

# ESTABILIZAÇÃO DO SOLO COM ADIÇÃO DE CIMENTO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO EM VIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

Anderson Lima Oliveira (UFMA), E-mail: lima.anderson@discente.ufma.br

Rodrigo da Cruz de Araújo (UFMA), E-mail: araujo.rodrigo@ufma.br

**Resumo:** Grande parte do deslocamento de pessoas e mercadorias realizado no Brasil é feito por rodovias e apesar da maior parte da carga que abastece o país ser transportada por estradas e rodovias, pouquíssimas delas estão pavimentadas. A rede não pavimentada, em 2019, representava cerca de 78,5% de um total de 1,72 milhão de quilômetros quadrados. Alguns levantamentos realizados pela Confederação Nacional do Transporte – CNT consideram a maioria das rodovias brasileiras sob baixas condições de rolamento, deslocamento, conforto e segurança de seus usuários, incluindo muitos trechos concessionados da rede federal. A aplicação de revestimentos primários em projetos de pavimentação já é uma solução normatizada no Brasil, porém ainda não é devidamente executada. O processo construtivo requer estudos do comportamento do solo empregado, uma vez que, o custo elevado deve-se, principalmente, ao transporte desses materiais que, por vezes, são de locais distantes da sua aplicação. Portanto, a pesquisa realizada com um solo do tipo silto-argiloso com fração de pedregulho, buscou avaliar seus resultados nos ensaios de Compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR) no estado puro. Em síntese a pesquisa trouxe resultados substanciais para a área de pavimentação, sustentando que mesmo em solos argilosos o uso de aditivo promove um acréscimo considerável em sua resistência. Contudo, para este tipo solos, o uso de cimento como aditivo torna-se inexecutável, visto que este material usualmente é indicado para solos mais arenosos, no qual usar-se-ia menor quantidade de aditivo, tornando assim a combinação mais lucrativa em relação ao custo-benefício.

**Palavras-chave:** Solo. Pavimentação. Cimento.

## SOIL STABILIZATION WITH THE ADDITION OF CEMENT FOR PAVING PURPOSES ON LOW TRAFFIC ROUTES

**Abstract:** A large part of the movement of people and goods made in Brazil is done by highways, and although most of the cargo that supplies the country is transported by roads and highways, very few of them are paved. The unpaved network, in 2019, represented about 78.5% of a total of 1.72 million kilometers. Some surveys conducted by the National Confederation of Transport - CNT have considered most Brazilian highways of poor conditions for rolling, displacement, comfort and safety of its users, including many concession stretches of the federal network. The application of primary coatings in paving projects is already a standardized solution in Brazil, but it is still not properly executed. The construction process requires studies of the behavior of the soil used, since the high cost is mainly due to the transportation of these materials, which are sometimes from places far away from their application. Therefore, the research conducted with a silty-clayey soil with gravel fraction, sought to evaluate its results in compaction and California Bearing Index (CBR) tests in the pure state. In summary, the research brought substantial results for the paving area, sustaining that even in clayey soils the use of additives promotes a considerable increase in strength. However, for this type of soil, the use of cement as an additive becomes unfeasible, since this material is usually indicated for more sandy soils, in which less additive would be used, thus making the combination more profitable in relation to cost-benefit.

**Keywords:** Soil. Paving. Cement.

### 1. Introdução

Grande parte do transporte de carga realizado no Brasil utiliza o modal rodoviário. Entre os modais de transportes, o rodoviário é o que apresenta maior valor de produção e maior faturamento. De acordo com dados da Pesquisa Anual de Serviços (IBGE, 2018), esse segmento faturou R\$ 256 bilhões em 2017, o que representou 52% do faturamento do setor.

A extensão da malha rodoviária ficou estável em 1,72 milhão de quilômetros, segundo

dados da Pesquisa de Rodovias (CNT, 2019). A malha pavimentada, que antes representava 12,2%, em 2015, cresceu 0,2% entre 2015 e 2019. Quando comparamos a outros países, o Brasil fica atrás em números de rodovias pavimentadas. Diante dos dados recolhidos pela Pesquisa de Rodovias (CNT, 2019), o número de rodovias pavimentadas no Brasil ainda é muito pequeno, representando apenas 12,4% do total, enquanto o número de rodovias não pavimentadas é absurdamente maior.

Uma infraestrutura de transporte eficiente está diretamente ligada ao desenvolvimento socioeconômico de um país. Os pavimentos são sistemas de camadas sobrepostas, cada qual com espessura finita e com determinado material, construídas e projetadas de forma rentável para resistirem à solicitação de tráfego e às variações climáticas, de maneira a dar ao usuário conforto ao rolamento e segurança (FIESP, 2017).

As camadas estruturais de um pavimento são classificadas como granulares e solos estabilizados quimicamente ou cimentados ou ainda materiais asfálticos, de acordo com seu comportamento frente aos esforços (BERNUCCI et al., 2008). A estabilização de solos melhora as propriedades mecânicas dos materiais geotécnicos empregados em pavimentos, tornando-os mais resistentes e menos compressíveis. (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Oliveira (2011), a adição de cimento ao solo reduz a deformação plástica e melhora a distribuição granulométrica tornando o solo mais resistente. Não é de hoje que a utilização de cimento é uma alternativa para estabilização de solos. Conforme Oliveira (2011), classifica-se tradicionalmente a adição do cimento ao solo como representativa de duas condições: solo melhorado com cimento e solo-cimento.

É importante lembrar que o baixo índice de pavimentação das rodovias deve-se, principalmente, ao custo elevado dos materiais empregados e ao transporte desses materiais. A procura por materiais de melhor qualidade oriundos de locais distantes da sua aplicação onera a obra e geram impactos ambientais. Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo principal avaliar o comportamento mecânico de um tipo de solo da região de São Luís após adição de cimento e a possível utilização do material estabilizado como camada de pavimento de baixo volume de tráfego.

## **2. Metodologia**

A pesquisa ocorreu por meio de um estudo experimental que buscou avaliar se o solo empregado atende aos requisitos para aplicação em pavimentos rodoviários. A realização do experimento baseou-se no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) e nos métodos de ensaios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Dessa forma, para avaliar o comportamento do solo, foram realizados ensaios de compactação, Resistência à Compressão (RCS) e Índice de Suporte Califórnia (ISC), em que se determinam índices ou resistências que experienciam o comportamento do solo sob condições de tráfego. Ainda segundo o Manual de Pavimentação, para camadas de base e sub-base de solo-cimento, o teor de cimento adotado usualmente é da ordem de 6% a 10%. Portanto, foram adotados dois teores: 6% e 8%.

O material foi identificado (tátil-visual) como solo argiloso com fração de agregado graúdo retirado de uma jazida nas adjacências da Universidade Federal do Maranhão – Campus Bacanga, bairro Sá Viana, conforme Figura 1. A escolha do local de coleta levou em consideração as condições de tráfego da região e o estado de conservação das vias. As coordenadas geográficas que cortam a área em estudo são: 2° 33'33" S e 44° 18' 14" W.

Para a caracterização física do solo estudado na condição natural, foram realizados

ensaios de granulometria e limites de Atterberg. Com base na análise dos ensaios, foi realizada a classificação do solo conforme TRB (Transportation Research Board).

### **2.1 - Análise granulométrica conforme NBR 7181/2016**

Para a análise granulométrica por peneiramento a amostra foi quarteada até se obter o peso ideal (aproximadamente 1000g) e destorroada a amostra com o auxílio de almofariz e mão de gral. A amostra foi passada nas peneiras: 16, 30, 40, 50, 100 e 200 para a determinação do peneiramento fino e novamente quarteada e determinada a umidade média após secagem em estufa a 110 graus por 24 horas. O agregado graúdo que ficou retido na peneira nº 10 (2,00 mm) foi lavado e seco em estufa por 24 horas, com temperatura constante de 110°C e passado nas peneiras: 1", ¾", ½", 3/8", nº 4 e nº 10, para a verificação do peneiramento grosso.

### **2.2 - Limites de Atterberg conforme NBR 6459/2016 e NBR 7180/2016**

O Limite de Liquidez foi realizado em um aparelho Casagrande normalizado pela NBR 6459/2016, conforme procedimento preconizado pela mesma norma. Foi obtido na reta o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo. O Limite de Plasticidade refere-se ao teor de umidade em que o solo começa a trincar ao ser moldado um cilindro com 3mm de diâmetro (NBR 7180, 2016). Destes, define-se o Índice de Plasticidade (IP) do solo que define a zona em que o solo se encontra no estado plástico.

### **2.3 - Ensaio de Compactação (Proctor) conforme NBR 7182/2016**

O ensaio de compactação foi realizado nas amostras de solo e consistiu em se compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico em camadas sucessivas usando energia de compactação Intermediária, de acordo com as recomendações da NBR 7182/2016, para determinação do teor de umidade ótimo e massa específica aparente seca do solo. Logo após os ensaios de compactação do solo foi iniciada as moldagens dos corpos de prova com os teores de cimento descritos anteriormente e umidades, sendo utilizada como base a umidade ótima resultante do ensaio de compactação de 19,47% e outro valor auxiliar (16,47%).

### **2.4 - Ensaio CBR ou Índice de Suporte Califórnia (ISC) conforme método NBR 9895/2016**

O Ensaio de ISC consiste na relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em um corpo de prova padrão (DNIT, 2006) e é utilizado como parâmetro de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Foram moldados corpos de prova com teor de umidade ótimo indicado pelo ensaio de compactação (PROCTOR). Após a confecção do molde, são colocados anéis de contrapeso sobre este para simular as cargas do pavimento. A resistência à penetração foi feita em uma prensa após os CPs ficarem 4 dias em imersão. No momento da imersão é feita a leitura do valor inicial da expansão e no 4º dia a leitura da expansão final. O ISC é relacionado a uma resistência padrão determinada para 2,54 e 5,08 mm de penetração.

### **2.5 - Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS)**

O ensaio consiste na aplicação de carga em apenas um eixo de forma compressiva em um corpo de prova. Os resultados do ensaio relacionam a distância entre as placas que comprimem o corpo de prova (deformação) em função da carga aplicada em função do tempo. Para o ensaio de resistência à compressão simples foram utilizadas as normas de referência para moldagem e compactação do solo.

### 3. Apresentação e Discussão dos Resultados

#### 3.1 Ensaios de caracterização e classificação

A caracterização prévia do solo pode evitar problemas na execução e desempenho do solo-cimento, sendo assim os resultados dos ensaios realizados para caracterização e classificação do solo foram: análise granulométrica, limites de Atterberg, Compactação, I.S.C, RCS e classificação do solo segundo método TRB.

##### a) Granulometria

Os resultados obtidos pelo ensaio de granulometria por peneiramento conforme NBR 7181/2016, estão apresentados na Tabela 1, que exibe a composição granulométrica, realizada por peneiramento, do solo utilizado e sua respectiva curva granulométrica está mostrada no gráfico (Figura 1).

Peneiramento						Umidade hidros cópica (w)			
						Nº cápsula	3	9	20
Ph #10 (g):	120,9	Ph #4 (g):	471,21	Ps +T +Água (g):	112,55	119,41	120,81		
Ps #10 (g):	113,73	Ps #4 (g):	443,26	Ps + Tara (g):	106,88	113,76	115,07		
Peneiras		Materia l retido	Material que passa (g)		% Passante	Tara (g):	12,31	18,19	18,3
Pol	mm		Parcial	Total		w (%):	5,996 %	5,912 %	5,932 %
1"	25,4	0		443,26	100,00	w média (%):	5,93%		
3/4 "	19,1	0		443,26	100,00	Percentagens			
1/2 "	12,5	23,83		419,43	94,62	Areia fina			
3/8 "	9,5	34,96		384,47	86,74	11,79			
4	4,8	67,56		316,91	71,50	Areia média			
10	2	55,79		261,12	58,91	3,83			
16	1,18	3,28	110,45		57,22	Areia grossa			
30	0,6	5,53	104,92		54,36	14,28			
40	0,42	1,89	103,03		53,39	Pedregulho			
50	0,25	3,6	99,43		51,53	28,50			
100	0,15	8,5	90,93		47,14	Passante #200 (silte e argila)			
200	0,075	10,74	80,19		41,60	41,60			

Tabela 1: Composição granulométrica.

Observando a curva granulométrica e sua composição, verificamos a ocorrência de cada fração dos grãos de solo, usando a escala da ABNT NBR 6502 (1995), como sendo um material composto por areia fina (11,79%), areia média (3,83%), areia grossa (14,28%), pedregulho (28,5%), e 41,6% de material passante (silte e argila) na peneira 200 (0,075 mm).

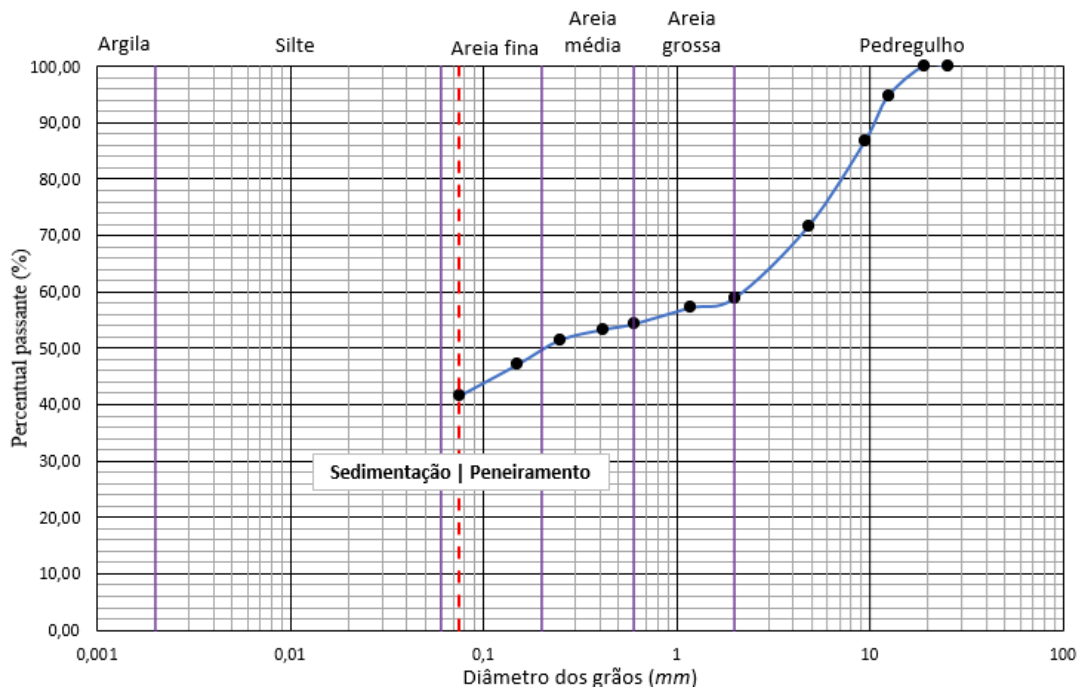


Figura 1: Curva granulométrica.

**Limites de Atterberg**

Por fim, também foram realizados os ensaios de limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade conforme estabelecidos pelos métodos NBR 6459/2016 e NBR 7180/2016, respectivamente. O gráfico (Figura 2) mostra o resultado do ensaio de limite de liquidez e a Tabela 2 apresenta os resultados dos limites de consistência do solo.

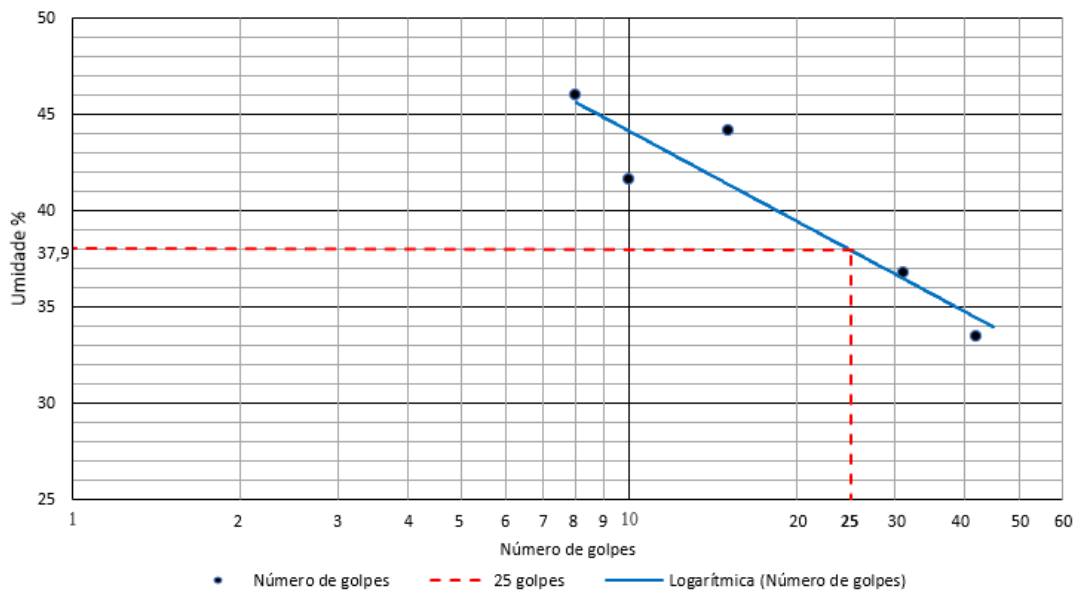


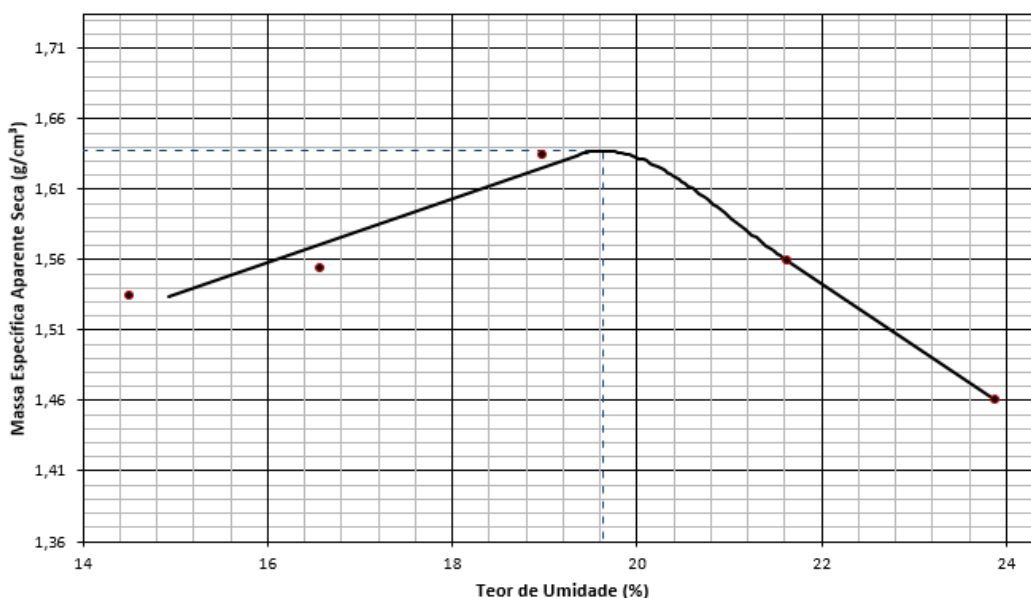
Figura 2: Limite de liquidez.

Com os ensaios de limites de Atterberg, foi possível determinar o limite de liquidez - LL, o limite de plasticidade - LP, e, através da diferença destes dois parâmetros, determinou-se o índice de plasticidade – IP, sendo está uma variável relevante na classificação de solos granulares finos. Dos valores obtidos para o limite de plasticidade, 30,0%, do limite de liquidez, 37,9% e do índice de plasticidade de 7,9%, é

possível afirmar que o solo utilizado tem plasticidade mediana.

### 3.2 Ensaio de Compactação

A compactação do material foi feita com energia intermediária (5 camadas de 26 golpes cada) e gerou uma curva característica que possibilitou mensurar a umidade ótima e forneceu o principal resultado para o prosseguimento dos experimentos desta pesquisa, que foram teor de umidade ótima ( $w_{ót}$ ): 19,47% e massa específica aparente seca máxima: 1,632 g/cm<sup>3</sup>. Com a umidade ótima encontrada, foi realizada a moldagem de um corpo de prova do ensaio CBR e encontrado o valor de sua resistência à penetração. Os valores da umidade ótima (19,47 %) e massa específica aparente seca máxima (1,632 g/cm<sup>3</sup>), foram obtidos através da realização da compactação cinco corpos de prova (pontos), por meio da mistura de solo e uma variação de teor de água e a curva de compactação conforme gráfico (Figura 3).



Resumo do Ensaio			
Massa Espec. Aparente Seca Máxima (g/cm³):	1,632	Umidade Ótima (%):	19,47
Energia:	Intermediária		

Figura 3: Curva de compactação do solo.

### 3.3 Ensaio CBR ou Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio foi realizado utilizando-se um corpo de prova moldado na umidade ótima de 19,47% obtida através do ensaio de compactação com energia intermediária conforme o método NBR 9985/2016. Após a moldagem, o CP foi deixado submerso por quatro dias, período após o qual mediu-se a expansão com valor máximo de 0,18%. O ensaio de CBR ou ISC é tido como um dos principais parâmetros para a determinação da viabilidade técnica de um solo ou mistura para fins de pavimentação.

Segundo a NBR 9895, para o CBR do material ensaiado deve-se adotar o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, a saber 12,58% (Tabela 2).

Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54	0,774	0,774	6,90	11,22
5,08	1,302	1,302	10,35	12,58

Tabela 2: Resultado do ensaio CBR ou ISC.

O resultado final foi apresentado conforme NBR 9895/2016 no mesmo gráfico da curva de compactação, foi plotado os valores de ISC, expansão e massa específica aparente seca obtidos utilizando a mesma escala como mostra o gráfico (Figura 4) a seguir.

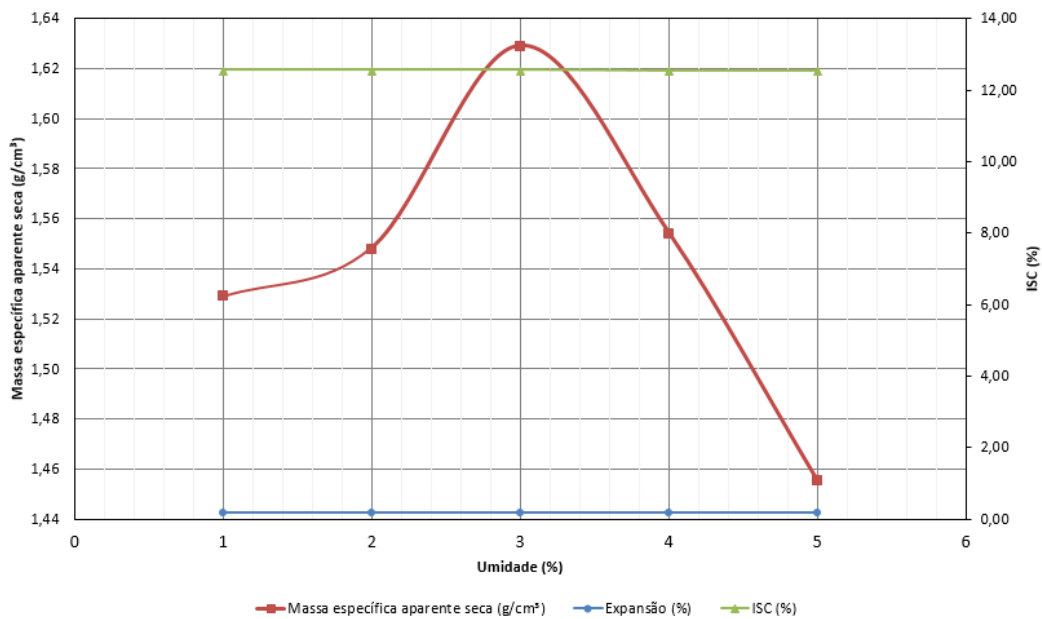


Figura 4: Correlação dos resultados.

### 3.4 Classificação Transportation Research Board – TRB, antigo (Highway Research Board - HRB)

Usando os dados sobre as características do solo através da granulometria e dos limites de consistência, foi possível classificar o solo segundo o sistema Transportation Research Board – TRB. O quadro 1 a seguir foi preenchido segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) para facilitar o entendimento do método.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS				
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6	
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7					
Granulometria - % passando na peneira												
Nº 10	58,91 %	<del>50 máx.</del>										
Nº 40	53,39 %	<del>30 máx.</del>	<del>30 máx.</del>	51 min.								
Nº 200	41,60 %	<del>15 máx.</del>	<del>25 máx.</del>	<del>10 máx.</del>	<del>35 máx.</del>	<del>35 máx.</del>	<del>35 máx.</del>	<del>35 máx.</del>	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:												
LL 37,90 %												
Limite de Liquidez				40 máx.	<del>41 mín.</del>	40 máx.	<del>41 mín.</del>	40 máx.	<del>41 mín.</del>	40 máx.	<del>41 mín.</del>	41 mín.
Índice de Plasticidade	<del>6 máx.</del>	<del>6 máx.</del>	NP	10 máx.	10 máx.	<del>11 mín.</del>	<del>11 mín.</del>	10 máx.	10 máx.	<del>11 mín.</del>	<del>11 mín.*</del>	
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau				

Quadro 1: Classificação TRB com resultado do solo.

Definições sobre a classificação TRB segundo Manual DNIT (2006):

Grupo A-4: o solo típico deste grupo é siltoso não plástico ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira nº 200. Inclui misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 8, as percentagens crescentes de material grosso, dando origem a valores decrescentes para os índices do grupo.

### 3.5 Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS)

Foram moldados para cada teor de cimento e umidade dois corpos de prova iguais em um cilindro de aço. O critério mais importante para o ensaio de RCS será a tensão mínima que o corpo de prova deverá resistir. Segundo norma DNIT 143/2010 – ES, esse valor mínimo é de 2,1 Megapascal (MPa) para resistência à compressão aos 7 dias. Tão importante quanto a tensão mínima para utilização em possíveis camadas do pavimento de solo-cimento é o teor de umidade que de acordo com a norma DNER 202/94.

As umidades de moldagem e após rompimento dos corpos de prova não devem diferir mais que 1% da umidade usada na confecção dos corpos de prova nem a massa específica aparente seca do corpo de prova deve diferir da massa aparente seca máxima mais que 30 g/cm<sup>3</sup>, caso isso ocorra este corpo de prova deverá ser descartado. A Tabela 3 resume as umidades de moldagem dos corpos de prova em cada combinação entre teor de cimento e água adicionados ao solo.



Combinação 01	Umidade de Moldagem
Cimento: 6% e Umidade: 16,47%	17,59%
Cimento: 6% e Umidade: 16,47%	17,65%
Cimento: 6% e Umidade: 19,47%	21,31%
Cimento: 6% e Umidade: 19,47%	21,13%
Combinação 02	Umidade de Moldagem
Cimento: 8% e Umidade: 16,47%	17,60%
Cimento: 8% e Umidade: 16,47%	18,10%
Cimento: 8% e Umidade: 19,47%	20,76%
Cimento: 8% e Umidade: 19,47%	21,11%

Tabela 3: Umidade dos corpos de prova na moldagem.

Conforme o gráfico (Figura 5), os resultados obtidos no rompimento da combinação 01: teor de umidade (16,47%) com adição de cimento de 6% e 8% não obteve resultados satisfatórios para mistura solo-cimento, pois todos os resultados ficaram abaixo do mínimo exigido pelo DNIT. Entretanto, conforme norma ES-P 11/05 do DER/PR os materiais que alcançarem valores superiores a 1,2 MPa e inferiores a 1,5 MPa no ensaio de RCS, só podem ser utilizados como sub-base, e aqueles que alcançarem valores a partir de 1,5 MPa podem ser usados para base.

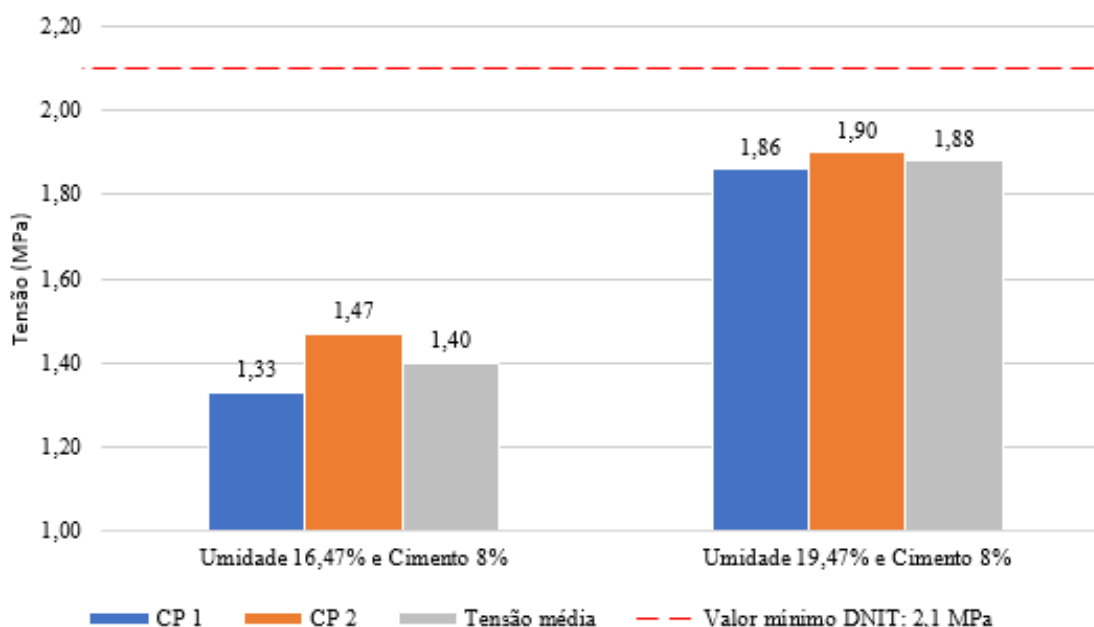


Figura 5: Valores de tensões para a combinação 01.

E por fim, o gráfico (Figura 6) mostra os resultados obtidos no rompimento da combinação 02: teor de umidade ótima (19,47%) com adição de cimento de 6% e 8%, rompidos. Nesta combinação verificou-se que na adição de 8% de cimento em ambos os

corpos de prova 1CP: 2,11 Mpa e 2 CP: 2,09 Mpa, alcançando média mínima recomendada pela Norma 143/2010 – DNIT para a resistência à compressão simples.

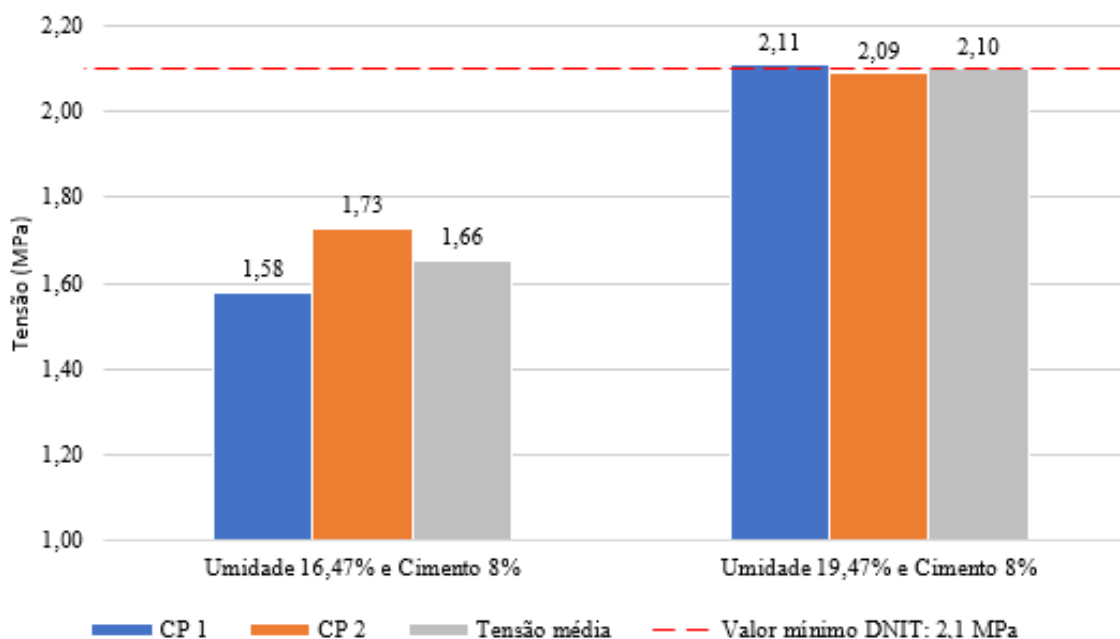


Figura 6: Valores de tensões para a combinação 02.

#### 4. Conclusões

Com base nos resultados dos ensaios de laboratório, bem como a verificação da influência dos parâmetros investigados (teor de umidade e adição de cimento), permitem resumir, dentro dos limites desta pesquisa, as seguintes conclusões:

a) Quanto à classificação e caracterização do solo

Para a microrregião em questão, o solo estudado foi classificado segundo método T.R.B como silto-argiloso, pertencente ao grupo A-4. Acerca do grau de compactação, utilizando Energia Intermediária, o material apresentou umidade ótima de 19,47%, com massa específica aparente seca de 1,632g/cm<sup>3</sup> e seus limites de consistência foram de: 37,9% (limite de liquidez), 30,0% (limite de plasticidade), resultando em um índice de plasticidade de 7,9% indicando solo medianamente plástico. O ensaio CBR resultou em um I.S.C de 12,58% com expansão de 0,18%. Quanto à caracterização dos solos, a curva granulométrica permitiu definir a distribuição das partículas dos materiais e composições, comprovou que se trata de um solo predominantemente siltoso composto por areia fina (11,79%), areia média (3,83%), areia grossa (14,28%), pedregulho (28,5%) e porcentagem passante na peneira #200 (41,60 %; argila e silte), foi classificado como um material bem graduado.

b) Quanto à influência da umidade e adição de cimento no ganho de resistência mecânica

Conclui-se que mantendo a massa específica seca no maior valor possível a variação do teor de umidade na mistura além de influenciar diretamente na resistência mecânica devido à alteração no arranjo estrutural do solo-cimento, influencia no tempo máximo para aplicação da mistura. Além disso, foi observada maior tensão no ponto da umidade ótima e com a massa específica seca no seu valor máximo. Durante a confecção dos corpos de prova em laboratório, foram adotados rigorosos controles de compactação e

de condições de cura, garantindo, assim, a qualidade dos resultados obtidos.

Em relação a variação da tensão versus teores de umidade, pôde-se verificar que a relação água/cimento tem grande influência no ganho de resistência dos corpos de prova na área desta pesquisa e apontam que os maiores valores de RCS, com teor de cimento de 8%, foram obtidos utilizando umidade de 16,47% e 19,47% (umidade ótima). Os valores de resistência aos 7 dias para todos os corpos de provas analisados apresentaram para a combinação de 6% de cimento e umidade de 19,47%, embora não tenha atingido o valor mínimo conforme norma, ganho de resistência maior (um acréscimo de 18,8% para o CP 1 e 17,7% para o CP 2) quando em comparação a combinação de 6% de cimento e teor de umidade de 16,47%. Por outro lado, com 8% de cimento e 19,47% de umidade o crescimento de resistência, quando comparado a combinação de 6% de cimento e umidade de 16,47%, foi menor, contudo, a resistência obtida foi a maior: 2,1 MPa na média. Uma possível explicação para essa interferência da umidade na mistura de solo-cimento é dada pela distribuição granulométrica do solo (quantidade relativa de partículas finas, médias e grossas) e que a quantidade de água possui ação direta no arranjo estrutural na compactação do solo-cimento e da maior hidratação do cimento e, conseqüentemente, maior cimentação da mistura, proporcionando ganhos de resistência mais expressivos.

No que diz respeito a variação da tensão versus teores de cimento, verificou-se que o teor de cimento influencia diretamente a resistência dos corpos de prova. Os valores de resistência aos 7 dias para todos os corpos de provas analisados apresentaram para a combinação de 8% de cimento e teor de umidade de 16,47%, um acréscimo de 39,85% para o CP 1 e 29,25% para o CP 2, quando em comparação a combinação de 6% de cimento e teor de umidade de 16,47%. Por outro lado, com 8% de cimento e 19,47% de umidade o crescimento de resistência, quando comparado a combinação de 6% de cimento e teor de umidade de 19,47%, foi menor contudo, apresentando valores máximos os CP moldados com o teor de umidade próximo ao ótimo (19,47%).

#### c) Viabilidade do solo para aplicação em vias de baixo volume de tráfego

Logo realizada análise dos dados referentes aos ensaios de caracterização e classificação, é seguro afirmar que o material em questão pode ser enquadrado no estudo de técnicas de estabilização (solo-cimento), pois apresenta resultados satisfatórios conforme DNIT que também define requisitos mínimos para solos empregados na construção de base rodoviária em solo-cimento.

Posto isso, é razoável deduzir que para execução de pavimentos em solo-cimento para vias de baixo volume de tráfego, o teor de umidade a ser dosado na mistura deve considerar, além dos resultados obtidos no ensaio de compactação, as perdas por evaporação e hidratação no período entre a homogeneização, espalhamento e compactação final, a fim de compensação das perdas de umidade.

Ainda que todos os corpos de provas tenham atingido resultados mais satisfatórios diante da norma ES-P 11/05 do DER/PR, é seguro seguir a norma 143/2010 DNIT visto que, além de mais criteriosa, esta é factual para todo o território nacional.

#### Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. *NBR 6459: solo: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. *NBR 6502: Rochas e solo*. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. *NBR 7180: Solo: determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. *NBR 7181: Solo: análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. *NBR 7182: Solo: ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. *NBR 9895: Solo: índice de suporte Califórnia*. Rio de Janeiro, 1987.

**BERNUCCI, L. B. et al.** *Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS/ABEDA, 2008.

**CANCIAN, M. A.** *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*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2013.

**CNT. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE.** *Pesquisa CNT de Rodovias 2019: relatório gerencial*. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2019.

**DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ - ES-P 11/05.** *Pavimentação: Solo-cimento e Solo Tratado com Cimento*. Paraná, 2005.

**DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.** *Manual de pavimentação*. Rio de Janeiro, 3 ed. 2006..

\_\_\_\_\_. *DNIT 143/2010 - ES: Pavimentação – Base solo-cimento – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2010.

**DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.** *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2010.

**DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.** *Plano Nacional de Viação*. Rio de Janeiro, 1 ed. 2006.

**FIESP. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.** *Pavimento de Vias no Brasil: Infraestrutura de Transportes Terrestres Rodoviários e Cadeias Produtivas da Pavimentação*. Workshop Pavimento de Vias no Brasil. São Paulo, 2017.

**FRANÇA, F. C.** *Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI grade 81”*. 104p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

**IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.** *Pesquisa Anual de Serviços – PAS*, 2018.

**OLIVEIRA, R. F. V.** *Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos*. 148p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

**SENÇO, W.** *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008