

Influência da Umidade e Energia de Compactação na Resistência à Compressão de um Solo Laterítico com Adição de Cimento (Solo-Cimento)

Bruno Oliveira Bica

Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, brunobica01@gmail.com

Helena Batista Leon

Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, helenableon@gmail.com

Jaelson Budny

Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, jaelsonbudny@gmail.com

Maurício Thomas

Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil, mauriciothomas123@hotmail.com

RESUMO: Apresenta os resultados da estabilização química realizada com a utilização de cimento Portland IV como agente das modificações de um solo laterítico, visando sua adequação para o uso como camada de pavimentação. Assim, avaliou-se o efeito da variação da umidade e energia de compactação na resistência à compressão simples. Como parâmetro para esta adequação, adotou-se a normativa NBR 12253/92, que estabelece as condições de exigência mínima para o solo-cimento. A técnica consiste na escolha do menor teor de cimento com o qual a mistura, após 7 dias de cura, atinge uma resistência à compressão simples de valor igual ou superior à 2,1 MPa. A estabilização química apresenta-se como um método de grande serventia na construção rodoviária, sob um ponto de vista técnico e econômico. Sabe-se ainda que o solo, in situ, dificilmente se encontra na umidade ótima de compactação. Isto denota a importância da verificação dos efeitos da variação da umidade de compactação quanto à resistência a compressão. O solo foi caracterizado através dos ensaios de granulometria, sedimentação, massa específica e limites de Atterberg. Também foram classificadas em 3 sistemas de classificação rodoviária: SUCS, TRB E MCT. Com base na classificação do solo, adotou-se um teor de 10% de cimento sugerido para a mistura solo-cimento, conforme descreve a NBR 12253/92. Foi realizado o ensaio de mini-proctor para amostras de solo sem nenhuma adição (referência) e da mistura solo-cimento. O ensaio consiste na aplicação de 5 golpes de cada lado do corpo-de-prova (CP) em apenas uma camada com o soquete leve, com o objetivo de reproduzir as condições próximas da energia normal. O número de golpes foi fixado para possibilitar a obtenção das curvas de compactação e, assim, se obter a umidade ótima de compactação. Após a determinação das umidades ótimas, foram moldadas CPs com variações de umidade e massa específica para o ensaio de compressão axial simples. Os CPs para o ensaio de compressão foram moldadas em CPs de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e a moldagem se deu de forma estática, com uso de um macaco hidráulico e sistema de duplo embolo. As idades de cura foram de 7, 28 e 54 dias. O total de CPs foi de 55 com dimensões 5x10 cm, sendo utilizados 3 CPs para cada idade de ensaio. O rompimento foi realizado através de uma prensa hidráulica. Após a análise dos rompimentos, concluiu-se que as amostras de solo-cimento tiveram melhor desempenho registrado quando preparadas com o uso da umidade ótima de compactação e massa específica seca máxima. A dosagem utilizando o teor de 10% de cimento, aos 7 dias, obteve uma resistência igual à 2,22 MPa que supera o exigido em norma. Com a diminuição da umidade, observou-se redução nos valores de resistência à compressão quanto maior fosse a redução da umidade utilizada na mistura. As variações de umidade e energia de compactação impostas nos ensaios das misturas de solo-cimento mostraram-se ineficazes quanto à utilização como

base para pavimentação, embora apresentando ganhos consideráveis de resistência à compressão simples em alguns cenários de misturas estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Lateríticos, Solo-cimento, MCT, Ensaio de Compressão Simples, Estabilização Química.

1 INTRODUÇÃO

Os solos são considerados na engenharia como materiais de construção e sustentação das obras. No caso de rodovias, estão presentes nas camadas estruturais do pavimento como subleito e base. Para isto, devem apresentar certas propriedades que confirmam estabilidade e resistência mecânica aos esforços e carregamentos aos quais serão submetidos ao longo da vida útil da estrada (AZEVEDO et al, 1998).

Em um levantamento realizado em 2010 pelo DNIT, foi constatado que, do total de 1,5 milhões de quilômetros de estradas brasileiras, somente 212 mil quilômetros, ou seja, 13% das estradas, eram pavimentadas. Visto o cenário preocupante no qual o Brasil está inserido quanto a infraestrutura de suas rodovias considerando a totalidade das obras viárias que necessitam de reparo ou implementação, se faz necessário a pesquisa de novos métodos e materiais alternativos que tenham serventia na construção rodoviária, sob um ponto de vista técnico e econômico.

Partindo deste propósito, a estabilização química com uso de cimento é uma das técnicas mais utilizadas para a adequação de materiais que não atendam as especificações de projeto para uso rodoviário.

A NBR 12253/92 estabelece os procedimentos para a dosagem do solo-cimento para emprego como camada de pavimento, fixando as condições de exigência para a determinação da quantidade de cimento Portland capaz de estabilizar solos que se enquadrem nos requisitos que também são estabelecidos nesta norma. De maneira sucinta, a técnica consiste na escolha do menor teor de cimento com o qual a mistura, depois de 7 dias de cura, atinge uma resistência à compressão simples de valor igual ou superior à 2,1 MPa.

O objetivo principal desta pesquisa foi de

avaliar o efeito da variação da umidade de compactação na resistência à compressão simples de solos estabilizados com cimento, mensurando também os efeitos relacionados à variação da energia de compactação no ensaio.

Para a pesquisa foi utilizado um solo argiloso de características lateríticas oriundo da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, do município de Cândido Godói.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização das Amostras

A caracterização do solo foi realizada através dos ensaios de granulometria, sedimentação, massa específica e limites de Atterberg. Para isso e com base na NBR 6457/86, foi efetuado a preparação das amostras com a execução do desmanche dos torrões, com o cuidado de não haver quebra de grãos, e a homogeneização da amostra para que esta fosse seca ao ar livre, até próximo a umidade higroscópica.

As amostras de solo, devidamente preparadas, tiveram apenas que passar pelo processo de peneiramento fino e de sedimentação devido a dimensão de seus grãos. O peneiramento e a sedimentação foram realizadas, baseando-se no que prescreve à estes ensaios, a NBR 7181/84 – Solo: Análise Granulométrica.

O ensaio para a determinação da massa específica dos sólidos tem suas diretrizes estabelecidas pela NBR 6508/84 – Determinação da massa específica. Consiste em preparar cerca de 250 g do solo de acordo com a NBR 6457/86, adotando-se destes cerca de 50 g, pois o ensaio é realizado num picnômetro de 500 cm³, e imergindo-o totalmente em água destilada durante 12 horas. Com o restante do material determina-se a umidade do solo.

A determinação dos limites de liquidez respeitou a NBR 6459/84 Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Adicionou-se água destilada aos poucos nas amostras já preparadas, amassando-as continuamente com o uso de uma espátula até que se obtenha uma massa homogênea e com consistência para que sejam necessários em torno de 25 golpes para o fechamento da ranhura. Depois de homogeneizado, o material foi transferido para o Aparelho de Casagrande moldando-o de forma que se obtenha uma espessura central de 1 cm e feita uma ranhura central.

O ensaio do limite de plasticidade é normalizado pela NBR 7180 e consiste na obtenção do menor teor de umidade necessário para conseguir moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo em uma superfície plana (geralmente vidro) com a palma da mão.

2.2 Classificação Rodoviária

A classificação tem como objetivo estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema (PINTO, 2011).

O solo foi classificado em 3 consagrados sistemas de classificação rodoviário – Sistema Unificado (SUCS), Transportation Research Board (TRB) e Miniatura Compactado Tropical (MCT) – e ocorreu conforme as considerações relativas as características do solo que o sistema adota como referência. Para isso, se fez uso dos ábacos e tabelas relativos a cada sistema.

2.3 Dosagem do Solo-cimento

A dosagem do solo-cimento é regida pela NBR 12253/92 Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. A norma determina que somente após a caracterização das amostras e o atendimento às suas exigências, os solos poderão ser classificados conforme ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. A classificação do solo pelo Sistema ASTM é realizada com base na análise da granulometria, limite de liquidez, índice de liquidez e o índice de grupo das amostras e, assim, foi estabelecido um valor de

10% de cimento em relação a quantia de solo usada nas moldagens.

2.4 Ensaio de Mini-Proctor

O processo realizado foi aperfeiçoado por Nogami & Villibor afim de agilizar a obtenção de resultados e também para que houvesse um melhor aproveitamento do material devido a necessidade de menos material para o mesmo, através de uma sistemática simplificada de ensaios que envolve a compactação de CPs de dimensões reduzidas (diâmetro de 5 cm), isto é, o ensaio de Mini-Proctor. Essa técnica tem como base o princípio desenvolvido para a determinação do MCV (Moisture Condition Value) que foi criado por Parsons em 1976 (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

Aplicam-se 5 golpes de cada lado do CPs em apenas uma camada com o soquete pesado, com o objetivo de reproduzir as condições próximas da energia Normal (ASTM D-698). O número de golpes foi fixado para possibilitar a obtenção das curvas de compactação e, assim, se obter a umidade ótima de compactação. O ensaio é repetido para diferentes teores de umidades, determinando-se, para cada um deles, o peso específico aparente. Dispondo destes resultados, é possível traçar a curva de compactação.



Figura 1 – Ensaio Mini Proctor

Assim, foram realizados ensaios para amostra de solo sem qualquer tipo de adição, tomado como referência, e para uma mistura de solo-cimento 10%. As curvas de compactação de ambas as misturas podem ser observadas nas figuras a seguir.

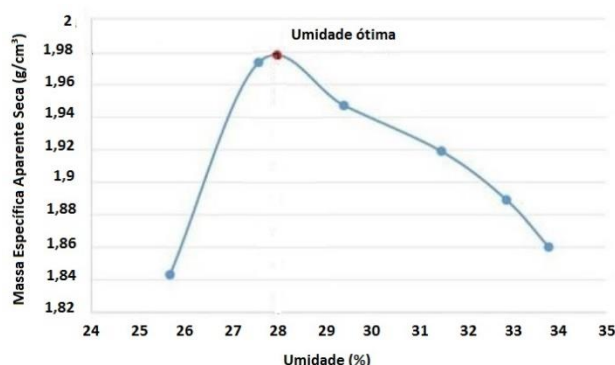


Figura 2 – Curva de compactação do solo

Assim, a umidade ótima do solo apresentou o valor de 28% e a massa específica de 1,976 g/cm³. Este resultado confirma a tendência estabelecida por Pinto (2002) no comparativo de solos típicos brasileiros, onde o mesmo descreve que, em geral, solos argilosos apresentam valores de umidade ótima entre 25 a 30% com sua respectiva massa específica podendo variar de 1,4 a 1,5 g/cm³.

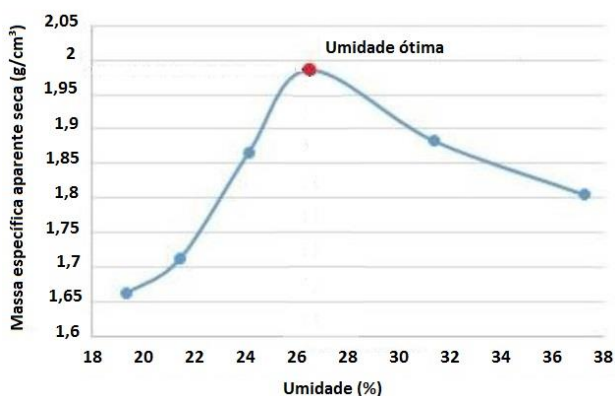


Figura 3 – Curva de compactação Solo-Cimento

Comparando com o resultado de 28% obtido no item 4.5.1, a mistura de solo+cimento apresentou uma redução no valor da umidade ótima de 1,5%, isto é, 26,5%. Em contra partida, não houve alteração significativa no valor da massa específica, mantendo-se em 1,985 g/cm³.

2.5 Misturas e Dosagens

As misturas e dosagens dos CPs, que foram submetidos ao ensaio mecânico de compressão axial, foram realizadas com base nos resultados obtidos no ensaio de mini-proctor. Através das curvas de compactação obtidas e, considerando o teor de umidade natural do solo no dia da moldagem das amostras, foram produzidos as amostras.

Algumas das misturas realizadas para esta pesquisa tiveram redução de 1,5% e 3,5% do valor da umidade ótima de compactação e também na massa específica em cada caso. As misturas consideradas foram:

- Solo (referência);
- Solo-10% Cimento;
- Solo-Cimento (umidade ótima - 1,5%);
- Solo-Cimento (umidade ótima - 3,5%);
- Solo-Cimento (umidade ótima - 1,5% e $\gamma = 1,985 \text{ g/cm}^3$);
- Solo-Cimento (umidade ótima - 3,5% e $\gamma = 1,985 \text{ g/cm}^3$).

2.6 Moldagem e Cura

As amostras para o ensaio de compressão foram moldadas em CPs de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Com o solo disposto em bandeja metálica e fazendo uso de uma proveta de vidro, adicionou-se água destilada conforme o estabelecido nos ensaios de mini-proctor para obtenção da umidade ótima de moldagem, de forma gradativa e revolvendo continuamente o material para a sua uniformização. Após a completa homogeneização do material, foi realizada a moldagem das amostras.

A moldagem se deu de forma estática, com uso de um macaco hidráulico e sistema de duplo embolo, em que a amostra de solo é colocada dentro do molde e compactada por prensagem até atingir a altura desejada. Os CPs foram enrolados em papel filme e receberam uma camada de parafina para que não houvesse perda de sua umidade durante o período de cura.



Figura 4 – Corpos de Prova

As idades de cura das dos CPs foram de 7, 28 e 54 dias. Realizaram-se estes procedimentos tanto para os CPs de solo de referência quanto para a mistura de solo+cimento. O total de amostras preparadas foi de 55 CPs de dimensões 5x10 cm,

sendo utilizadas 3 amostras para cada idade de ensaio.

A influência da umidade na compactação e resistência à compressão axial dos CPs de solo com adição de 10% de cimento é um dos pontos chaves desta pesquisa. Assim, como já antes mencionado, foram moldados CPs com variação de umidade (utilizando valores localizados no ramo seco da reta da curva de compactação do solo) e também de massa específica. Normalmente se opta por uma curva de compactação considerando o teor de umidade ótimo para que seja realizada uma aproximação do que se ocorre em campo, onde se usa a umidade ótima, com uma variação aceitável de $\pm 2\%$, em compactações de base e sub-bases de solos argilosos lateríticos, por exemplo. Contudo, Rezende (2003) e Nogami & Vilibor (1995), expressam que o solo in situ dificilmente se encontra na umidade ótima de compactação. Isto denota a importância da verificação dos efeitos da variação da umidade de compactação em pontos de umidades, neste caso, inferiores a ótima.

2.7 Ensaio de Compressão Simples

Para a realização dos ensaios de compressão as amostras foram preparadas conforme a NBR 6457/86. O rompimento dos CPs foi realizado com a utilização da prensa da marca EMIC, modelo DL 20000, que dispõe de uma célula de carga de 200 kN e instrumentação eletrônica do software TESC que gera, a cada 0,1 segundos, os valores do deslocamento e força aplicada na amostra. A velocidade do ensaio foi de 1 mm/min.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentadas a análise e discussão dos resultados encontrados durante o desenvolvimento das atividades de pesquisa das amostras ensaiadas.

3.1 Granulometria

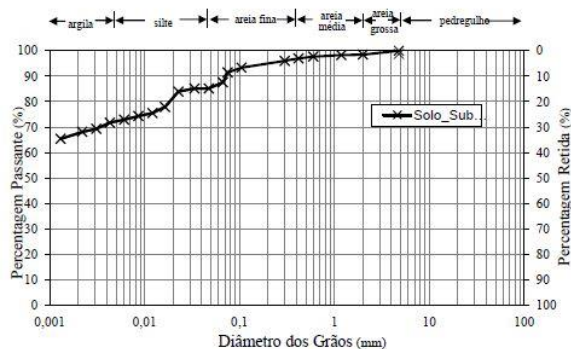


Figura 5 – Curva granulométrica

O solo apresenta em sua composição granulométrica, conforme exposto no gráfico 1:

- 73,01% de argila;
- 13,44% de silte;
- 11,83% de areia fina;
- 1,46% de areia média;
- 0,26% de areia grossa;
- 1,28% de pedregulho.

3.2 Limites de Atterberg

3.2.1 Limite de liquidez (LL)

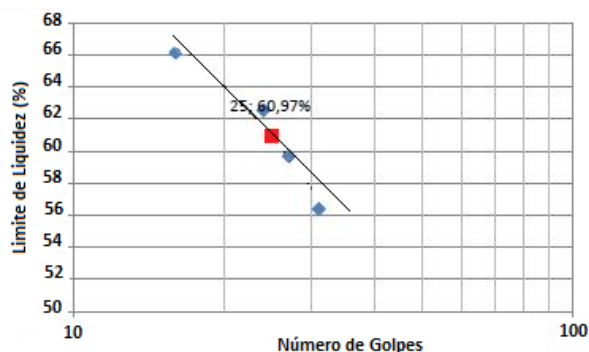


Figura 6 – Limite de Liquidez

Percebe-se, pelo gráfico 2, que o LL tem o valor de 60,97%, que é um valor bem elevado de até quando comparado com solos de comportamentos semelhantes, entre os quais podemos citar o solos basálticos ($\approx 45\%$) e lateríticos de características arenosa ($\approx 43\%$).

3.2.2 Limite de plasticidade

O solo apresentou um limite de plasticidade igual a 42,09%. Este valor indica um comportamento plástico do solo.

3.2.3 Índice de plasticidade (IP)

O solo apresentou um IP igual a 18,88%. Em sua pesquisa, Cancian (2012), utilizou de misturas de solo-cimento oriundas da Bacia do Paraná e constatou um Índice de Plasticidade (IP) de 7%, constatando assim, que o solo apresenta baixa plasticidade. Oposto a esses resultados, o solo de Cândido Godói apresenta elevada plasticidade e inadequação para uso como base de pavimentos em solo-cimento, segundo os valores limites de referência, do DNIT 143/2010 ES.

3.3 Massa específica dos grãos do solo (γ)

Para a determinação da massa específica dos grãos do solo, cujo o mesmo apresentou umidade natural de 5,52%, foram realizados dois ensaios onde a amostra 1 apresentou massa específica de 2,715 g/cm³ e, a amostra 2, apresentou um valor de 2,687 g/cm³. A média da massa específica para os grãos foi de 2,701 g/cm³ e a dispersão dos resultados foi de 0,028 g/cm³.

3.4 Classificação do Solo

Através do Sistema Unificado (SUCS), o solo foi classificado como uma Argila Orgânica de alta plasticidade. O solo apresenta elevados valores de LL e IP. Sendo assim, na classificação TRB o solo foi considerado Silto-Argiloso pertencente ao grupo A-7.

Por fim, pelo Sistema MCT, o solo foi classificado como argiloso de comportamento laterítico (LG'). Como já dito, tal classificação é obtida através de uma sistemática simplificada de ensaios para as obtenções dos parâmetros P_i (Perda por imersão) que foi considerada, c' (que é a inclinação da reta que passa pelo ponto de Mini-MCV = 10, interpolada entre os trechos retos das curvas mais próximas), d' (inclinação, multiplicada por 10³, do ramo seco da curva de compactação correspondente a 10 golpes) e e' , obtido através da equação 1.

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (1)$$

Os valores encontrados para os parâmetros citados podem ser observados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros classificatórios MCT

Parâmetros da classificação MCT			
P_i (%)	CP1	CP2	CP3
	64,62	87,39	108,74
c'	1,99		
d'	65,2		
e'	0,67		

A figura 7 traz a determinação da perda por imersão.

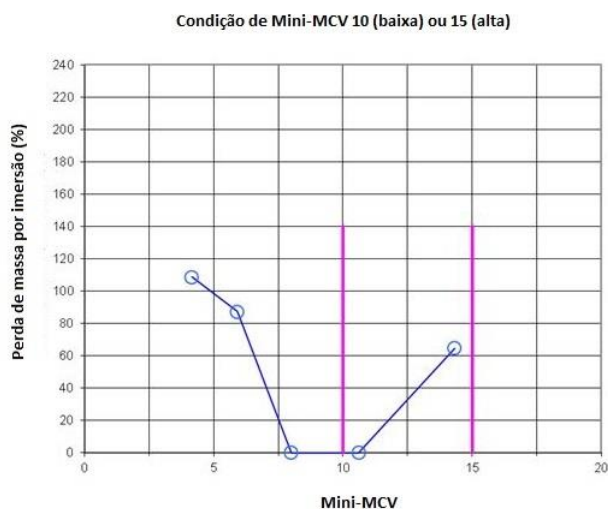


Figura 7 – Determinação da perda por imersão

3.5 Ensaio de Compressão Simples

Após os dias de cura das amostras (7, 28 e 54 dias) foram realizados os rompimentos os CPs de cada uma das misturas. As tensões médias para cada uma das misturas e para cada idade são apresentadas nos gráficos a seguir.

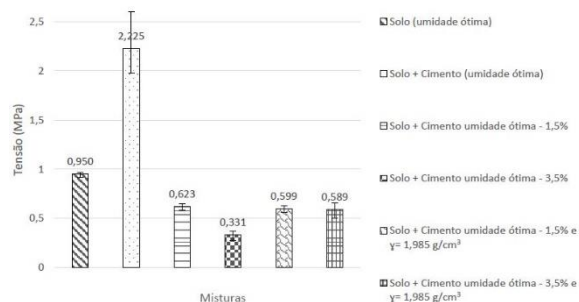


Figura 8 – Tensões médias das misturas aos 7 dias

A amostra de Solo (referência) apresentou uma resistência média de 0,95 MPa que está dentro do esperado para o tipo de solo com base na literatura disponível. Já a mistura solo-cimento moldada com uso da umidade ótima e γ_{max} superou a marca de 2,1 MPa que serve como

parâmetro mínimo para utilização do solo-cimento na pavimentação.

As misturas que tiveram redução na umidade de compactação apresentaram deficiência na hidratação do cimento e, assim, na menor cimentação do solo-cimento. Observa-se tendência na diminuição da resistência quanto menor for o teor de umidade utilizado para a moldagem das amostras.

Nas misturas com redução na umidade e $\gamma_{\max}$ também houve uma queda nos valores de resistência média porém menores do que as amostras que foram moldadas com as massas específicas referentes as umidades de 25% e 23%.

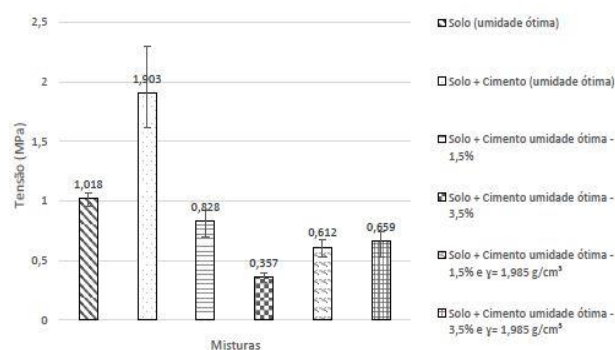


Figura 9 – Tensões médias das misturas aos 28 dias

O solo (referência) apresentou uma sutil evolução no valor médio da resistência aos 28 dias. Já a mistura de solo-cimento com umidade ótima e $\gamma_{\max}$ teve uma queda no valor médio da resistência. Salienta-se que uma das amostras mostrou acréscimo de resistência, o que pode ser observado através da barra de erro.

As amostras submetidas a redução de umidade apresentaram pouca variação nos seus valores e, essa foi ainda menor para as amostras de solo-cimento (umidade ótima – 3,5%). Isso denota que quanto menores os valores de umidade do ramo seco, menores serão as resistências desenvolvidas no solo-cimento.

Não apresentam variações significativas as amostras com redução na umidade de 1,5% e $\gamma_{\max}$. Contudo, destaca-se o ganho de resistência que as amostras com redução de umidade de 3,5% obtiveram. Embora esta evolução não seja significativa quando comparada ao objetivo de 2,1 MPa para seu emprego em pavimentos, ela demonstra que a utilização da massa específica máxima no momento da moldagem atribui ao solo ganho de resistência mesmo em condições

precárias de umidade.

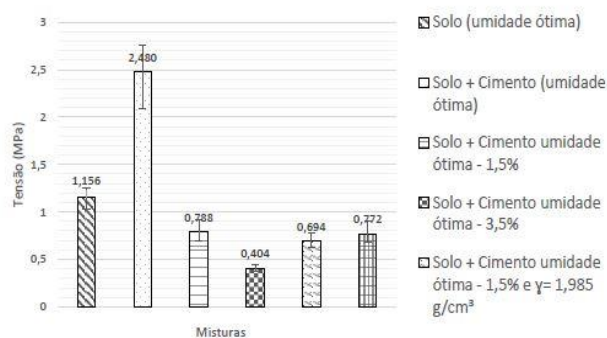


Figura 10 – Tensões médias das misturas aos 56 dias

Aos 56 dias, o solo (referência) manteve a tendência ao ganho de resistência e o solo-cimento com umidade ótima atinge seu maior valor médio durante o período de cura (2,480 MPa).

Reafirmando o que ocorreu nas idades anteriores, a resistência das amostras de misturas com redução da umidade mantiveram seus baixos valores de resistência quanto menor fosse a umidade utilizada para moldagem.

As amostras com redução da umidade e $\gamma_{\max}$ apresentam valores de resistência praticamente iguais as anteriores. Isso se deve ao fato de que a utilização da massa específica máxima reduz significativamente o índice de vazios e produz modificações no arranjo estrutural do solo.

4 CONCLUSÃO

As amostras de solo-cimento tiveram seu melhor desempenho registrado quando preparadas com a utilização da umidade ótima de compactação e massa específica seca máxima ($\gamma_{\max}$). Ao final do tempo de cura (56 dias) apresentaram um acréscimo de 114,53 % no valor da tensão média comparadas com as amostras apenas de solo. O aumento da resistência à compressão foi registrado em todas as idades, mesmo aos 28 dias onde, inesperadamente, a resistência sofreu um decréscimo.

Com a diminuição do teor de umidade em 1,5% e 3,5% observou-se uma grande redução nos valores de resistência à compressão simples das amostras quanto maior fosse a redução da umidade utilizada na mistura. Embora, em alguns casos, a redução da umidade possa favorecer ao ligeiro ganho de resistência, as

amostras aqui evidenciaram a deficiência na hidratação do cimento e, por isso, na liberação do hidróxido de cálcio que é fundamental para os ganhos de resistência do cimento Portland IV pois reage com a pozolana presente. As misturas apresentaram também uma tendência bem clara de queda nos valores de resistência à compressão simples conforme há redução da umidade.

Com a redução do teor de umidade da mistura em 1,5% e 3,5%, porém mantendo-se a $\gamma_{\max}$, assim como no caso anterior as amostras apresentaram um decréscimo no valor da resistência à compressão, dessa vez de menor escala, que pode ser justificada pela utilização do $\gamma_{\max}$ na compactação que modifica o arranjo estrutural das amostras devido a energia de compactação imposta.

Os resultados denotam a ineficiência da mistura solo-cimento quando submetidas à moldagens com uso de valores relativos ao ramo seco da curva de compactação do material. Porém, na compactação realizada em campo, o solo dificilmente se encontra em sua condição de umidade ótima, podendo apresentar valores do ramo seco ou do ramo úmido. Essa variação da umidade traz consequências aos valores de resistência de um solo e, por isso, há grande importância quanto a verificação dos seus efeitos in situ.

É importante ressaltar que, em contrapartida, houve um acréscimo considerável nas resistências obtidas quando utilizado o valor da massa específica seca máxima, principalmente no caso da redução de 1,5% onde, durante a compactação, a repulsão das partículas aumenta (devido a maior umidade) e estas são reposicionadas de forma mais dispersa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). *NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- _____. (1984) *NBR 6459: Determinação do limite de liquidez*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- _____. (1984) *NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- _____. (1984) *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- _____. (1995) *NBR 12253: Solo-Cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento*.

- ABNT, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ASTM D 3082 (1998) *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 698 (1998) *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. American Society for Testing and Materials.
- Azevedo, A. L. C., Oliveira, A. Jr., Pedrosa, R. A. & Ramalho, R. W. (1998) *Estabilização de solos com adição de cal*. Dissertação de pós-graduação. Belo Horizonte, IPC/PUC. 78p.
- Cancian, M.A. (2012) *Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná*. Londrina, PR, Brasil.
- Nogami, J.S. & Villibor, D.F. (1981) *Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias*. Simpósio brasileiro de solos tropicais em engenharia. COPPE/UFRI, CNPq, ABMS. Rio de Janeiro, RJ Brasil.
- Nogami, J. S. & Villibor, D. F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Ed. Vilibor, São Paulo, 213 p, Brasil.
- Pinto, C. S. (2011) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição*. Oficina de Textos. São Paulo, SP, Brasil.
- Rezende, L.R. (2003) *Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis*. Tese de doutorado, Publicação G.TD 014A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 360p.