice de atividade (IA), dado pela razão entre o IP e o percentual de argila, o solo de Lajeado apresenta o valor de 0,23. Como o IA é inferior a 0,75, entende-se que a argila presente no solo é dita inativa. Tal

fato, contribuiu para a escolha da utilização de cimento para estabilizar o solo estudado.

Tendo conhecimento da granulometria, LL e IP, foi possível a classificação do solo pelos métodos *Highway Research Board* (HRB) e Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Utilizando a classificação HRB, constatou-se que o solo utilizado pertence ao grupo A-5, enquanto que, através do SUCS, o solo enquadra-se na classificação do tipo MH (*Mo High Liquid Limit*). Assim, o solo utilizado na pesquisa é siltoso com pequena quantidade de argila de alta compressibilidade.

Por fim, realizou-se o ensaio de compactação, conforme a NBR 7182 (ABNT, 2016c). No ensaio, foi empregada a energia normal de compactação, que consiste em aplicar 26 golpes para cada uma das três camadas compactadas do corpo de prova (CP). Na Figura 4, observa-se a curva de compactação do solo de Lajeado.

Figura 4 – Curva de compactação para o solo residual de Lajeado-RS



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A partir da curva de compactação, pode-se observar que o teor de umidade ótimo ( $w_{ót}$ ) para compactação é de 35% e a massa específica aparente seca máxima ( $\rho_{d,máx}$ ) é de 1,354 g/cm³. Sabe-se que, com a adição de cimento, esses valores podem sofrer uma pequena variação, entretanto, foram utilizados os parâmetros de compactação do solo puro em todas as misturas de solo-cimento estudadas para evitar a inserção de outras variáveis na análise. Dessa forma, definiu-se que seriam moldados corpos de prova (CPs) com dois valores de massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ), a saber: 1,25 g/cm³ e 1,35 g/cm³, ambos com o teor de umidade de 35%.

## 2.2 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPV-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), que foi escolhido devido a sua alta reatividade em poucos dias de cura e pelo seu grau de moagem que proporciona um maior rendimento à mistura com o solo. O CPV-ARI possui, no máximo, 3,5% de resíduo insolúvel, 4,5% de óxido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) e 6,5% de óxido de magnésio (MgO). Além disso, não possui adição de escória e nem de material pozzolânico.

## 2.3 Água

A água utilizada neste estudo é potável e proveniente da rede de abastecimento pública do município de Lajeado/RS. A quantidade de água em cada mistura foi calculada em função da umidade ótima do solo utilizado.

## 2.4 Programa experimental

O programa experimental empregado na pesquisa consiste na dosagem das misturas solo-cimento, moldagem, processo de cura e ruptura dos CPs.

### 2.4.1 Dosagem das misturas de solo cimento

As porcentagens de cimento utilizadas nas misturas foram definidas a partir do estudo de Jung et al. (2012), que, segundo os autores, representam a experiência brasileira e internacional com solo-cimento. Portanto, empregou-se os teores de 5%, 7%, 9% e 11% para compor as misturas analisadas. Além disto, foram moldados corpos de prova apenas com solo, ou seja, sem adição de cimento, para utilizar como referência.

A quantidade de cimento adicionado é um percentual referente à massa do solo seca. Já a quantidade de água é calculada em relação à massa seca total da mistura solo-cimento. A massa total da mistura deve ser suficiente para a moldagem de um CP e para a coleta de uma amostra, com a qual se controla o teor de umidade durante a compactação.

As variáveis estudadas foram dois valores de  $\rho_d$  para o solo puro e quatro teores de adição de cimento. Para cada dosagem, moldaram-se CPs em triplicata. Assim sendo, o programa experimental consiste na moldagem de um total de 30 CPs. Com as dosagens propostas foi possível identificar a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples das misturas solo-cimento estudadas.

### 2.4.2 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos CPs foi realizada em um cilindro de ferro fundido tripartido, com as dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. A confecção dos CPs consiste nos procedimentos de pesagem, mistura,



compactação e desmoldagem. Após a pesagem dos materiais que compõem a mistura em balança com precisão de 0,01g, mistura-se primeiro o solo com o cimento até obtenção de uma mistura com coloração homogênea e, em seguida, adiciona-se a água e, novamente, mistura-se para homogeneizar.

Após a mistura dos materiais, divide-se a massa necessária para a moldagem de um CP em três partes iguais para ser compactada estaticamente com o auxílio de uma prensa manual. O processo de compactação pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Compactação estática do CP de solo-cimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Após a conclusão da compactação estática, o CP deve ser desmoldado para pesagem e medição com precisão de 0,001 g e 0,1 mm, respectivamente. Para validar a moldagem, empregou-se as tolerâncias propostas por Dalla Rosa (2009), que consistem em: grau de compactação entre 99% e 101% em relação a  $\rho_{d,máx}$  do solo, dimensões com tolerância de  $\pm 0,5$  mm no diâmetro e  $\pm 1,0$  mm na altura. Além disso, aceitou-se uma variação de  $\pm 2\%$  em relação a  $w_{ót}$  do solo. Todos os CPs que não atenderem a um ou mais desses critérios de tolerâncias previamente estabelecidos foram moldados novamente para se adequarem. Com isso, mitigou-se a dispersão dos resultados obtidos no conjunto da triplicata.

### 2.4.3 Cura dos corpos de prova

Os CPs foram curados durante 7 dias em câmara úmida, este período de cura foi definido em função do cimento adotado ser do tipo CPV-ARI. Faz-se necessário a cura ocorrer num ambiente com temperatura e umidade controladas para não afetar as reações químicas das misturas e influenciar nos

resultados. Então, a câmara úmida foi ajustada para temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar superior a 95%.

Com o intuito de aproximar a mistura solo-cimento à condição de saturada, 24 horas antes do término da cura, ou seja, antes da ruptura, os CPs foram imersos num recipiente com água. Dessa forma, foi desconsiderada a contribuição da sucção matricial na resistência das misturas. Conforme pode ser observado na Figura 6, os CPs foram submersos no recipiente de modo a se obter uma lâmina d'água de, aproximadamente, 1,0 cm acima do seu topo.

Figura 6 - Imersão dos CPs de solo-cimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

#### 2.4.4 Ruptura dos corpos de prova

A resistência à compressão simples é a principal etapa desta pesquisa e tem como objetivo analisar a influência do teor de cimento empregado

nas misturas. Os CPs foram rompidos à compressão simples numa prensa universal de ensaios, automática, cuja capacidade da célula de carga é de 50 kN. A velocidade de deformação empregada no ensaio foi de 1,14 mm/minuto. A resistência à compressão simples da mistura consiste na maior tensão axial que o CP suporta antes de romper. A Figura 7 mostra o procedimento de ruptura dos CPs de solo-cimento.

Figura 7 – Ruptura do CP solo-cimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa consiste em avaliar a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples de um solo residual artificialmente cimentado.

A partir dos resultados obtidos pelo programa experimental proposto, as Tabelas 2 e 3 mostram os valores de resistência à compressão simples obtidos e a análise do coeficiente de variação (CV) para as amostras ensaiadas com  $\rho_d$  de 1,25 e 1,35g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Enquanto que a Figura 8 apresenta a relação entre a resistência à compressão simples ( $q_u$ ) e o teor de cimento (ci).

Tabela 2 – Resultados de resistência à compressão simples para  $\rho_d$  de 1,25 g/cm<sup>3</sup>

ci (%)	q <sub>u</sub> (kPa)	Média (kPa)	Desvio Padrão (kPa)	CV (%)
0	20,12			
0	25,38	21,84	3,06	14,03
0	20,03			
5	99,29			
5	131,14	115,39	15,93	13,80
5	115,74			
7	327,21			
7	321,54	334,05	16,99	5,09
7	353,39			
9	896,00			
9	1019,68	933	75,33	8,07
9	883,32			
11	1291,95			
11	1201,21	1312,12	122,25	9,32
11	1443,21			

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Tabela 3 - Resultados de resistência à compressão simples para  $\rho_d$  de 1,35 g/cm<sup>3</sup>

ci (%)	q <sub>u</sub> (kPa)	Média (kPa)	Desvio Padrão (kPa)	CV (%)
0	110,10			
0	101,74	102,81	6,82	6,63
0	96,56			
5	214,60			
5	243,47	235,45	18,21	7,73
5	248,26			
7	650,86			
7	733,77	727,20	73,28	10,08
7	796,96			
9	1360,19			
9	1522,00	1353,43	172,05	12,71
9	1178,10			

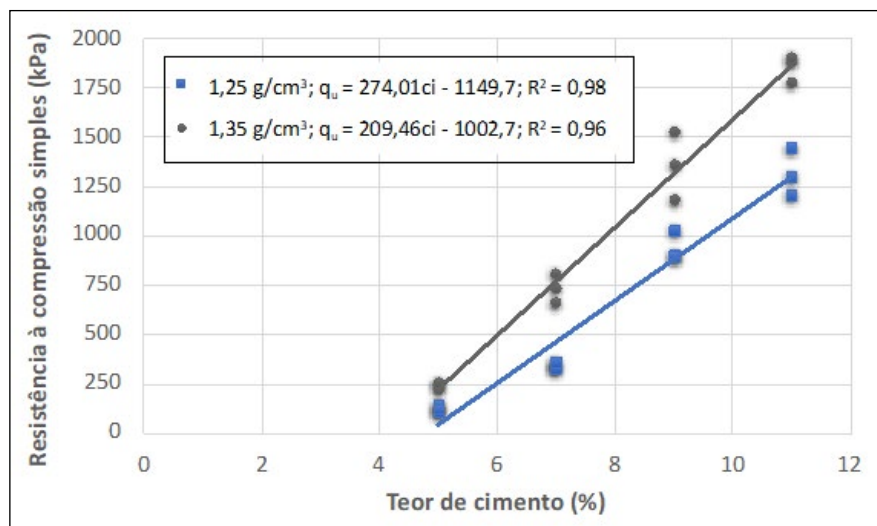
ci (%)	$q_u$ (kPa)	Média (kPa)	Desvio Padrão (kPa)	CV (%)
11	1777,34			
11	1882,83	1853,41	66,44	3,58
11	1900,05			

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com base nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que todas as triplicatas das dosagens apresentaram CV menor ou igual a 15%, o que significa que os grupos de amostras analisados possuem baixa dispersão. Logo, os dados são, estatisticamente, homogêneos, então não é necessário a exclusão de nenhum deles para realizar a análise.

A Figura 8 apresenta o gráfico que relaciona a resistência à compressão simples com o teor de cimento empregado nas misturas. Nela pode-se observar que o teor de cimento tem influência na resistência à compressão simples do solo, visto que  $q_u$  aumenta linearmente com o aumento do teor de cimento para ambas as massas específicas aparente secas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,98 e 0,96, indicando um ótimo ajuste aos dados analisados. Visualiza-se, ainda, que, para as amostras com  $\rho_d$  de 1,35 g/cm<sup>3</sup>, a taxa de crescimento de  $q_u$  com o aumento do teor de cimento (inclinação da reta de ajuste dos dados) é maior do que para as amostras com  $\rho_d$  de 1,25 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 8 - Influência do teor de cimento na resistência à compressão simples.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Nas amostras com  $\rho_d$  de 1,25 g/cm<sup>3</sup>, a adição de 11% de cimento resultou em um aumento de quase 11 vezes no valor da resistência à compressão simples das amostras, em comparação com a adição de 5% de cimento. Já, se considerar o solo compactado sem cimento (0% de teor de cimento), o aumento na resistência, comparando com o solo com 11% de cimento, foi de 60 vezes. Já para as amostras com  $\rho_d$  de 1,35 g/cm<sup>3</sup>, a adição de 11% de cimento resultou em um aumento de quase 8 vezes no valor da resistência à compressão simples das amostras, em comparação com a adição de 5% de cimento. Já, se considerar o solo compactado sem cimento (0% de teor de cimento), o aumento na resistência foi de 18,5 vezes, o que evidencia o ganho de resistência com o aumento no teor de cimento.

Ainda, comparando as duas massas específicas utilizadas nas moldagens dos CPs, observa-se que o aumento da massa específica aparente seca ocasiona um aumento na resistência. Para 11% de cimento, o aumento de resistência com o aumento de  $\rho_d$  foi de, aproximadamente, 50%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciaram a influência do teor de cimento na resistência à compressão simples do solo residual artificialmente cimentado. Além disso, também verificou-se a importância da compactação, ou seja, da massa específica aparente seca.

Com as análises realizadas, foi demonstrado que o solo residual do município de Lajeado-RS, predominantemente com granulometria de silte, possui um ganho de resistência linear com a adição de cimento. Comparando os resultados de resistência à compressão simples do solo puro e da mistura de solo com 11% de cimento, obteve-se um ganho de 60 e 18,5 vezes para as massas específicas aparente secas de 1,25 g/cm<sup>3</sup> e 1,35 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Quanto à massa específica aparente seca das moldagens, observou-se que o maior valor resultou numa tendência de aumento mais acentuada, maior inclinação da reta de ajuste dos dados. Também verificou-se que, para 11% de cimento, o aumento da massa específica aparente seca resultou em, aproximadamente, 50% a mais de resistência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016 versão corrigida 2: 2017. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016 versão corrigida 2: 2017. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b. 7 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b. 9 p.

CONSOLI, Nilo C.; FOPPA, Diego; FESTUGATO, Lucas; HEINECK, Karla S. Key Parameters for Strength Control of Artificially Cemented Soils. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, (Local), v. 133, n. 2, p. 197-205, fev. 2007.

CONSOLI, Nilo Cesar et al. Porosity-Cement Ratio Controlling Strength of Artificially Cemented Clays. **Journal Of Materials In Civil Engineering**, [s.l.], v. 23, n. 8, p.1249-1254, ago. 2011.

DALLA ROSA, A. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

INGLES, O. G.; METCALF, J. B. **Soil Stabilization: Principles and Practice**. Sydney: Butterworths, 1972. 374 p

JUNG, Jonatan G.; STRACKE, Fernanda; KORF, Eduardo P.; Consoli, Nilo C. A influência do tipo de cimento na resistência à compressão simples de uma areia artificialmente cimentada. **Revista Luso-Brasileira de Geotecnia**, São Paulo, n. 125, p. 87-94, jul. 2012.

SCHNAID, F.; PRIETTO, P. D. M.; CONSOLI, N. C. Characterization of cement sand in triaxial compression. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental**. New York, V.127, p. 857-868, 2001

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**: v. 2. São Paulo: Pini, 2001. 672 p.

STRECK, Edeimar Valdir; KÄMPF, Nestor; KLAMT, Egon; SCHNEIDER, Paulo; NASCIMENTO, Paulo C. do; GIASSON, Élvio; PINTO, Luiz F. S.; DALMOLI, Ricardo S. D. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p