

Melhoramento de Solo com Adição de Resíduo Procedente do Cepilhamento de Pavimentos CCP

Daniel da Silva Gomes

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil,
daniel.sgomes@outlook.com.br

Cleber de Freitas Floriano

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil,
cleber.floriano@pucrs.br

RESUMO: O presente trabalho busca analisar a alternância do comportamento do solo, utilizando a adição do resíduo de microfresagem (ou cepilhamento) em pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP). O local investigado situa-se na região metropolitana de Porto Alegre/RS, Brasil. O trecho rodoviário de interesse está situado em solos potencialmente de baixa competência geotécnica. Para o presente estudo, foram utilizadas duas coletas de solo, procedentes de depósitos sedimentares no município de Gravataí/RS (amostra 01 e 02). Os materiais coletados foram submetidos a ensaios de caracterização, e Índice de Suporte Califórnia (ISC). Após a execução destes ensaios, foi determinado o índice de plasticidade (IP) de cada mistura comparando-o com o IP do solo natural. Notou-se que para a amostra 01, houve efetiva redução da plasticidade nas dosagens de 2,5% a 7,5%. Enquanto na amostra 02, a efetiva redução da plasticidade ocorreu com dosagens de 7,5% a 12,5%. A variação do índice de compressibilidade de cada coleta cresceu proporcional a dosagem adicionada de resíduo cepilhado. Para a amostra 01 ocorreu estabilização na redução do IP a partir da adição 7,5% de material cepilhado e na amostra 02 com 12,5%, assim, foram realizados ensaios de ISC nestas duas condições, sendo comparados com o ISC do solo natural. Verificou-se que o solo da amostra 01 obteve um ganho de aproximadamente 9% ao valor do ISC, enquanto a amostra 02 o ganho foi de 36%. Ocorre também aumento de massa específica do solo. Por fim, com a adição, notou-se melhorias importantes, tornando os solos amostrados passíveis de serem qualificados como material de subleito ou mesmo de sub-base.

PALAVRAS-CHAVE: CCP, Cepilhamento, Estabilização, Resíduo, Solo.

1 INTRODUÇÃO

A expansão populacional na região metropolitana de Porto Alegre/RS gerou aumento do tráfego de curta distância na rodovia BR-290/RS, uma vez que o modal rodoviário é frequentemente utilizado devido sua facilidade de transporte e flexibilidade da capacidade de tráfego. Observa-se uma intensificação do tráfego nos trechos que abrangem os acessos às cidades vizinhas e a capital gaúcha em períodos referente aos horários de pico.

Deste modo, constantemente busca-se opções para proporcionar melhoria na distribuição deste tráfego com a tentativa de criar rotas alternativas. Cita-se neste trabalho como de fundamental importância à elaboração de um estudo de viabilidade para a construção de vias marginais tangenciando a BR-290/RS, no trecho entre a capital e o município de Gravataí.

Os locais de implantação destas vias de acesso, situa-se na região de inundação do delta do Guaíba e de seus rios contribuintes, alternando depósitos sedimentares clásticos

variegados. Para utilização como aterro dos solos desta região, deve-se praticar técnicas de estabilização através da adição de cimento, cal, brita, ou o uso de reciclagens, uma vez que estes solos são mecanicamente incompetentes no seu uso direto.

O presente trabalho, introduz uma possibilidade de reciclagem específica do material cepilhado de Pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP), já que pelo menos 17 km da rodovia BR-290 (trecho Osório – Porto Alegre) foi construída pelo método *whitetopping*, havendo, portanto, uma estimativa de 3.600m³ de material se houvesse a utilização da tecnologia de cepilhamento para uma camada em todo o trecho de CCP.

Destaca-se no presente texto a utilização do termo cepilhamento que é tratado como sinônimo de microfresagem. Ambos, representam uma técnica de restauração de pavimentos de Concreto através da remoção de uma fina camada superficial, que se torna um resíduo.

Dentro deste contexto, foram estudadas algumas dosagens de material cepilhado para que ocorresse a melhoria na estabilidade e resistência dos solos anteriormente citados, visando também ganho sustentável, através da reciclagem direta de resíduos produzidos a partir dos serviços de manutenção e melhoria nos parâmetros relacionados à irregularidade e aderência do pavimento.

O objetivo principal do presente estudo, portanto, visa verificar a redução do índice de plasticidade e o ganho de capacidade de suporte dos solos localizados próximos ao arroio Demétrio da BR-290/RS, através da adição em dosagens controladas do material cepilhado de CCP de trechos da própria rodovia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização

As coletas de solo foram realizadas junto a planície de inundação do arroio Demétrio, localizado no município de Gravataí/RS, conforme figura 1, destacando dois pontos de coleta (amostra 01 e amostra 02). Nestes locais

o nível freático encontra-se praticamente junto a superfície e dependendo do período pluviométrico, tornam-se regiões alagadiças.

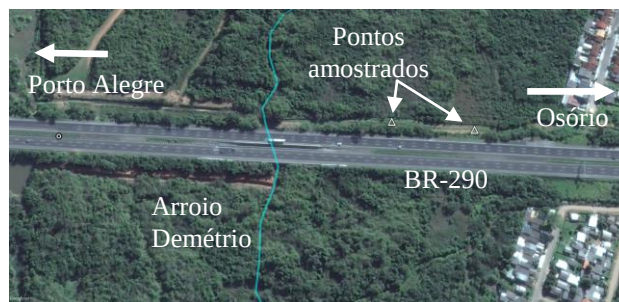


Figura 1. Localização dos solos amostrados.

A região da coleta compreende por areias finas a médias, assim como depósitos siltico-argissolos e intercalações de argilas plásticas. Detendo de uma zona de acumulação de planície lagunar, englobando depósitos aluvionares. A pedologia da região caracteriza por Planossolo Háplico (solo mal drenado encontrado em áreas de várzea). O relevo local é praticamente plano e a cota é próxima ao nível do mar, o que pode apresentar áreas alagadiças em períodos de chuva intensa ou cheias de corpos hídricos.

A escolha da localização das amostras de solo foi fundamentada por ensaios SPT solicitados pela concessionária Triunfo Concepa. Estes foram realizados para reconhecimento do solo no qual abrange o estudo de viabilidade das ruas marginais na Freeway, no município de Gravataí/RS.

O material a ser adicionado nos solos coletados consiste no resíduo gerado pelo cepilhamento realizado no pavimento CCP da rodovia BR-290/RS.

2.2 Solos Amostrados

As amostras de solo desta pesquisa foram coletadas as margens da BR-290/RS sentido litoral capital. A amostra 01 foi coletada a partir da profundidade de 1,80m, próxima ao km 72+500 da rodovia. De acordo com a sondagem SPT realizada, a camada coletada foi classificada como argila siltosa, pouco arenosa de cor variada. Apresenta-se na figura 2 uma porção deste material amostrado determinado como amostra 01.



Figura 2. Amostragem de solo (Coleta da amostra 01).

Outra coleta denominada de amostra 02, foi obtida a partir de 1,20m de profundidade, próxima ao km 72+600 da rodovia. O solo nesta ocasião, foi classificado como argila siltosa, pouco arenosa e de cor cinza, conforme boletim SPT. Na figura 3, pode ser visualizado uma porção do material coletado referente a coleta 02.



Figura 3. Amostragem de solo (Coleta da amostra 02)

Ambas coletas foram armazenadas em recipientes plásticos e lacrados, com objetivo de conservar a umidade in-loco.

2.3 Material Cepilhado

A técnica de cepilhamento decorre da microfresagem do pavimento CCP. Com o objetivo de eliminar as irregularidades e melhorar a aderência do pavimento.

Após o processo de microfresagem do pavimento CCP, o resíduo foi depositado em bacias de sedimentação, construída em sua base

com manta geotêxtil filtrante. O procedimento de coleta da amostra foi realizado após sedimentação do material deixando-o relativamente seco. A figura 4 mostra a textura do material cepilhado do CCP.



Figura 4. Amostragem de solo (Resíduo)

2.4 Ensaios Realizados

A caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa foi realizada por ensaios laboratoriais. Os métodos aplicados são discriminados abaixo:

- Teor de umidade do solo (amostras de solo e resíduo);
- Peso específico real dos grãos (amostras do solo e resíduo);
- Análise Granulométrica (amostras de solo e resíduo);
- Limite de Atterberg (amostras de solo e resíduo, e nas misturas de solos com 2,5% a 15% de resíduo);
- Compactação e Índice de Suporte Califórnia (amostra 01 de solo e 7,5% de resíduo, amostra 02 de solo e 12,5% de resíduo).

O material coletado foi submetido a processos de secagem ao ar, com o objetivo de atingir umidade higroscópica a fim de dar segmento aos demais ensaios de caracterização. A preparação do material para que fossem desenvolvidos os ensaios, seguiu principalmente as instruções fornecidas pela norma ABNT NBR 6457/1986.

O peso específico real dos grãos foi determinado a partir do método do picnômetro, conforme a norma ABNT NBR 6508/1984. A

partir do resultado deste ensaio foi possível realizar os demais índices obtidos nesta pesquisa.

Para a determinação da dimensão dos grãos pertencentes as amostras desta pesquisa, foi empregada a análise granulométrica na forma de peneiramento e sedimentação conforme a norma ABNT NBR 7181/1984.

O índice de plasticidade, parâmetro de referência nesta pesquisa, representa a diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Fisicamente representa a faixa de volume de água que se pode adicionar ao solo de modo que se mantenha na condição plástica. Segundo Caputo (1987), quanto maior for o índice de plasticidade maior é a tendência do solo a ser compressível.

O método realizado para a determinação do LL desta pesquisa seguiu as especificações da norma ABNT NBR 6459/1984. Para a determinação do LP utilizou-se as orientações indicadas pela norma ABNT NBR 7180/1984.

Antecedendo a determinação do índice de suporte califórnia (ISC) foi realizado o ensaio de compactação, utilizando energia de proctor normal, seguindo as orientações da ABNT NBR 7182/1986. Enquanto o ISC foi determinado pelas normas DNER M47/64 e ME 129/94.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Ensaios de Caracterização

Após a realização da coleta, foram realizadas em laboratório o ensaio de peso específico real dos grãos, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Dados de umidade natural e peso específico real dos grãos dos materiais

Coletas	Umidade Natural	Peso específico real dos grãos
Amostra 01	17,6%	26,6 kN/m ³
Amostra 02	41,4%	26,8 kN/m ³
Resíduo	5,9%	26,2 kN/m ³

Analizando os resultados obtidos pela granulometria da amostra 01, observa-se pouca quantidade de finos, prejudicando a uniformidade granulométrica desta amostra.

Conforme a classificação granulométrica, nota-se a predominância da fração arenosa, com 73,72%. As demais frações representam: 16,24% de argila, 5,71% de silte e 4,32% de pedregulhos. Desta forma, admite-se que 21,95% desta amostra é constituída por material fino.

Utilizando a classificação HRB-AASHTO, adotado pelo DNER (1996), este material é classificado como A-2-4, para o qual, o comportamento para emprego em subleito é excelente.

Na amostra 02, assim como a amostra 01, também houve predominância de material arenoso, porém percebe-se maior percentual de argila. As percentagens obtidas foram: 33,94% de argila, 10,16% de silte, 53,01% de areia e 2,89% de pedregulhos.

Aplicando a classificação HRB-AASHTO, este solo pertence ao grupo A-7, no qual classifica como solo argiloso. A potencialidade de uso deste material como subleito é definido por ser fraco a pobre, de acordo com esta classificação.

Quanto a granulometria do material cepilhado, as percentagens das frações granulométricas encontradas foram: 10,13% de silte, 83% de areia, e 6,87% de pedregulho. Nota-se que tal material está isento de argilas e sua fração granulométrica é composta predominantemente por grãos de silte a areias finas.

Conforme descrito acima, na figura 5 está apresentado a curva granulométrica representativa do resíduo do material cepilhado e das duas amostras coletadas.

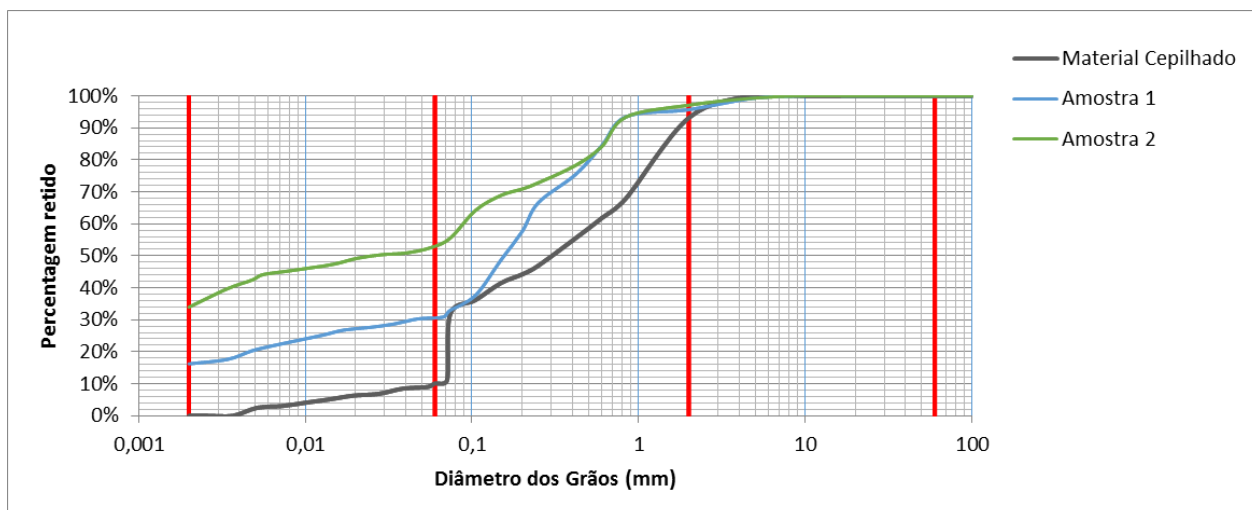


Figura 5. Amostragem de solo (Coleta da amostra 02)

Os parâmetros de LL e limite LP foram obtidos primeiramente utilizando o solo natural. Os demais resultados foram obtidos após a adição controladas de 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15% do material cepilhado no solo natural da amostra 01 e 02. Estes percentuais foram aplicados em relação ao peso de solo seco.

Na tabela 02 está apresentado a influência do percentual de resíduo quando misturado no solo amostrado 01. Embora o solo natural apresente índice de plasticidade (IP) baixo, nota-se uma redução expressiva em relação ao seu valor absoluto.

Tabela 2. Resultados dos limites de Atterberg com a adição do material cepilhado na amostra 01.

Adição do Resíduo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	31,38	27,06	4,32
2,50%	30,66	27,58	3,08
5,00%	29,25	27,85	1,40
7,50%	29,18	28,07	1,11
10,00%	29,14	28,11	1,03
12,50%	29,07	28,38	0,69
15,00%	29,08	28,53	0,55

Nos resultados demonstrados na tabela 2, observa-se o baixo IP da amostra natural, reflexo da baixa quantidade de argila presente no material coletado. Sendo assim, a melhoria do solo com a adição, encontra-se em uma porcentagem de 5% de material cepilhado em massa, passando de IP=4,3% para IP≈1,2% (representando uma redução de apenas 3%). A partir de 7% de adição, o IP continua reduzindo,

no entanto, com menor eficiência.

Como o solo da coleta 02 possui uma quantidade maior de material argiloso, pode ser verificada maior eficiência já que este solo na sua condição natural possui IP=27,86%. Para o solo da coleta 2, portanto, a tabela 03 mostra os resultados da plasticidade do solo por meio da adição do microfresado.

Tabela 3. Resultados dos limites de Atterberg com a adição do material cepilhado na amostra 02

Adição do Resíduo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	52,17	24,31	27,86
2,50%	50,70	24,62	26,08
5,00%	50,22	24,42	25,80
7,50%	48,22	25,62	22,60
10,00%	44,56	26,09	18,47
12,50%	40,46	27,33	13,13
15,00%	39,95	27,74	12,21

Através destes resultados foi observado que a redução da plasticidade foi expressiva na faixa dos 7,5% aos 12,5% de adição do material cepilhado. Nota-se, com esta composição, uma queda de 25,80% para 13,13% do IP (representando uma redução superior a 12%).

3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Com base nos ensaios de caracterização e especialmente com referência na redução do IP com a adição de material cepilhado, foram escolhidas as misturas que estabilizaram os solos coletados para serem submetidos ao ensaio de ISC.

Neste contexto, a amostra 01 obteve estabilização do IP a partir da adição de 7,5% de material cepilhado e na amostra 02 com 12,5%. Nestas condições foram realizados os ensaios ISC, sendo comparados com os resultados obtidos do solo natural.

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada a energia normal de Proctor com execução de 5 pontos de umidade.

Na figura 6 apresenta-se as curvas resultantes para a determinação do teor de umidade ótima e a densidade máxima dos ensaios realizados.

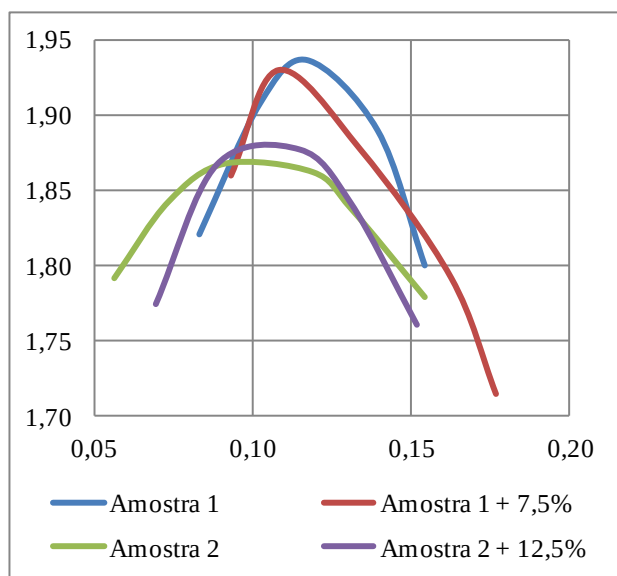


Figura 6. Resultados de Densidade x Umidade

Com os dados obtidos no ensaio de compactação, obteve-se o ISC. A umidade de compactação do material seguiu as apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Umidade ótima em Proctor Normal utilizadas para a determinação de ISC.

Material	Teor de Umidade
Amostra 01 (Solo Natural)	10,88%
Amostra 01 (+ 7,5% de Resíduo)	10,28%
Amostra 02 (Solo Natural)	11,75%
Amostra 02 (+12,5% de Resíduo)	11,77%

Na amostra 01 a adição do resíduo oriundo do cepilhamento proporcionou aumento do ISC de 19,23% para 21,14%. O que representa em um ganho de 9% no valor do ISC, relacionado com a adição de 7,5% de material cepilhado.

Comparando o ganho obtido nos resultados do ensaio de ISC desta pesquisa, com o valor necessários para o uso como sub-base

estabilizada por granulometria, segundo as normas do DNER, nota-se que a mistura da amostra 01 com 7,5% de material cepilhado atende a normativa mínima de 20% em relação do valor do ISC.

Já a mistura realizada para a amostra 02, o ganho no valor do ISC foi de 11,54% para 15,73%. Representado 36% de aumento de ISC com a mistura de 12,5% de material cepilhado no solo natural. Nesta condição, o solo melhorado não pode ser utilizado como sub-base, mas houve melhoria expressiva na possibilidade de uso como material de aterro ou reforço de subleito.

4 CORRELAÇÕES

Com o objetivo de explanar a análise do melhoramento dos solos desta pesquisa, foram determinadas correlações quanto aos resultados obtidos nos ensaios de caracterização.

Na amostra 01, verificou-se que até 5% de adição do material cepilhado houve redução tanto no LL quanto no IP, com mesma proporcionalidade. O mesmo pode ser visto na amostra 02, no qual o intervalo de 7,5% a 12,5% ocorre a proporcionalidade na redução.

De acordo com Terzaghi e Peck (1967), pode-se correlacionar o LL com o índice de compressibilidade (IC) que é associado com a potencialidade do solo de obter recalque. Averigua-se que o recalque do solo está relacionado proporcionalmente com a adição do microfresado, visto que este material preenche os vazios destes solos, conforme apresentado na figura 7.

Segundo Skempton (1984), pode-se correlacionar o IP com o volume de argila ativa no material amostrado. Classificando o solo amostrado com este método, define-se que o material que possui menor IP (amostra 01) atingiu índice de atividade coloidal igual a 0,27, classificado, portanto, como argila inativa. No entanto para a amostra 02, a qual obteve um índice de plasticidade maior, a atividade coloidal atingiu o valor de 0,82, sendo tendo, portanto, quantidade de argila normal, segundo o autor. Estes parâmetros elucidam a diferença na redução da plasticidade obtida pela adição do

material microfresado nas amostras ensaiadas.

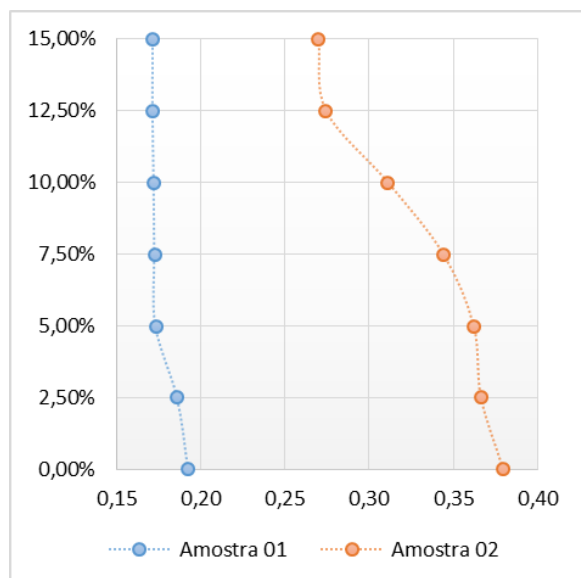


Figura 7. Evolução do IC na amostra 01 e amostra 02.

Outra correlação destacada neste contexto refere-se ao coeficiente de adensamento dos solos. Carrier (1985), correlaciona índices físicos com coeficiente de adensamento que o solo poderá obter. Esta correlação foi aplicada nos resultados obtidos desta pesquisa, resultando que na amostra 01 o material coletado possui classificação de material adensado. Já na amostra 02, apesar do coeficiente de adensamento ser igual a 0,02, este material, possibilita a ocorrência de pequenos recalques durante os anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os ensaios realizados para que fosse possível analisar a estabilidade de solos amostrados, laterais a rodovia BR-290/RS, quando adicionado o resíduo oriundo do cepilhamento do pavimento CCP desta mesma rodovia.

Com o acréscimo de dosagens entre 2,5% e 12,5% do resíduo, tanto na amostra 01 quanto na amostra 02, observou-se uma redução no IP. Esta redução obtida está relacionada com a quantidade de argila do material amostrado.

Na amostra 01 obteve-se estabilização do IP com a adição de 7,5% de material cepilhado, enquanto na amostra 02 foi de 12,5%.

Os ganhos obtidos nas correlações

realizadas, indicam que há melhorias no comportamento mecânico com as misturas. Os ensaios mecânicos confirmaram estes dados, apresentando que na amostra 01, obteve um ganho de 9%, enquanto na amostra 02, o ganho foi de 36% no valor do ISC quando ensaiado na condição de estabilização do IP.

A amostra 01 apresenta condições de ser empregada como sub-base de acordo com a especificação de serviços rodoviários DNIT 139/2010 – ES, expondo ISC mínimo igual a 20%. Já a amostra 02 não atende este quesito, mas nota-se melhoria expressiva e potencialidade de uso como material de aterro ou subleito estabilizado.

Com base na especificação de serviços rodoviários do DNIT 140/2010 – ES, no qual define que para possuir condições de ser utilizado como sub-base, o solo deverá apresentar índice de plasticidade máxima de 18% e limite de liquidez máximo de 40%. Comparando estes dados normativos com a amostra 01 desta pesquisa, observa-se que os resultados obtidos já estão respeitando os parâmetros estabelecidos na condição natural do solo. Enquanto a amostra 02, atende esta norma somente quando foi adicionado 15% de material cepilhado.

A potencialidade do aproveitamento do material cepilhado é efetiva não somente por conta da melhoria de parâmetros mecânicos dos materiais naturais, mas também como redução de impactos ambientais tendo em vista a reciclagem do material, que alcançou determinado limite de serviço.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6457. (1986). Amostras de Solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 9 p.
- ABNT NBR 6459. (1984). Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 6 p.
- ABNT NBR 6508. (1984). Grãos de solos que passam pela peneira de 4,8mm. Rio de Janeiro. 8 p.
- ABNT NBR 7180. (1984). Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 3 p.
- ABNT NBR 7181. (1984). Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. 13 p.
- ABNT NBR 7182. (1986). Solo: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro. 10 p.

- ABNT NBR 9895. (1987). Solo: Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro. 14 p.
- Caputo, H.P. (1987). Mecânica dos solos e suas aplicações. 6.ed. Rio de Janeiro. 219 p.
- Skempton, A.W. (1984). Selected papers on soil mechanics. London. p. 65-70.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil mechanics in engineering practice. New York. 729 p.