

Melhoria de Solos com Fibras Naturais – Penas de Frango

R.J. Llanque Ayala

Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil,
jannethllanque@gmail.com

J. Camapum de Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil,
camapumdecarvalho@gmail.com

Ana Laura Martínez Hernández

Instituto Tecnológico de Querétaro, Universidade Nacional de México, México,
almh72@gmail.com

RESUMO: A utilização de fibras naturais como alternativa de melhoramento de solos tropicais para uso em estruturas de pavimento vem sendo objeto de pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília. Os estudos iniciais foram conduzidos fazendo uso de cabelo humano e pelo canino. Com a melhoria do comportamento do solo com esse tipo de fibra, e considerando-se sua resistência e durabilidade em condições de uso apropriadas resolveu-se ampliar o estudo fazendo uso de penas de frango. A pesquisa volta-se para a busca do desenvolvimento sustentável tendo em vista que a grande maioria desse tipo de fibra é simplesmente descartada em aterros sanitários e que quando misturada ao solo pode propiciar-lhe comportamento mecânico satisfatório para uso em estruturas de pavimento. Essa fase inicial do estudo fundamentou-se na realização de ensaios de compactação e mini-CBR. Utilizou-se no estudo um solo laterítico arenoso (LA') puro e misturado em igual proporção a uma areia lavada. Para a avaliação da influência da fibra natural foram usados os teores em peso de 0,25% e 0,50% de penas de frango diferenciando-se os casos de barbas, raque e pena completa. Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição das penas se feita em teor adequado melhora o comportamento mecânico do solo avaliado por meio do ensaio de mini-CBR em diferentes umidades e pesos específicos aparentes secos de compactação. A diminuição do peso específico aparente seco com a incorporação das penas confirma a contribuição dessas fibras para o melhor desempenho quanto ao comportamento mecânico das misturas.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, Mini-CBR, Solo Tropical.

1 INTRODUÇÃO

Na construção rodoviária o solo é geralmente classificado a partir de suas propriedades físicas que estabelecem o seu potencial para uso em camadas de estruturas de pavimento. O problema começa quando o solo não é aceito como material para construção e na região não se têm outras alternativas além daquele solo.

A natureza é caracterizada pela diversidade biológica que se apresenta através de todas as

espécies tanto na flora quanto na fauna. A evolução da indústria que gera qualidade de vida aos habitantes, gera também resíduos dos principais produtos adquiridos em um determinado tempo. Desses resíduos, parte dos provenientes da indústria aviar são considerados fibras de origem animal.

As fibras naturais de origem animal como os pelos e penas têm um componente característico: a queratina, proteína de elevada dureza e resistência à degradação. Existem dois

tipos de queratina: queratina- α , de forma helicoidal e caracterizada pela flexibilidade, presente em cabelos e pelos e a queratina- β de forma laminar com predominância nas unhas, bicos, escamas e penas. Nas penas de frango podem-se encontrar ambas. Segundo a estrutura da pena, a queratina apresenta-se em até 95% de concentração (Martínez-Hernández & Velasco-Santos, 2012).

Na Figura 1 coloca em evidência a estrutura de uma pena. Ela é composta de uma parte central dura denominada raque, dela saem fibras alongadas denominadas barbas e das barbas saem outras mais finas, denominadas bárbulas.

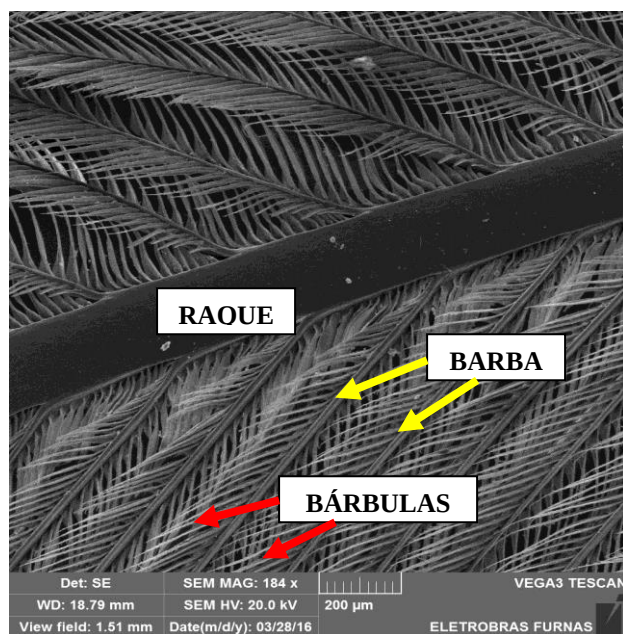


Figura 1. Pena de frango, esquema da estrutura.

Muitos autores atualmente investigam a reutilização dessas fibras Barone *et al.*, (2005); Korol, (2012), Martínez-Hernández *et al.*, (2007), Reddy *et al.* (2011) avaliaram a utilização das fibras de frango como base de polímeros. No Brasil não é diferente, Moore *et al.* (2005), Martelli (2005), Plácido (2010), Arruda (2010) são alguns autores que avaliaram a possibilidade de elaboração de polímeros com base nas penas de frango obtendo resultados satisfatórios.

Na Figura 2 observa-se a estrutura interna de uma raque, sendo evidenciada a estrutura laminar de contorno responsável pela dureza da pena.

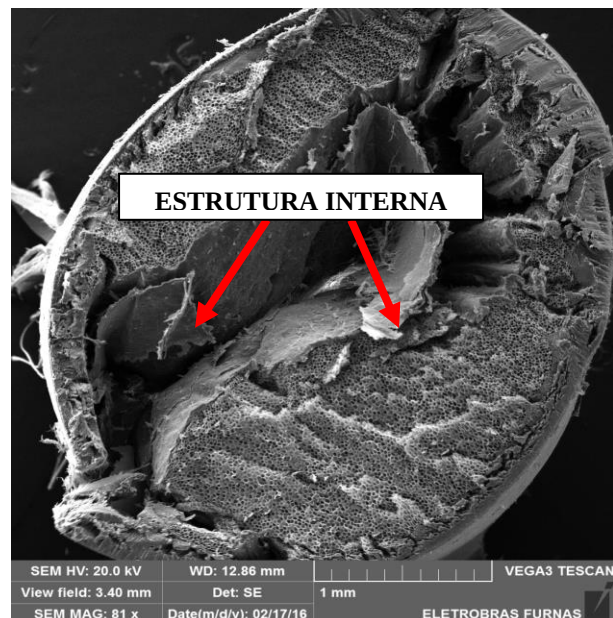


Figura 2. Estrutura da raque, pena de frango.

2 SOLOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

A inclusão de fibras naturais como reforço no solo produz variações no comportamento mecânico. Leucádio (2005) misturou fibras de sisal com solo e verificou que o comprimento das fibras influi nos resultados de compactação. Aplicando um tratamento com filme polimérico sobre a superfície das fibras verificou uma excelente adesão e observou ainda que as fibras tratadas absorvem menor quantidade de água que as fibras não tratadas. As fibras tratadas favorecem o incremento do CBR em relação às sem tratamento.

Cabala (2007) utilizou fibras de coco em combinação com hastes de bambu, areia e cimento CP-E-32, dessa combinação evidenciou melhoras nas características de expansão sendo que as fibras diminuíram a resistência mecânica do material quando utilizadas isoladamente. O conjunto fibra de coco – haste de bambu – areia – cimento permitiu o aumento da tenacidade do composto.

Pinto (2008) avaliou a adição de fibras de curauá e sisal em matrizes de solo com adição de cimento com aplicação em argamassas. Houve melhorias no comportamento. A estabilização química aumentou a rigidez e resistência final dos compósitos.

Da Silva (2011) avaliou os resultados de dois solos siltosos reforçados com fibras de sisal, PET, polipropileno e pneus e identificou que as fibras de polipropileno forneciam melhores resultados como reforço do solo. Paralelamente também estudou a melhoria do solo siltoso com aditivos químicos e orgânicos, identificando a cal como elemento que ofereceu melhor desempenho.

Leucádio (2012) evidenciou que o processo de impermeabilização, tanto com EPS quanto com CAP, como estratégia de proteção frente ao ataque de fungos permite atingir maior durabilidade das fibras vegetais no composto.

Sales (2011) estudou o uso do cabelo humano verificando altos valores na resistência à tração e melhorando o comportamento do solo.

Galán-Marin *et al.* (2010) utilizaram a fibra natural lã de ovelha. O reforço do solo com este material permitiu melhorar a resistência à compressão quando combinado com outro reforço, nesse trabalho, com alginato (obtido das algas marinhas).

Montes-Zarazúa *et al.* (2015) evidenciaram uma melhora nas propriedades de um solo expansivo quando adicionados 3% de fibras de penas de frango reduzindo a relação de vazios o que permite um melhor desempenho do solo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fibra utilizada, pena de frango, além da semelhança com outras fibras naturais já testadas, tem por vantagem a facilidade de sua aquisição em abatedouros.

O estudo foi realizado em laboratório utilizando-se equipamentos convencionais como estufa e prensa CBR. Os ensaios foram realizados utilizando-se como material as fibras da pena de frango, um solo argiloso e uma mistura de areia com esse solo argiloso na proporção aproximada de 50% cada. Utilizou-se nos ensaios a compactação do solo argiloso puro, da mistura solo argiloso-areia e desses dois materiais, adicionando-se 0,25% e 0,50% de fibras.

Os métodos de ensaio utilizados foram basicamente: os ensaios de compactação em equipamento miniatura (DNER-ME 256/94), o

ensaio mini-CBR (DNER-ME 254/97) e os ensaios necessários à classificação pela metodologia convencional MCV (DNER-ME 258/94).

A Tabela 1 apresenta a descrição da composição das catorze amostras ensaiadas e os três tipos de ensaios realizados em laboratório. Na amostra 1 além de serem feitos os ensaios de mini-Proctor e mini-CBR foi realizado também o ensaio MCV para classificação do material.

Para a obtenção da curva de compactação partiu-se do solo na umidade natural ($\omega=19\%$) umedecendo-se ou secando-se ao ar o solo segundo a necessidade para atingir a umidade pretendida. Para maior equalização da umidade no solo, todas as amostras após preparadas na umidade desejada foram ensacadas e armazenadas por 24 horas antes da realização do ensaio de compactação.

Tabela 1. Detalhe de ensaios realizados.

Amostra	Solo	Reforços				Ensaio realizado	
		areia	barba	raque	pena completa	mini Proctor	mini - CBR
1	puro	-	-	-	-	x	x
2	99,75%	-	0,25%	-	-	x	x
3	99,50%	-	0,50%	-	-	x	x
4	99,75%	-	-	0,25%	-	x	x
5	99,50%	-	-	0,50%	-	x	x
6	99,75%	-	-	-	0,25%	x	x
7	99,50%	-	-	-	0,50%	x	x
8	50,00%	50,00%	-	-	-	x	x
9	50,00%	49,75%	0,25%	-	-	x	x
10	50,00%	49,50%	0,50%	-	-	x	x
11	50,00%	49,75%	-	0,25%	-	x	x
12	50,00%	49,50%	-	0,50%	-	x	x
13	50,00%	49,75%	-	-	0,25%	x	x
14	50,00%	49,50%	-	-	0,50%	x	x

As misturas solo-fibra foram preparadas com 200 gr de solo e 0,25% e 0,50% de fibras, umedecidas em cinco umidades distintas de modo a possibilitar a obtenção da curva de compactação e os resultados de mini-CBR. De modo semelhante ao solo puro e com o mesmo objetivo as amostras eram preparadas na umidade desejada e armazenadas com 24 horas de antecedência à compactação.

As misturas solo-areia-fibra foram preparadas seguindo o mesmo procedimento adotado para o solo e solo-fibra.

3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS UTILIZADOS

As penas de frango utilizadas foram obtidas do abatedouro Casa Grande localizado em Brasília-DF. Após preparação as fibras apresentavam comprimento variando entre 1,00 cm e 1,50 cm com diâmetros das penas naturais variando entre 0,5 e 1 mm sem levar em consideração a raque e o cálcio.

O solo foi coletado a 3,0 m de profundidade no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília e é constituído por uma areia argilosa vermelho escura. Considerando-se o resultado apresentado por Carvalho (1995) para a profundidade de 3 m, obtém-se para essa profundidade um solo composto por 38,7% de gibbsita, 5,4% de caulinita, 37,6% de quartzo, 6,7% de hematita, 4,7% de goethita, 4,1% de anastásio e 3,1% de rutilo.

Esse solo apresenta limite de liquidez igual a 36%, limite de plasticidade igual a 26% e índice de plasticidade igual a 10%.

A Figura 1 apresenta os resultados granulométricos obtidos para a profundidade de 2,00 m por Guimarães (2002). A densidade real dos grãos desse solo obtida pelo mesmo autor foi de 2,65.

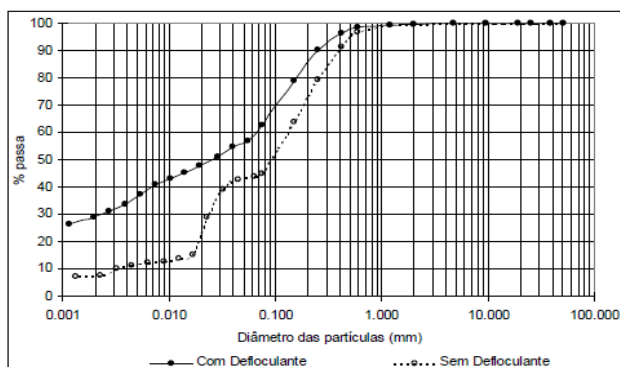


Figura 1. Curva granulométrica do solo (Guimarães, 2002).

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas obtidas para a areia utilizada nas misturas e para a mistura solo-areia. A densidade real dessa areia é igual a 2,65 e a do solo 2,6. Mineralogicamente trata-se de uma areia quartzosa.

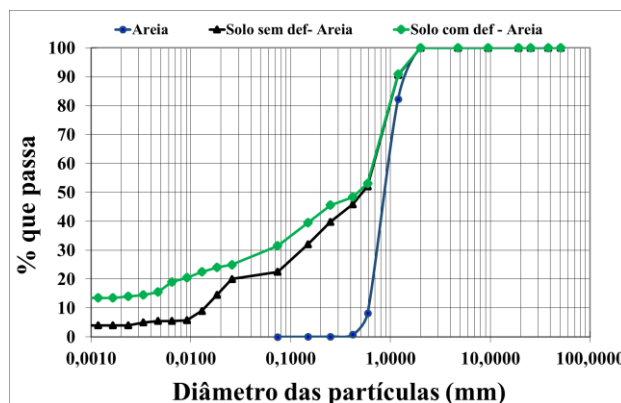


Figura 2. Curva granulométrica da areia e solo-areia.

4 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO E DA AREIA

Para a classificação do solo a ser melhorado foi realizado o ensaio mini-MCV (DNER-ME 258/94) sendo os resultados da classificação mostrados na Figura 3. Com base nesses resultados o solo é classificado como areia argilosa laterítica (LA').

A classificação textural do solo requer inicialmente que se fixe o que se pretende classificar se o solo no estado natural ou se o solo desagregado e defloculado. No caso específico desse trabalho interessa principalmente o solo em seu estado natural. Nesse caso, levando-se em consideração a curva granulométrica do solo obtida por Guimarães (2002) sem o uso de defloculante se obtém a classificação do solo como sendo areno-siltoso.

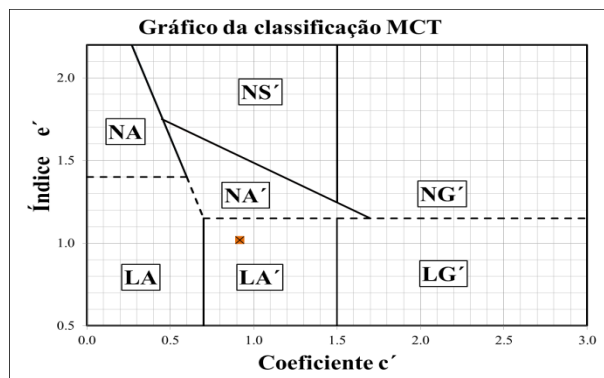


Figura 3. Classificação MCT do solo.

Segundo o Sistema de Classificação Unificada de Solos o solo utilizado é classificado como silte inorgânico de baixa

plasticidade, o que se aproxima da classificação textural obtida.

Quanto à classificação TRB considerando-se a análise granulométrica realizada sem uso de defloculante o solo é classificado como um silte argiloso pertencente ao grupo A-4.

Conclui-se assim que de um modo geral existe certa concordância entre os resultados das classificações realizadas. Dada a natureza laterítica do solo torna-se recomendável que se leve em conta a classificação MCT do solo.

Já a areia lavada texturalmente é uniforme e se enquadra como grossa. No sistema unificado trata-se de uma areia SP e segundo a TRB de uma areia pertencente ao grupo A-1-a.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Figuras 4 e 5 apresentam respectivamente as curvas de compactação obtidas para o solo comparado com teor de 0,25% e 0,50% de penas usando-se barba, raque e pena completa. Verifica-se desses resultados que em ambos os casos a pena interferiu nos resultados de compactação reduzindo o peso específico aparente seco. Essa redução mostra que as fibras atuam conferindo resistência ao cisalhamento ao solo. Para 0,25% de pena não se observa alteração na umidade ótima, no entanto, que o uso da pena completa levou à sua elevação. Esse comportamento aponta para o fato de estar ocorrendo retenção de água entre os fios da barba.

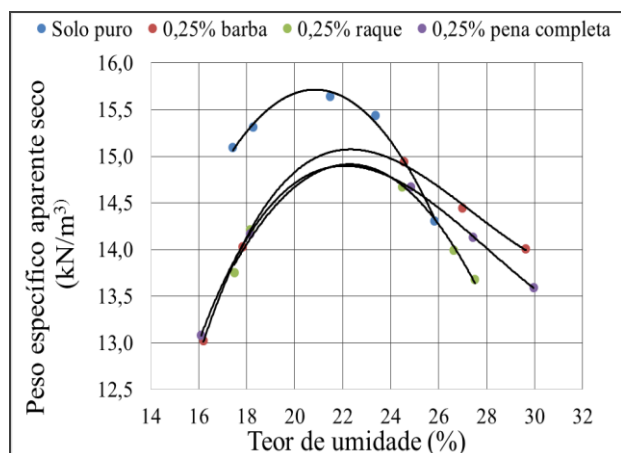


Figura 4. Curvas de compactação com 0,25% de pena.

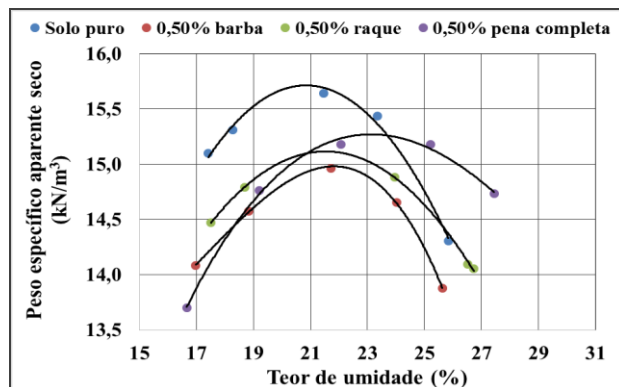


Figura 5. Curvas de compactação do solo puro com 0,50% de pena.

As Figuras 6 e 7 apresentam respectivamente as curvas de compactação obtidas para o solo misturado com areia e comparado para os teores de 0,25% e 0,50% de penas considerando-se separadamente a barba, a raque e a pena completa. Verifica-se desses resultados um incremento no peso específico aparente seco quando se mistura 0,25% de barba e pena completa, ou seja, contrariamente ao esperado, esses elementos não atuaram resistindo à compactação. Já a raque conduziu a uma redução no peso específico aparente seco da mistura, o que pode estar indicando, dada a sua estrutura porosa, uma ação de amortecimento da energia aplicada. Observa-se ainda que para esse teor não houve alteração na umidade ótima com a parte da fibra incorporada. Ao se considerar a incorporação de 0,50% de fibra passa-se a observar uma interferência da fibra na compactação promovendo a redução do peso específico aparente seco. A umidade ótima aumentou, sendo esse aumento foi mais relevante para o caso do uso da barba.

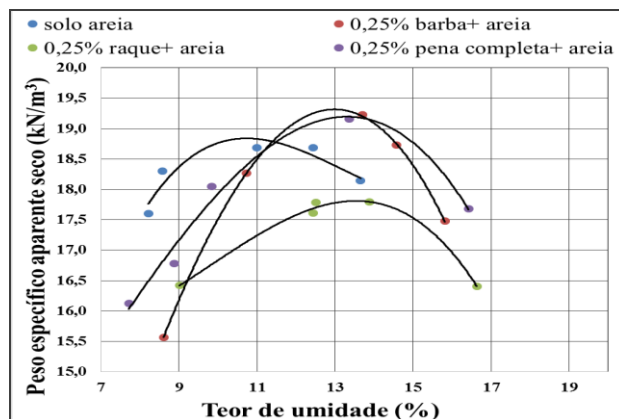


Figura 6. Curvas de compactação com 0,25% de pena e 49,75% de areia.

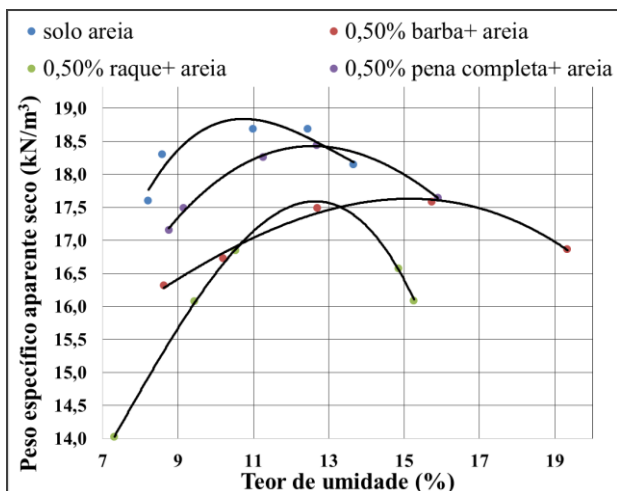


Figura 7. Curvas de compactação com 0,50% de pena e 49,50% de areia.

A Figura 8 apresenta os resultados de pressão versus penetração obtidos nos ensaios de CBR realizados sobre o solo puro. O melhor comportamento foi obtido para o solo compactado próximo à umidade ótima fornecendo um CBR de 22%.

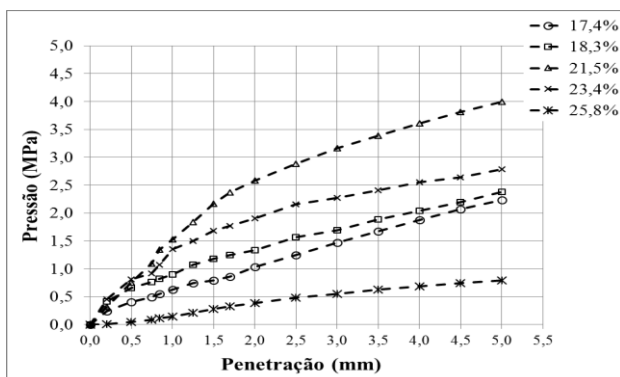


Figura 8. Curva de mini-CBR solo puro.

A Figura 9 apresenta os resultados de pressão versus penetração obtidos nos ensaios de CBR realizados sobre a mistura solo-areia. O melhor comportamento foi obtido para o solo compactado próximo à umidade ótima fornecendo um CBR de 30%.

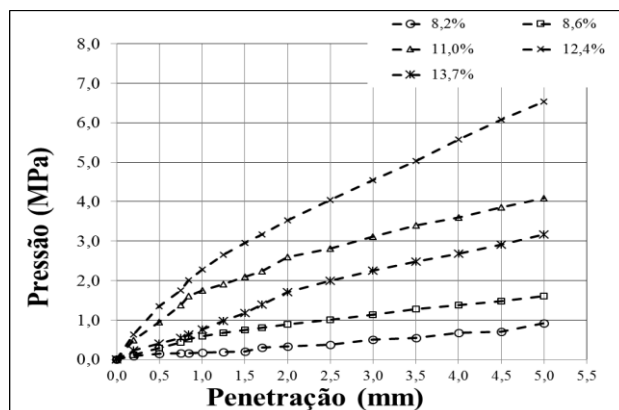


Figura 9. Curva de mini-CBR solo + areia.

A Figura 10 mostra que a adição de 0,25% de fibras ao solo puro gerou a melhoria do comportamento mecânico do solo. No entanto, ao se adicionar o mesmo teor de fibras à mistura solo-areia apesar da tendência de melhoria do comportamento os resultados são muito dispersos. Destaca-se que as misturas solos areia apresentam maior peso específico aparente seco que o solo puro quando compactado na mesma energia Próctor intermediária.

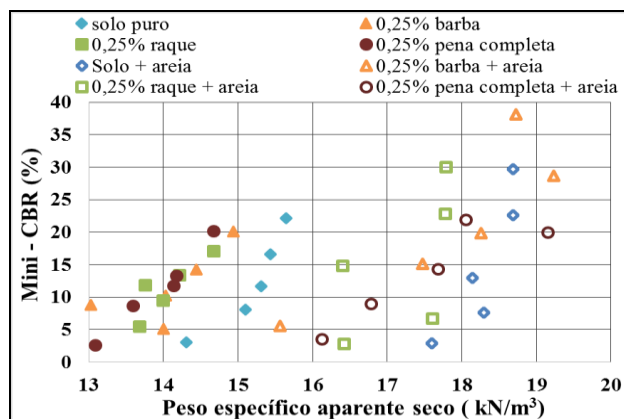


Figura 10. Influência de 0,25% de fibras no comportamento do solo e do solo-areia.

Observa-se na Figura 11 que ao se adicionar 0,50% de fibras ao solo e à mistura solo-areia o comportamento em termos de dispersão se inverte em relação aos 0,25% adicionados e mostrados na Figura 10, ou seja, fica mais clara a melhoria no comportamento do solo-areia que no do solo puro. Considerando-se comparativamente os dois teores de fibras observa-se ainda que com a adição de 0,25% de fibras os resultados com as diferentes partes da pena são semelhantes, no entanto, ao se usar 0,50% de fibras os piores resultados são obtidos para o uso da pena completa.

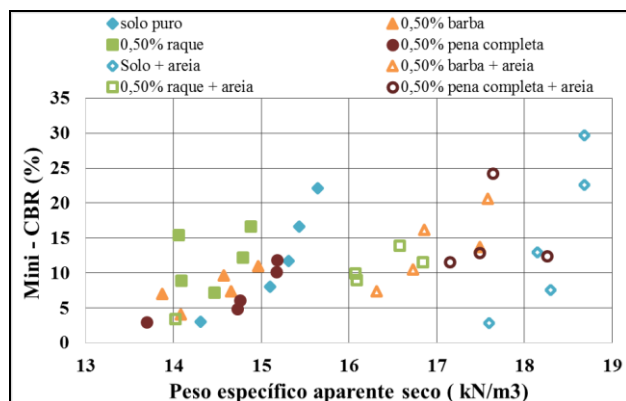


Figura 11. Influência da incorporação de 0,50% de fibras ao solo puro e ao solo-areia.

Apesar da dispersão, as Figuras 12 e 13 mostram respectivamente que a adição de fibras melhora o comportamento do solo e da mistura solo-areia em termos de CBR.

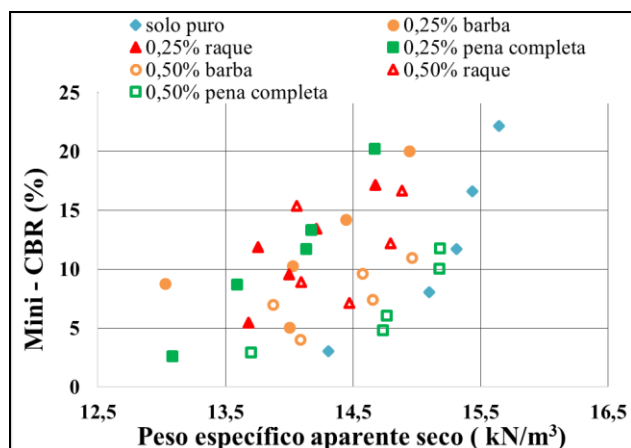


Figura 12. Influência das penas em teor 0,25% e 0,50% no solo.

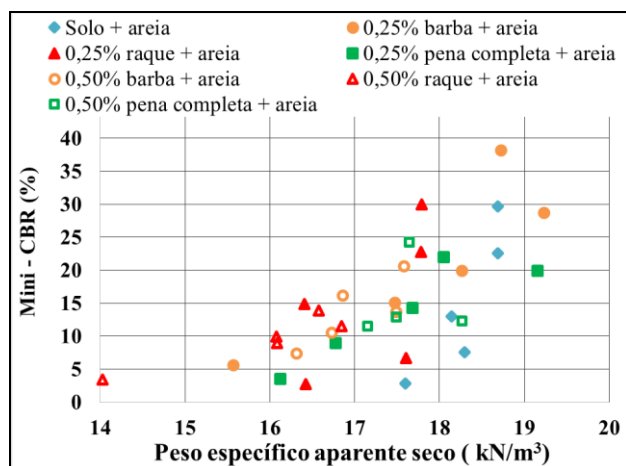


Figura 13. Influência das penas em teor 0,25% e 0,50% no solo misturado com areia.

Em todos os casos foi verificado que a adição de penas diminui o valor do peso específico aparente seco quando se usou o solo puro. No caso da mistura solo-areia ao se incorporar 0,25% de pena completa e barba houve um ligeiro aumento do peso específico aparente seco ocorrendo uma pequena redução quando da incorporação da raque. No entanto, ao se incorporar 0,50% de fibras à mistura solo-areia se verificou em todos os casos uma redução no peso específico aparente seco. Em s casos as fibras tenderam a aumentar a umidade ótima, mesmo no caso de aumento do peso específico aparente seco quando se misturou 0,25% de pena completa e de barba ao solo-areia.

A redução do peso específico aparente seco em especial no caso da pena completa e da barba significa que as fibras atuaram fazendo com que o solo resistisse à compactação.

Geralmente a maior contribuição das fibras se para comportamento mecânico se dá para a resistência à tração devendo o estudo continuar avaliando esse parâmetro assim como a influência das fibras no comportamento do solo não saturado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao técnico Renato Batista e à FURNAS Centrais Elétricas S.A. pelo apoio dado no estudo da microestrutura das penas. Eles agradecem ainda ao CNPq pelo apoio dado ao desenvolvimento da pesquisa..

Ao abatedouro Casa Grande pelo fornecimento das penas para esta pesquisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arruda, M. N., (2010). *Extração, Caracterização e Modificação Química da Queratina Extraída das Penas de Frango*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Químico-Farmacêutica, USP, São Paulo, SP, 88 p.
- Barone, J. R., Schmidt, W. F., & Liebner, C. F. E. (2005). Compounding and molding of polyethylene composites reinforced with keratin feather fiber. *Composites Science and Technology*, 65(3-4), 683–692.
- Cabala, G.E., (2007). *Estudo do Comportamento Mecânico de Estruturas de Solo-cimento Reforçado com Fibras de Coco e Hastes de Bambu*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 91 p.
- Da Silva, C. C. (2011). *Comportamento de solos siltosos quando Reforçados com Fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 169 p.
- DNER-ME 254 (1997). Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini CBR e Expansão. Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 14p.
- DNER-ME 256 (1994). Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão. Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 06p.
- DNER-ME 258 (1994). Solos Compactados com Equipamento Miniatura – Mini-MCV. Método de Ensaio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. 14p.
- Galán-Marín, C., Rivera-Gómez C., Petric J., (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*. Journal Elsevier. volume 24 (2010). pag 1462 – 1468.
- Guimarães, R. C. (2002). *Análise das Propriedades e Comportamento de um Perfil de Solo Laterítico Aplicada ao Estudo do Desempenho de Estacas Escavadas*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 207 p.
- Korol, J. (2012). Polyethylene matrix composites reinforced with keratin fibers obtained from waste chicken feathers. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6(4), 355–360.
- Leucádio, G.A.S., (2005). *Reforço de Solo Laterítico com Fibras de Sisal de Distribuição Aleatória, Tratadas Superficialmente com EPS Reciclado*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Escola de Minas, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 99 p.
- Leucádio, G. A. S. (2012). *Estudo de Comportamento Mecânico de Compósitos Solo-Fibras Vegetais Impermeabilizadas com Solução de Poliestireno Expandido (EPS) e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)*. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Escola de Minas, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 145 p.
- Martelli, S. M. (2005). *Obtenção e Caracterização de Filmes de Queratina de Penas de Frango*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, UFSC, Florianópolis, SC, 95 p.
- Martínez-Hernández, A. L., Velasco-Santos, C., Icaza, M., & Castaño, V. M. (2007). Dynamical-mechanical and thermal analysis of polymeric composites reinforced with keratin biofibers from chicken feathers. *Composites Part B: Engineering*, 38(3), 405–410.
- Moore, G. R. P., Martelli, S. M., Andreo, P. D., Gandolfo, C. A., Machado, R. F. A., Bolzan, A., & Laurindo, J. B. (2005). Obtenção de Biofilmes a partir de Queratina de Penas de Frango. *Revista Matéria*, 10(1), 8–13.
- Montes-Zarazúa, E., Colín-Cruz, A., Pérez-Rea, M. L., Icaza, M., Velasco-Santos, C., & Martínez-Hernández, A.L., (2015). Effect of Keratin Structures from Chicken Feathers on Expansive Soil Remediation. *Advances in Materials Science and Engineering*. (2015), 1–10.
- Plácido, G. R. (2010). *Extração, Caracterização e Uso da Queratina de Penas de Frango para a Obtenção de Filmes Biodegradáveis*. Tese de Doutorado, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Química, UFSC, Santa Catarina, SC, 128 p.
- Pinto, A. R. A. G. (2008). *Fibras de Curauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, RJ, 103 p.
- Reddy, N., Hu, C., Yan, K., & Yang, Y. (2011). Thermoplastic films from cyanoethylated chicken feathers. *Materials Science and Engineering C*, 31(8), 1706–1710.
- Sales, K. C. dos S. (2011). *Melhoria de Solos Por Inclusão de Fibras Naturais*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 97p.