



T04

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE FRESAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EM SUB BASE DE SOLO ARGILOSO ESTABILIZADO GRANULOMETRICAMENTE – ESTUDO DE CASO: DUPLICAÇÃO AL-220

Bruno Conde Passos¹, Juliane Andréia Figueiredo Marques², Carlla Rafaella Barros de Andrade³, Enzo Gonçalves Yulita⁴, Adriana Torres Medeiros⁵, Samara Kathyanne de Oliveira Menezes⁶

RESUMO: *O presente trabalho trata da análise do comportamento e das características mecânicas de solos considerando misturas com adição de resíduo de pavimento fresado e areia. O solo estudado foi usado como material de sub-base da obra de duplicação da AL-220, onde o mesmo foi classificado segundo a classificação HRB como um solo argiloso A-6. Inicialmente este solo apresentou ISC igual a 17,5% e IG igual a 3, valores fora dos padrões determinados pelo DNIT para ser utilizado como material de sub-base. Com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte do solo foram realizadas 6 misturas, onde 3 foram de solo e areia e 3 de solo, areia e resíduo de pavimentos fresados. De cada mistura foram realizadas 2 amostras e em cada amostra ensaios de granulometria, compactação, limites de Atterberg e índice de suporte Califórnia. Todas as amostras foram classificadas como pedregulho siltoso A-2-4, tiveram ISC acima de 20% e IG igual a 0. No ensaio de índice de suporte Califórnia verificou-se que a medida em aumentava a proporção de areia ou resíduo, o ISC da amostra também aumentava. Foi observado que o ganho de resistência com a adição da areia foi maior que o ganho de resistência ao inserir os resíduos de pavimento fresado à mistura, porém é válido lembrar que o uso dos resíduos de pavimentos fresados não somente é benéfico à obra, como também evita que estes resíduos sejam descartados na natureza.*

PALAVRAS-CHAVE: material fresado; estabilização; reforço; rodovias.

1. INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável sua superfície (GONÇALVES, 1999). Segundo Senço (2007), os pavimentos são classificados em rígidos e flexíveis. Pavimentos flexíveis são compostos por camada superficial asfáltica, no caso o revestimento, apoiada sobre as demais camadas do pavimento: base, sub-base, reforço e regularização do subleito quando necessário. Camadas essas que podem ser constituídas por matérias granulares, solos e misturas.

¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: bcondepastos@gmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: julianemarques@hotmail.com

³ Afiliação: Universidade Federal de Pernambuco – Campus Recife
Email: carlla.rafaella@hotmail.com

⁴ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: egyulita@hotmail.com

⁵ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: adriana.medeiros@ctec.ufal.br

⁶ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: samara.kathyanne@hotmail.com



Os materiais utilizados em pavimentação estão cada vez mais escassos e de difícil acesso no meio ambiente, devido a fatores diversos, a exploração desses materiais pode gerar custos extras às obras de infraestrutura e degradar a região explorada (ARAÚJO; BARROSO, 2007). Em razão dessa dificuldade, a utilização dos solos locais passa a ser uma alternativa interessante, porém, alguns possuem grandes quantidades de partículas finas (silte e argila), que os tornam inadequados para esse fim, isso ocorre devido às interações desfavoráveis entre suas partículas e a água causando efeitos negativos como diminuição da coesão, problemas relacionados à expansão e contração, reduzindo assim sua resistência a esforços. Fundamentado nisso faz-se necessário à procura de soluções que causem menor degradação ao meio ambiente e garanta que o solo apresente as propriedades exigidas para serem usados em camadas de pavimentação. Nesse caso, a estabilização do solo passa a ser uma alternativa que pode viabilizar seu uso, uma vez que algumas de suas características físicas e mecânicas são alteradas. Segundo Teixeira (2014), a estabilização pode ser alcançada de diversas formas tais como: mecânica, com a estabilização granulométrica ou com a variação da energia de compactação e a química, através da adição de produtos como cal, cimento, materiais asfálticos e aditivos específicos. A estabilização granulométrica, pode ser realizada incorporando-se materiais naturais, como areia, ou materiais alternativos, ao solo natural, isso altera sua granulometria e resulta no aumento da capacidade de suporte e estabilidade. Vale ressaltar que a incorporação da areia a um solo local pode solucionar problemas de exploração de outras jazidas e descarte de solos locais.

A utilização dos resíduos de pavimento flexível reciclado (fresado) é outra opção viável para melhoria das características do solo para uso em pavimentação, pois se utiliza de materiais existentes na própria rodovia para a estabilização. O processo de fresagem é conceituado como corte de uma ou mais camadas do pavimento, com espessuras pré-determinadas, por meio de processo mecânico realizado a quente ou a frio, visando a restauração de pavimentos (BONFIM 2007). Para reaproveitamento deste material, é necessário fragmentá-lo afim de se obter uma determinada granulometria, faz-se a mistura ou não, com outros materiais e aplica-se em uma nova camada de forma a manter as características semelhantes às de um material convencional.

O resíduo fresado é constituído de seixo rolado ou pedra britada, areia, filler (pó de pedra ou cimento) e cimento asfáltico de petróleo (CAP), tem sua principal importância (como dito anteriormente) no processo de fresagem de pavimento, que de acordo com Bonfim (2007), pode ser separado quanto a sua temperatura: a frio ou a quente. Na primeira situação, é um processo em temperatura ambiente, onde ocorre a quebra de parte dos agregados, alterando a granulometria original do material já existente no pavimento; na segunda situação, devido a um aquecimento prévio do material, a resistência corte é reduzida e desta forma, menos grãos são quebrados e assim a granulometria se assemelha mais a granulometria original do material do pavimento existente. O grande desafio é dar um destino razoável a esse material, que por muito tempo foi considerado um rejeito da construção civil e que normalmente são descartados em aterros ou em bota-foras, determinados pela fiscalização da obra, mas que quando descumpridos e descartados em locais indevidos contribuem com a degradação do meio ambiente. A engenharia rodoviária, também responsável por parte dessa degradação, vem inovando gradativamente no desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem minimizar os danos ao meio ambiente.

Neste trabalho foram utilizadas misturas entre resíduo fresado, areia e solo argiloso, após serem realizadas avaliações das propriedades físicas desses materiais, foi avaliada as propriedades mecânicas do solo (que inicialmente não apresentava as características necessárias para ser usado em camadas de pavimentação), assim como das misturas de solo-areia e solo-areia-resíduo fresado, e



com isso foi possível verificar a influência dos materiais utilizados no melhoramento do solo. Um dos benefícios desta mistura é característica de estabilização do solo. Este processo de estabilização pode ser entendido como uma melhoria das propriedades do solo do ponto de vista técnico, de modo a criar um material capaz de atender as exigências do projeto. Pode-se dizer que os principais objetivos de uma estabilização granulométrica são o aumento de resistência, a diminuição de deformações sob o efeito do tráfego, a diminuição da compressibilidade, a redução ou aumento da permeabilidade do material, dependendo da necessidade do projeto e o aumento da durabilidade (DIAS; PINTO & COSTA, 2015).

2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, o solo analisado foi proveniente da jazida Gunga, localizada as margens da AL 101 no município de Barra de São Miguel. Este material estava localizado no horizonte mais aflorado da jazida e foi usado como material de sub-base da obra de duplicação da AL 220, no trecho que liga Barra de São Miguel a São Miguel dos Campos.

Figura 1: Jazida Gunga.



Fonte: Autor (2017).

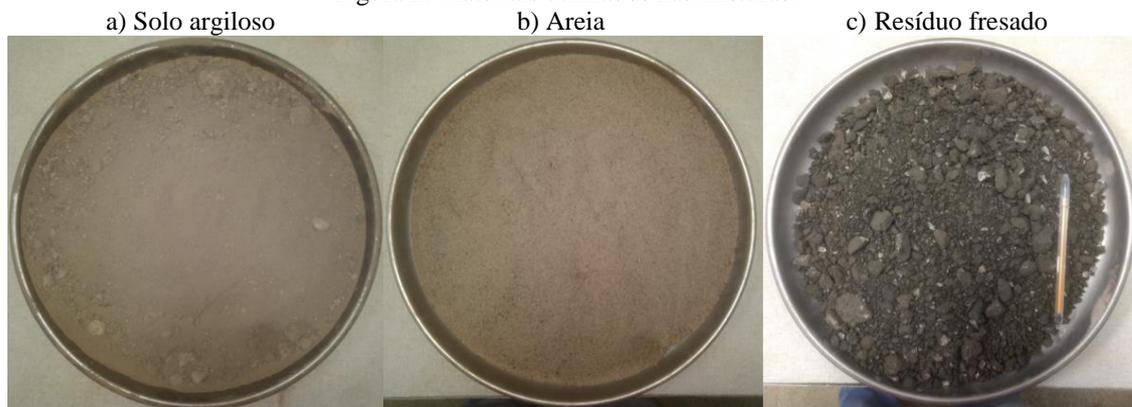
Foram coletadas 14 amostras (Tabela 1), sendo de 7 composições diferentes. Onde, inicialmente foram realizados ensaios laboratoriais de caracterização e resistência em amostras compostas totalmente pelo solo (Figura 2a), as amostras 1 e 2. Os ensaios consistiram em: Granulometria (ABNT NBR 7181/2017), Compactação com energia de proctor intermediária (ABNT NBR 7182/2016), Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459/2017), Limite de Plasticidade (ABNT NBR 7180/2016) e Índice de Suporte Califórnia (ABNT NBR 9895/2017). Como a amostra composta somente pelo solo da jazida não oferecia as características especificadas para sub-base granulometricamente estabilizada, onde o IG (Índice de Grupo) tem que ser igual a zero e o ISC (Índice de Suporte Califórnia) tem que apresentar valor maior ou igual a 20 segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), algumas adições em diferentes proporções de material granular foram realizadas para tornar o material menos plástico e com uma capacidade de suporte maior.



Assim, as amostras que foram ensaiadas em seguida eram misturas do solo com areia (Figura 2b), onde para cada proporção diferente foram ensaiadas duas amostras. As misturas foram as seguintes: as amostras 3 e 4 eram compostas por 90% de solo argiloso e 10% de areia; as amostras 5 e 6 eram compostas por 80% de solo argiloso e 20% de areia; e as amostras 7 e 8 eram compostas por 65% de solo argiloso e 35% de areia.

Além das misturas envolvendo apenas o solo argiloso e a areia, também foi utilizado o resíduo fresado do asfalto da pista já existente (Figura 2c) para aumentar ainda mais a capacidade de suporte do solo. As amostras com esse resíduo foram: amostras 9 e 10, compostas de 55% de solo argiloso, 35% de areia e 10% de resíduo fresado; amostras 11 e 12, compostas de 65% de solo argiloso, 20% de areia e 15% de resíduo fresado; e por fim as amostras 13 e 14, compostas de 60% de solo argiloso, 20% de areia e 20% de resíduo fresado.

Figura 2: Materiais utilizados nas misturas.



Fonte: Autor (2018).

Tabela 1: Amostras ensaiadas.

Amostra	Composição
1 e 2	Solo Argiloso (100%)
3 e 4	Solo Argiloso (90%) + Areia (10%)
5 e 6	Solo Argiloso (80%) + Areia (20%)
7 e 8	Solo Argiloso (65%) + Areia (35%)
9 e 10	Solo Argiloso (55%) + Areia (35%) + resíduo fresado (10%)
11 e 12	Solo Argiloso (65%) + Areia (20%) + resíduo fresado (15%)
13 e 14	Solo Argiloso (60%) + Areia (20%) + resíduo fresado (20%)

Fonte: Autor (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados e análises dos ensaios realizados com as misturas apresentadas neste artigo.

3.1 Solo Argiloso – Amostra 1 e 2

A partir dos resultados dos ensaios com solo, o mesmo pode ser classificado como um solo argiloso A-6, segundo o sistema HRB. A média dos limites de liquidez (LL) das duas amostras foi igual a



37,3% e a média dos índices de plasticidade (IP) foi igual a 11,85%, com esses dados foi possível calcular o índice de grupo (IG), que para essas amostras, a média foi igual a 3. O solo também apresentou uma densidade máxima de 1887 g.dm^{-1} e umidade ótima de 13,8%, em média. O Índice de Suporte Califórnia (ISC) médio foi de 17,5% e a expansão igual a 0,1%.

O solo não apresentou dados de caracterização e resistência satisfatórios, assim o solo sozinho apresentou capacidade de suporte abaixo da mínima exigida para servir de material de sub-base e por se tratar de um solo argiloso, a plasticidade do material elevou o IG para além do permitido segundo o DNIT (DNIT, 2006). Portanto o material para ser utilizado como material de sub-base fica condicionado a uma estabilização granulométrica e/ou química.

3.2 Solo Argiloso + Areia – Amostras de 3 a 8

A areia utilizada nessa etapa da estabilização granulométrica foi uma areia lavada adquirida próximo a uma Jazida na praia do Francês, no município de Marechal Deodoro. Isoladamente, a areia foi submetida apenas ao ensaio de granulometria, onde apresentou-se como um solo granular A-1-b.

Os resultados e classificações dos ensaios realizados com as amostras compostas por solo argiloso acrescida de areia estão expostos na Tabela 2. Como já foi dito anteriormente neste artigo, para cada mistura de solo/areia foram realizadas duas amostras, assim os valores apresentados na Tabela 3 são as médias entre os respectivos pares de amostra de uma mesma proporção.

Tabela 2: Resultado dos ensaios das amostras compostas por solo argiloso e areia

	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8
	Solo Argiloso (90%) + Areia (10%)		Solo Argiloso (80%) + Areia (20%)		Solo Argiloso (65%) + Areia (35%)	
Classificação HRB	A-2-4		A-2-4		A-2-4	
LL (%)	20,5		N/L		N/L	
IP (%)	N/P		N/P		N/P	
IG	0,0		0,0		0,0	
Dens. Máx. (g/dm^2)	1982,0		1987,0		2001,0	
Umidade ótima (%)	11,0		10,3		9,9	
ISC (%)	21,0		27,0		31,0	
Expansão (%)	0,1		0,0		0,0	

Fonte: Autor (2018).

Como pode-se observar, a medida em que aumenta a quantidade de areia na mistura, também aumenta o ISC, isto ocorre devido ao aumento da variedade das dimensões das partículas presentes na amostra, reduzindo os vazios, forçando um maior entrosamento entre os grãos, o que resulta na melhoria da capacidade de suporte do solo quando compactado. Além disso, a presença da areia no solo argiloso torna-o menos plástico, reduzindo o IG à 0, tornando-o apto a ser usado na sub-base.

3.3 Solo Argiloso + Areia + Material Fresado – Amostras de 9 a 14

Não houve nenhum ensaio de caracterização ou resistência somente com o resíduo fresado, porém visualmente via-se considerável parte graúda e deficiência de finos. Os resultados e classificações das misturas de solo com areia e resíduos estão apresentados na Tabela 3, e assim como na Tabela 2, os



valores apresentados aqui nesta tabela são as médias entre os resultados dos respectivos pares de amostra.

Tabela 3: Resultado dos ensaios das amostras compostas por solo argiloso, areia e resíduo fresado

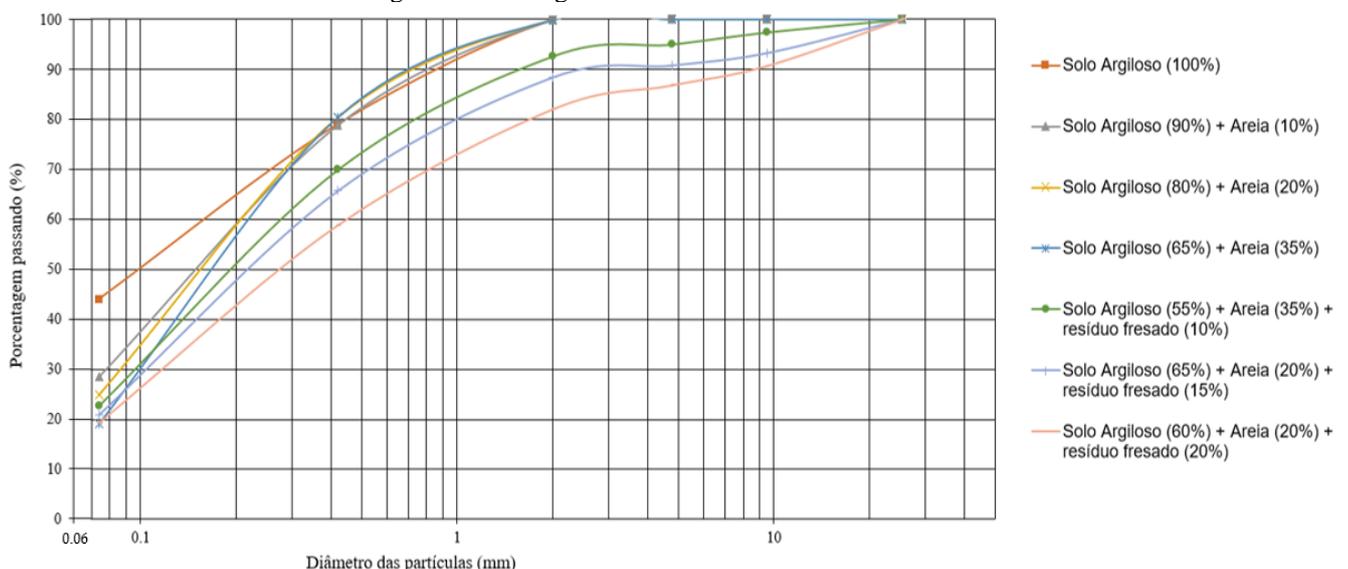
	Amostra 9	Amostra 10	Amostra 11	Amostra 12	Amostra 13	Amostra 14
	Solo Argiloso (55%) + Areia (35%) + resíduo fresado (10%)		Solo Argiloso (65%) + Areia (20%) + resíduo fresado (15%)		Solo Argiloso (60%) + Areia (20%) + resíduo fresado (20%)	
Classificação	A-2-4		A-2-4		A-2-4	
LL (%)	N/L		N/L		N/L	
IP (%)	N/P		N/P		N/P	
IG	0		0		0	
Dens. Máx. (g/dm^2)	1965		2002,0		2006,0	
Umidade ótima (%)	11,4		9,8		9,7	
ISC (%)	26		29		30	
Expansão (%)	0,0		0,0		0,0	

Fonte: Autor (2018).

Assim como nas misturas de solo com areia, quanto maior a quantidade de resíduo, maior o ISC, porém o ganho com adição de resíduo se mostrou menor do que os ganhos da mistura de solo e areia, mas ainda assim, qualquer uma das amostras com resíduos atendia as especificações do DNIT e poderia ser usada como material de sub-base.

Por fim, como foi falado anteriormente, o melhoramento da capacidade de suporte do solo estudado se deu devido a uma estabilização granulométrica, ou seja, ao adicionar um material grosso, como a areia e o resíduo fresado, em um solo argiloso torna a amostra mais bem graduada, diminui a quantidade de finos e aumenta sua capacidade de suporte, observa-se isso no Figura 3, onde as curvas melhores graduadas apresentam um ISC maior que as curvas mal graduadas e observa-se também a queda da quantidade de finos da amostra de solo puro para as amostras misturadas.

Figura 3: Curvas granulométricas das misturas ensaiadas.



Fonte: Autor (2018).



4. CONCLUSÕES

Após serem realizadas avaliações das propriedades físicas do solo obtido na Jazida Gunga e avaliado as propriedades mecânicas das misturas de solo-areia e solo-areia-resíduo fresado, pode-se chegar à conclusão que a estabilização mecânica com adição de areia ou de areia mais resíduo ao solo argiloso se mostrou bastante eficiente. As amostras estabilizadas não somente atingiram os valores prescritos em norma como os superaram.

Sendo assim, a técnica de estabilização abordada nesse trabalho traz benefícios às obras de pavimentação não somente pelo ganho de capacidade de carga, mas também pela possibilidade da economia financeira pois se torna possível utilizar uma jazida mais próxima do trecho a ser pavimentado, mesmo que seu solo quando puro não atenda o suporte de carga prescrito no projeto. Outra vantagem é que adicionando um material granular ao solo, diminui-se a exploração da jazida, visto que quanto maior o suporte de carga, menor a espessura da camada. Porém, para ter essa economia financeira comprovada é importante analisar outros fatores como: custo da operação e manutenção dos equipamentos de fresagem, custo e transporte da areia, tempo de execução etc.

Além disso, o reaproveitamento do material fresado para estabilização mecânica de solos usados em camadas de pavimentos evita que estes resíduos sejam descartados de forma indevida na natureza, causando a poluição do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459. “Solo – Determinação do limite de liquidez”. Rio de Janeiro – RJ. 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7180. “Solo – Determinação do limite de plasticidade”. Rio de Janeiro – RJ. 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7181. “Solo – Análise Granulométrica”. Rio de Janeiro – RJ. 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7182. “Solo - Ensaio de Compactação”. Rio de Janeiro – RJ. 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9895. “Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio”. Rio de Janeiro – RJ. 2017.

ARAÚJO, A.; BARROSO, S. H. A. “O uso da técnica de solo-cal para melhoramento das propriedades tecnológicas de um solo da região do baixo Jaguaribe no estado do Ceará”. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro - RJ. 2007.

BONFIM, V. “Fresagem de Pavimentos Asfálticos”. Exceção, 3ª ed. São Paulo – SP. p.123. 2007.



DIAS, P. S.; PINTO, I. E.; COSTA, G. “Contribuição ao estudo de materiais fresados incorporados a um solo argiloso siltoso para o uso em camadas de pavimentos flexíveis”. In: 44º Reunião Anual de Pavimentação, Foz do Iguaçu – PR. 2015.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, IPR 719. “Manual de Pavimentação”. 3ª ed. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

GONÇALVES, F. J. P. “O desempenho dos pavimentos flexíveis – notas de aula”. p.149. 1999. Disponível em <<http://lci.upf.tche.br/~pugliero>>. Acesso em 10 abr 2018.

SENÇO, W. “Manual de Técnicas de Pavimentação”. Pini, 2ª ed. São Paulo – SP. p.764. 2007.

TEIXEIRA, I. “Estabilização de um solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na área de Transportes, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. p.137. 2014.