

ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO DO SOLO COM MATERIAL FRESADO E CIMENTO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE SUB-BASE DE PAVIMENTOS

Danielli Piovesan Ceolin

Mestranda em Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED
dani-p-ceolin@hotmail.com

Mirela Bertuol

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI
bertuol.mirela@gmail.com

Mateus Arlindo da Cruz

Mestrando em Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED
mateusArlindo@hotmail.com

Roberta Centofante

Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI
robertac@uri.edu.br

Resumo. A utilização de material fresado, proveniente da reciclagem de pavimentos, em camadas de sub-base, tem se tornado uma técnica cada vez mais viável. Neste contexto, o trabalho objetivou verificar a eficiência da utilização de material fresado, juntamente com cimento, para a estabilização de solo e posterior aplicação em camadas de sub-base. As misturas foram compostas por 70% material fresado e 30% de solo, acrescidas de 3 e 6% de cimento. Foi realizada a análise granulométrica do material, a dosagem para as misturas e, após moldagem dos corpos de prova, ensaio de compactação, ensaio de Índice Suporte Califórnia e ensaio de Resistência à Compressão Simples, todos na energia normal de compactação. As misturas resultaram na possibilidade de serem usadas em camadas de sub-base quando se diz respeito ao CBR. Ainda, o acréscimo de cimento aumentou a resistência, porém, para a Resistência à Compressão foi insatisfatório, não atingindo o mínimo estabelecido pelas normas.

Palavras-chave: Estabilização. Fresado. Cimento.

1. INTRODUÇÃO

O transporte é considerado um dos principais meios de movimentar a economia de uma região ou mesmo do país. É através deste meio que a maior parte da população se locomove de um destino ao outro para satisfazer suas necessidades ou prestar serviço a outras pessoas. Entretanto, a inadequação da malha rodoviária pode colocar em risco os usuários e também o meio ambiente.

As más condições de tráfego muitas vezes são oriundas da manutenção e recuperação imprópria ou insuficiente. De acordo com a CNT (2017), a frota de veículos cresceu 91,1% em comparação às rodovias pavimentadas, fato que comprova como a alta demanda pela infraestrutura rodoviária está diretamente relacionada às condições irregulares dos pavimentos. O intenso tráfego de veículos, acompanhado da idade já avançada da malha rodoviária, acarreta em grandes problemas nos pavimentos, os quais,

em sua maioria, já ultrapassaram a vida útil esperada no projeto original.

Devido a isso, no decorrer dos anos, a prioridade tem sido nas atividades de recuperação e restauração (DNIT, 2006). O procedimento de recuperação e restauração das rodovias gera um acúmulo de toneladas de material asfáltico e agregados, provenientes da retirada do revestimento já degradado do pavimento. Segundo Bonfim (2007), quando se pretende reciclar o material antigo deve-se retirar parcial ou totalmente o revestimento antes da aplicação da nova camada. Essa ação é concretizada com a técnica denominada fresagem.

A fresagem é conceituada como a operação ao qual é realizado o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento, com espessura pré-determinada por meio de processo mecânico (DNIT, 2011). Tal procedimento pode ser realizado a quente ou a frio, o que resulta na alteração granulométrica do material. Ainda, é destacado que as operações de fresagem aprimoram a textura da superfície da rodovia e da superfície exposta do agregado, favorecendo a resistência à derrapagem (BONFIM, 2007).

A preocupação mundial em gerar um destino ecologicamente correto dos resíduos provenientes de diversas áreas da engenharia, nesse caso, principalmente em atividades de manutenção rodoviária, fez com que o reuso dos materiais tenha se tornado uma das técnicas indispensáveis para a diminuição dos impactos ambientais. Além disso, a aplicação do material fresado com o solo de sub-base gera economia, uma vez que o emprego dessa mistura acarretará num aumento de resistência, viabilizando a diminuição da camada de revestimento, que é a parte mais cara da obra de pavimentação (BERNUCCI et al., 2010).

As propriedades do solo podem ser melhoradas por meio de diferentes técnicas.

Dessas técnicas, além da utilização de materiais reciclados, pode-se realizar estabilizações, das quais destaca-se a estabilização química, que acarretaria em uma elevação da resistência ao cisalhamento do solo. Ao utilizar um estabilizante químico, como o cimento, o mesmo poderá contribuir para evitar a expansão da base reciclada, aumentar a sua impermeabilização e a capacidade de carga da estrutura do pavimento (DNIT, 2006).

2. METODOLOGIA

A pesquisa trabalhou concomitantemente com investigação bibliográfica e ensaios laboratoriais. Num primeiro momento enfatizando a leitura em livros, artigos, dissertações, periódicos e teses, os quais abordaram temas como pavimentação, recuperação de pavimentos asfálticos, tipos de estabilização de solos, reciclagem de pavimentos, entre outros assuntos afins. Sequencialmente as atividades laboratoriais evidenciaram quantitativamente as características do uso de material fresado juntamente com cimento nas camadas de sub-base dos pavimentos.

2.1 Materiais

Para realizar este estudo foram utilizados cimento, material fresado e solo de jazida. Os materiais e suas relativas aquisições estão detalhadas a seguir.

Cimento. O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP V, da marca Votoran. Conforme o fabricante, este cimento pode ser utilizado em todas as obras sob forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. Ainda, constam especificações de que o mesmo é indicado para casos de exposição a ambientes agressivos e de grande

volume de concreto, por conta das suas propriedades em tornar o concreto menos permeável e gerar menor calor de hidratação.

Além disso, a existência de pozolana proporciona estabilidade no uso do mesmo com agregados reativos e em ambientes de ataque por sulfatos, bem como é altamente eficiente em concretos para pavimentos e solo-cimento.

Material fresado. Como já citado anteriormente, o material fresado é o produto resultante do corte de parte do pavimento. Nesta pesquisa foi utilizado o fresado de revestimento asfáltico. Os estudos vão em busca da obtenção de um conhecimento maior acerca do comportamento mecânico do material, visando sua reaplicação em obras de pavimentação, especificamente em camadas de sub-base.

O material fresado utilizado nesta pesquisa foi obtido através do processo de fresagem do pavimento realizado pela empresa Construbras, a qual doou o fresado. Após o recolhimento do material, o mesmo foi armazenado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Regional Integrada – URI, Campus de Frederico Westphalen.

Solo. O solo utilizado para a pesquisa, foi coletado na localidade da Linha Dal Canton, às margens da BR – 158, no mesmo local em que a Prefeitura Municipal de Frederico Westphalen/RS retira material para obras e reparos. A amostra de solo coletada foi de 200 kg e retirada de uma profundidade razoável para evitar a camada superficial e resíduos orgânicos.

O solo é composto por 39,09% de argila, 31,1% de areia e 29,83% de silte. Ainda, no estudo realizado por Pessoto (2017), o solo passou por caracterização mecânica, em que no ensaio de compactação com energia intermediária foi obtido um teor de umidade

ótima de 22,7% e uma massa específica aparente seca máxima de 16,67 kN/m³.

Já no ensaio de CBR, também com energia intermediária, o solo obteve um Índice de Suporte Califórnia de 13% e uma expansão de 0,91%. Todos esses valores, encontrados por Pessoto (2017), foram utilizados como parâmetros para realização dos ensaios nesta pesquisa, e também para uma comparação dos resultados das misturas com o solo natural.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil – LMCC da URI, Campus de Frederico Westphalen.

Misturas. A produção das misturas e moldagem dos corpos de prova foi com embasamento na faixa C do DNIT. Ou seja, as composições granulométricas de cada mistura estão dentro dos limites da faixa C, normativa DNIT-ES 031/2006 – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de serviço.

As misturas foram compostas de solo, material fresado e cimento. Foram realizados ensaios com três diferentes proporções, sendo sempre uma proporção de 30% de solo e 70% de material fresado, variando as proporções de cimento. Além disso, foram moldadas cinco amostras para cada uma das misturas, para, assim, traçar os gráficos de resultados. As porcentagens das misturas utilizadas foram:

- MB S/F: 30% solo + 70% fresado;
- MB S/F 3%: 30% solo + 70% fresado + 3% de cimento;
- MB S/F 6%: 70% solo + 30% fresado + 6% de cimento;

2.2 Procedimentos de laboratório

O solo utilizado nesta pesquisa foi o mesmo caracterizado por Poncio (2017) e Pessoto (2017). Deste modo, todas as suas propriedades foram baseadas na descrição dos ensaios realizados pelos autores.

Para todas as misturas foram realizados ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia e Resistência à Compressão Simples. Todos os procedimentos de laboratório ocorreram no Laboratório de Materiais e Construção Civil – LMCC da URI, Campus de Frederico Westphalen.

Ensaio de caracterização. Granulometria.

Os ensaios de caracterização foram realizados no material fresado. O ensaio granulométrico é efetuado para determinar a porcentagem em peso que cada faixa de tamanho das partículas representa na amostra. O mesmo foi procedido conforme especificações da norma NBR ABNT 7181/2016.

O ensaio de granulometria pode ser realizado de duas maneiras diferentes, análise granulométrica por peneiramento ou análise granulométrica por sedimentação. O tipo de análise granulométrica é escolhido conforme as características do solo e a finalidade do ensaio.

Após obtidos os resultados do ensaio, é possível construir a curva de distribuição granulométrica, sendo esta fundamental para a caracterização geotécnica do solo. O peso seco da amostra é o referido peso que passa em cada peneira, denominado “porcentagem passante”. A abertura da peneira é considerada como diâmetro equivalente da partícula. Neste estudo efetuou-se a análise granulométrica do material fresado através do peneiramento do mesmo. Sendo realizada análise de todo o fresado e de três granulometrias distintas, com porcentagens passantes nas peneiras #4, 3/8” e 3/4”.

Ensaio mecânicos. Ensaio de compactação.

Também conhecido como Proctor, o ensaio é realizado através da compactação de uma amostra com um soquete, com modificações de sua umidade a fim de se atingir a umidade ótima de compactação devido a sua compactação máxima. O número de golpes

varia de acordo com a energia requerida, essa pode ser normal, intermediária ou modificada.

O ensaio de compactação é normatizado pela NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação (ABNT, 2016). A norma diferencia os tipos de ensaio com reuso de materiais ou não e com secagem prévia ou não.

Nessa pesquisa também foi utilizada a norma NBR 12023 – Solo-cimento – Ensaio de compactação (ABNT, 1992). Esta norma define que em solo-cimento deve ser utilizada a energia de compactação normal, 26 golpes com soquete pequeno e em um cilindro pequeno.

O ensaio ocorreu sem reuso de materiais e com secagem prévia dos mesmos. A energia utilizada foi a normal, com 26 golpes em cada uma das 3 camadas. As misturas foram moldadas no cilindro pequeno e compactadas com o soquete pequeno, que possui uma altura de queda de 30,5 cm e um peso de 2,500 kg.

O ensaio de compactação foi realizado nas misturas de solo-fresado e solo-fresado-cimento. Foram realizados 5 pontos para se obter a umidade ótima, ou seja, moldou-se 5 corpos de prova para cada mistura. A mistura solo-fresado não possui variação de proporções, então foram apenas 5 corpos de prova para a mesma. Já a mistura solo-fresado-cimento possui 2 variações de proporção de cimento, cada proporção teve 5 pontos de análise. Desta forma, totalizou-se 15 corpos de prova para o ensaio de compactação.

Ensaio de CBR. O ensaio de CBR (*Califórnia Bearing Ratio*), também conhecido como Índice de Suporte Califórnia (ISC), definido como a relação, em porcentagem, entre a pressão necessária à penetração no solo em determinado ponto, desempenhada por um pistão de diâmetro unificado, e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão.

Resumidamente, o ensaio determina a capacidade de suporte de um solo compactado.

O ensaio também consente a obtenção de um índice de expansão do solo durante o período de saturação por imersão do corpo de prova. Com esse índice é possível descobrir qual será a expansão do solo pavimentado quando estiver saturado e a sua perda de resistência devido a saturação.

O cilindro com o corpo de prova é imerso com uma sobrecarga em um tanque por 96 horas de maneira com que a água cubra todo o material. A cada 24 horas é realizada uma leitura da deformação sofrida pelo mesmo. Com esses procedimentos obtém-se a expansão do solo. Quando terminada a saturação, deixa-se escorrer a água do corpo de prova por 15 minutos e, após, realiza-se a pesagem.

Para saber a penetração do solo, instala-se o corpo de prova com o molde cilíndrico e a sobrecarga na prensa. Após, assenta-se o pistão da prensa no topo do corpo de prova. O próximo passo é a aplicação do carregamento, anotando a carga e a penetração a cada 30 segundos, repete-se por 10 minutos.

Nesta pesquisa, o ensaio de CBR foi realizado na mistura solo-fresado e na mistura solo-fresado-cimento. São 2 corpos de prova para cada mistura, ao final totalizou 6 corpos de prova moldados para o ensaio, todos com energia normal.

O ensaio é normatizado pela NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia (ABNT, 2016), e pelo DNIT-ME 172/2016 – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Também conhecido como Proctor, o ensaio é realizado através da compactação de uma amostra com um soquete, com modificações de sua umidade a fim de se atingir a umidade ótima.

Resistência à compressão simples (RCS). O ensaio de resistência à compressão simples é o

processo mais simples e ágil para determinar a resistência ao cisalhamento de solos finos. Com esse ensaio é obtido o valor da coesão ou resistência não drenada de campo do solo.

O ensaio fornece a resistência à compressão simples sem confinamento lateral, onde essa é o valor da pressão da carga que rompe um cilindro de solo submetido à um carregamento axial. Deste modo, a carga máxima que foi necessária para ruptura do material é chamada de resistência à compressão.

O processo de ensaio consiste em submeter um corpo de prova cilíndrico a um carregamento axial até sua ruptura. Sendo comumente utilizado na dosagem e controle das propriedades do solo-cimento.

Frequentemente, os materiais usados na construção de rodovias apresentam uma alta deformação quando submetidos a uma determinada carga, desta forma é determinada sua resistência a compressão simples. Esta resistência é obtida aplicando um carregamento crescente de compressão axial em corpos de prova cilíndricos de altura duas vezes maior que o diâmetro, sem tensão de confinamento.

O ensaio de resistência à compressão simples é normatizado pelas seguintes normas: NBR 12024 – Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento (ABNT 2012), NBR 12025 – Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio (ABNT 2012). Também foram adotados alguns parâmetros da norma DNER – ME 201/94 – Solo-cimento – compressão axial dos corpos de prova cilíndricos.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Análise granulométrica do fresado

A análise granulométrica do material fresado foi realizada conforme orientações da

norma NBR ABNT 7181/2016. Os procedimentos de peneiramento foram mecânicos e manuais, através de peneiras com malhas conhecidas e normatizadas. A Fig. 1 mostra a curva granulométrica obtida.

Para realizar os demais ensaios, o fresado foi peneirado em três diferentes granulometrias, sendo elas de material passante nas peneiras 3/4", 3/8" e #4. Após peneiramento o material fresado foi separado e estocado, em local livre de umidade excessiva e de qualquer agente agressivo, para posteriormente ser incorporado às misturas.

Com os resultados obtidos na análise granulométrica, pode-se inserir os dados na tabela de caracterização de agregados, para assim gerar a dosagem da mistura. A dosagem foi alcançada a partir dos limites impostos pela curva C do DNIT, o que derivou uma mistura de 30% de solo e 70% de material fresado. Sendo a composição do material fresado dividida em: 41% de fresado passante na 3/4", 22% de fresado passante na 3/8, 7% de fresado #4, conforme Quadro 1.

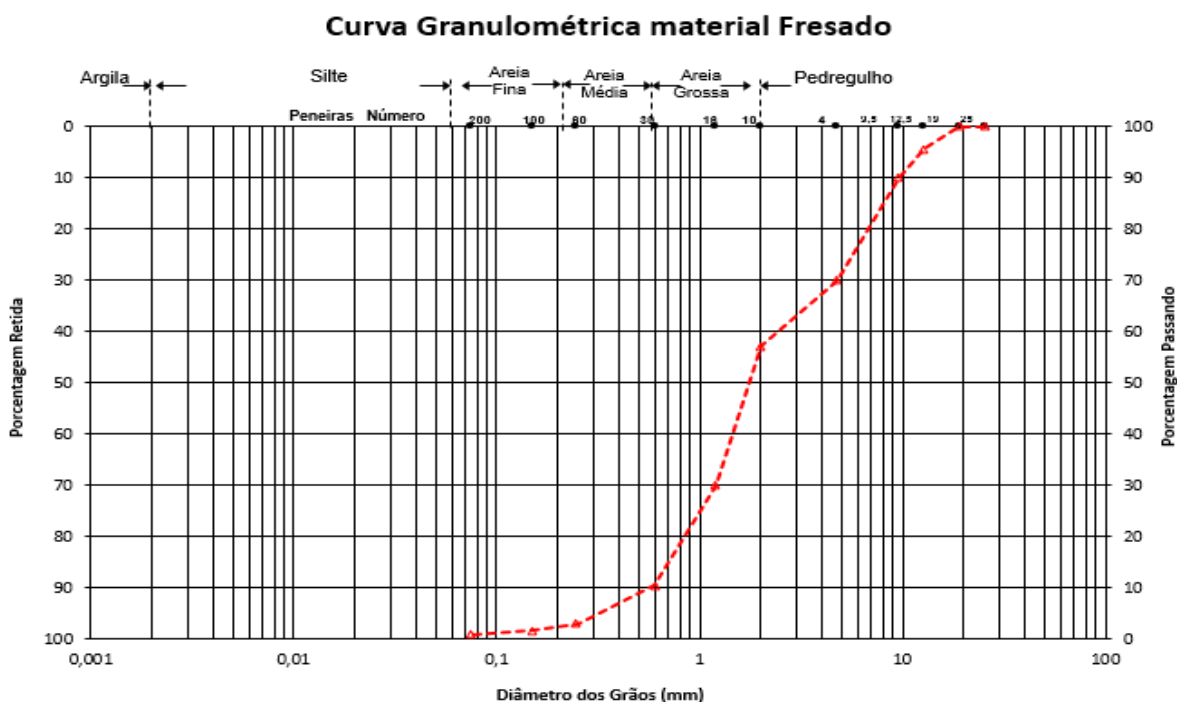


Figura 1. Curva granulométrica material fresado

Quadro 1. Composição da mistura com porcentagem de cada material

PENEIRA	mm	Fresado 3/4"	Fresado 3/8"	Fresado 4"	Solo 4"
1 1/2"	38,10	41,0	22,0	7,0	30,0
1"	25,40	41,0	22,0	7,0	30,0
3/4"	19,10	41,0	22,0	7,0	30,0
1/2"	12,70	33,3	22,0	7,0	30,0
3/8"	9,50	30,6	22,0	7,0	30,0
n 4	4,80	18,2	13,5	7,0	30,0
n 10	2,00	6,4	6,3	4,1	25,1
n 40	0,42	1,8	1,7	1,6	13,3
n 80	0,18	0,9	0,8	0,8	4,1
n 200	0,08	0,5	0,4	0,2	0,7
	Frações	Fresado 3/4"	Fresado 3/8"	Fresado 4"	Solo 4"
	%	41%	22%	7%	30%

A curva granulométrica da mistura solo/fresado pode ser observada na Fig. 2. Observa-se que a mesma está dentro dos limites de faixa da curva C do DNIT.

Com base na mistura, para a moldagem dos corpos de prova, foram obtidas as seguintes proporções de cada material, como demonstra o Quadro 2.

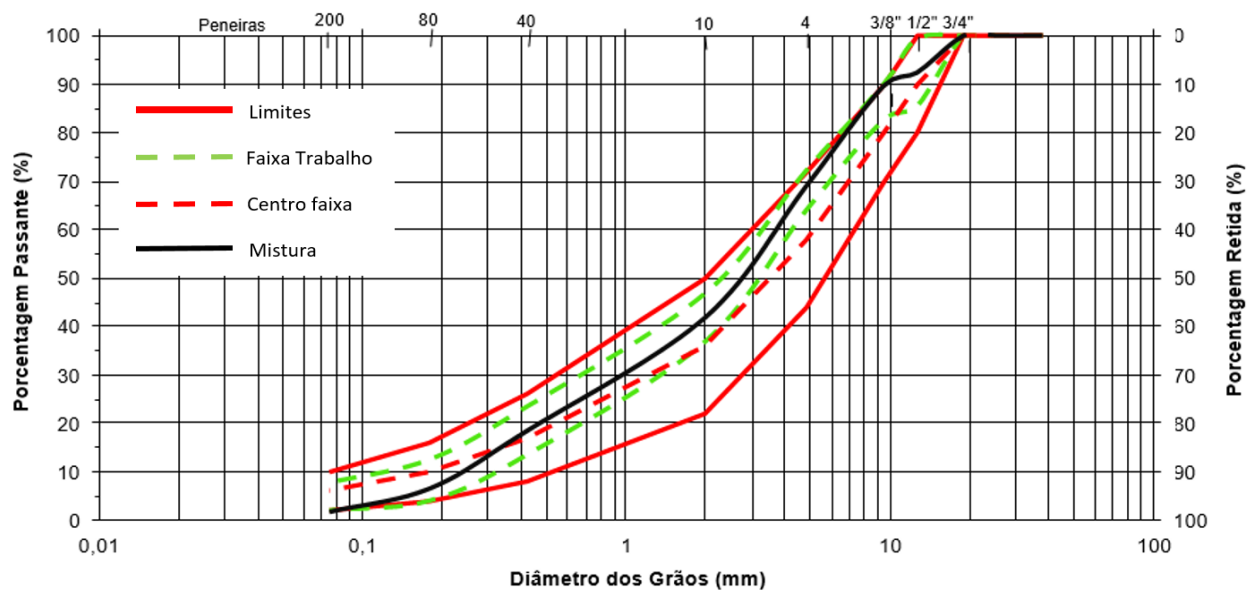


Figura 2. Curva Granulométrica da mistura dentro da faixa C do DNIT

Quadro 2. Composição da mistura para moldagem dos corpos de prova

Peneiras	Características	Porcentagem da Mistura	Peso Seco (g) - para 2Kg de amostra	Peso Seco (g) - para 5Kg de amostra
3/4"	Material passante na peneira 3/4"	41%	902	2050
3/8"	Material passante na peneira 3/8"	22%	484	1100
#4	Material passante na peneira #4	7%	154	350
Solo	Material passante na peneira #4	30%	660	1500
	Total	100%	2200	5000

3.1 Ensaios mecânicos

Ensaio de compactação. O ensaio de compactação foi realizado para todas as misturas. Através dos resultados, foi possível observar que à medida em que o teor de cimento aumenta, é elevada a umidade ótima da mistura. Outro ponto a ser observado é que a incrementação de cimento na mistura variou

pouco o teor de água ótimo e a massa específica máxima, com relação ao solo/fresado puro.

Os resultados do teor de umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3. Resultados do ensaio de compactação

Misturas	Parâmetro	Energia de Compactação Normal
SOLO NATURAL	Massa específica aparente seca máxima	1667 kg/m ³
	Teor de umidade ótima	22,70%
MB S/F	Massa específica aparente seca máxima	1203 kg/m ³
	Teor de umidade ótima	12,30%
MB S/F 3%	Massa específica aparente seca máxima	1179 kg/m ³
	Teor de umidade ótima	12,60%
MB S/F 6%	Massa específica aparente seca máxima	1187 kg/m ³
	Teor de umidade ótima	13,40%

Pode-se fazer uma comparação do presente trabalho com o estudo realizado por Poncio (2017), em que o autor não estabeleceu uma granulometria para o material fresado. Com uma mistura de 70% fresado e 30% solo obteve uma umidade ótima de 12,70%, no presente estudo a umidade ótima obtida para solo/fresado puro foi de 12,30%, valor muito próximo ao encontrado pelo autor.

Comparando com o solo natural, o acréscimo de fresado e cimento na mistura acarretou na diminuição da umidade ótima. Como já mencionado anteriormente, o solo utilizado é o mesmo já caracterizado por Poncio (2017), o autor concluiu que quanto maior a quantidade de material pétreo menor é a umidade ótima.

No solo natural o teor de umidade ótima chegou a 22,80%, enquanto que a mistura que mais se aproximou foi a de 70% fresado, 30% solo e 6% de cimento, com 13,4% de teor ótimo. As curvas de compactação de cada uma das misturas podem ser observadas na Fig. 3.

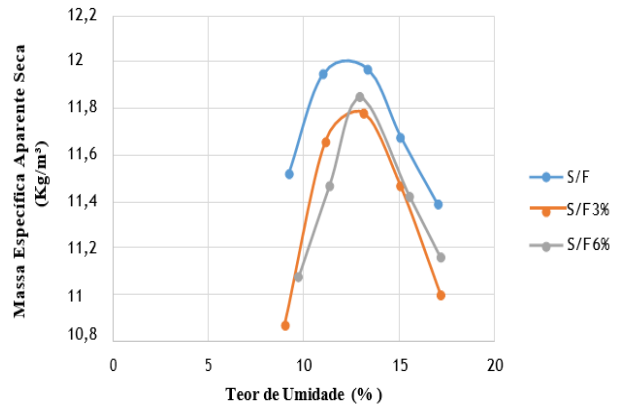


Figura 3. Curvas de compactação

Ensaio de Índice Suporte Califórnia. O ensaio de CBR foi realizado em todas as misturas, com energia normal e conforme especificações da norma ABNT NBR 9895/2016.

A norma DNER ES 301/97 – Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço, estabelece que para utilização do material para a camada de sub-base o mesmo deve possuir um CBR maior ou igual a 20% e expansão menor ou igual a 1%. Desta maneira, seguindo as especificações normativas, todas as misturas estão dentro dos parâmetros, podendo ser utilizadas na camada de sub-base. Os resultados encontrados estão no Quadro 4.

Pode-se fazer uma comparação das misturas com e sem cimento. Com relação a mistura solo/fresado todos os parâmetros analisados aumentaram nas misturas com adição de cimento. Mas, os valores ainda ficaram todos próximos, sem muitas discrepâncias.

Quadro 4. Resultados do ensaio de Índice suporte Califórnia

Mistura	Parâmetros	Energia de Compactação
		Normal
Solo Natural	I.S.C.	13,00%
	Expansão	0,91%
Solo/Fresado	I.S.C.	21,01%
	Expansão	0,10%
Solo/Fresado + 3% cimento	I.S.C.	22,17%
	Expansão	0,14%
Solo/Fresado + 6% cimento	I.S.C.	23,57%
	Expansão	0,17%

Considerando os valores obtidos e os do solo natural, a resistência teve uma grande elevação. Enquanto que para o solo o valor do ISC foi de 13%, para o solo fresado esse valor foi de 21%, sendo maior ainda quando acrescentado cimento na mistura, chegando a quase 24% com 6% de cimento. Já a expansão ocorreu diminuição em todas as misturas, no solo natural a expansão chegou a 0,91%, e nas misturas a maior expansão obtida foi com 6% de cimento, 0,17%.

Segundo Poncio (2017), quando se tem uma maior quantidade de grãos com grandes dimensões o material fino expande sem deslocamento no corpo de prova, o que faz com que a leitura no expansômetro seja elevada. Com base nessa análise, o autor concluiu que quando se utiliza uma granulometria bem graduada a mistura ficara homogênea e regularizada, enfatizando a importância da análise e distribuição granulométrica do fresado adotado.

Pessoto (2017) em seu estudo concluiu que a incorporação de material fresado junto ao solo gerou um aumento da resistência e uma diminuição da expansão, quando comparado com o solo natural. Ainda, para energia normal de compactação, a autora encontrou como resultados 0,24% de expansão e 20% de ISC, atendendo as normas e podendo

ser utilizado na constituição de sub-base de pavimentos.

Na pesquisa realizada por Mallmann (2012) foi utilizado 30% de solo e 70% de material fresado, a autora obteve um ISC de 20% e uma expansão de 0%, valores que mesmo atendendo as normativas ficaram abaixo dos resultados para o solo natural. No estudo realizado por Pessoto (2017) ocorreu o contrário, a mistura com material fresado elevou a resistência quando comparado ao solo natural.

Ensaio de Resistência à compressão simples

(RCS). Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados conforme especificações da norma ABNT NBR 12025/2012. A moldagem dos corpos de prova se realizou de acordo com os procedimentos sugeridos pela norma ABNT NBR 12024/2012, com base nesses artifícios procurava-se um solo que se enquadrasse nos critérios estabelecidos pelo DNIT.

Segundo o DNIT (2006), misturas que possuem um teor de 2% a 4% de cimento adicionado ao solo, são consideradas como solo melhorado com cimento, e misturas com teores de cimento que variam de 6% a 10% são consideradas solo-cimento. Esse estudo possui mistura com 3% de cimento e mistura com 6% de cimento, desta forma, uma das combinações se enquadra como solo melhorado com cimento e a outra como solo-cimento.

Conforme prescrito em DER/PR ES-P 11/05, existe parâmetros mínimos de resistência à compressão aos 7 dias. Para emprego em camadas de sub-base, o solo tratado com cimento deve possuir uma resistência entre 1,2 Mpa a 2,1 Mpa, e para solo-cimento a resistência deve ser superior a 2,1 Mpa.

No estudo em questão, desenvolve-se o ensaio de resistência à compressão a 0 dias e aos 7 dias. Essa análise foi realizada para

verificar o acréscimo de resistência ocasionado pela cura dos corpos de prova, em comparação ao rompimento logo após a moldagem.

Os valores obtidos podem ser observados no Quadro 5. Tais resultados demonstram uma grande diferença no valor da resistência em 0 dias e em 7 dias, isso se deve, pois, o cimento não teve tempo de cura suficiente em 0 dias para gerar processos físico-químicos que elevassem a resistência da mistura. Hilário (2016) também encontrou valor menor de resistência à 0 dias.

Quadro 5. Resultados da resistência a compressão simples

Mistura	Resistência à compressão simples em 0 dias (Mpa)	Resistência à compressão simples em 7 dias (Mpa)
Solo/fresado	0,30	0,30
Solo/fresado + 3% cimento	0,40	0,75
Solo/fresado + 6% cimento	0,60	1,85

Outro fato importante, é o aumento da resistência quando elevado o teor de cimento. Com 3% de cimento encontrou-se uma resistência de 0,75 Mpa, já para a mistura com 6% de cimento foi obtido 1,85 Mpa, resultando num acréscimo de resistência de 246%.

Ainda é possível analisar a diferença de resistências das misturas com cimento em sua composição e da mistura sem cimento. Aos 7 dias a mistura solo/fresado teve uma resistência de 0,30 Mpa, valor 250% menor que a mistura com 3% de cimento e 616% menor que a com 6%. Com 0 dias a diferença não foi tão grande, mas existiu. Para 3% de cimento a resistência foi de 0,4 Mpa e para 6% foi de 0,6 Mpa, enquanto que para solo/fresado a resistência foi de 0,3 Mpa.

Mesmo com o acréscimo de resistência obtido tanto em relação ao solo/fresado,

quanto ao tempo cura, os valores não atingiram os mínimos exigidos pelo DNIT. A mistura com 3% de cimento se enquadra como solo melhorado com cimento, e sua resistência mínima era de 1,2 Mpa, valor não atingido. A mistura com 6% de cimento se caracterizava como solo-cimento e sua resistência mínima era de 2,1 Mpa, o valor encontrado era muito próximo, mas não atingiu o estabelecido pelas normas.

Hilário (2016) realizou uma pesquisa semelhante a esta, sua mistura era composta por 30% de material fresado, 70% de solo e 2% de cimento. Em 0 dias encontrou 1,28 Mpa de resistência, e em 7 dias 1,62 Mpa de resistência. Consumando assim, que o reaproveitamento do material fresado é muito eficiente para aplicação em camadas do pavimento, em particular a camada de base, que era a camada em estudo.

Fedrigo (2015) verificou em seu trabalho que quando se acrescenta uma maior quantidade de material fresado na mistura, gera uma diminuição na RCS. O autor também destacou que aos 7 dias de cura a RCS foi superior aos propostos pelas normas e que não existe influência significativa na variação de taxas de carregamento, sugerindo usar a taxa de 0,25 Mpa/s para prensas hidráulicas e 1mm/min para prensas não hidráulicas.

A dosagem dessa mistura foi de 70% de material fresado, um valor consideravelmente elevado. Como já citado anteriormente, Fedrigo (2015) conclui em sua pesquisa que quanto maior a porcentagem de material fresado na mistura, menor será a resistência à compressão. O estudo realizado por Hilário (2016) se encaixa como um bom exemplo, ao contrário da presente pesquisa, o autor utilizou apenas 30% de material fresado na mistura, obtendo a 0 dias 1,28 Mpa, valor dentro dos parâmetros das normas.

Porém, ao analisar os resultados da resistência a compressão simples, de acordo com Baptista (1976), os valores se enquadram

nos limites e podem ser usados na camada de sub-base. Baptista (1976) afirma que os valores mínimos estabelecidos pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Texas, para o ensaio de compressão simples, de materiais a serem empregados em camadas de sub-base e base são, respectivamente, 0,35 MPa e 0,70 MPa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo da pesquisa consistiu em verificar se as misturas atendiam as especificações normativas para serem aplicadas em camadas de sub-base. A dosagem das misturas foi de acordo com a faixa C do DNIT, chegando a uma combinação final com 70% de material fresado, sendo 41% de granulometria 3/4", 22% de granulometria 3/8" e 7% de granulometria #4, e 30% de solo na granulometria #4.

Duas misturas ainda contaram com o acréscimo de cimento em sua composição, para assim verificar se haveria ganho de resistência em comparação com a mistura sem cimento. No ensaio de Índice Suporte Califórnia, todas as misturas se mostraram favoráveis ao uso em camadas de sub-base, chegando a valores acima do determinado pelas normas. Ainda, nas misturas com cimento ocorreu elevação da resistência, um aumento pequeno, porém considerável.

Já no ensaio de resistência à compressão simples, nenhuma das misturas obteve a resistência mínima necessária. Ambas as misturas ficaram muito próximas do valor mínimo exigido e também demonstraram um acréscimo significativo de resistência com a presença de cimento. Ainda, os ensaios permitiram analisar que a cura é fundamental para o ganho de resistência em corpos de prova com cimento e que na mistura sem cimento a cura não tem tanta interferência.

Levando em consideração os parâmetros estabelecidos pelas bibliografias e normas com relação ao CBR, as misturas podem ser utilizadas nas camadas de sub-bases de pavimentos. O DNIT estabelece que o CBR deve possuir valores iguais ou superiores a 20% e a expansão abaixo de 1%, visto isso, e os valores encontrados, essa seria uma nova forma de estabilizar sub-bases com boa capacidade de suporte e boa estabilidade.

Além das características favoráveis das misturas outra consideração importante é o uso de material proveniente da reciclagem de pavimentos. O uso de material fresado em camadas de sub-base irá gerar maior resistência em toda a estrutura do pavimento, o que acarreta na diminuição da camada de revestimento e, conseqüentemente, economia financeira, pois a camada de revestimento é a com maior custo. Ainda, o uso do fresado nas camadas do pavimento se torna uma correta destinação dos resíduos, impedindo que o mesmo seja descartado em locais impróprios e gerando uma diminuição na exploração de jazidas naturais.

REFERÊNCIAS

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

_____**NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____**NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

_____**NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992.

_____**NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____**NBR 12025**: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova

cilíndricos — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

BAPTISTA, C. N. **Pavimentação: Compactação dos Solos no Campo, Camadas de Base e Estabilização dos solos**, 4ªed. Rio de Janeiro: Globo, 1976.

BERNUCCI, L.; MOTTA, L. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2010.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3 Ed., São Paulo, Exceção Editorial, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. **Pesquisa Confederação Nacional dos Transportes de Rodovias**. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 201/94: Solo-cimento – compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

_____ **DNER ES 301/97: Pavimentos flexíveis – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 11/05: Pavimentação: solo-cimento e solo tratado com cimento**. Curitiba, Paraná, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT-ES 031/2006: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

_____ **DNIT-ES 159/2011: Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2011.

_____ **DNIT – 172/2016: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Brasília/DF, 2016.

_____ **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2º Ed. Rio de Janeiro, 2006.

FEDRIGO, W. **Reciclagem de pavimentos com adição de cimento portland: definição das bases para um método de dosagem**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HILÁRIO, R.Q. **Uso de pavimento reciclado adicionado com cimento para uso como reforço de base para rodovias – estudo de caso: BR-120**. 2016. Dissertação (Mestrado em geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

MALLMANN, Keli. **Estudo da Mistura de Material Fresado e Solo para a Utilização em Pavimentação**, 2012, 59p. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Civil) – UFSM, Santa Maria, 2012.

PESSOTO, L. **Estudo do efeito da granulometria do material fresado para estabilização de um solo para aplicação em sub-base de pavimentos**. 2017. Projeto Final de Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, 2017.

PONCIO, T, O. **Utilização de material fresado para estabilização de solo com a finalidade de aplicação como camada de sub-base de pavimento**. 2017. Projeto Final de Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, 2017.