

ESTUDO DE MELHORAMENTO DO SOLO DO CENTRO DE EVENTOS DA CIDADE DE PELOTAS/RS EMPREGANDO O MÉTODO EXPEDITO DAS PASTILHAS

Gabriel Dalbem Pontes

Engenheiro Civil formado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
gabrieldalbem@gmail.com

Klaus Machado Theisen

Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas
theisenkm@yahoo.com.br

Resumo. *O estudo apresenta técnicas de melhoramento ao solo do estacionamento do centro de eventos da Fenadoce em Pelotas/RS, motivado pelo ocorrido no evento Fenadoce em 2017. Coletou-se do estacionamento amostras em três pontos (setores O, Q e S) e executou-se ensaios de granulometria, limite de liquidez e plasticidade nas amostras, classificando-as como Areias Siltosas. Após, as amostras foram submetidas ao método expedito das pastilhas e à classificação G-MCT, obtendo-se solos granulares com fração fina de comportamento não-laterítico, não recomendados à pavimentação. Assim, aplicou-se nas amostras melhoramentos com adições de 1, 2 e 3% de cimento, e misturas com 50% de solo laterítico residual de granito com adição de 0, 1 e 2% de cimento. Realizou-se ensaios de contração e saturação de pastilhas nas amostras melhoradas, onde nos três setores do estacionamento misturas com 50% de solo laterítico se observou melhoramento satisfatório, mostrando a efetividade de materiais desenvolvidos pedogeneticamente em melhoramentos.*

Palavras-chave: *melhoramento de solos; classificação MCT expedita; solo-cimento.*

1. INTRODUÇÃO

Os grandes riscos envolvidos com obras de engenharia estão associados a problemas com o subsolo. Os problemas estão associados às incertezas resultantes da ação da natureza e do homem. Isto pode prejudicar substancialmente o projeto e o meio ambiente se o subsolo não é adequadamente conhecido. As mesmas consequências são esperadas em obras de pavimentação, caso não haja adequado conhecimento do subsolo, principalmente em obras onde o material de subsolo desempenhará papel de revestimento.

Em função da adequada caracterização do subsolo poder ser crucial no bom desempenho de obras geotécnicas, empregou-se ensaios de caracterização do subsolo com fim de propor soluções à área de estacionamento e rodagem vicinal do centro de eventos de Pelotas/RS. Essa área recebeu duras críticas da imprensa durante a realização da Fenadoce nos últimos dois anos, especialmente em 2017, por estar em situação calamitosa, apresentando ondulações, rodeiros, atoleiros e acúmulo de água, trazendo transtornos para a divulgação do evento e dificultando o acesso ao local. As Figuras 1, 2 e 3 retratam um pouco da situação do estacionamento do centro de eventos durante o período da Fenadoce de 2017.

Constatados os problemas do local, o presente trabalho procurou aplicar simples metodologias, viáveis de aplicação a nível

municipal, para soluções dos problemas observados. Assim, surge Método das Pastilhas, baseado na classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) expedita de Nogami e Villibor (1994), facilmente empregável por prefeituras para inferir as propriedades geotécnicas de solos a serem empregados na pavimentação.

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi propor soluções de melhoramento do solo do estacionamento do centro de eventos do município de Pelotas/RS, baseadas na Metodologia MCT expedita de Nogami e Villibor (1994). Para o objetivo principal, estabeleceu-se os objetivos específicos:

- Efetuar a coleta de amostras de solo do estacionamento do centro de eventos;
- Realizar ensaios de caracterização das amostras colhidas, de modo a classificá-las segundo a classificação Unificada de Casagrande e a metodologia MCT expedita de Nogami e Villibor (1994);
- Realizar ensaios da metodologia MCT expedita nas amostras com diferentes alternativas de tratamento, incluindo adições de cimento e/ou solo laterítico;
- Apontar as alternativas de melhoramento melhor se adequem à solução dos problemas apresentados na área em questão.



Figura 1. Estacionamento do centro de eventos da Fenadoce em 2017
(<http://www.amigosdepelotas.com.br/blog/duas-coisas-inaceitaveis-na-fenadoce>)



Figura 2. Empoçamento de água no centro de eventos da Fenadoce em 2017
(<http://www.amigosdepelotas.com.br/blog/duas-coisas-inaceitaveis-na-fenadoce>)



Figura 3. Estacionamento do centro de eventos da Fenadoce em 2017
(<http://www.amigosdepelotas.com.br/blog/duas-coisas-inaceitaveis-na-fenadoce>)

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solos tropicais

Solos tropicais são solos que apresentam peculiaridades de propriedades e comportamento, relativamente aos solos não tropicais, devido a atuar sobre eles processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais úmidas. A esses solos, é necessário aplicar técnicas adequadas a fim de caracterizá-los e classificá-los, conforme as condições ambientais em que estão inseridos. A ocorrência de solos tropicais se dá em perfis divididos em dois conjuntos de horizontes,

segundo D'Ávila (2003): (A) Horizontes pedogenéticos A e B, com solos evoluídos pedogeneticamente, sem vestígios da estrutura da rocha matriz. O horizonte pedogenético B recebe a designação de solo laterítico e pode atingir vários metros de espessura; (B) Horizonte saprolítico, horizonte originado pelo intemperismo, com solos não evoluídos pedogeneticamente e que podem ter espessura significativa. O horizonte C é designado como solo saprolítico. Ademais, cita-se o grupo dos solos transportados (sedimentares), definidos como solos sedimentados por um agente transportador. Normalmente, formam depósitos menos firmes e são menos homogêneos que os solos residuais e aparecem em diferentes profundidades. Ocorrem em poucos locais, enquanto que os residuais são mais comuns e de ocorrência generalizada (DNIT, 2006). Segundo D'Ávila (2003), encontram-se os solos transportados (marinhos, fluviais, lacustres, *etc.*), localizados em zonas de deposição recentes, normalmente zonas mal drenadas e de ambiente saturado.

2.2 Classificação MCT e método das pastilhas (NOGAMI e VILLIBOR, 1994)

Idealizada por Nogami e Villibor (1981), a classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) baseia-se em procedimentos que reproduzem as condições reais de camadas de solos tropicais compactadas aferindo propriedades geotécnicas que representam o comportamento *in situ*. A classificação estabelece duas classes de solos: de comportamento Não-Laterítico (N) e Laterítico (L). Os solos do grupo "L", segundo Nogami e Villibor (1995), integram o horizonte B dos grupos pedológicos conhecidos como latossolos, solos podzólicos e terras roxas estruturadas. São solos que geralmente apresentam bom comportamento mecânico e hidráulico. Santos (2006) justifica o bom comportamento mecânico e hidráulico

devido ao processo de laterização, quando os cátions básicos são lixiviados, com conseqüente concentração residual de óxidos de ferro e de alumínio. É um processo típico de regiões tropicais úmidas. O grupo Laterítico subdivide-se em três grupos: areias lateríticas (LA), solos arenosos lateríticos (LA') e solos argilosos lateríticos (LG'). Os solos do grupo "N", segundo Santos (2006), incluem solos saprolíticos e solos superficiais (transportados) de comportamento não-laterítico. As condições de ocorrência, propriedades e comportamentos dessa classe são extremamente variadas em termos de volume, espessura de camada, homogeneidade, granulometria, mineralogia, plasticidade, capacidade de suporte, vulnerabilidade a erosão, *etc.* A classe possui quatro grupos: Areias não lateríticas (NA), solos arenosos não lateríticos (NA'), solos siltosos não lateríticos (NS') e solos argilosos não lateríticos (NG').

A classificação dos solos em um dos sete grupos mencionados é baseada nos ensaios Mini-MCV (DNER, 1994), onde parâmetros específicos são obtidos para a classificação. Entretanto, com o objetivo de tornar o método de classificação mais simples, prático e barato, Nogami e Villibor (1994) desenvolveram o método expedito das pastilhas, que consiste na moldagem de corpos de prova em pastilhas de 21mm de diâmetro e 5mm de espessura, com solo passante na peneira 0,425mm. O solo é umedecido até o estado plástico, moldado em pastilhas e seco em estufa. Após, as pastilhas secas têm seu diâmetro medido e finalmente são expostas a saturação sobre pedra porosa. Nesse ensaio são avaliadas a contração diametral na secagem e a penetração do minipenetrômetro em 24h de saturação da pastilha. Em função da contração diametral e da penetração em 24h, o solo é classificado conforme visto na Figura 4.

Embora simples, prático e barato, o método das pastilhas não é preciso em definir o grupo da classificação MCT que o solo se

enquadra. As áreas na Figura 4 cujas classificações estão separadas por hífen denotam 50% de chance de classificação em cada um dos grupos indicados, enquanto que as áreas cujas classificações estão separadas por barra denotam maior propensão à classificação indicada à esquerda.

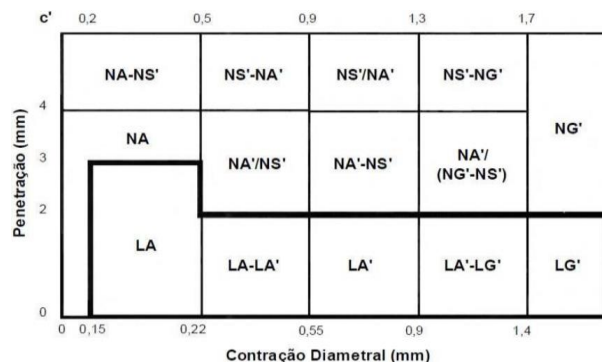


Figura 4. Classificação MCT pelo método das pastilhas (NOGAMI E VILLIBOR, 1994)

2.3 Revestimentos primários

O Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes (DNIT, 2006) define revestimento primário como uma camada de solo, com características adequadas, capaz de fornecer uma superfície de rolamento que assegure o tráfego em qualquer época do ano. Keller e Sherar (2003) afirmam que a camada de revestimento primário deve cumprir duas funções básicas: ter qualidade e espessura suficiente para garantir o suporte estrutural da via às ações do tráfego e ser bem graduada, contendo finos suficientes para prevenir problemas de desagregação e surgimento de sulcos. Na Figura 5, mostra-se representação esquemática de solos sem finos, estabilizado granulometricamente e com excesso de finos. Na Figura 5(a), observa-se uma mistura de agregados sem finos, tendo os agregados um contato direto grão a grão, caracterizada pela alta permeabilidade, difícil compactação e fácil desagregação. Na Figura 5(b), remanesce o

contato direto grão a grão dos agregados, apresentando, no entanto, um aumento da resistência às deformações, baixa permeabilidade, compactação moderadamente fácil e boas condições de rolamento, devido o preenchimento dos vazios entre os agregados maiores. Na Figura 5(c) tem-se uma composição com excesso de finos, baixa densidade, baixa resistência e estabilidade, sendo a mesma afetada por condições adversas de umidade, podendo ser altamente erodível.

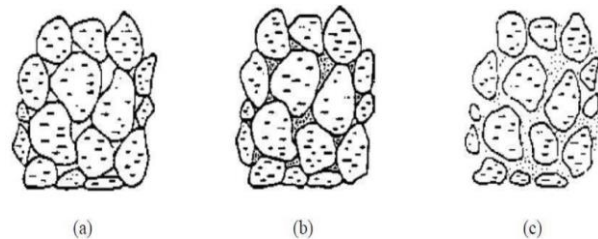


Figura 5. Representação esquemática de estados físicos de misturas solos-agregados. (a) agregados sem finos; (b) agregados com finos suficientes para resultar na densidade máxima e (c) agregados com excesso de finos (KELLER E SHERAR, 2003)

Segundo Nogami e Villibor (1995), a utilização de critérios tradicionais para escolher solos/agregados nas regiões tropicais tem repercutido no surgimento de dificuldades de encontrar materiais que atendam tais critérios e na constatação de que bases de solo/agregado, embora não satisfazendo às condições dos critérios tradicionais, tiveram frequentemente desempenho satisfatório quando utilizados como componentes solos lateríticos. Os autores expõem que tal imposição granulométrica tradicional não leva em conta a natureza dos componentes finos do solo/agregado, entretanto, a prática tem mostrado que no caso de misturas contendo finos lateríticos, a deficiência granulométrica fica compensada pela melhor qualidade dos referidos finos. Assim, os autores relatam experiências bem-sucedidas de utilização de

materiais com granulometria descontínua ou mesmo sem possuir fração acima de 2,00mm para base de rodovias. Os autores observaram também que solos argilosos lateríticos, quando apropriadamente compactados, mesmo em contato com a água livre, não expandem e não perdem sensivelmente a capacidade de suporte.

O tipo de revestimento primário mais comum é o solo local devidamente nivelado. Entretanto, a maioria dos solos proporciona uma superfície adequada apenas quando estão secos ou ligeiramente úmidos, apresentando deficiência em condições de maior umidade. Segundo Oda (1995), o método mais eficiente e duradouro de manter boa condição do revestimento primário é colocar uma camada de pedra ou material granular de espessura adequada, onde este deve conter uma quantidade suficiente de solos aglutinantes de grãos finos (silte e/ou argila) para ligar o material quando feita a compactação. Pedras e areias, sem silte e/ou argila, proporcionam boa capacidade de suporte quando bem compactadas, porém, na insuficiência de silte e/ou argila que atuam como ligantes das maiores partículas, observa-se desagregação de material da superfície do revestimento pelas rodas com muita facilidade. Quando há proporções adequadas das frações silte e/ou argila no material de revestimento, pode-se evitar a desagregação de material. Já quando há alto teor de silte e/ou argila, os solos ao umedecer ficam com comportamento plástico, podendo deixar o revestimento em condições intransitáveis em dias de chuva. Quando estão muito secos, os solos formam torrões e podem produzir poeira. Keller e Sherar (2003) enaltecem a importância da compactação adequada para melhorar o desempenho da camada de revestimento. Segundo Oda (1995), o revestimento deve proporcionar uma superfície com boas condições de rolamento e atrito, evitando problemas de derrapagem. As condições de rolamento dizem respeito às irregularidades do revestimento. As Figuras 6

a 8 ilustram os tipos de revestimentos mais encontrados em estradas não pavimentadas.

As patologias vistas em vias com revestimento primário estão associadas ao tipo de material do revestimento. Por exemplo, vias com fração fina predominante estão sujeitas a patologias como pista molhada derrapante e atoleiros em períodos chuvosos. Uma vez que se observa as patologias ocorridas no centro de eventos, a busca da solução para o melhoramento do solo do referido local através do método das pastilhas torna-se uma opção.



Figura 6. Revestimento de estrada com areia (D'Ávila *et al.*, 2008)



Figura 7. Revestimento de estrada com fração fina predominante (D'Ávila *et al.*, 2008)



Figura 8. Revestimento de estrada com argila vermelha (D'Ávila *et al.*, 2008)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização do Centro de Eventos da Fenadoce e pontos de coleta

O Centro de Eventos da Fenadoce situa-se no município de Pelotas/RS. O estacionamento do referido Centro de Eventos localiza-se no entroncamento da Avenida Presidente João Goulart com a BR-116, conforme Figura 9.

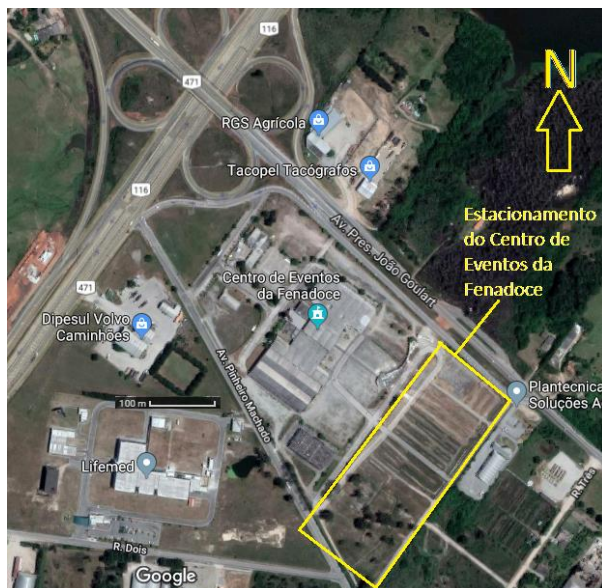


Figura 9. Localização do estacionamento do Centro de Eventos da Fenadoce (adaptado de Google Maps, 2019)

Para coleta, utilizou-se trado manual, enxada, pá, picareta e sacos para armazenamento. Coletou-se material referente à profundidade de 30cm a partir da superfície. Optou-se por coletar amostras em pontos onde ocorreram as maiores patologias durante o evento Fenadoce 2017, situados nos setores do estacionamento mais próximos à Avenida Pinheiro Machado. Assim, as amostras foram colhidas dos Setores “O”, “Q” e “S” do estacionamento, cujos pontos de coleta são vistos na Figura 10 e têm coordenadas (a) Setor O: latitude $31^{\circ}43'52''S$ e longitude $52^{\circ}22'55''O$; (b) Setor Q: latitude $31^{\circ}43'52''S$ e longitude $52^{\circ}22'57''O$; e (c) Setor S: latitude $31^{\circ}43'54''S$ e longitude $52^{\circ}22'56''O$.



Figura 10. Localização dos pontos de coleta (adaptado de Google Maps, 2019)

3.2 Preparação das amostras e ensaios de caracterização

A preparação das amostras para ensaios de caracterização seguiu os procedimentos da norma NBR 6457/2016 (ABNT, 2016a), com secagem em estufa, destorroamento com uso de almofariz e mão de gral. Em seguida, as amostras referentes aos setores do estacionamento foram submetidas aos seguintes ensaios de caracterização:

- Análise granulométrica, segundo a norma NBR 7181/2016 (ABNT, 2016b);
- Limite de liquidez, segundo a norma NBR 6459/2016 (ABNT, 2016c);
- Limite de plasticidade, segundo a norma NBR 7180/2016 (ABNT, 2016d);
- Contração diametral e saturação de pastilhas, segundo o método das pastilhas de Nogami e Villibor (1994).

No ensaio de contração diametral e saturação de pastilhas, são utilizados anéis de PVC de diâmetro interno de aproximadamente 21mm e 5mm de espessura, pedra porosa para absorção de água pela pastilha, paquímetro com precisão de 0,1mm, espátula flexível, estufa a temperatura de 60°C, cortador de pastilha em formato “U” com arame fino tensionado, minipenetrômetro de 11g com agulha de 1,3mm de diâmetro com ponta arredondada e papel filtro. Com as amostras preparadas segundo a norma NBR 6457/2016 (ABNT, 2016a), utiliza-se fração passante na peneira de abertura 0,425mm. Para moldagem das pastilhas, aproximadamente 50g de amostra (suficiente para moldagem de dez pastilhas) postas em um fundo de peneiras é umedecida com água destilada até obter massa plástica. Após, aplica-se um ciclo de espatuladas para homogeneização. Em solos não lateríticos arenosos, siltosos ou argilosos, 100 espatuladas é suficiente por ciclo; em solos lateríticos argilosos ou arenosos são necessárias pelo menos 400 espatuladas por ciclo. Terminado o ciclo de espatulação, determina-se a consistência da massa plástica de solo utilizando o minipenetrômetro, conforme Figura 11. O objetivo é obter um teor de umidade da massa que resulte 1mm de penetração do minipenetrômetro. Caso tal penetração resulte maior(menor) que 1mm, deve ser acrescido à massa solo(água destilada) e executar novo ciclo de espatuladas para homogeneização, verificando novamente a penetração após o ciclo. O procedimento deve ser repetido até que se obtenha massa

plástica em umidade que resulte 1mm de penetração do minipenetrômetro.



Figura 11. Teste de umidade de moldagem de pastilhas com minipenetrômetro (MATZEMBACHER, 2014)

Para moldar as pastilhas, uma esfera do material homogeneizado em torno de 10mm de diâmetro é colocada dentro de um anel de PVC sobre uma superfície lisa levemente umedecida com água destilada. Com uma espátula, faz-se pressão a este conjunto (superfície lisa, anel de PVC, esfera de solo) de modo a preencher inteiramente o anel de PVC. Após, desloca-se horizontalmente o anel de PVC preenchido sobre a superfície lisa umedecida até que o mesmo não fique em contato com a superfície. A face em contato com a superfície deve estar plana e sem vazios. Na face oposta, o material excedente deve ser cortado com o arame tensionado, de modo a obter nova face plana e sem vazios. Os anéis de PVC preenchidos são postos sobre suporte apropriado e transferidos para secagem em estufa por 12h a 60°C (caso o solo ensaiado ser muito argiloso, as pastilhas devem secar previamente ao ar livre). Após a secagem, mede-se o diâmetro de cada pastilha e o diâmetro interno de cada anel de PVC, em três orientações diferentes, com uso do paquímetro. A média dos diâmetros internos subtraída da média dos diâmetros das pastilhas

fornece a contração diametral empregada para classificação, obtida em mm. Os conjuntos pastilha-anel de PVC são transferidos para superfícies de placa porosa saturada com água e recobertas por papel filtro saturado, para saturação das pastilhas. Medidas de penetração com minipenetrômetro, conforme a Figura 12, são feitas após 5min, 15min, 30min, 2h e 24h do início da saturação.



Figura 12. Penetração em pastilha saturada sobre pedra porosa (D'ÁVILA *et al.*, 2008)

São tomadas das pastilhas as penetrações obtidas em 24h de saturação ou encerra-se o ensaio quando a penetração for 5mm. A média das penetrações em 24h resulta a penetração empregada para classificação, obtida em mm.

Os resultados experimentais foram empregados para classificar os solos segundo: (A) O Sistema Unificado de Classificação dos Solos e (B) O Sistema G-MCT proposto por Villibor e Alves (2017), onde este se divide na classificação granular (entre pedregulho com solo – Ps, solo com pedregulho – Sp e material granular com média a alta quantidade de finos – Gf), conforme Figura 13; e na classificação fina, conforme (no caso do presente trabalho), no uso da Figura 4, em função da contração diametral e penetração médias das pastilhas.

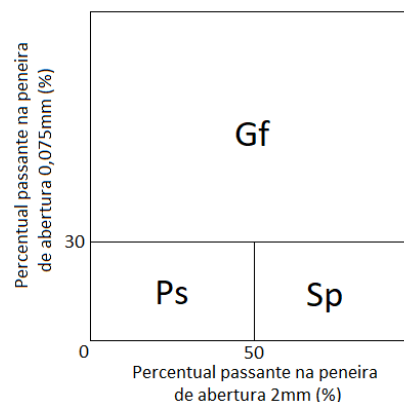


Figura 13. Gráfico para classificação da granulometria pela metodologia G-MCT (VILLIBOR E ALVES, 2017)

3.3 Soluções de melhoramento dos solos

As soluções de melhoramento estudadas no presente trabalho foram (a) mistura de solos; (b) estabilização química com cimento e (c) mistura de solos com estabilização química com cimento. Na mistura de solos, empregou-se um solo residual de granito do horizonte B de comportamento laterítico argiloso (conforme visto em 4.1) oriundo do município de Capão do Leão/RS, considerado este o mais viável ao melhoramento, por seu comportamento e distância da jazida com relação ao centro de eventos da Fenadoce. Na estabilização química, empregou-se cimento classificado segundo a norma NBR 5736/1991 (ABNT, 1991) como CP IV-32, que segundo informações dos maiores distribuidores da cidade de Pelotas, é o com maior demanda e conseqüente oferta no município, além do preço relativamente baixo.

Dado que os melhoramentos adotados têm influência no comportamento da fração fina dos solos, o método das pastilhas de Nogami e Villibor (1994) foi adotado para obter as dosagens de solo do Capão do Leão e/ou cimento CP IV-32 nos materiais do centro de Eventos no melhoramento. Objetivou-se buscar dosagens onde era obtida penetração média das pastilhas condizente com solos

lateríticos. Assim, as dezoito dosagens testadas foram as vistas na Tabela 1, onde “SetorO”, “SetorQ” e “SetorS” referem-se aos solos dos Setores O, Q e S do centro de Eventos, respectivamente; e “Capão” refere-se ao solo laterítico do município do Capão do Leão/RS.

Tabela 1. Soluções de melhoria estudadas para o centro de eventos

Materiais (proporções em massa)	Percentual de cimento (em massa)			
	0	1	2	3
100%SetorO		X	X	X
100%SetorQ		X	X	X
100%SetorS		X	X	X
50%Capão+50%SetorO	X	X	X	
50%Capão+50%SetorQ	X	X	X	
50%Capão+50%SetorS	X	X	X	

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de caracterização dos solos

A Tabela 2 mostra os resultados da granulometria dos solos dos setores O, Q e P do centro de eventos. Os resultados dos limites de plasticidade, liquidez e dos parâmetros de ajuste das curvas de fluidez segundo a equação 1, bem como o coeficiente de determinação (R^2) do ajuste, são vistos na Tabela 3. Os resultados dos ensaios de contração e saturação de pastilhas dos solos dos setores O, Q e S, bem como do solo residual de granito do Capão do Leão, estão na Tabela 4. Na Tabela 2, é visto que os solos dos setores O, Q e S têm acumulado passante na peneira #10 de 64,6%, 68,0% e 67,7%, respectivamente. O acumulado passante na peneira #200 dos solos dos setores O, Q e S é 35,8%, 40,7% e 39,4%, respectivamente. Tais valores indicam que os solos têm fração fina significativa, sendo esta que rege seu comportamento. Entretanto, pelos valores de limite de liquidez e plasticidade vistos na Tabela 3, a fração argila pode ser não ser a predominante, confirmado

pelos baixos resultados de contração diametral vistos na Tabela 4. Na mesma Tabela, observa-se solo pedologicamente não desenvolvido ou transportado, pelos valores altos de penetração a 24h. Em outras palavras, os solos dos três setores têm predominância de finos de comportamento não satisfatório.

Tabela 2. Análise granulométrica dos solos dos setores O, Q e P do centro de eventos

Peneira	Abertura (mm)	Acumulado passante (%)		
		Setor O	Setor Q	Setor S
3/4"	19,1	100,0	94,4	97,6
1/2"	12,7	99,3	91,5	95,3
3/8"	9,52	98,5	89,2	93,3
#4	4,76	88,3	80,2	83,2
#10	2,00	64,6	68,0	67,7
#40	0,42	48,0	50,6	50,4
#200	0,074	35,8	40,7	39,4

$$Umidade(\%) = -A \cdot \log(\text{num. golpes}) + B \quad (1)$$

Tabela 3. Ensaios de limite de plasticidade e liquidez dos solos dos setores O, Q e P do centro de eventos

Parâmetro	Material		
	Setor O	Setor Q	Setor S
A	12,578	6,5688	5,9485
B	53,319	37,794	34,020
R^2 do modelo	0,9434	0,9241	0,9411
Limite de liquidez	35%	29%	26%
Limite de plasticidade	26%	23%	25%

Tabela 4. Ensaios de contração e saturação de pastilhas para os solos dos setores O, Q, S e Capão do Leão

Parâmetro	Material			
	SetorO	SetorQ	SetorS	Capão
Contr.diam.	1,1mm	0,4mm	0,8mm	2,3mm
Penetr.5min	5mm	0mm	1mm	0mm
Penetr.15min	5mm	2mm	2mm	0mm
Penetr.30min	5mm	3mm	4mm	0,5mm
Penetr.2h	5mm	3,5mm	4mm	1mm
Penetr.24h	5mm	4,5mm	5mm	1mm

4.2 Classificação dos materiais

Aplicando-se as metodologias dos sistemas de classificação citados em 3.2, os resultados são vistos na Tabela 5, onde SM denota Areia Siltosa, Gf-NS' denota material granular com média a elevada quantidade de finos não-lateríticos siltosos, Gf-NA' denota material granular com média a elevada quantidade de finos não-lateríticos arenosos e LG' denota solo laterítico argiloso.

Tabela 5. Classificação dos solos segundo o sistema Unificado e G-MCT

Material	Sistema Unificado de Casagrande	Sistema G-MCT (VILLIBOR E ALVES, 2017)
Solo setor O	SM	Gf-NS' (provável) ou Gf-NA'
Solo setor Q	SM	Gf-NA' (provável) ou Gf-NS'
Solo setor S	SM	Gf-NS' ou Gf-NA'
Solo Capão	-	LG'

As classificações no sistema Unificado de Casagrande confirmam o discutido em 4.1, onde se observa um material não fino, porém com forte influência da fração fina no comportamento. As classificações pelo sistema G-MCT mostram o mau desempenho dos materiais. Em Villibor e Alves (2017), os materiais das classes Gf-NS' e Gf-NA' não são recomendados tanto para bases e sub-bases de pavimentação como para reforço e/ou subleito compactado, isto é, não se recomenda seu uso em pavimentação sob qualquer hipótese.

4.3 Soluções de melhoramento dos solos

A Tabela 6 mostra os resultados das soluções de melhoramento testadas vistas na Tabela 1. Em negrito, as soluções que se enquadraram dentro do quesito de aceitação

de possuir penetração menor ou igual a 2mm em 24h semelhante a solos lateríticos. Em itálico, os resultados dos solos dos setores do estacionamento sem melhoramento.

Tabela 6. Contração diametral e penetração em 24h das soluções de melhoramento testadas.

Contração diametral (mm)				
Materiais (proporções em massa)	Percentual de cimento (em massa)			
	0	1	2	3
100% SetorO	<i>1,1</i>	0,5	0,6	0,7
100% SetorQ	<i>0,4</i>	0,5	0,4	0,5
100% SetorS	<i>0,8</i>	0,3	0,3	0,4
50% Capão+50% SetorO	2,2	1,8	1,9	
50% Capão+50% SetorQ	1,7	1,6	1,5	
50% Capão+50% SetorS	0,9	0,9	1,2	
Penetração em 24h (mm)				
Materiais (proporções em massa)	Percentual de cimento (em massa)			
	0	1	2	3
100% SetorO	<i>5,0</i>	5,0	4,5	2,7
100% SetorQ	<i>4,5</i>	4,0	1,5	0,0
100% SetorS	<i>5,0</i>	4,0	2,7	0,0
50% Capão+50% SetorO	2,0	1,0	0,7	
50% Capão+50% SetorQ	1,5	1,5	0,0	
50% Capão+50% SetorS	2,0	2,0	1,0	

Segundo a Tabela 6, para os setores Q e S, a solução de estabilização química é efetiva com 3% de cimento em massa, onde o solo que melhor reagiu à estabilização foi o do setor Q (de maior teor de finos e menor penetração em 24h), enquanto que para o setor O (de menor teor de finos e 5mm de penetração em 5min de saturação) este percentual não é efetivo. Quando feita a mistura de solos sem estabilização química, os materiais dos setores atingiram valores de penetração condizentes com solos lateríticos, novamente destacando-se o do setor Q, mostrando a boa influência do solo escolhido (laterítico) no melhoramento. Tais resultados mostram a importância de se avaliar o grau de evolução pedogenética dos solos para uso de

obras de engenharia, pois tal variável pode ser influente na eficiência da aplicação de técnicas de melhoramento de solos. Entre os solos dos setores do estacionamento, o do setor O somente pôde ser estabilizado com adição de solo laterítico, enquanto que o do setor Q teve opção de ser apenas quimicamente estabilizado, com 2% de cimento em massa.

Cabe salientar comportamento das pastilhas estabilizadas quimicamente, que quando submetidas diretamente à secagem após à moldagem, o efeito da estabilização foi nulo. Acredita-se que isto ocorreu devido à rápida secagem das pastilhas, não havendo tempo suficiente da água reagir com o cimento utilizado, tipicamente de reações mais lentas (diferentemente do CP-V ARI). Para resolver tal questão, as pastilhas estabilizadas quimicamente foram submetidas à secagem ao ar livre por 7 dias antes da secagem em estufa.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em função dos resultados apresentados, conclui-se que:

- A caracterização dos solos dos setores O, Q e S mostrou a presença de areias siltosas (sistema Unificado de Casagrande) nos três setores, ou seja, com fração fina mostrando forte influência no comportamento;
- Segundo o sistema G-MCT de Villibor e Alves (2017), havia também forte influência no comportamento dos finos, porém estes com comportamento não-laterítico, não recomendados para uso em pavimentação;
- Quanto às soluções de estabilização, encontrou-se que (A) o setor O teve solução apenas com mistura de solo laterítico (proporção de 50%), com teores de cimento de 0 a 2%; (B) o setor Q teve solução tanto com 2 ou 3% de cimento, quanto para com mistura de solo laterítico (proporção de 50%), com teores de cimento de 0 a 2%; e (C) o setor S teve

solução de estabilização química com apenas 3% de cimento e mistura de solo laterítico (proporção de 50%), com teores de cimento de 0 a 2%. Assim, a solução comum a todos os setores é a mistura com solo laterítico, na proporção de 50% em massa;

- Nas soluções de estabilização, notou-se que quanto melhor o comportamento dos solos no ensaio de contração e saturação de pastilhas (isto é, maior grau de evolução pedogenética), mais efetivas são as soluções de melhoramento com estabilização química e/ou mistura de solo aplicadas. Foi nítido que a inclusão de solo fino desenvolvido pedogeneticamente tornou mais efetiva a estabilização química das misturas de solos efetuadas.

Como pesquisas futuras, sugere-se:

- Verificação da viabilidade econômica das soluções obtidas no presente trabalho;
- Aplicação da metodologia exposta no presente trabalho para os outros setores do estacionamento do centro de eventos;
- Aplicação de outras metodologias de melhoramento, como mistura com solos granulares, estabilização química com cal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5736:1991 - Cimento Portland Pozolânico, 1991.

_____. NBR 6457:2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016a.

_____. NBR 6459:2016 - Solo — Determinação do limite de liquidez, 2016c.

_____. NBR 7180:2016 - Solo — Determinação do limite de plasticidade, 2016d.

- _____. NBR 7181:2016 - Solo - Análise granulométrica, 2016b.
- D'ÁVILA, A. L. M. Apostila de Mecânica dos Solos aplicada a Engenharia Agrícola, 2003.
- D'ÁVILA, A. L. M., HAX, S.; FREITAS, P. C. D. Especificação expedita de materiais para vias não-pavimentadas - 4ª aproximação. Coimbra, Portugal: XI Congresso Nacional de Geotecnia e IV Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia, 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 258: Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DOS TRANSPORTES. Manual de Pavimentação. Publicação IPR – 179. Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.
- KELLER, G.; SHERAR, J. Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide. Whashington: US Agency for International Development (USAID), 2003. Disponível em: <http://ntl.bts.gov/lib/24000/24600/24650/Ind ex_BMP_Field_Guide.htm>. Acesso em: 15 de Novembro de 2017.
- MATZEMBACHER, A. C., Estudo de revestimento com areia em trecho de estrada não pavimentada no município de Giruá/RS. *Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas*, 2014.
- NOGAMI, J. S; VILLIBOR, D. F. Identificação expedita dos grupos da classificação MCT para solos tropicais. Foz do Iguaçu: Anais do X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1994.
- NOGAMI, J. S; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos. São Paulo: Villibor, 1995.
- NOGAMI, J. S; VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. Rio de Janeiro: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE/UFRJ, CNPq, ARMS, 1981.
- ODA, S. Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paula São Carlos/SP, 1995.
- SANTOS, E. F. D. *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais*. São Carlos (São Paulo): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- VILLIBOR, D. F.; ALVES, D. M. L. Classificação de solos tropicais de granulação fina e grossa. *Revista Pavimentação*, nº 43, jan-mar2017, ABPv-Associação Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2017.