

SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS PARA EMPREGO EM PAVIMENTAÇÃO ECONÔMICA NA PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RIO GRANDE DO SUL

CEZAR AUGUSTO BURKERT BASTOS¹ e DÉBORA FELTEN²

¹Professor do Departamento de Materiais e Construção – FURG; Doutor em Engenharia Civil; bastos@dmc.furg.br

²Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – FURG; dfelten@bol.com.br

RESUMO

Apresenta-se uma avaliação das propriedades de solos arenosos finos encontrados na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul com potencial de emprego em pavimentação de baixo custo. Foram investigadas sete jazidas de solos do agrupamento geotécnico denominado “areias lateríticas”. Foram aplicados critérios de escolha de solos para bases de solos arenosos finos lateríticos (SAFL), com base na metodologia MCT. Os solos apresentaram importantes limitações referentes à perda de suporte com a saturação e à elevada velocidade de ascensão capilar, entretanto os resultados iniciais justificam a solução alternativa por bases de solos arenosos finos para pavimentação econômica na Planície Costeira Sul. O grupo de pesquisa empenha-se na continuidade do trabalho, com a indicação das aplicações, a individualização dos solos mais adequados e a escolha dos projetos e técnicas construtivas mais apropriadas.

PALAVRAS-CHAVE: solos costeiros, pavimentação econômica, planície costeira, solos arenosos finos, metodologia MCT

1 – INTRODUÇÃO

A malha rodoviária do sul do Rio Grande do Sul é pouco extensa em estradas pavimentadas. A razão para isso está relacionada à escassez de recursos públicos e aos altos custos dos materiais usualmente empregados na pavimentação de estradas.

Na Planície Costeira Sul (Figura 1), é longa a distância de transporte de materiais considerados nobres (p. ex., brita graduada) para os municípios mais próximos à costa, encarecendo obras de pavimentação de pequeno a médio porte, como aquelas que envolvem estradas encarregadas do escoamento da produção agrícola do interior dos municípios da região, as chamadas estradas vicinais. A viabilidade econômica de pavimentação dessas vias passa pela redução de custos de construção, com a utilização de materiais locais na execução das estruturas dos pavimentos. Por serem destinadas ao tráfego leve, as estradas vicinais são bastante tolerantes quanto às especificações para materiais constituintes das camadas de seus pavimentos. Essas soluções alternativas são extensíveis a outras obras viárias também caracterizadas pelo tráfego leve, como pavimentação urbana em vias de médio a baixo volume de tráfego, pátios de manobras e estacionamentos.

Cabe à comunidade técnico-científica pesquisar soluções alternativas que atendam a dois critérios básicos: qualidade e baixo custo. Nesse sentido, são justificadas pesquisas no sentido de se conhecer o comportamento compactado de solos regionais encontrados na zona Sul do estado. Buscam-se com isso alternativas econômicas e viáveis para a melhoria das estradas da região. Para atingir esses objetivos, são indicadas metodologias também alternativas para avaliação dos materiais, como a metodologia MCT.

Entre os solos alternativos estudados pelo Grupo de Pesquisa em Geotecnia da FURG, destacam-se solos arenosos finos avermelhados desenvolvidos sobre terrenos de barreiras litorâneas pleistocênicas, encontrados nos municípios de Rio Grande e Pelotas. Esses solos, apelidados pelo grupo como “areias lateríticas”, devido ao destacado tom avermelhado associado à presença de sesquióxidos de ferro, apresentam características físicas e morfológicas que os assemelham aos solos arenosos finos lateríticos, intensivamente utilizados em pavimentação econômica na região Sudeste do país. Entende-se como pavimentação econômica (ou pavimentação de baixo custo) aquela caracterizada por bases executadas com solos regionais, cujos custos de execução são substancialmente menores que as soluções convencionais (brita graduada, macadame hidráulico, solo cimento, etc.), pelo uso de revestimentos betuminosos esbeltos (no máximo 3 cm de espessura) e por um volume de tráfego máximo do tipo médio ($N_t \leq 10^6$ solicitações do eixo simples padrão).

Neste trabalho, são apresentadas informações sobre os solos arenosos finos lateríticos, sua vocação e experiências na pavimentação de baixo custo e os recentes resultados obtidos pelo Laboratório de Geotecnia da FURG no estudo de ocorrência, das propriedades geotécnicas e da aptidão de uso em pavimentação baixo custo das chamadas areias lateríticas presentes na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul.

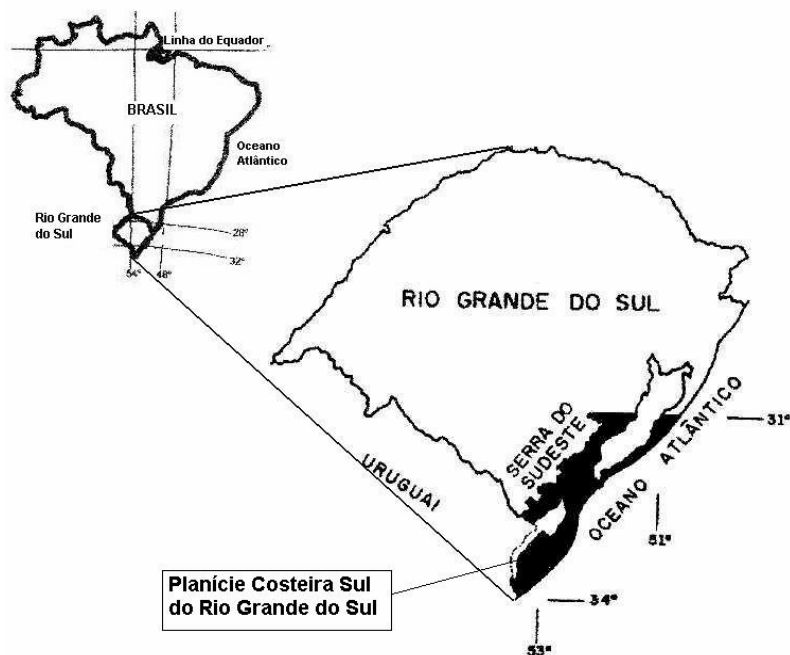


FIGURA 1 – Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul

2 – SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS

2.1 – Definição, ocorrência e histórico de uso

No Brasil existem vastas áreas cobertas por espesso manto de solos arenosos finos, sejam de origem sedimentar ou produto da decomposição de arenitos. No horizonte subsuperficial, devido à atuação de processos pedogenéticos típicos de clima tropical e subtropical, ocorre a chamada laterização dos solos, isto é, desenvolvem-se condições para acúmulo de sesquióxidos de ferro e alumínio, responsáveis por propriedades geotécnicas particulares a esses solos. Muitos desses solos constituem jazidas naturais de solos arenosos finos lateríticos, denominados abreviadamente de SAFL, apropriados para emprego em bases de pavimentos (Villibor et al. [9]).

Conceituam-se tecnologicamente como SAFL os solos que pertençam à classe de solo de comportamento laterítico e a um dos grupos LA, LA' e LG', segundo a classificação geotécnica MCT, e que contenham menos de 50% passante na peneira 0,075mm (n.200) e no mínimo 90% passante na peneira 2mm (n. 10), sendo essa fração arenosa constituída predominantemente por grãos de quartzo.

No estado de São Paulo, o uso rotineiro de bases de solo arenoso fino laterítico deu-se após 1975, mas há registros de que desde 1950 esses solos já eram usados *in natura* como camadas de reforço de subleito ou sub-bases. Esse uso era justificado pelo elevado valor de capacidade de suporte que tais solos apresentavam, apesar de possuírem outras características consideradas não muito favoráveis pelos procedimentos tradicionais de classificação dos solos. A partir de 1975, o SAFL tem motivado vários trabalhos técnicos publicados e constituído temas de trabalhos de pós-graduação, em particular na USP (Escola Politécnica e Escola de Engenharia de São Carlos).

No uso de solos arenosos finos como bases de pavimentos econômicos, além da capacidade de suporte, outras características têm se mostrado decisivas para seu sucesso, pois essas camadas praticamente não são confinadas, recebendo sobre elas apenas uma delgada camada de revestimento. Entre essas características, cabe destacar a boa aderência do revestimento, resistência aos esforços provenientes do tráfego e à ação das intempéries. O grande impulso tecnológico ao uso de bases de SAFL deu-se em 1982, quando foi apresentado um novo critério para escolha de SAFL para bases de pavimento com uso da metodologia MCT (Villibor; Nogami [8]).

A ocorrência de solos arenosos finos lateríticos promissores para emprego em bases de pavimentos perfaz cerca de 60% da área do estado de São Paulo. Outras ocorrências significativas são registradas nos estados do Paraná, Goiás, Mato Grosso, Bahia e Minas Gerais. Segundo dados de 2000 (Villibor et al. [9]), já haviam sido executados mais de 8.000 km de estradas com bases de SAFL, sendo 5.500 km no estado de São Paulo. Alguns desses pavimentos apresentam-se em boas condições após 25 anos de serviço. Em termos de vias urbanas, já foram construídos mais de 10 milhões de metros quadrados de bases em SAFL em todo o território nacional.

A pesquisa em levantamentos pedológicos e geológicos tem revelado a possibilidade de novas ocorrências de SAFL, até mesmo no Rio Grande do Sul. Passos et al. [7] estudaram a ocorrência de solos arenosos finos no Rio Grande do Sul, com destaque para latossolos vermelho-escuros ocorrentes no Planalto Médio e associados à presença do arenito Tupanciretã.

2.2 – Especificações para uso de SAFL em pavimentos econômicos

Os critérios tradicionais para a escolha de solos para bases adotados pelos organismos rodoviários brasileiros foram fundamentados em materiais e condições ambientais de clima temperado e frio, típico do hemisfério norte. O emprego desses critérios a solos tropicais e subtropicais leva a inconsistências e dificuldades: pobreza de materiais granulares naturais que satisfaçam as especificações, necessidade de onerosas correções granulométricas e da plasticidade dos materiais e ausência de correlações entre as propriedades-índices (granulometria e limites de Atterberg) e características de suporte. Muitos solos lateríticos, entre os quais o SAFL, não atendendo aos critérios tradicionais, poderiam ser excluídos, apesar de constatado elevados valores de CBR, baixas expansões e elevados módulos de resiliência.

Diante dessas dificuldades, os pesquisadores Job Nogami e Douglas Villibor propuseram o emprego da metodologia MCT na especificação de SAFL para bases de pavimentos de baixo custo (Villibor; Nogami [8]). Um SAFL é reconhecido através de sua granulometria e propriedades tecnológicas mecânicas e hídricas, obtidas pelo critério da metodologia MCT, a saber:

- O solo deve apresentar granulometria tal que seja aplicável a metodologia MCT, ou seja, o material deve ter no máximo 5 a 10% retido na peneira 2mm;
- A curva granulométrica deve ser descontínua, devendo se enquadrar na faixa recomendada apresentada na figura 2.
- Deve pertencer à classe dos solos de comportamento laterítico segundo a classificação MCT (LA, LA' ou LG');
- Deve possuir, quando compactado na energia do Proctor Intermediário do ensaio mini-Proctor, as propriedades tecnológicas indicadas no quadro 1.

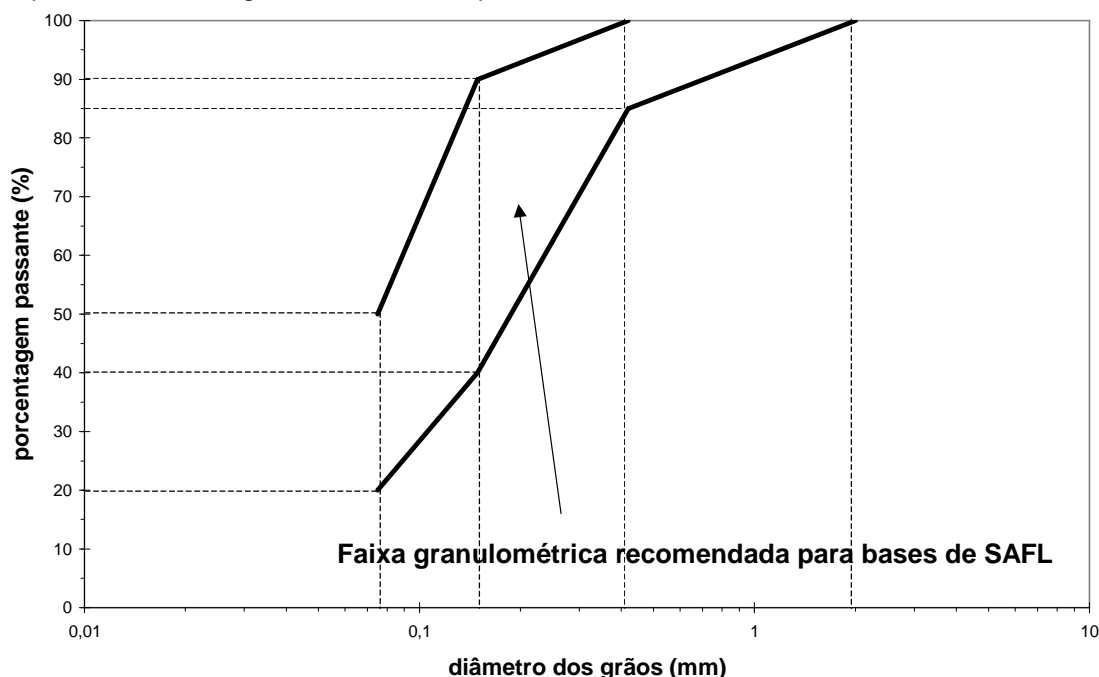


FIGURA 2 – Faixa granulométrica recomendada para SAFL empregado em bases de pavimento de baixo custo

QUADRO 1 – Propriedades tecnológicas recomendadas aos SAFL empregados em bases de pavimento de baixo custo (referentes à energia do Proctor Intermediário do mini-Proctor)

Propriedade	Parâmetro	Valores recomendados
Capacidade de suporte	Mini-CBR sem imersão	≥ 40%
Perda da capacidade de suporte	Índice RIS = (mini-CBR _{imerso} /mini-CBR _{s/imersão})x100%	≥ 50%
Expansão em água	Expansão	≤ 0,3%
Contração por secagem ao ar	Contração por secagem	0,1 a 0,5%
Sorção capilar	Coeficiente de sorção (s)	10 ⁻² a 10 ⁻⁴ cm/min ^{1/2}

2.3 – Características mecânicas e hidráulicas das bases de SAFL

Apesar de apresentarem granulometria descontínua e fina e propriedades-índices fora dos limites estabelecidos pelas especificações tradicionais, as bases de SAFL caracterizam-se pelas seguintes propriedades: elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa expansibilidade, coesão elevada e baixo coeficiente de sorção. Essas boas características são atribuídas às peculiaridades mineralógicas e à microestrutura, inerentes aos solos lateríticos.

Entretanto, o que a experiência acumulada relatada em trabalhos técnicos tem mostrado é que alguns cuidados básicos devem ser seguidos quando da execução de bases em SAFL, principalmente para se evitar a saturação destes materiais:

- Escolha de solos adequados respeitando os limites de sorção capilar;
- Compactação adequada, evitando a formação de lamelas;
- Secagem ou cura da base que propicia um trincamento, aumento irreversível da capacidade de suporte, movimento descendente da água na estrutura e maior penetração da imprimadura;
- Uso de imprimadura apropriada (taxa e viscosidade adequados);
- Necessário acostamento devidamente compactado, imprimado e revestido, executado com material de baixos coeficientes de sorção e permeabilidade;
- Emprego de revestimento flexível e impermeável;
- Drenagem adequada para evitar ao máximo a presença de água livre.

Quando da construção de bases de SAFL, verificou-se que os solos apresentavam problemas construtivos variados, de forma que os solos comumente utilizados foram separados em quatro grupos localizados em áreas distintas do gráfico de classificação MCT, conforme a figura 3.

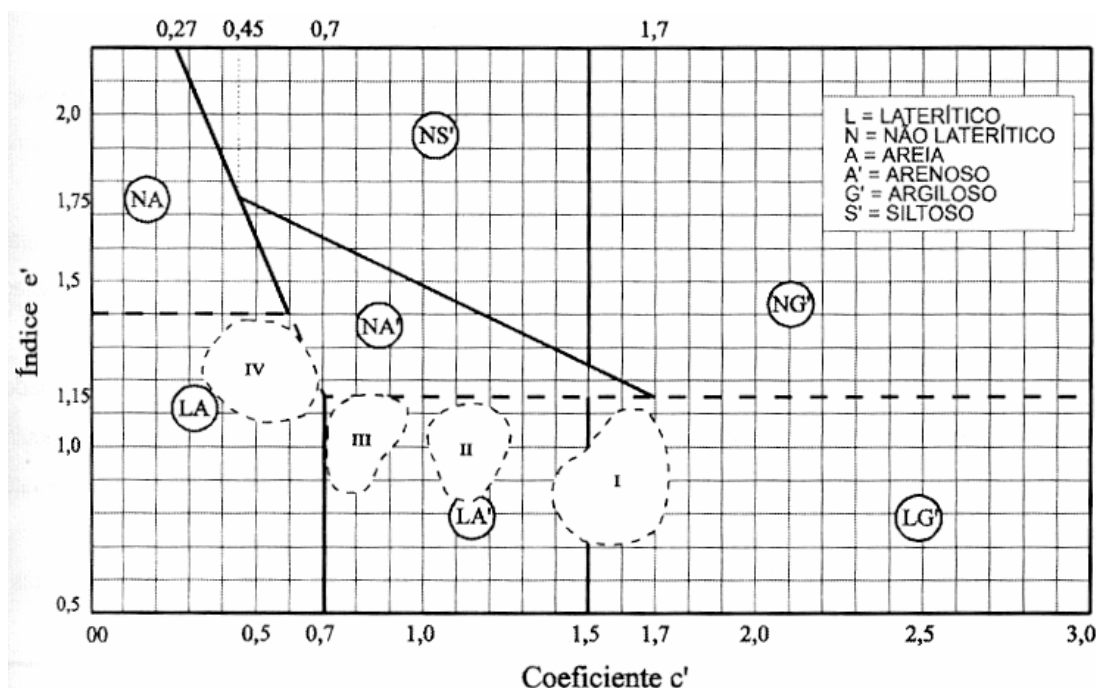


FIGURA 3 – Hierarquização dos SAFL com base na classificação MCT (Nogami; Villibor [6])

A hierarquização com base na experiência acumulada com obras no interior de São Paulo permite identificar as seguintes peculiaridades aos diferentes tipos:

1º) SAFL dos tipos I e II, com prioridade para aqueles próximos à interface entre estes – apresentam excelente compactabilidade, alcançando grau de compactação de 100% na energia do Proctor Intermediário, fácil acabamento da superfície, satisfatória receptividade à imprimadura e superfície e bordas resistentes ao amolecimento por umedecimento, resultando em boa resistência hídrica. Os SAFL do tipo I podem apresentar excessiva contração por secagem e demasiados danos na superfície da base pelo tráfego de serviço associados ao trincamento excessivo;

2º) SAFL dos tipos III e IV, com prioridade para os primeiros – apresentam má compactabilidade, alcançando no campo um máximo grau de compactação de 90% na energia do Proctor Intermediário, propensão à formação de lamelas e dificuldade de acabamento superficial da base, desgaste excessivo sob ação do tráfego de serviço e superfícies e bordas muito susceptíveis ao amolecimento por molhagem. O tipo IV só é indicado para pavimentos urbanos, com execução de solo-cimento junto às bordas.

3 – SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS NA PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RIO GRANDE DO SUL

3.1 – Geologia e pedologia

A ocorrência de solos lateríticos na Planície Costeira do Rio Grande Sul está associada ao horizonte subsuperficial B de perfis de podzólico vermelho-amarelo (argissolo vermelho-amarelo, Embrapa [3]) desenvolvidos sobre barreiras litorâneas pleistocênicas (IBGE [4]). As ocorrências mais destacadas no Litoral Sul dá-se entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, nas localidades de Povo Novo e Domingos Petroline (Rio Grande) e Laranjal (Pelotas). Esses perfis estão relacionados à unidade de mapeamento de solos Tuiá (Brasil [2]). A figura 4 ilustra a ocorrência desses solos junto à Planície Costeira Sul.

Os solos constituem perfis profundos, bem-drenados, arenosos, geralmente com argila de atividade baixa, caracterizados por lixiviação de materiais (argila e óxidos) no perfil, facilitada pela textura arenosa do horizonte A e concentração no horizonte subsuperficial B espesso, areno-argiloso a argilo-arenoso, bruno avermelhado, podendo ocorrer mosqueados nas zonas de oscilação do lençol freático e/ou redução da drenagem. É comum encontrar-se esses perfis recobertos por sedimentos eólicos recentes que constituem dunas interiores ativas ou obliteradas e mantos de aspersão eólica.

O substrato geológico é formado por sedimentos arenosos finos eólicos (paleodunas) e praias de Barreira Litorânea (BII), em relevo suave ondulado nas cotas em torno de 15m.

A figura 5 ilustra um esquema para o perfil desses solos.

3.2 – Jazidas estudadas

Nos trabalhos de campo na identificação e amostragem de perfis típicos de solos regionais com potencial uso como material de empréstimo iniciados em 2001, foram identificados e amostrados sete perfis representativos de areias lateríticas que constituem as jazidas até então estudadas nesta pesquisa (Bastos [1]). O quadro 2 identifica as jazidas estudadas, enquanto na figura 4 é indicada a localização aproximada das jazidas.

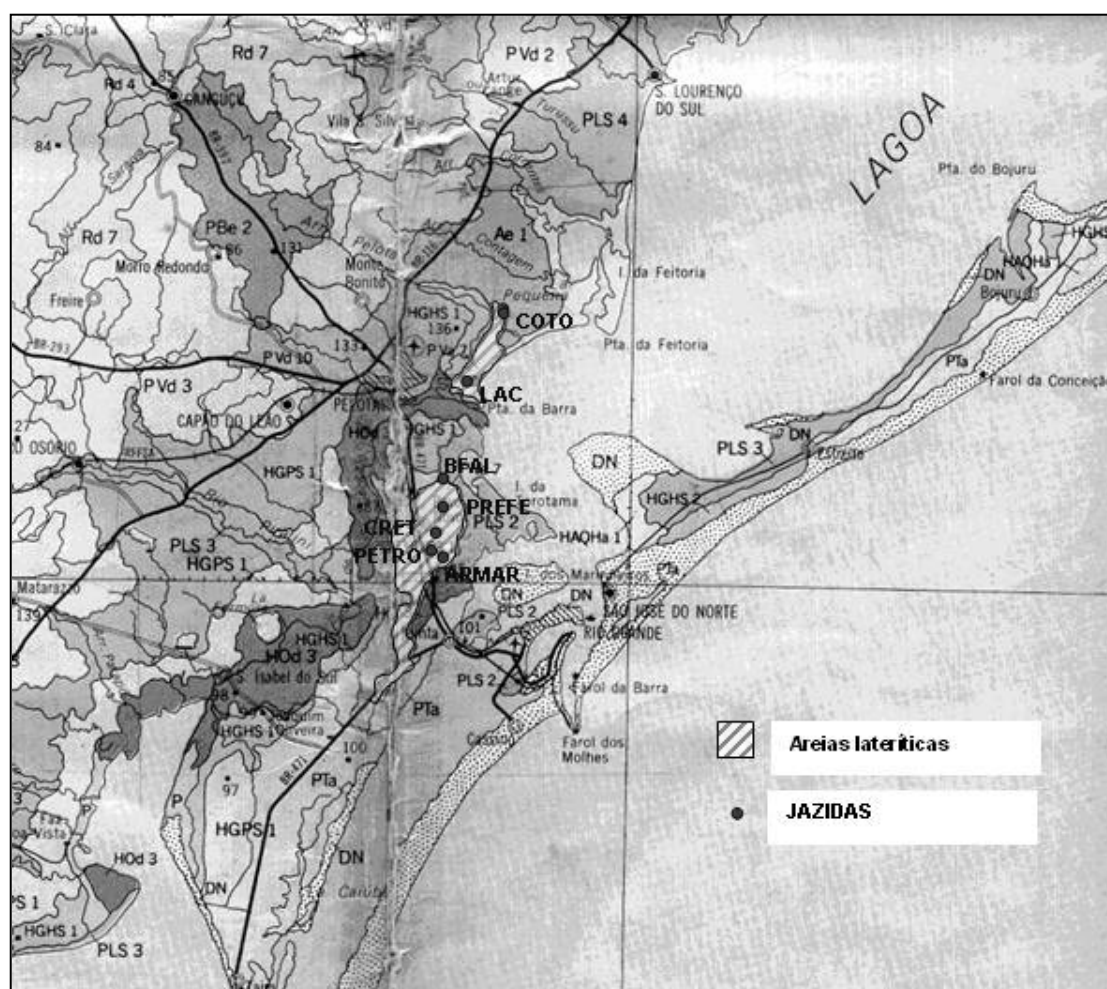


FIGURA 4 – Áreas de provável ocorrência de SAFL na Planície Costeira Sul com base em dados de IBGE [4]

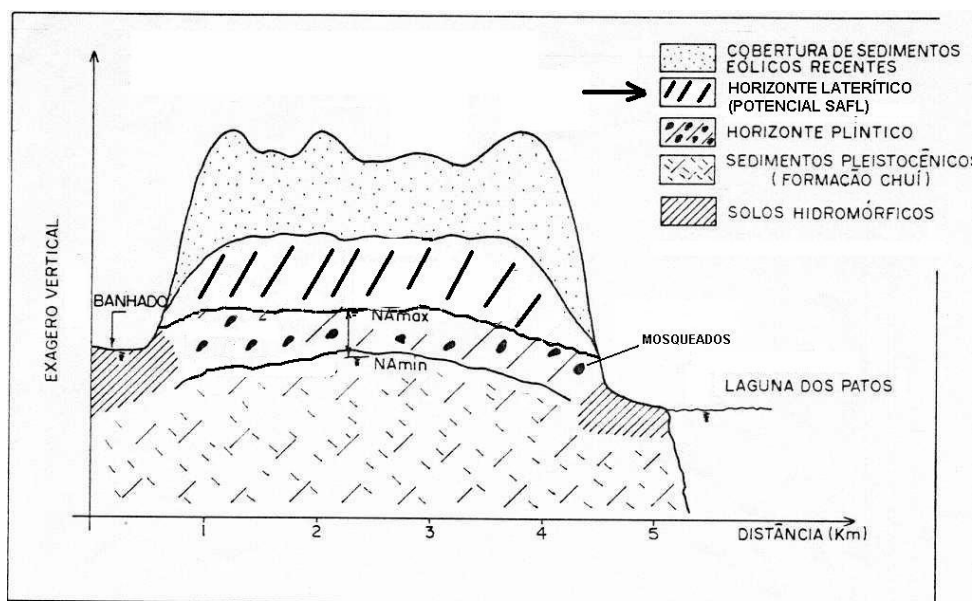


FIGURA 5 – Esquema do perfil de SAFL na Planície Costeira Sul

QUADRO 2 – Jazidas de areias lateríticas estudadas

Perfil ou jazida	Localização	Identificação
Cotovelo	Cotovelo – Pelotas	COTO
Las Acácias	Las Acácias – Pelotas	LAC
Barra Falsa	Barra Falsa – Rio Grande	BFAL
Petrolini	Domingos Petroline – Rio Grande	PETRO
Casa do Retiro	Barro Vermelho – Rio Grande	CRET
Areal Areia do Mar	Domingos Petroline – Rio Grande	ARMAR
Jazida Prefeitura	Arraial – Rio Grande	PREFE

3.3 – Caracterização dos solos

Os solos foram caracterizados e classificados em laboratório pelos métodos tradicionais e pela metodologia MCT. A tabela 1 apresenta a granulometria, os parâmetros de plasticidade e a classificação geotécnica tradicional (sistemas HRB e SUCS). Já a tabela 2 traz os coeficientes classificatórios e a decorrente classificação MCT dos solos.

TABELA 1 – Caracterização geotécnica dos solos estudados quanto a granulometria, plasticidade e classificação geotécnica tradicional (HRB e SUCS)

Solo	Granulometria com defloculante						Plasticidade		Classif. geot.	
	Pedregulho >2mm (%)	Areia grossa 0,6-2mm (%)	Areia média 0,2-0,6mm (%)	Areia fina 0,06-0,2mm (%)	Silte 0,002-0,06mm (%)	Argila <0,002m (%)	wl (%)	IP (%)	HRB	SUCS
COTO	0	1	29	30	13	27	32	12	SC	A6
LAC	0	0	41	33	4	22	-	NP	SM	A2-4
BFAL	0	0	34	42	5	19	-	NP	SM	A2-4
PETRO	0	0	44	41	1	14	-	NP	SM	A2-4
CRET	0	0	44	35	4	17	-	NP	SM	A2-4
ARMAR	0	0	33	39	2	26	32	16	SC	A2-6
PREFE	0	0	32	39	3	26	27	12	SC	A2-6

TABELA 2 – Classificação MCT dos solos estudados e respectivos coeficientes classificatórios

Solo	Coeficientes				Classificação MCT
	c'	d'	e'	Pi (%)	
COTO	1,7	72,4	1,03	82	LG'
LAC	0,6	62,7	1,12	110	LA
BFAL	0,5	30,0	1,22	114	LA
PETRO	0,2	14,8	1,63	300	NA
CRET	0,2	13,3	1,66	305	NA
ARMAR	1,3	29,8	1,21	110	NA'
PREFE	1,1	46,6	1,10	90	LA'

A figura 6 apresenta os solos frente aos tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT.

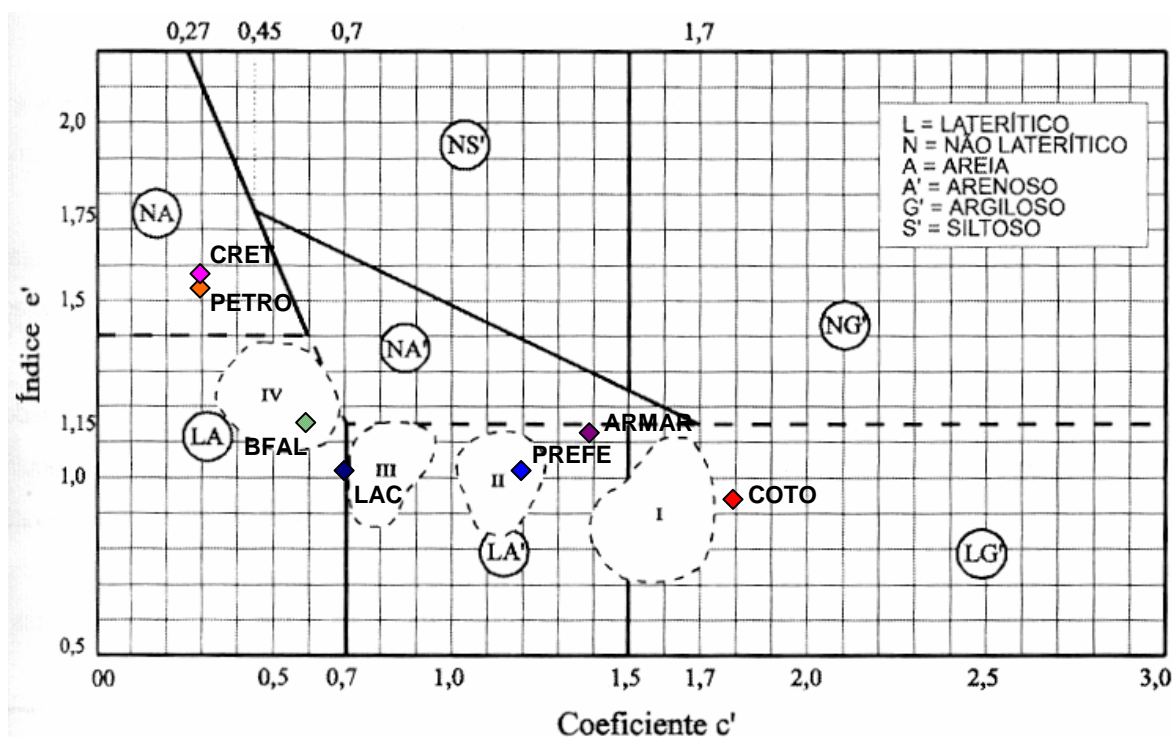


FIGURA 6 – Solos estudados frente aos tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT

Observa-se que apenas quatro dos solos estudados demonstraram comportamento laterítico. Destes, o solo COTO, com maior teor de argila, pertence ao tipo I; o solo PREFE, ao tipo II, e os solos BFAL e LAC, mais arenosos, ao tipo IV.

Quanto à granulometria dos solos estudados, a figura 7 evidencia que os solos CRET e PETRO, além de não-lateríticos, não se enquadram na faixa granulométrica indicada para bases de SAFL, apresentando carência de finos.

Os parâmetros de compactação dos solos estudados foram determinados por ensaios de compactação dinâmica em equipamento miniatura (ensaios mini-Proctor) na energia do Proctor Normal e do Proctor Intermediário (DNER-ME 228/94). As curvas de compactação obtidas são apresentadas na figura 8 e os parâmetros $\gamma_{dm\acute{a}x}$ e $w_{\acute{o}tima}$ ilustrados na tabela 3.

As curvas já demonstram o comportamento “mais arenoso” dos solos CRET e PETRO em relação aos demais. O solo compactado na umidade ótima atinge um grau de saturação entre 70 e 90%, destacando o comportamento não-saturado em campo. Essa condição é importante na interpretação do comportamento geotécnico desse material sob variação de umidade no campo.

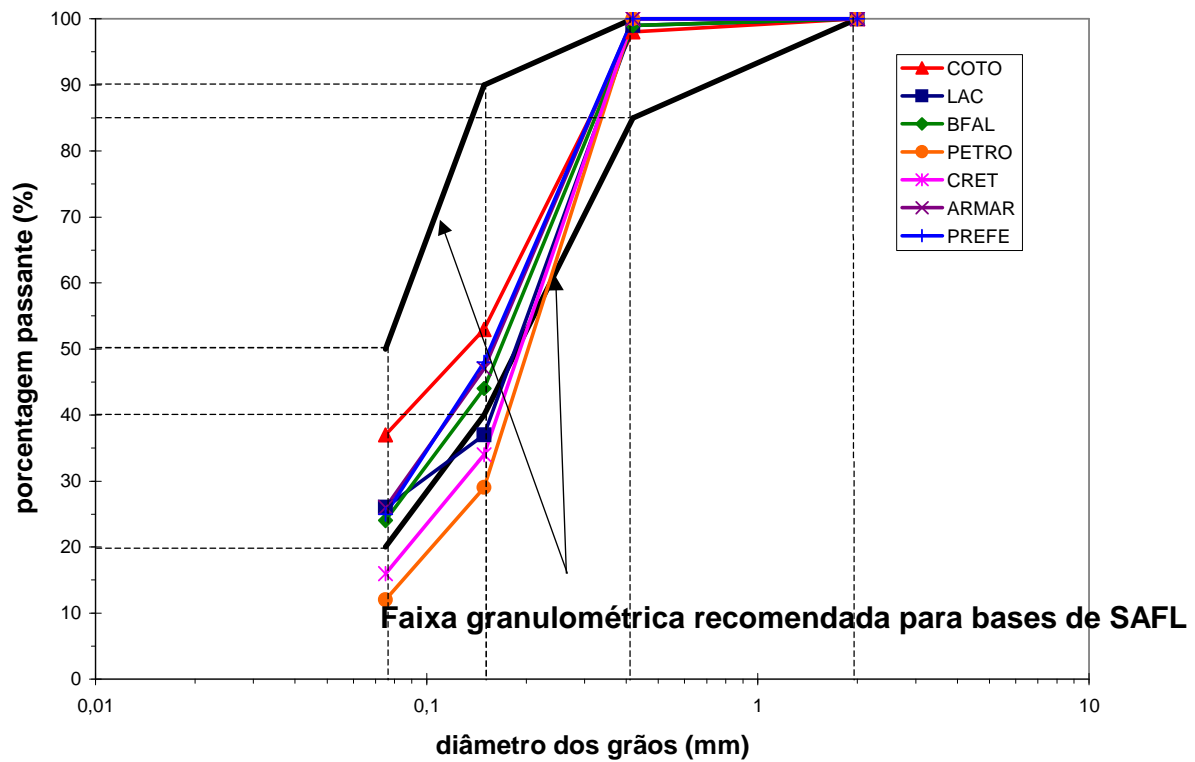


FIGURA 7 – Granulometria dos solos estudados

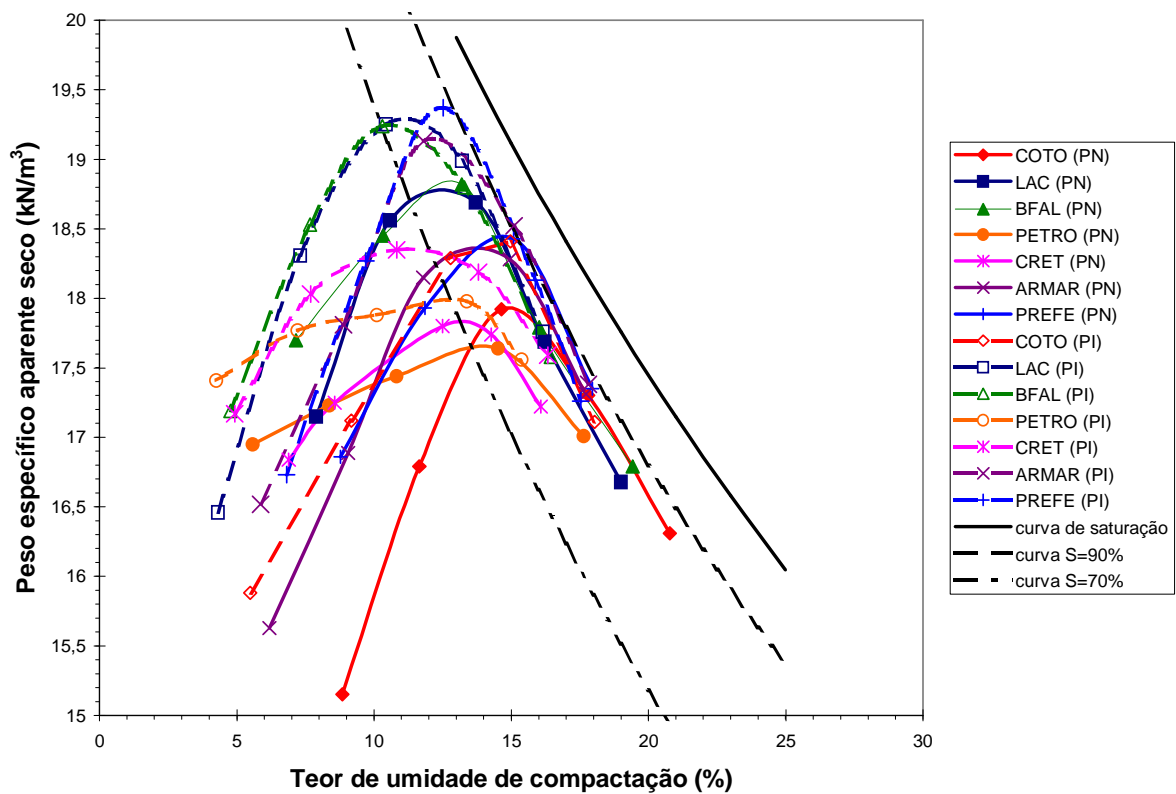


FIGURA 8 – Curvas de compactação dos solos estudados obtidas em ensaios mini-Proctor na energia do Proctor Normal (PN) e Intermediário (PI). Curva de saturação, $S=90\%$ e $S=70\%$ para γ_s médio de $26,8 \text{ kN/m}^3$

TABELA 3 – Parâmetros de compactação dos solos estudados obtidos em ensaios mini-Proctor

Solo	Proctor Normal		Proctor Intermediário	
	W _{ót} (%)	γ _{dmáx} (kN/m ³)	W _{ót} (%)	γ _{dmáx} (kN/m ³)
COTO	15,3	17,8	14,4	18,5
LAC	12,4	18,9	11,3	19,3
BFAL	12,5	18,9	10,8	19,3
PETRO	14,2	17,7	12,8	18,0
CRET	12,4	17,9	11,3	18,4
ARMAR	13,5	18,4	12,5	19,4
PREFE	14,5	18,5	12,7	19,2

3.4 – Propriedades tecnológicas dos solos estudados

Com o objetivo de verificar as propriedades dos solos arenosos finos estudados frente aos critérios apresentados no quadro 1, foram executados ensaios pela metodologia MCT: mini-CBR e expansão, contração ao ar e infiltrabilidade. Em função da desqualificação dos solos PETRO e CRET frente ao critério granulométrico, esses solos foram excluídos da avaliação que segue. Entretanto, o mesmo não ocorre com o solo ARMAR, que, apesar de apresentar comportamento não-laterítico, continua incorporado à pesquisa.

Para avaliar a capacidade de suporte e expansão, foram executados ensaios mini-CBR e expansão segundo indicações da norma DNER-ME 254/97. Análogo ao tradicional ensaio CBR (California Bearing Ratio), o ensaio consiste na medida da resistência à penetração de um pistão padrão de diâmetro 16mm à velocidade constante de 1,25 mm/min em um corpo de prova compactado (CP: φ= 50mm e h ≈ 50mm), confinado lateralmente pelo seu molde. Essa medida de capacidade de suporte pode ser realizada com ou sem prévia imersão por 24 horas do CP e com ou sem uma sobrecarga anelar padrão. Para a avaliação em questão, foram ensaiados CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário, com e sem imersão, sem sobrecarga, em prensa elétrica com medida de carga por meio de célula de carga e aquisição automática dos dados. Durante a imersão, foi medida a expansão dos CPs. As fotos 1 e 2 ilustram a execução dos ensaios.

Os parâmetros obtidos do ensaio são:

- Índice de suporte mini-CBR com e sem imersão, sem sobrecarga padrão;
- Índice RIS (que representa a perda de suporte com imersão) dado pela equação 1:

$$RIS = (\text{mini-CBR}_{\text{imerso}}/\text{mini-CBR}_{\text{s/imersão}}) \times 100\% \quad (1)$$

- Expansão sob imersão sem sobrecarga padrão.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios mini-CBR e expansão. A análise desses resultados em comparação com o critério explicitado no quadro 1 nos permite concluir que, quanto ao valor de mini-CBR_{s/imersão}, na exceção do solo COTO, os demais atendem ao critério de aceitação como material para base, isto é, mini-CBR > 40%. Por outro lado, os solos apresentam grande perda de suporte com a imersão, e entre aqueles aprovados no primeiro critério, apenas o solo ARMAR apresenta índice RIS > 50%. Quanto à expansão, apenas os solos ARMAR e PREFE foram aprovados.



FOTO 1 – Ensaio mini-CBR em prensa elétrica, com medida por célula de carga e aquisição automática dos dados de carga



FOTO 2 – Medida da expansão sob imersão no ensaio mini-CBR

TABELA 4 – Resultados obtidos nos ensaios mini-CBR e expansão (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário)

Solo	Capacidade de suporte			Expansão (%)
	Mini-CBR (sem imersão) (%)	Mini-CBR (com imersão) (%)	Índice RIS (%)	
COTO	28,5	17,6	61,8	0,4
LAC	61,9	27,1	43,8	0,4
BFAL	59,0	22,7	38,5	0,5
ARMAR	56,6	30,7	54,2	0,3
PREFE	56,1	16,3	29,1	0,1

A contração com a secagem ao ar dos solos estudados foi avaliada pelo ensaio de contração por secagem integrante da metodologia MCT. Este é descrito em Nogami e Villibor [6] e também discutido em Nogami et al. [5]. Consiste em deixar um CP compactado (CP: $\phi=50\text{mm}$ e $h \approx 50\text{mm}$) perdendo lentamente seu teor de umidade pela exposição ao ar livre e medir a variação de comprimento axial com auxílio de um extensômetro (ou paquímetro de precisão) até sua constância. O resultado é expresso em porcentagem da altura inicial do CP. A foto 3 apresenta os CPs no processo de secagem ao ar. A tabela 5 traz os resultados obtidos com os solos estudados compactados na energia do Proctor Intermediário e na umidade ótima.

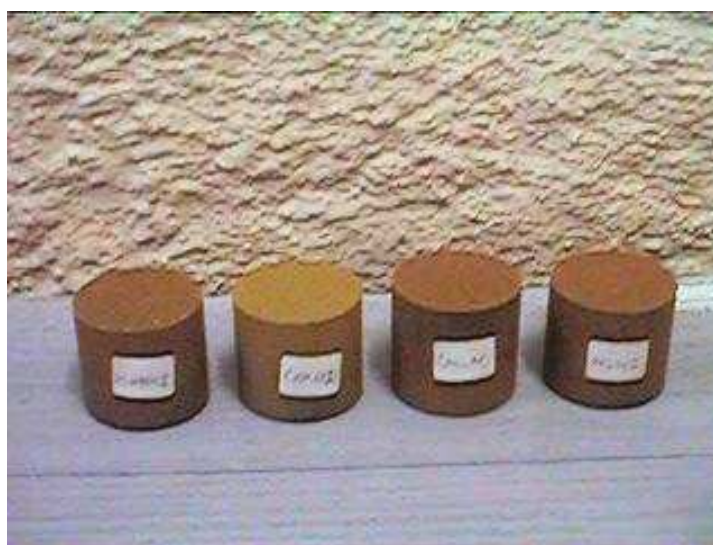


FOTO 3 – Ensaio de contração por secagem ao ar da Metodologia MCT

TABELA 5 – Contração ao ar por secagem dos solos estudados (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário)

Solo	Contração ao ar (%)
COTO	0,6
LAC	0,2
BFAL	0,2
ARMAR	0,2
PREFE	0,3

Segundo o critério apresentado no quadro 1, apenas o solo COTO ultrapassa os limites estabelecidos. O resultado é coerente com o maior teor de finos desse solo.

A última propriedade avaliada para validação dos solos estudados frente ao critério de aceitação dos SAFL pela metodologia MCT, foi a infiltrabilidade. Essa propriedade permite avaliar a velocidade com que uma frente de umidade pode migrar pela estrutura do pavimento a partir, por exemplo, de uma valeta lateral não-revestida. A destacada perda de suporte dos solos estudados com o umedecimento do solo compactado (vide tabela 3) aumenta em importância a avaliação da infiltrabilidade.

O ensaio de infiltrabilidade pela Metodologia MCT consiste na medida do coeficiente de sorção, que representa a velocidade de ascensão capilar em um CP compactado confinado no molde (CP: $\phi=50\text{mm}$ e $h \approx 50\text{mm}$), disposto sobre uma superfície de água livre estabelecida numa placa porosa. Nogami e Villibor [6] trazem os detalhes sobre o ensaio, ilustrado na foto 4.



FOTO 4 – Ensaio de infiltrabilidade pela metodologia MCT

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos para CPs ensaiados após compactação na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário.

TABELA 6 – Coeficientes de sorção (s) obtidos em ensaios de infiltrabilidade (CPs compactados na umidade ótima e energia do Proctor Intermediário)

Solo	Coeficiente de sorção s (cm/min ^{1/2})
COTO	$5,0 \cdot 10^{-2}$
LAC	$3,2 \cdot 10^{-2}$
BFAL	$4,6 \cdot 10^{-2}$
ARMAR	$3,0 \cdot 10^{-2}$
PREFE	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Frente ao critério apresentado no quadro 1, todos os solos estudados apresentam maior velocidade de ascensão capilar que o limite estabelecido. Os solos PREFE e ARMAR foram os mais próximos ao limite superior indicado.

Esses resultados indicam que a ascensão capilar constitui um importante limitante ao desempenho desses solos compactados como bases de SAFL. Villibor et al. [9] alertam sobre o problema de “amolecimento” da base de SAFL por ascensão capilar em subleitos com nível d’água elevado e por migração lateral a partir do acostamento.

Portanto, tornam-se imprescindíveis medidas que garantam que as bases de SAFL não sejam afetadas pela água do subsolo e das chuvas. O emprego de camadas de sub-base drenantes e a execução de acostamento revestido podem constituir soluções que viabilizem o emprego dos solos estudados.

4 – CONCLUSÕES

A carência de materiais ditos “nobres” para pavimentação e a necessidade de viabilizar essas obras com mais baixo custo justificam a pesquisa de materiais alternativos para construção das bases de pavimentos na Planície Costeira do Sul do Rio Grande do Sul.

Os solos arenosos finos presentes nesta região, que constituem o horizonte subsuperficial de perfis de Argissolos Vermelho-Amarelo desenvolvidos sobre Barreira Litorânea Pleistocênica, foram avaliados como material de construção de bases de pavimento econômico. Esses solos apresentam características físico-morfológicas semelhantes ao SAFL, utilizado com sucesso na construção de bases para pavimentos de baixo custo, principalmente na região Sudeste do país.

Sete jazidas foram estudadas (COTO, LAC, BFAL, PETRO, CRET, ARMAR e PREFE), e duas (PETRO e CRET) não atenderam a especificação granulométrica. Os demais solos foram submetidos a ensaios da metodologia MCT para avaliação de propriedades tecnológicas frente ao critério estabelecido originalmente por Villibor e Nogami [8] (quadro 1). As principais conclusões obtidas foram:

- Os solos apresentaram aceitável capacidade de suporte sem imersão, entretanto essa característica é seriamente comprometida com a saturação do solo depois de compactado na umidade ótima. Essa característica é inerente a solos compactados com grau de saturação relativamente baixo;
- A expansão dos solos também é um fator limitante, embora não pareça associada à presença de minerais expansivos e sim a um rearranjo estrutural com a saturação desses solos arenosos finos compactados;
- Quanto à contração, na exceção do solo mais argiloso, os demais atenderam ao critério proposto;
- Já os ensaios de infiltrabilidade indicaram que, frente ao critério proposto, os solos apresentam excessiva velocidade de ascensão capilar. Essa característica, em conjunto com o potencial de “amolecimento” desses solos compactados com o umedecimento, pode comprometer o desempenho de bases de SAFL.

Entre os solos estudados, conclui-se que nenhum atende na totalidade o critério estabelecido. O solo ARMAR, embora classificado como de comportamento não-laterítico, é o que apresenta melhor desempenho, não sendo aprovado somente quanto à infiltrabilidade.

Os resultados mostram que nenhum solo pertencente ao grupo das areias lateríticas pode ser indiscriminadamente empregado como SAFL sem que seja realizado o controle tecnológico pelos ensaios da metodologia MCT.

O emprego de camadas inferiores drenantes e o revestimento dos acostamentos e das valetas laterais são soluções que poderiam vir a isolar a base de SAFL das águas do nível freático e das chuvas e assegurar um desempenho seguro do pavimento frente às intempéries.

A estabilidade da capacidade de suporte desses solos também poderia ser conseguida com a estabilização físico-química com cal ou cimento. Entretanto, ainda é necessário que se realizem estudos nesse sentido.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos são considerados ainda parciais. Um maior número de ensaios e mesmo a pesquisa de novas jazidas estão sendo projetados. A partir de novos dados será possível melhor discutir a variabilidade dos resultados obtidos.

A solução alternativa por bases de solos arenosos finos para pavimentação econômica na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul torna-se uma realidade. Entretanto, cabe ao grupo de pesquisa a continuidade desse trabalho, com a indicação das aplicações, a individualização dos solos mais adequados e a escolha dos projetos e técnicas construtivas mais apropriadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos bolsistas de iniciação científica Márcio Sapper de Souza, Vagner Jian Mota e Everton Bittencourt das Neves, pelo apoio na realização dos ensaios, e à FAPERGS e CAPES, pelo financiamento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. BASTOS, C.A.B. Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2. – Geors'2003. Rio Grande/RS. *Anais...* Rio Grande: DMC-FURG/ABMS-NRRS, 2003. p. 31-40.
2. BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 1973. 431p. (Boletim técnico, 30).
3. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Brasília, 1999. 412p. 1999.
4. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1986. 796 p. 6 mapas (Projeto Radam Brasil: Levantamento de Recursos Naturais, v. 33).
5. NOGAMI, J. S.; BERNUCCI, L. L. B.; VILLIBOR, D. F. Contração de solos arenosos finos lateríticos: simplificações para escolha desses solos para base de pavimentos de baixo custo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29. *Anais...* Cuiabá: ABPv, 1995. p. 345-363.
6. NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Ed. Villibor, 1995. 213 p. 1995.
7. PASSOS, M. C. F.; DAVISON DIAS, R.; CERATTI, J. A. P. Aplicação da metodologia MCT a solos finos do estado do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 25. *Anais...* São Paulo: ABPv, 1991. p. 221-237.
8. VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. Novo critério para escolha de solos arenosos finos para bases de pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 17. *Anais...* Brasília: ABPv. 1982. p. VII105-VII127.
9. VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J. R. *Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas*. São Paulo: ABPv; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 138 p.