

# Solos arenosos finos lateríticos para emprego em pavimentação econômica na Planície Costeira Sul do RS

Cezar Augusto Burkert Bastos<sup>1</sup> & Débora Felten<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS –  
bastos@dmc.furg.br

<sup>2</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – FURG,  
Rio Grande, RS – dfelten@bol.com.br

**RESUMO:** O trabalho apresenta uma avaliação das propriedades de solos arenosos finos encontrados na Planície Costeira Sul do RS com potencial de emprego em pavimentação de baixo custo. Foram investigadas sete jazidas de solos do agrupamento geotécnico denominado “areias lateríticas”. Critérios de escolha de solos para bases de solos arenosos finos lateríticos (SAFL), com base na Metodologia MCT, foram aplicados. 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 Estado destaca-se a pequena extensão em estradas pavimentadas. A razão para tal, 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), a distância de transporte de materiais considerados nobres (p.ex. brita graduada) para os municípios mais próximos a costa é muito grande, encarecendo obras de pavimentação de pequeno a médio porte, como aquelas que envolvem estradas encarregadas do escoamento das produções agrícolas do interior dos municípios da região, chamadas de estradas vicinais. A viabilidade econômica de pavimentação destas vias passa pela redução de custos de construção, através da 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. Estas 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. Neste sentido, são justificadas pesquisas no sentido de se conhecer o comportamento compactado de solos regionais encontrados na Zona Sul do

Estado. Busca-se com isso alternativas econômicas e viáveis para melhoria das estradas da região. Para atingir estes objetivos, são indicadas metodologias também alternativas para avaliação dos materiais, como a Metodologia MCT.

Dentre 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. Estes solos, apelidados pelo grupo como “areias lateríticas”, pelo destacado tom avermelhado associado a 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 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 de baixo das chamadas areias lateríticas presentes na Planície Costeira Sul do RS.

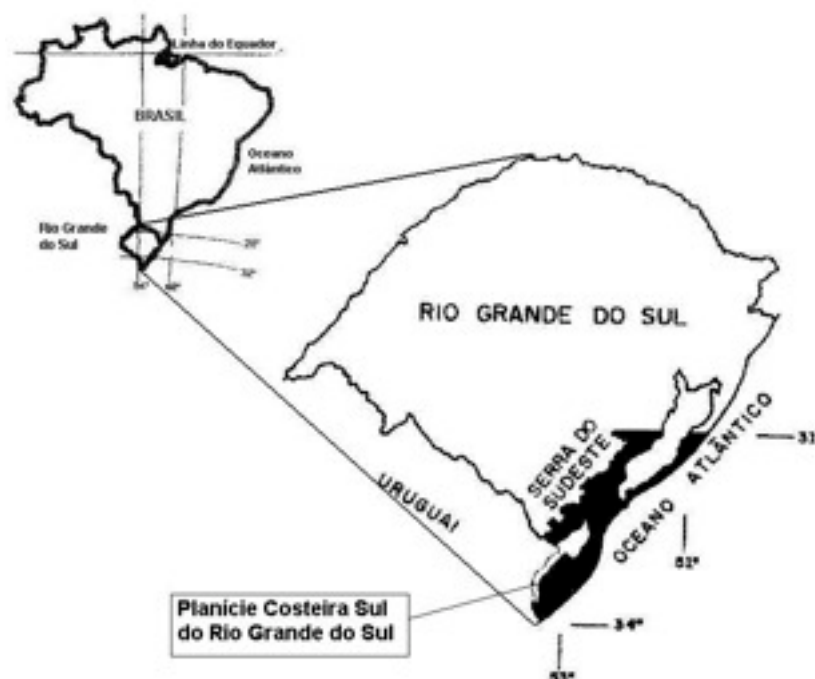


Figura 1. Planície Costeira Sul do RS

## 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 a 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, responsável por propriedades geotécnicas particulares a estes solos. Muitos destes solos constituem jazidas naturais de solos arenosos finos lateríticos, denominados abreviadamente de SAFL, apropriados para emprego em bases de pavimentos (Villibor et al.[9]).

Conceitua-se tecnologicamente como SAFL aqueles 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 esta 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, não obstante, existem registros de que desde 1950 estes solos já eram usados “in natura” como camadas de reforço de subleito ou sub-bases. Este uso era justificado pelo elevado valor de capacidade de suporte que estes solos apresentavam, apesar de possuírem outras características consideradas não muito favoráveis pelos procedimentos tradicionais de classificação dos solos. De 1975 até então, 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 estas camadas praticamente não são confinadas, recebendo sobre a mesma apenas uma delgada camada de revestimento. Entre estas 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 e Nogami [8]).

A ocorrência de solos arenosos finos lateríticos promissores para emprego em bases de pavimentos perfaz cerca de 57% 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 destes 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 de pedológicos e geológicos têm revelado a possibilidade de novas ocorrências de SAFL, até mesmo no Rio Grande do Sul. Passos et al.[7] estudou a ocorrência de solos arenosos finos no Rio Grande do Sul, com destaque a Latossolos Vermelho-Escuros ocorrentes no Planalto Médio e associados a presença do arenito Tupanciretã.

## **2.2. Especificações para uso de SAFL em pavimentos econômicos**

Os critérios tradicionais para o 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 destes critérios a solos tropicais e subtropicais leva a inconsistências e dificuldades: pobreza de materiais granulares naturais que satisfaça 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, dentre os quais o SAFL, não atendendo aos critérios tradicionais poderiam ser excluídos apesar de constatado elevado CBR, baixa expansão e elevados módulos de resiliência.

Diante destas 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 e 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 a 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.

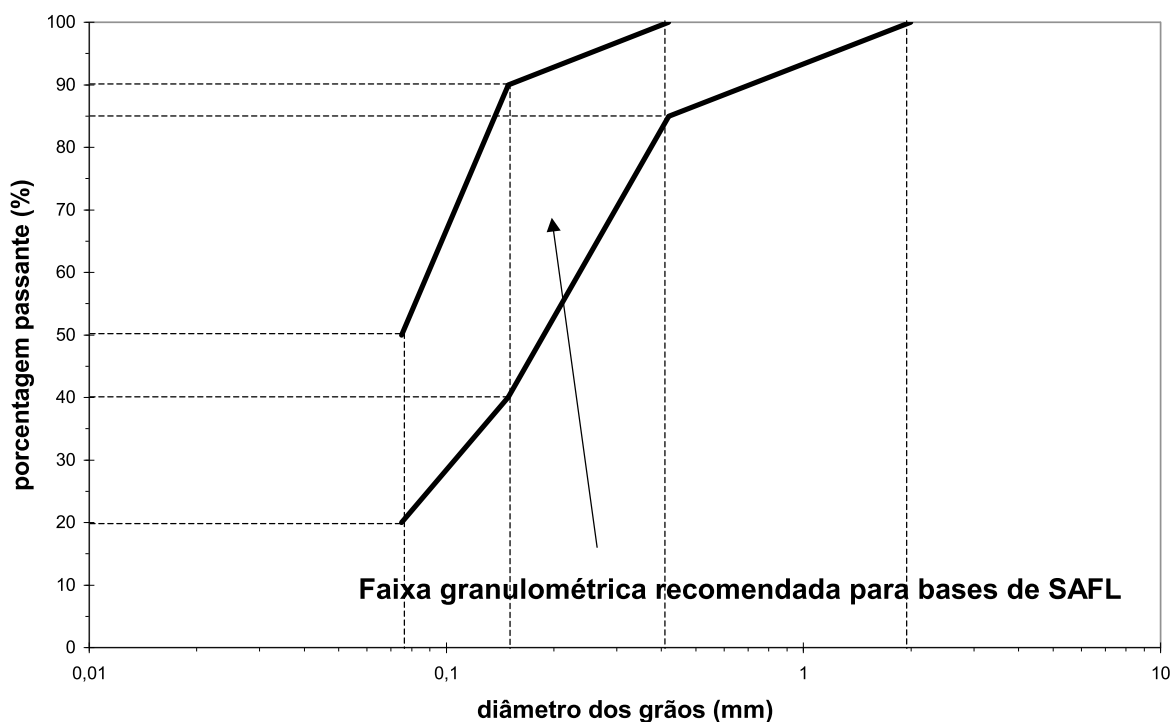


Figura 2. Faixa granulométrica recomendada para SAFL empregado em bases de pavimento de baixo custo

Quadro 1. Propriedades tecnológicas recomendadas aos SAFL empregados em bases de pavimento de baixo custo (referentes a energia do Proctor Intermediário do mini-Proctor)

Propriedade	Parâmetro	Valores recomendados
Capacidade de suporte	Mini-CBR sem imersão	$\geq 40\%$
Perda da capacidade de suporte	Índice RIS = $(\text{mini-CBR}_{\text{imerso}}/\text{mini-CBR}_{\text{s/imersão}}) \times 100\%$	$\geq 50\%$
Expansão em água	Expansão	$\leq 0,3\%$
Contração por secagem ao ar	Contração por secagem	0,1 a 0,5%
Sorção capilar	Coefficiente de sorção (s)	$10^{-2}$ a $10^{-4}$ cm/min <sup>1/2</sup>

### 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. Estas boas características são atribuídas às peculiaridades mineralógicas e à micro-estrutura 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 coeficiente 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.

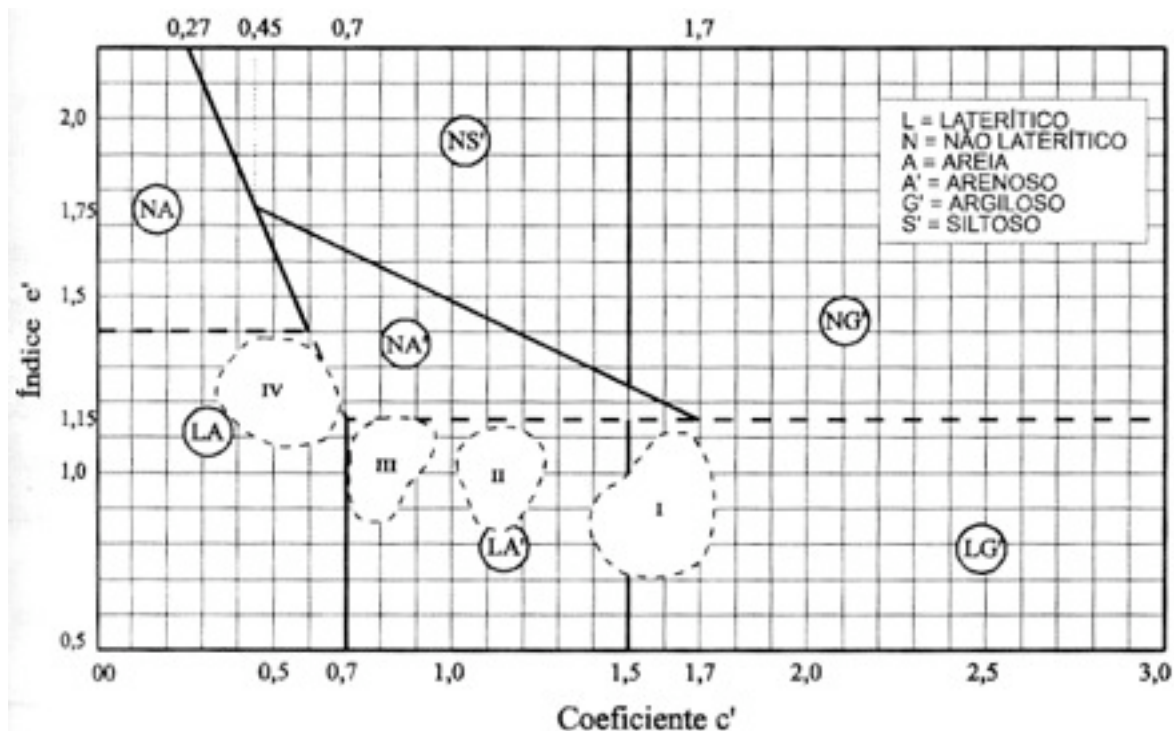


Figura 3. Hierarquização dos SAFL com base na classificação MCT (Nogami e Villibor [6])

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 àqueles próximos a interface entre os mesmos – 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 aos primeiros – apresentam má compactabilidade, alcançando no campo um máximo grau de compactação de 90% na energia do Proctor Intermediário, propensão a 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 a pavimentos urbanos, com execução de solo-cimento junto às bordas.

### 3. SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS NA PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RS

#### 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, por Embrapa [3]) desenvolvidos sobre barreiras litorâneas pleistocênicas (IBGE [4]). As ocorrências mais destacada no litoral sul dá-se entre os municípios de Pelotas e Rio Grande, nas localidades de Povo Novo e Domingos Petrolini (Rio Grande) e Laranjal

(Pelotas). Estes perfis estão relacionados à unidade de mapeamento de solos Tuiá, segundo Brasil [2]. A figura 4 ilustra a ocorrência destes solos junto a 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 bastante comum estes perfis encontrarem-se 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 destes 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 no ano de 2001 foram identificados e amostrados 7 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.

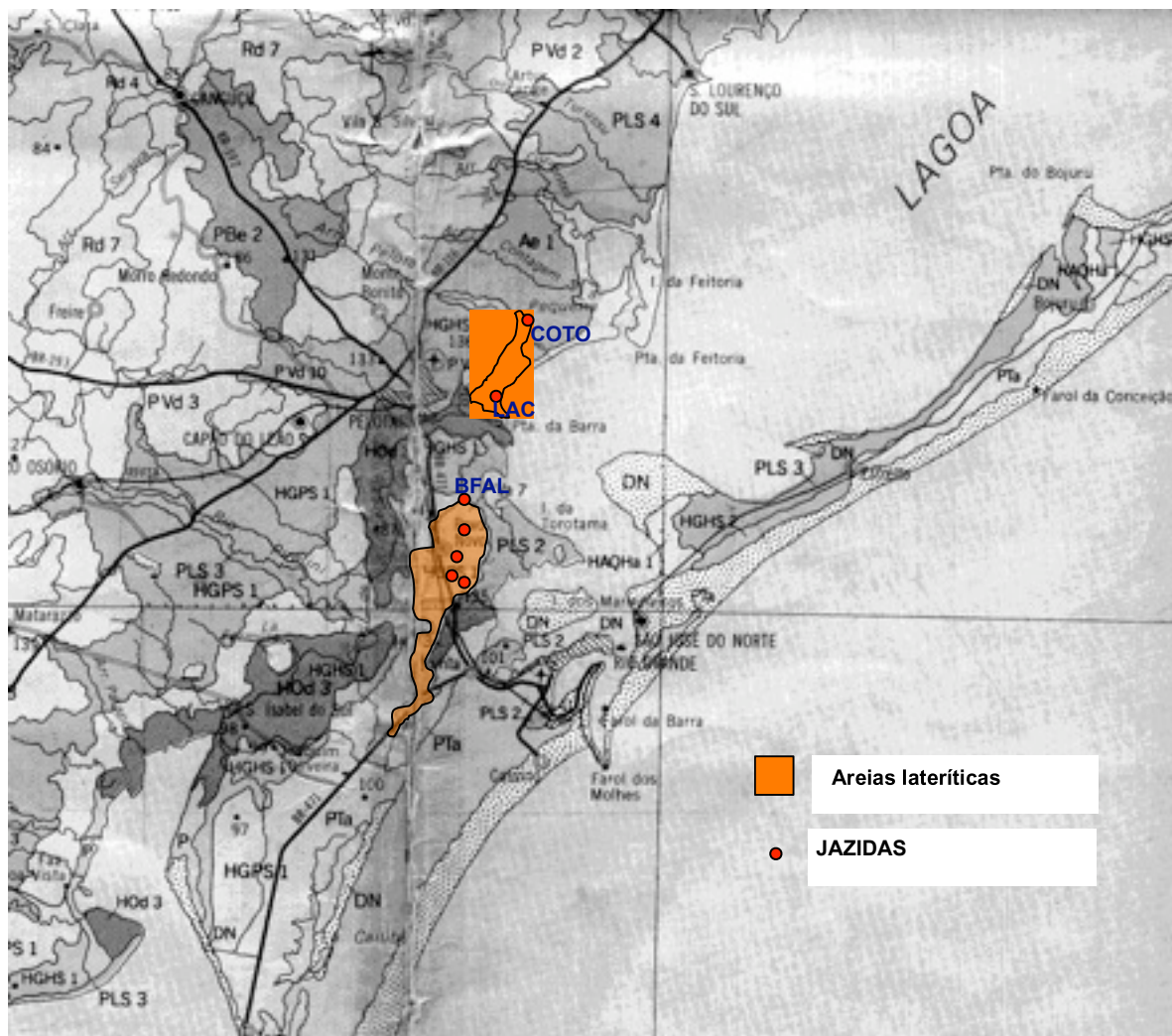


Figura 4. Áreas de provável ocorrência de SAFL na Planície Costeira Sul com base em dados de IBGE [4]

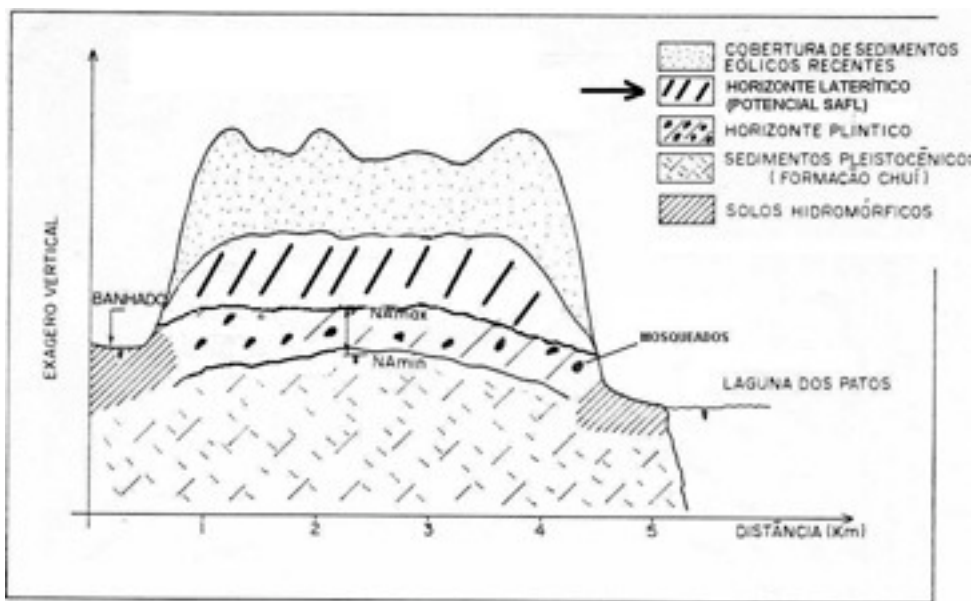


Figura 5. Esquema do perfil de SAFL na Planície Costeira Sul

Quadro 2. Jazidas de areias lateríticas estudadas

<b>Perfil ou jazida</b>	<b>Localização</b>	<b>Identificação</b>
Cotovelo	Cotovelo – Pelotas	COTO
Las Acácias	Las Acácias – Pelotas	LAC
Barra Falsa	Barra Falsa – Rio Grande	BFAL
Petrolini	Domingos Petrolini – Rio Grande	PETRO
Casa do Retiro	Barro Vermelho – Rio Grande	CRET
Areal Areia do Mar	Domingos Petrolini – 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 <0,002mm (%)	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.

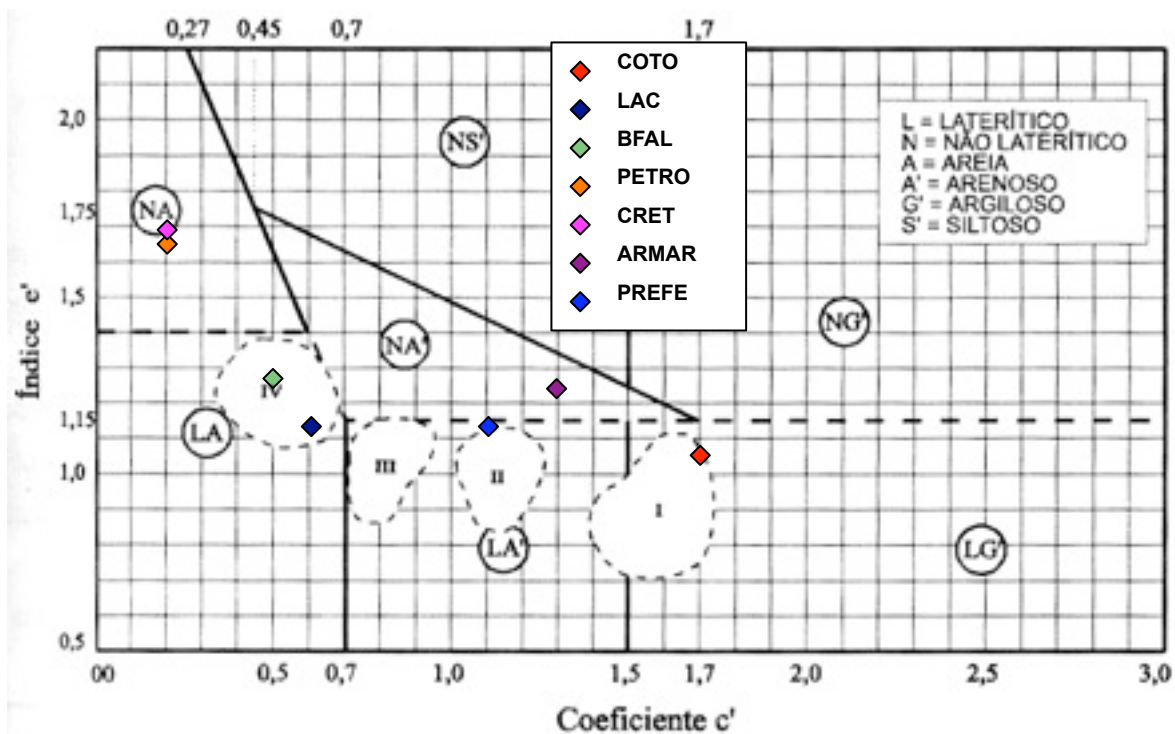


Figura 6. Solos estudados frente aos tipos de SAFL hierarquizados pela classificação MCT

Observa-se que dos solos estudados, apenas quatro 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 a 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 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. Esta condição é importante na interpretação do comportamento geotécnico deste material sob variação de umidade no campo.

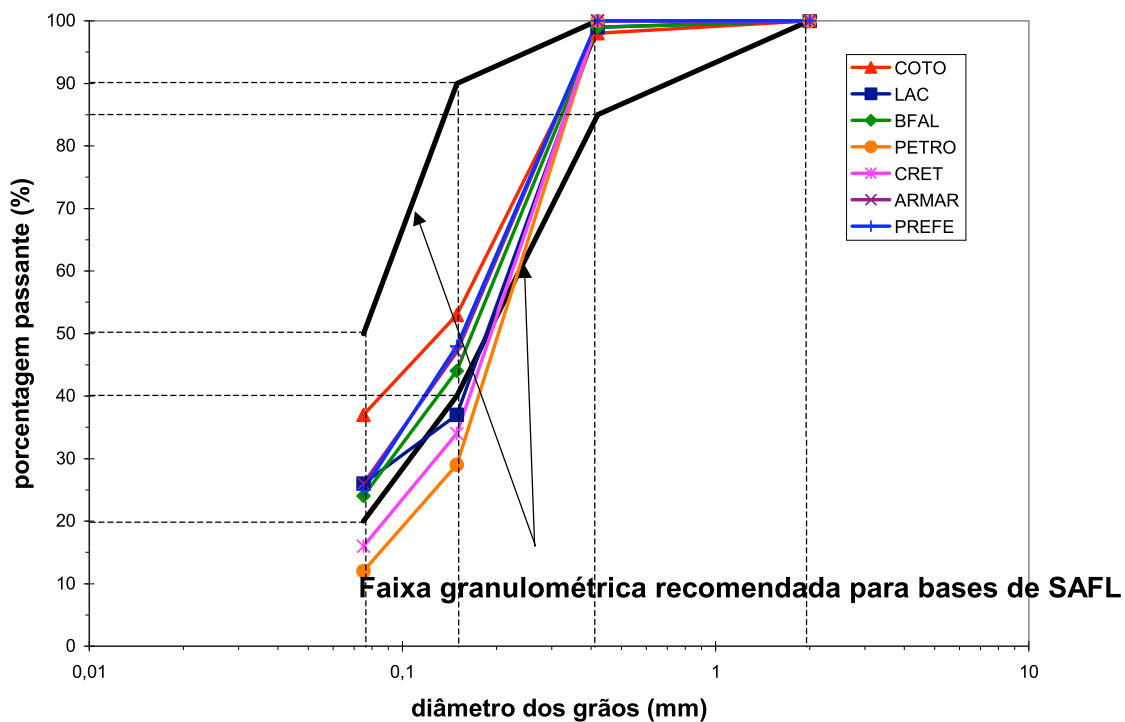


Figura 7. Granulometria dos solos estudados

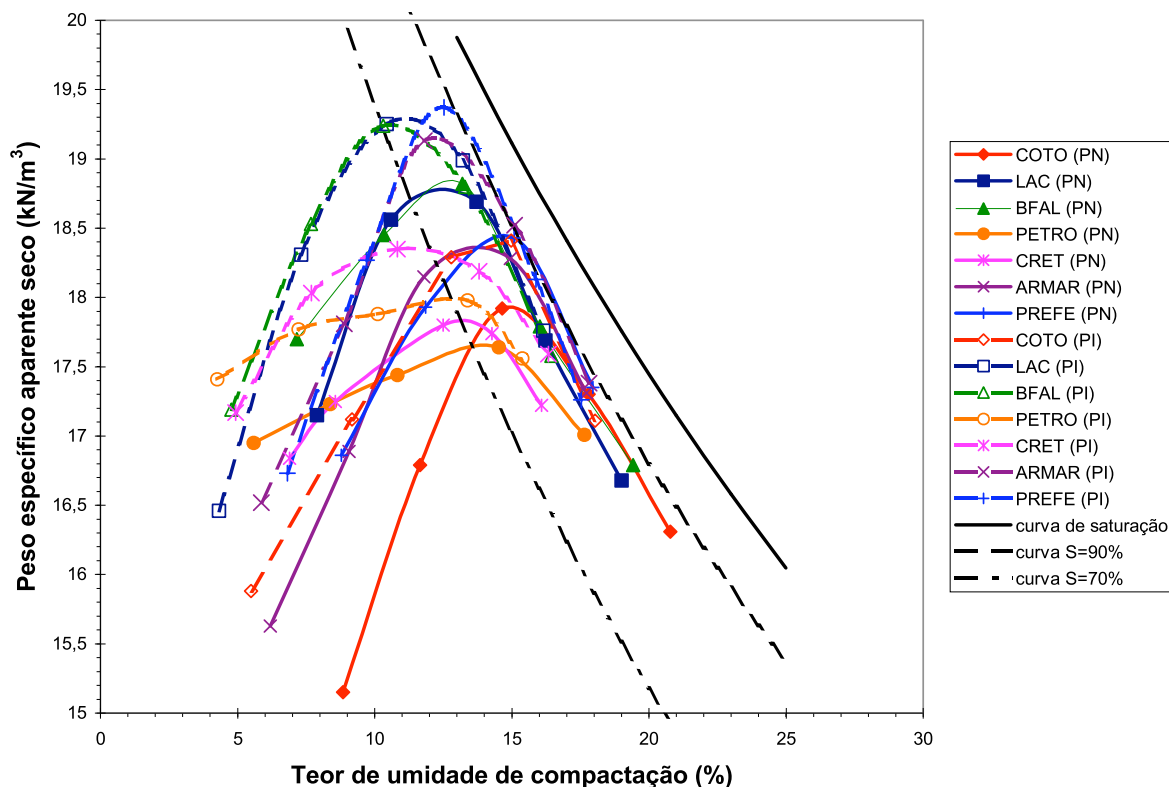


Figura 8. Curvas de compactação dos solos estudados obtidas em ensaios mini-Proctor na energia do Proctor Normal (PN) e Intermediário (PI). Curva de saturação,  $S = 90\%$  e  $S = 70\%$  para  $\gamma_s$  médio de  $26,8 \text{ kN/m}^3$

Tabela 3. Parâmetros de compactação dos solos estudados obtidos em ensaios mini-Proctor

Solo	Proctor Normal		Proctor Intermediário	
	$W_{ót}$ (%)	$\gamma_{dmáx}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$W_{ót}$ (%)	$\gamma_{dmáx}$ ( $\text{kN/m}^3$ )
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, estes 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 a 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 medida da resistência a penetração de um pistão padrão de diâmetro 16mm a uma velocidade constante de 1,25 mm/min em um corpo de prova compactado (CP:  $\phi= 50\text{mm}$  e  $h \approx 50\text{mm}$ ), confinado lateralmente pelo seu molde. Esta 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 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:

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

- Expansão sob imersão sem sobrecarga padrão.

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

A última propriedade avaliada para validação dos solos estudados frente ao critério de aceitação dos SAFL pela Metodologia MCT foi a infiltrabilidade. Esta 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] traz os detalhes sobre o ensaio, que é 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 <sup>1/2</sup> )
COTO	5,0.10 <sup>-2</sup>
LAC	3,2.10 <sup>-2</sup>
BFAL	4,6.10 <sup>-2</sup>
ARMAR	3,0.10 <sup>-2</sup>
PREFE	1,8.10 <sup>-2</sup>

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 aqueles mais próximos ao limite superior indicado.

Estes resultados indicam que a ascensão capilar constitui um importante limitante ao desempenho destes 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, torna-se imprescindível 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” a pavimentação e a necessidade de viabilizar estas obras a mais baixo custo, justificam a pesquisa de materiais alternativos para construção das bases de pavimentos na Planície Costeira do Sul do RS.

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. Estes 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), sendo que duas (PETRO e CRET) não atenderam a especificação granulométrica. Os demais solos foram submetidos a ensaios da Metodologia MCT para avaliação de suas 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 esta característica é seriamente comprometida com a saturação do solo após compactado na umidade ótima. Esta característica é inerente a solos compactados com grau de saturação relativamente baixos;
- A expansão dos solos também é um limitante, embora não pareça associada a presença de minerais expansivos e sim a um rearranjo estrutural com a saturação destes solos arenosos finos compactados;
- Quanto a 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. Esta característica, em conjunto com o potencial de “amolecimento” destes solos compactados com o umedecimento, pode comprometer o desempenho de bases de SAFL.

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

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

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 destes solos também poderia ser conseguida com a estabilização físico-química com cal ou cimento. Entretanto, estudos neste sentido ainda necessitam ser realizados.

## **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 RS torna-se uma realidade. Entretanto, cabe ao grupo de pesquisa a continuidade deste 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 FAPERGS e CAPES pelo financiamento à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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: II Seminário de Engenharia Geotécnica – Geors'2003. Rio Grande/RS. *Anais...* Ed. Bastos, C.A.B. DMC-FURG/ABMS-NRRS: Rio Grande/RS. p.31-40. 2003.
2. BRASIL - DEPTO. 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). 1973.
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 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1986. 796p. 6 mapas (PROJETO RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais, vol.33). 1986.
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, Cuiabá/MT. *Anais...* Cuiabá: ABPv, p. 345-363. 1995.
6. NOGAMI, J.S. E VILLIBOR D.F.- *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*, Editora Villibor: São Paulo, 1995, 213p. 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, São Paulo/SP. *Anais...* São Paulo: ABPv, p.221-237. 1991.
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, Brasília/DF. *Anais...* Brasília: ABPv, p.VII105-VII127. 1982.
9. VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J.R. *Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas*. ABPv/Univ.Fed.Uberlândia: São Paulo, 2000, 138p. 2000.