



## Melhoramento Mecânico de uma areia tratada com diferentes teores de cal de carbureto e vidro moído

Eclesielter Batista Moreira  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, eclesielter\_ebm@hotmail.com

Ricardo Daniel Caballero  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, ricardocaballero23@gmail.com

Thales Vicente Garcia  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, thales\_geral@hotmail.com

Pablo Oliveira dos Passos Coelho  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, pablopassoscoelho@gmail.com

Lucas Festugato  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, lucas@ufrgs.br

Nilo Cesar Consoli  
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, Brasil, consoli@ufrgs.br

**RESUMO:** O uso de materiais cimentantes como a cal vem sendo empregada com sucesso na engenharia geotécnica para a estabilização e melhoramento mecânico em solos. As pesquisas atuais têm encontrado a influência das quantidades de materiais cimentantes agregando resíduos (industriais, agrícolas, urbanos, etc) no comportamento mecânico. Com base no exposto esta pesquisa visa analisar o efeito de misturas solo-vidro-cal na resistência mecânica através de ensaios de resistência à compressão simples ( $q_u$ ) e à tração por compressão diametral ( $q_t$ ) na energia de compactação Proctor modificado, com 28 dias de cura. Foi testada a influência do teor de cal e da porosidade, através do parâmetro porosidade/teor volumétrico de cal ( $\eta/B_{iv}$ ) na resistência à compressão simples ( $q_u$ ) e na resistência a tração por compressão diametral ( $q_t$ ) dos corpos de prova, conforme a metodologia de dosagem de Consoli *et al.* (2009). O estudo apresenta a relação do crescimento da resistência da compressão não confinada da areia de Osório em diferentes porosidades. Os parâmetros de controle avaliados foram: teor de cal, teor de vidro moído, porosidade e umidade. Os resultados mostram um crescimento da resistência da compressão não confinada ( $q_u$ ) e na resistência a tração por compressão diametral ( $q_t$ ) com o aumento de teor de cal e vidro moído com 28 dias de cura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Areia de Osório, Vidro moído, Cal de carbureto, Resistência mecânica.

### 1 INTRODUÇÃO

Em obras de geotecnia, seja de pavimentação, fundações, etc, nem sempre o solo disponível

para execução satisfaz os requisitos preconizados pelas normas vigentes, tendo como alternativas, o transporte de solos, se para obras de pavimentação, ou a utilização de fundações



profundas, se para obras de fundações, aumentando os custos da obra. Outra alternativa é através da estabilização do solo local, seja através do aumento da energia de compactação ou através de adição de materiais cimentante, como cimento e cal (Ali; Saberian; Li, 2018). Atualmente, a concepção dos projetos de engenharia tem cada vez mais a preocupação de substituir/minimizar o consumo indiscriminado de materiais naturais, haja vista que, na sua maioria, esses materiais naturais não são renováveis. Desta forma, visando reduzir a quantidade dessas matérias-primas utilizadas e, portanto, minimizar os impactos ambientais, é indispensável que, quando possível, sejam utilizados resíduos. Visando o aproveitamento de resíduos em obras de construção, muitas pesquisas tem surgido com este intuito (Motta, 2005; Rahardjo et al., 2011, Lucena Et al., 2014), sendo que a maior aplicação de materiais reciclados em trabalhos geotécnicos no mundo é em obras de pavimentação (Cardoso et al., 2016). Segundo Prabakar, Dendorkar e Morchhale (2004) vários são os materiais alternativos empregados para melhorar a capacidade de suporte dos solos como cal, cimento e cinzas volantes.

No Brasil a construção civil é responsável por cerca de 50% do total de resíduos sólidos gerado no País (57 milhões ton/ano) (ABRELPE, 2011) sendo que 3% do total gerado é de vidro e 53% desse material é descartado em aterros sanitários (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2018) representando assim um passivo para países como o Brasil. Segundo Saldanha et al. (2018), a cal de carbureto, que também pode ser chamada de resíduo de carbureto é um material que acaba sendo gerado na produção de gás acetileno. Ainda segundo Saldanha et al. (2018) a produção global de gás acetileno foi de aproximadamente 500.000 toneladas em 2014, gerando aproximadamente 1.423.000 toneladas de cal de carbureto sendo que o Brasil tem capacidade de produzir até

12.000 toneladas/ano de gás acetileno, porém, gera em torno de 6.000 toneladas e com este processo produz todo ano mais de 17.000 toneladas de cal de carbureto. Conforme citado em Saldanha et al. (2018), a cal de carbureto pode ser reciclada devido as suas propriedades químicas e físicas, podendo ser utilizada em diferentes processos, como agricultura, em indústrias, em estações de tratamento de água, na construção civil e em Engenharia Geotécnica para a estabilização de solos. Estes processos podem reduzir drasticamente o impacto gerado pelo descarte do resíduo em aterro e redução da necessidade de explorar minas de calcário. Um exemplo da redução do impacto ambiental gerada pela utilização da cal de carbureto é que para cada tonelada de cal produzida são geradas 1,1 toneladas de dióxido de carbono e são consumidos 240 litros de água. (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2009)

Assim, esta pesquisa visa analisar o efeito de misturas solo-vidro-cal na resistência mecânica através de ensaios de resistência à compressão simples ( $q_u$ ) e à tração por compressão diametral ( $q_t$ ) na energia de compactação Proctor normal, com 28 dias de cura

## 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi dividido em duas etapas. Primeiramente foi realizado à caracterização física dos materiais. Na segunda etapa se efetuou os ensaios em laboratório, composto pelas moldagens dos corpos de prova e ensaios de resistência a compressão e tração por compressão diametral.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Solo

O solo utilizado é uma areia quartzosa fina



uniforme isenta de matéria orgânica, obtido da região de Osório no sul do Brasil.

### 3.1.2 Vidro moído

O vidro moído do estudo é proveniente de resíduos de vidro plano e moído em moinho.

### 3.1.3 Cal de carbureto

A cal de carbureto utilizada é proveniente do resíduo do gás acetileno, seca em estufa, moída e peneirada. O percentual retido acumulado no diâmetro 0,075 mm foi de 9% ( $\leq 15\%$ , como especifica a norma NBR 7175 de 2003).

### 3.1.4 Água

A água empregada tanto para a moldagem de corpos de prova quanto para os ensaios de caracterização do solo foi destilada conforme as especificações das normas.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Caracterização física dos materiais

Os ensaios de granulometria da areia de Osório e do vidro moído foram realizados segundo a norma ASTM (2006). O ensaio de granulometria da cal de carbureto foi realizado com um equipamento que utiliza a difração de um feixe de laser passando através de uma amostra e uma câmera fotográfica para medição do tamanho das partículas (CILAS 1180 – Particle Size Analyser), com capacidade de detecção entre 0,00004 mm a 2,5 mm.

Os ensaios de densidade real dos grãos da areia, do vidro moído e da cal de carbureto foram realizados conforme preconizado pela norma ASTM D854 (2014).

A determinação dos índices de vazios máximo e mínimo foi realizada seguindo a metodologia prescrita nas normas NBR 12004 e NBR 12051, respectivamente.

### 3.2.2 Dosagem das misturas e moldagem dos corpos de prova

Levando em consideração diferentes pesquisas sobre reforço de solos com misturas de cal de carbureto e vidro moído, definiu-se para o presente estudo 5 teores de cal a usar (3%, 5%, 7% e 9%) e 3 teores de vidro moído (10%, 20% e 30%). O ensaio de resistência não confinada das misturas constituiu como a principal variável de estudo e de avaliação. Dessa forma, são definidas as propriedades dos corpos de prova a partir dos ensaios de compactação. Os pontos de moldagem foram retirados a partir das curvas de compactação obtidos por Consoli *et al.*, (2018), visto que foram os mesmos materiais e teores usados.

Para os ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral foram moldados corpos de prova de 100mm de altura e 50mm de diâmetro. A areia foi seca totalmente em estufa a  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  e logo colocado em porções uniformemente distribuídas para serem misturadas com os diferentes teores de cal e vidro moído. Coloca-se a quantidade de vidro moído com referência ao peso seco da amostra da areia. Por seguinte, a quantidade de cal de carbureto seca com referência ao peso seco da amostra da areia somado ao peso do vidro moído, realiza-se a mistura de maneira que a mescla final torna-se a mais homogênea possível. Uma porcentagem de peso de água foi adicionada na amostra de areia-vidro-cal e misturada novamente para atingir a umidade ótima.

As amostras para a moldagem dos corpos de prova eram compactadas estaticamente em três camadas em um molde tripartido de aço com diâmetro interno de 50 mm, altura de 100 mm e espessura de 5mm, para atingir o peso específico máximo aparente. Depois de ser compactada a amostra é retirada do molde, pesando-a em sequência em uma balança de precisão de 0,01g; tomando-se suas dimensões



com o uso de um paquímetro. Por último, levam-se os corpos de prova até a câmara úmida para processo de cura durante 28 dias, com temperatura média de 25°C. Além disso, as amostras tinham que respeitar as seguintes condições para serem consideradas no ensaio de compressão simples e tração:

- Dimensões das amostras: variações de diâmetro em  $\pm 0,5$  mm e altura em  $\pm 1$  mm;
- Massa específica aparente seca ( $\gamma_d$ ): dentro de  $\pm 1\%$  do valor alvo;
- Teor de umidade ( $\omega$ ): dentro de  $\pm 0,5\%$  do valor alvo.

Os procedimentos dos ensaios de compressão simples seguiram a norma ASTM D 5102/96 (Figura 1a). Os procedimentos dos ensaios de tração por compressão diametral ( $q_t$ ) seguiram a norma ASTM C 496/C 496M – 04 (Figura 1b).



a) b)  
 Figura 1: Corpos de prova 5 cm x 10 cm  
 (a) compressão simples e (b) tração por compressão diametral

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização física

As propriedades do solo se encontram na Tabela 1 e a curva granulométrica da areia, do vidro moído e da cal de carbureto são apresentados na Figura 2.

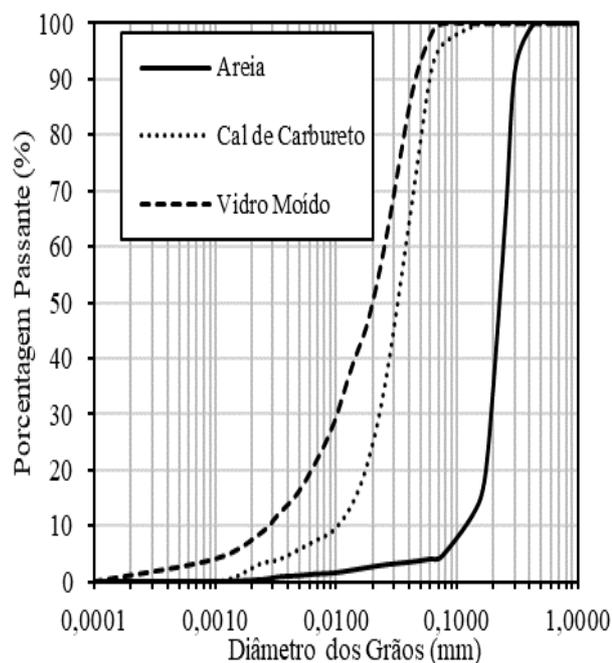


Figura 2. Curva granulométrica da areia, vidro e cal de carbureto

Segundo a ASTM (2017) o solo é classificado como uma areia mal graduada (SP).

Tabela 1. Propriedades físicas do solo.

PROPIEDADES	VALORES
Densidade Real dos Grãos (G)	2,61
% Pedregulho ( $d > 2$ mm)	0,0%
% de Areia Grossa ( $0,6 < d < 2$ mm)	0,0%
% de Areia Média ( $0,2 < d < 0,6$ mm)	52,0%
% de Areia Fina ( $0,06 < d < 0,2$ mm)	43,4%
% de Siltes ( $0,002 < d < 0,06$ mm)	3,5%
% de Argila ( $d < 0,002$ mm)	1,1%
Diâmetro Efetivo (D10) mm	0,11
Diâmetro (D30) mm	0,16
Diâmetro (D50) mm	0,21
Diâmetro (D60) mm	0,23
Coefficiente de Uniformidade (Cu)	2,13
Coefficiente de Curvatura (Cc)	1,04
Índice de Vazios Mínimo, ( $e_{min}$ )	0,54
Índice de Vazios Máximo, ( $e_{máx}$ )	0,81



## 4.2 Compactação e pontos de moldagem

A Figura 3 mostra as curvas de compactação das misturas areia-vidro moído com 7% de cal de carbureto (CONSOLI *et al.*, 2018).

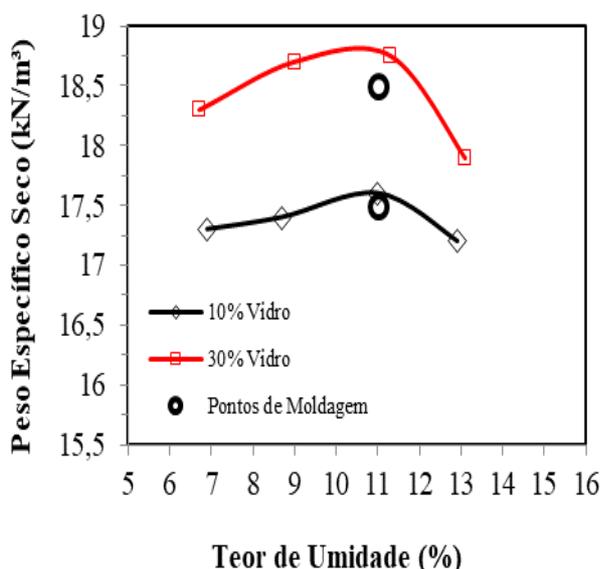


Figura 3. Curvas de compactação das misturas solo-vidro com 7% de cal de carbureto (Consoli *et al.*, 2018)

A partir desses dados e tendo em consideração a natureza de que o presente trabalho e só uma fração de uma pesquisa complexa, a mistura estudada é apresentada com as propriedades na compactação Proctor modificado. As pesquisas apresentadas por Consoli *et al.* (2007) onde trata o solo com cimento - e Consoli *et al.* (2001) - que usa como material cimentante para o solo, a cal de carbureto- pode-se ver que os pontos de moldagem nestas pesquisas são estratégicos, assim, variam-se a porosidade, o peso específico aparente seco e a umidade dos corpos de prova. A presente pesquisa usa como ponto de moldagem a umidade ótima da compactação no proctor modificado, isto é 11% de umidade e peso específico seco aparente de 17,5 e 18,5 kN/m<sup>3</sup>, conforma a Tabela 2.

Tabela 1. Propriedades de compactação das misturas solo-vidro-cal

Teor de cal (%)	Teor de Vidro moído (%)	Peso específico seco máximo, $\gamma_{d_{max}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Umidade ótima, $\omega$ (%)
3	10	17,5	11,0
5	10	17,5	11,0
7	10	17,5	11,0
3	30	18,5	11,0
5	30	18,5	11,0
7	30	18,5	11,0

## 4.3 Compressão simples ( $q_u$ )

### 4.3.1 Influência do teor de cal e vidro moído

A Figura 4 mostra a variação da resistência à compressão simples com 3%, 5% e 7% de cal de carbureto com 10% e 30% de vidro moído.

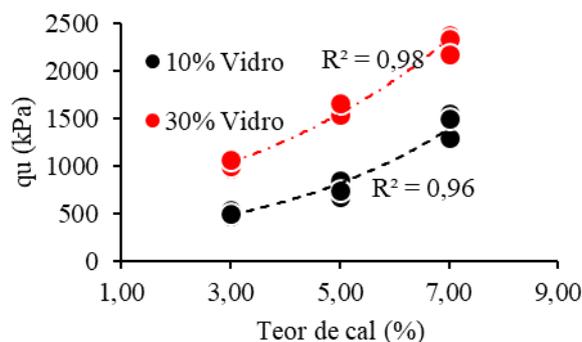


Figura 4. Variação de  $q_u$  em relação ao teor de cal de carbureto e vidro moído

Observa-se que a variação do  $q_u$  é exponencial para ambos teores de vidro. Comparando o 3% e 7% de adição de cal com 10% de vidro moído, se obtém um crescimento médio de 90% da resistência, comparando 3% com 7% se obtém um crescimento de 52%. Levando em consideração a curva com 30% de vidro moído, o crescimento médio dos teores de 9% e 7% em relação à 3% cal são 42% e 59%, respectivamente. Sendo que o valor médio máximo de cada mistura é apresentado na Tabela 3.



Tabela 3. Resultados médios de compressão simples misturas areia-vidro-cal

Teor de cal (%)	Teor de Vidro moído (%)	$q_u$ (kPa)
3	10	499,4
5	10	760,6
7	10	1448,4
3	30	1011,8
5	30	1613,3
7	30	2292,6

Tabela 4. Resultados médios de tração por compressão diametral misturas areia-vidro-cal

Teor de cal (%)	Teor de Vidro moído (%)	$q_u$ (kPa)
3	10	97,0
5	10	122,2
7	10	187,4
3	30	187,3
5	30	261,6
7	30	383,1

#### 4.4 Tração por compressão diametral ( $q_t$ )

##### 4.4.1 Influência do teor de cal e vidro moído

A Figura 5 mostra a variação da resistência à tração por compressão diametral com 3%, 5% e 7% de cal de carbureto com 10% e 30% de vidro moído.

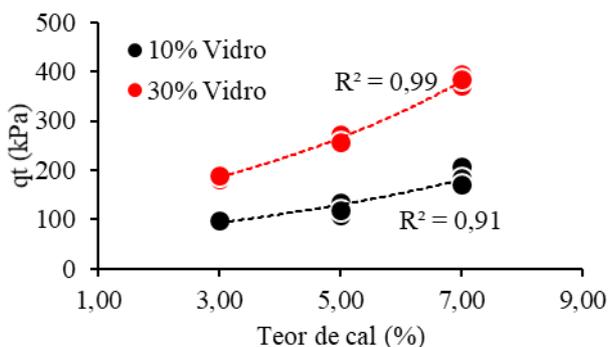


Figura 5. Variação de  $q_t$  em relação ao teor de cal de carbureto e vidro moído

A variação do  $q_t$  é exponencial para ambos teores de vidro. Comparando o 3% e 9% de adição de cal com 10% de vidro moído, se obtém um crescimento médio de 53% da resistência, comparando 3% com 7% se obtém um crescimento de 26%. Levando em consideração a curva com 30% de vidro moído, o crescimento médio dos teores de 9% e 7% em relação à 3% cal são 46,5% e 40%, respectivamente. Sendo que o valor médio máximo de cada mistura é apresentado na Tabela 4.

#### 4.5 Normalização

Analisa-se na Figura 6 e Figura 7 a influência da porosidade inicial na resistência à compressão simples e tração por compressão diametral, respectivamente, das misturas solo-vidro-cal.

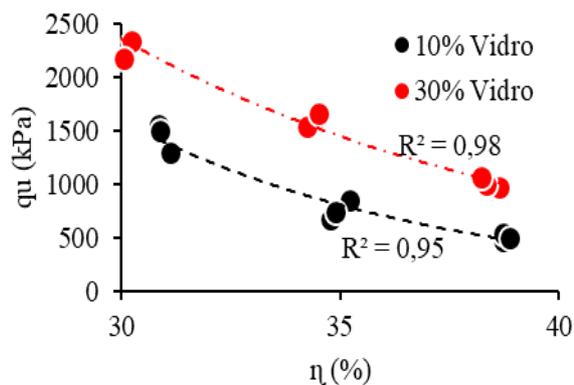


Figura 6. Influência da porosidade na resistência à compressão simples

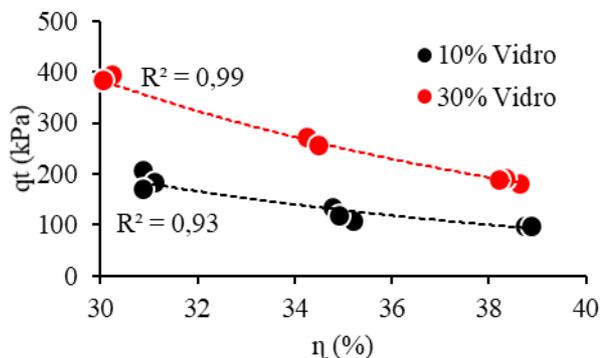


Figura 7. Influência da porosidade na resistência à tração por compressão diametral



Observa-se uma variação na porosidade de 30% a 49% para 3%, 5% e 7% de cal de carbureto e 10% e 30% de vidro moído. Há, também, uma relação inversamente proporcional da porosidade com  $q_u$ , pois à medida que a porosidade diminui, a  $q_u$  aumenta.

É observada na Figura 8 a influência da relação porosidade/teor volumétrico das misturas na resistência à compressão simples e resistência à tração por compressão diametral.

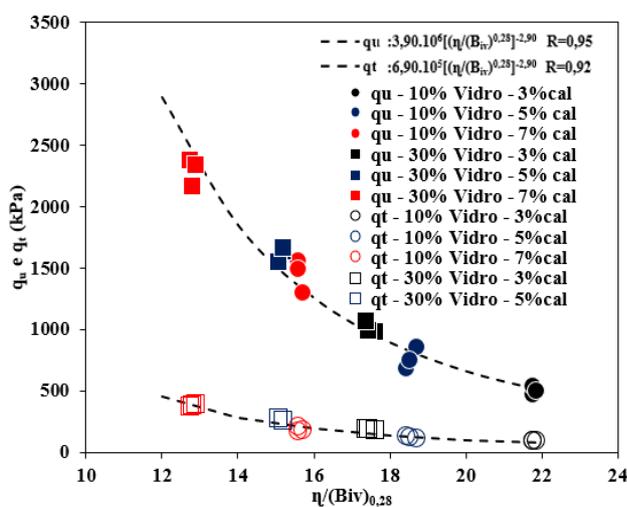


Figura 8. Influência da porosidade na resistência à tração por compressão diametral

O teor volumétrico da mistura vidro-cal (Equação 1) é definido como a soma da massa do vidro pelo peso específico do vidro e a massa de cal pelo peso específico da cal, dividindo-se pelo volume de um corpo de prova.

$$B_{iv} = \left( \frac{m_{vidro} / \gamma_{vidro} + m_{cal} / \gamma_{cal}}{V} \right) \quad (1)$$

Para as misturas, a relação  $\eta/B_{iv}$  varia de 12,8, 18,6 e 15,6 para 3, 5 e 7% de cal com 10% de vidro e 17,5, 15,6 e 12,8 para 3, 5 e 7% de cal com 30% de vidro (Ver Figura 8).

Assim, procurando estabelecer a relação  $\eta/B_{iv}$  para parâmetro único que prevê os

resultados de  $q_u$ , uma tendência potencial foi definida e é apresentada na Figura 8.

As Equações 2 e 3 define o crescimento de  $q_u$  e  $q_t$ , respectivamente, com a diminuição de  $\eta/B_{iv}$  com a regressão potencial apresentada na Figura 6:

$$q_u = 3,9 \times 10^6 \left[ \frac{\eta}{B_{iv}^{0,28}} \right]^{-2,90} \quad (R^2 = 0,95) \quad (2)$$

$$q_t = 6,9 \times 10^5 \left[ \frac{\eta}{B_{iv}^{0,28}} \right]^{-2,90} \quad (R^2 = 0,92) \quad (3)$$

Nota-se que as Equações 2 e 3 segue a forma:  $q_u = A \left[ \frac{\eta}{B_{iv}^D} \right]^{-E}$ ; onde A, D e E são constantes. O valor de A pode depender do tempo de cura ou também do elemento cimentante.

A Figura 6 mostra que comparando a redução de 20 pontos percentuais de  $\eta/B_{iv}$  se obtém que, por exemplo, se se reduz a relação vazios/cimento de uma mistura de  $\eta/B_{iv}=22$  a  $\eta/B_{iv}=13$  aumenta a sua resistência em 2372 kPa.

Baseado nos estudos feitos por Consoli et al. (2007; 2013; 2017; 2018) e Diambra et al. (2017) o valor de E e D depende do tipo de solo. O valor de A com o uso do expoente 0,28 cresce dependendo do tipo de agente cimentante empregado. Assim, consegue-se obter um mesmo comportamento dos resultados de compressão simples com o uso da relação  $\eta/B_{iv}^{0,28}$ . A relação  $\eta/B_{iv}^D$  é capaz de fornecer uma tendência única da resistência do solo arenoso apresentado no presente trabalho cimentado artificialmente com um cimento proveniente da junção de dois resíduos (cal de carbureto e vidro moído). Para Rios et al. (2012) e Mola-Abasi et al. (2016) a relação  $\eta/C_{iv}$  demonstra ser um ótimo parâmetro de ajuste para descrever o comportamento à compressão não confinada de solos estabilizados com cimento.



#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com o tipo de solo empregado neste trabalho, tipo de cimento usado (mistura de cal de carbureto e vidro moído), aos teores de cal (3-7%) e de vidro moído (10-30%) e o tempo de cura de 28 dias dos corpos de prova as seguintes conclusões são abordadas:

1. A resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral dos corpos de prova de misturas solo-vidro-cal aumentou com o acréscimo do teor de cal e com o aumento do teor de vidro moído. Além disso, a diminuição da porosidade das amostras também fez aumentar  $q_u$  e  $q_t$ .

2. A relação porosidade/teor volumétrico da mistura ( $\eta/B_{iv}$ ) demonstrou ser um parâmetro eficiente para estudar o comportamento mecânico das misturas como foi reportado em estudos prévios. Um expoente de 0,28 sobre o teor volumétrico da mistura ( $\eta/B_{iv}^{0,28}$ ) forneceu melhor ajuste das amostras ensaiadas à compressão simples e à tração por compressão diametral.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao apoio da CAPES e do CNPq.

#### REFERENCIAS

Ali, M.; Saberian, M.; Li, J. Transportation Geotechnics Soil stabilization with non-conventional eco-friendly agricultural waste materials: An experimental study. *Transportation Geotechnics*, v. 14, p. 52–60, 2018.

ABNT - NBR 12004: Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT - NBR 12051: Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT.NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de

Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: < <http://abrelpe.org.br/>>, 2011.

ASTM. D2487-11: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). 2017.

ASTM D854 – 14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. 2011.

ASTM D 5102. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures. 1996.

ASTM 496/C 496M-04. Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. 2004.

Cardoso, R.; Silva, R. V.; De Brito, J.; Dhir, R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, vol. 49, p. 131 – 145, 2016.

Compromisso Empresarial para Reciclagem. Ficha técnica do vidro. Disponível em: < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>, 2018.

Consoli, N. C., Prietto, P. D. M., Carraro, J. A. H., Heineck, K. S. (2001). Behavior of compacted soil-fly ash-carbide lime mixtures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 127, n. 9, 774-782.

Consoli, N. C., Foppa, D., Festugato, L., and Heineck, K. S. (2007). Key parameters for strength control of artificially cemented soils. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 133(2), 197-205.

Consoli, N. C.; Lopes, L. da S.; Heineck, K. S. Key Parameters for the Strength Control of Lime Stabilized Soils. *Journal of Materials in Civil Engineering*. V. 21, n. 5, p.210-216, maio 2009

Consoli, N. C., Festugato, L., Da Rocha, C. G., and Cruz, R. C. (2013). Key parameters for strength control of rammed sand-cement mixtures: Influence of types of portland cement. *Construction and Building Materials*, 49, 591–597.

Consoli N.C., E. Ibraim, A. Diambra, L. Festugato, S.F.V. Marques (2017) A Sole Empirical Correlation Expressing Strength of Fine-Grained Soils - Lime Mixtures. *Soils and Rocks*, São Paulo, 40(2): 147-153.

Consoli, N. C., Winter, D., Leon, H. B., Scheuermann Filho, H. C. Durability, strength, and stiffness of green stabilized sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 144, n. 9, p. 04018057, 2018.

Diambra, A., E. Ibraim, A. Peccin, N. C. Consoli, and L. Festugato. 2017. “Theoretical derivation of artificially cemented granular soil strength.” *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 143 (5)

Lucena, Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes et al. Use of wastewater sludge for base and subbase of road



- pavements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 33, p. 210-219, 2014.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *Perfil da Cal.* 2009.
- Mola-Abasi, H., and Shooshpasha, I. (2016). Influence of zeolite and cement additions on mechanical behavior of sandy soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(5), 746-752.
- Motta, R. S. *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.* 2005. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- Prabakar, J.; Dendorkar, Nitin; Morchhale, R. K. Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. *Construction and Building Materials*, v. 18, n. 4, p. 263-267, 2004.
- Rahardjo, H., Vilayvong, K. Leong, E.C. (2011). Water characteristic curves of recycled materials. *Geotech. Test. J.*, 34(1): 1–8.
- Rios, S., Viana da Fonseca, A., and Baudet, B. A. (2012). Effect of the porosity/cement ratio on the compression of cemented soil. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 138(11), 1422-1426.
- Saldanha, R. B.; Scheuermann Filho, H. C.; Malmann, J. E. C.; Consoli, N. C.; Reddy, K. R. Physical-Mineralogical-Chemical Characterization of Carbide Lime: An Environmental-Friendly Chemical Additive for Soil Stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018.