



# Comparativo do Dimensionamento de Pavimentos Semirrígidos a partir do Método do DNIT e da Resiliência

Wellington Borba Broering

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, wellington.bb@posgrad.ufsc.br

Patricia Odozynski da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, patricia.odozynski@gmail.com

Julia Bellozupko Bruschi

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, juliabellozupko10@gmail

Camilla da Silva Barbosa

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, camillabarbosa94@gmail.com

Fábio Krueger da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

**RESUMO:** O presente estudo buscou analisar a influência do cimento nos projetos de pavimentos a partir do comparativo entre o método de dimensionamento do DNIT e o método da Resiliência, por meio dos resultados laboratoriais obtidos para o solo natural e para a estabilização química com 3 e 7% de cimento. A pesquisa foi realizada em solos residuais de granito da região rural do município de Biguaçu, Santa Catarina. Dimensionou-se o pavimento a partir da utilização de solo-cimento com 7% de incorporação e comparando-se com materiais de empréstimos, considerando base de solo-cimento e de brita graduada. A incorporação de cimento diminuiu a espessura da base para 15 cm com o método do DNIT em comparação com os 20 cm resultantes no método da Resiliência. Os resultados ficaram muito aquém da realidade executiva, pois no Brasil são utilizadas espessuras superiores à dimensionada e encontram-se problemas durante a vida útil do pavimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilização Química, Incorporação de Cimento, Solo-cimento, Dimensionamento de Pavimentos, Método do DNER, Método da Resiliência.

## 1 INTRODUÇÃO

A estabilização química baseia-se na adição de uma ou mais substâncias químicas ao solo, gerando mudança no seu comportamento final, seja quanto ao ganho de resistência e estabilidade, quanto às intempéries. Essas mudanças também influenciam na permeabilidade e deformabilidade, alcançando os parâmetros estabelecidos em projeto, com redução do índice de plasticidade e aumento da trabalhabilidade resultante de evoluções granulométricas e garantindo o aumento da

rigidez a médio e longo prazo.

O uso mais corrente é o da cal e do cimento como estabilizadores químicos em misturas com solos finos, argilosos com teores elevados de matéria orgânica ou até solos mais graduados. Para esses últimos utiliza-se um aglomerante asfáltico (CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo), promovendo ligação entre as partículas (PEREIRA, 2012).

Esse método traz a possibilidade de empregar solos disponíveis no local da construção nos pavimentos rodoviários, sobretudo devido à baixa qualidade que o material apresenta, não



podendo ser empregado isoladamente. Além disso, torna a substituição cada vez mais interessante em relação aos agregados naturais, considerando vantagens ambientais e econômicas (SHERWOOD, 1995).

Dias (2012) afirma que desde 1915, nos Estados Unidos, são utilizadas camadas de solo tratadas com cimento na construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, melhorando várias propriedades no comportamento do solo, aplicado desde materiais granulosos até argilas.

Construir um pavimento exige conhecimentos específicos acerca dos materiais constituintes da camada desse pavimento, além dos materiais que constituem o subleito como um todo, retratando a fundação. O estudo dessas características torna-se importante na previsão das possíveis interferências nos cortes e aterros, além da construção dos drenos e de acostamentos (SENÇO, 2007).

Com os resultados laboratoriais é possível obter soluções comparativas para um determinado projeto de pavimentação, de um pavimento semirrígido, com os custos de implantação em função das características iniciais da concepção do projeto. Dentre os diversos métodos de dimensionamento destacam-se o método do DNIT e o método da Resiliência, ambos estudados nesta pesquisa a fim de obter-se o comparativo de eficiência em relação às espessuras de camadas resultantes.

As análises permearam o comparativo entre o uso de camadas de base de solo-cimento com 3% e 7% de incorporação e camadas de base de um material de referência, que no caso em tela foi brita graduada simples, verificando as espessuras das camadas resultantes entre as duas soluções e os diferenciais provocados pelos dois métodos de dimensionamento.

## 2 MATERIAL E LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em solos residuais de granito originados da região rural do município de Biguaçu, em Santa Catarina. As coordenadas

geográficas do ponto de estudo são 27°28'09.89" S e 48°43'20.58" W. O talude objeto desta pesquisa faz parte do Complexo Canguçu, composto por massas rochosas com formas diferenciadas e preferencialmente alongadas na direção NE-SW ou NNE-SSW. A região de estudo se encontra em uma área com eminência de solo Podzólico Vermelho-Amarelo Álico, usualmente bem drenados, com grandes quantidades de argila de atividade baixa e textura variada, presença ou não de cascalhos, calhaus e matacões.

O talude foi escolhido em função do conhecimento de que no local está sendo executada a implantação de uma obra de pavimentação de grande porte, utilizando o material próprio da região para compor as camadas do pavimento. A Figura 1 mostra o talude no estado já exposto devido as obras anteriormente mencionadas, o que permitiu uma análise tátil-visual prévia do material.



Figura 1. Representação da região onde localiza-se o talude objetivo desta pesquisa, com indicação do ponto da coleta da amostra ao pé do talude de corte.

Foram coletadas amostras de solo deformadas ao pé do talude apresentado, sendo todo o material envolvido em sacos plásticos para posterior transporte ao Laboratório de Tecnologia dos Materiais e Solos (LSTM) do IFSC – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, onde ocorreu o acondicionamento do material. Para o ensaio realizado no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina o material fora transportado



posteriormente.

O cimento utilizado para a estabilização química foi o Portland IV. É um cimento pozolânico que possui alta resistência química para a fabricação de concretos e argamassas sujeitas a ambientes mais agressivos, além de obras que apresentem requisitos específicos quanto à durabilidade. Dias (2012) argumenta que ele é essencialmente indicado para pavimentos rodoviários, concretagens em meios agressivos e misturas de solo-cimento.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Dimensionamento de pavimentos

Com os resultados dos ensaios de caracterização física (análise granulométrica, densidade real dos grãos, limites de Atterberg e compactação) e caracterização mecânica (ensaios de compressão simples e de determinação do ISC) foi possível obter os parâmetros essenciais utilizados no dimensionamento das camadas do pavimento semirrígido proposto, analisando seus resultados de forma técnica. Esses dimensionamentos foram realizados utilizando as especificações do DNIT (2006b), a partir do método proposto pelo DNER e pelo método da Resiliência, com todas as especificações necessárias para realização dos cálculos e apresentação dos resultados.

O dimensionamento dos pavimentos com o material da pesquisa (natural, com 3 e 7% de incorporação de cimento) e com o material de empréstimo idealizado pelos autores depende de fatores provenientes da caracterização física e da resistência desses materiais. O material da pesquisa foi devidamente caracterizado a partir dos ensaios citados anteriormente. Para o material de empréstimo foram considerados solos que atendam às exigências mínimas de caracterização e resistência, tendo como base a referência de Bernucci *et al.* (2010) que indica a utilização dos seguintes materiais para base, sub-base e reforço de subleito:

a) Brita Graduada Simples (BGS): possui uma distribuição granulométrica bem-

graduada, um bom intertravamento do esqueleto sólido e com uma boa resistência, sendo o CBR normalmente elevado na ordem de 60% a maiores que 100%. Para o dimensionamento do pavimento com material de empréstimo, a BGS foi utilizada como base;

- b) Macadame Seco: sendo um material granular em que a estabilidade é obtida pela ação mecânica enérgica de compactação, é utilizado principalmente na falta de jazidas de BGS próximas. Por geralmente não possuir resistência tão alta quanto a BGS, o macadame seco tende a ser mais utilizado como sub-base;
- c) Reforço de subleito: material proveniente de jazida de empréstimo que contém uma matriz de finos contemplando facilidade na compactação e impermeabilidade. Possui características coesivas, pouco expansivas e com boa capacidade de suporte.

#### 3.2 Dimensionamento pelo método do DNIT

Com o número “N” de projeto definido como  $5 \times 10^7$  repetições dos eixos dos veículos equivalentes às solicitações do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, de acordo com o método de determinação adotado pelo USACE, o dimensionamento do pavimento flexível (para o pavimento composto pelo solo da pesquisa ao natural e para pavimento com o material de empréstimo idealizado) e semirrígido (para o pavimento composto por base de solo-cimento da pesquisa) pode ser dado pelo método DNIT, sendo esse baseado em coeficientes de equivalência estrutural e pela capacidade de suporte do subleito e dos outros materiais que constituem as camadas do pavimento (DNIT, 2006b). Para o dimensionamento foi levado em consideração as seguintes condições:

- a) O material do subleito deve apresentar expansão  $\leq 2\%$  e CBR  $\geq 2\%$ , medidos a partir do ensaio CBR;
- b) O material do reforço do subleito deve apresentar expansão  $\leq 1\%$  e CBR maior que o do subleito;



- c) O material para sub-base deve apresentar expansão  $\leq 1\%$ , CBR  $\geq 20\%$  e IG = 0;
- d) O material para base deve apresentar expansão  $\leq 0,5\%$ , CBR  $\geq 80\%$ , Limite de Liquidez  $\leq 25\%$  e Índice de plasticidade  $\leq 6\%$ ;
- e) O material deve se enquadrar numa das faixas granulométricas especificadas;
- f) No caso de base em solo-cimento, a Norma de Pavimentação – Base de solo-cimento – Especificação de serviço, do DNIT (2010), especifica que o solo para a mistura deve apresentar as seguintes características, de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1. Granulometria para base granular.

Peneiras	Porcentagem	Tolerância
2"	100%	-
Nº4	50 a 100%	$\pm 5\%$
Nº40	15 a 100%	$\pm 2\%$
Nº200	5 a 35%	$\pm 2\%$
Limite de liquidez	Máximo 40%	
Índice de plasticidade	Máximo 18%	

Fonte: DNIT (2010).

- g) A espessura mínima da camada de revestimento é de 10,0 cm para concreto betuminoso com  $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ , 10,0 cm para camadas cimentadas e 15,0 cm para camadas granulares.

A partir das limitantes, o dimensionamento é feito com base no coeficiente de equivalência estrutural, em que os coeficientes para as diversas camadas do pavimento respeitam a seguinte nomenclatura normativa:

- a) Camada de reforço de subleito:  $K_{ref}$ ;
- b) Camada de sub-base:  $K_{SB}$ ;
- c) Camada de base:  $K_B$ ;
- d) Camada de revestimento:  $K_R$ .

Definiu-se a utilização de revestimento em concreto betuminoso (CAP). Com isso, o coeficiente de equivalência estrutural  $K_R$  é 2,00. Para o coeficiente de equivalência da camada de reforço de subleito e sub-base ( $K_{ref}$  e  $K_{SB}$ , respectivamente) definiu-se 1,00 por se tratarem de camadas granulares, considerando que a

camada de solo-cimento, quando for o caso, será utilizada como camada de base. O coeficiente de equivalência da camada de base  $K_B$  foi definido como 1,00 (utilização do solo natural e solo de jazida) e 1,20~1,70 para a base de solo-cimento, sendo que esse último deve apresentar um resultado de resistência à compressão aos 7 dias de moldagem superior a, no mínimo, 21 kgf/cm<sup>2</sup>.

É importante ressaltar que a utilização da camada de reforço de subleito é definida em projeto, porém decidiu-se realizar as análises considerando a inclusão ou não de tal camada no dimensionamento, apesar do método da Resiliência exigir a utilização da camada de reforço de subleito para o caso em tela.

Definidos os coeficientes, tem-se que:

- a) Camada de reforço de subleito:
  - i.  $K_{ref} = 1,00$  (solo granular).
- b) Camada de sub-base:
  - ii.  $K_{SB} = 1,00$  (solo granular).
- c) Camada de base:
  - iii.  $K_B = 1,20 \sim 1,70$  (base de solo-cimento);
  - iv.  $K_B = 1,00$  (solo natural da pesquisa e solo de empréstimo de jazida).
- d) Camada de revestimento:
  - v.  $K_R = 2,00$  (revestimento CAP).

Com o valor do CBR das camadas e do número N de projeto as espessuras das camadas foram definidas a partir da Equação 1:

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (1)$$

Por fim, uma vez determinadas as espessuras  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$ , a espessura da base (B), sub-base ( $h_{20}$ ) e reforço de subleito ( $h_n$ ) serão calculadas através da resolução sucessiva das inequações representadas pelas Equações 2, 3 e 4:

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) \geq H_{20} \quad (2)$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \geq H_n \quad (3)$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) + (h_n \times K_{ref}) \geq H_m \quad (4)$$

A espessura final do pavimento é dada pela soma das espessuras do revestimento (R), da



base (B), sub-base ( $h_{20}$ ) e reforço de subleito ( $h_n$ ), conforme apresenta a Equação 5 a seguir:

$$\text{Esp. final do pavimento} = R + B + h_{20} + h_n \quad (5)$$

### 3.3 Dimensionamento pelo método da resiliência

O Método da Resiliência permite o dimensionamento de pavimentos flexíveis e semirrígidos a partir da análise de deformação elástica ou recuperável de solos sob a ação de cargas repetidas, com uma análise mecânica que calcula a deflexão máxima prevista para uma expectativa de vida de fadiga (DNIT, 2005).

Para a utilização do método é preciso primeiramente classificar o solo de acordo com a Tabela 2 com os resultados do ensaio de granulometria, em que os tipos I, II e III são classificados como:

- i. Tipo I – Solos com baixo grau de resiliência; bom comportamento como subleito e reforço de subleito;
- ii. Tipo II – Solos com grau de resiliência intermediário; comportamento regular como subleito;
- iii. Tipo III – Solo com grau de resiliência elevado; não é aconselhável para uso em camadas de pavimentos.

Tabela 2. Classificação dos solos finos quanto à resiliência.

CBR (%)	S (%)		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Legenda: S: Porcentagem de silte.

Fonte: DNIT (2005).

Após saber o tipo de solo, calcula-se a espessura total do pavimento com a Equação 1 utilizando o número “N” e o CBR do subleito.

A espessura mínima do revestimento betuminoso ( $H_{CB}$ ) é dada pela Equação 6, considerando que, dependendo do tipo de solo definido, tem-se as constantes relacionadas às características resilientes do subleito:

- i. Solos tipo I:  $I_1 = 0$  e  $I_2 = 0$ ;
- ii. Solos tipo II:  $I_1 = 1$  e  $I_2 = 0$ ;
- iii. Solos tipo III:  $I_1 = 0$  e  $I_2 = 1$ .

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_p} + 0,972 \times I_1 + 4,101 \times I_2 \quad (6)$$

Onde:

$D_p$  = deflexão de projeto (0,01 mm);

$H_{CB}$  = espessura mínima da camada betuminosa.

Com isso, calcula-se, com a Equação 7, a deflexão admissível a partir do número “N” que provoca a ruptura por fadiga da camada betuminosa. O DNIT (2005) estabelece que a deflexão de projeto deve ser inferior a deflexão admissível ( $D_p < D$ ).

$$\log D = 3,148 - 0,188 \times \log N \quad (7)$$

Determina-se, então, o valor estrutural ( $V_E$ ) da camada betuminosa ( $H_{CB}$ ) de acordo com a Tabela 3, que relaciona a classificação do solo quanto a resiliência e o número “N” de projeto.

Tabela 3. Valores estruturais da camada betuminosa.

Tipo de subleito	N				
	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Fonte: DNIT (2005).

Calcula-se a espessura da camada granular, sendo esta limitada em 35 cm de espessura máxima. A espessura da camada granular depende da espessura da camada betuminosa, do valor estrutural anteriormente determinado e da espessura total do pavimento, de acordo com a Equação 8. É importante salientar que se considera como camada granular o material que contenha menos de 35% em peso passante na peneira nº 200 (0,075 mm), sendo necessária a obtenção da granulometria do material.

$$H_t = H_{CB} \times V_E + H_{CG} \therefore H_{CG} \leq 35 \text{ cm} \quad (8)$$



Onde:

$H_{CB}$  = espessura mínima da camada betuminosa;

$V_E$  = valor estrutural do revestimento betuminoso;

$H_{CG}$  = espessura máxima da camada granular;

$H_t$  = espessura total do pavimento.

No caso de subleito com tipologia III, o DNIT (2005) exige a utilização do reforço de subleito ( $H_R$ ), sendo que a espessura é determinada pela Equação 9:

$$H_R = \frac{H_{t1} - H_{t2}}{0,70} \quad (9)$$

Onde:

$H_R \geq 30$  cm;

$H_{t1}$  = espessura equivalente correspondente ao CBR do subleito;

$H_{t2}$  = espessura equivalente correspondente ao CBR da sub-base ou reforço de subleito.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise do uso do solo para pavimentação e dimensionamentos do projeto proposto

Com os resultados obtidos dos ensaios de caracterização e resistência, temos, resumidamente, as informações necessárias para o dimensionamento dos pavimentos expostas pela Tabela 4 e Tabela 5. É importante ressaltar que para o solo proveniente de jazida foi adotado que suas características atendem as especificações mínimas de dimensionamento.

Tabela 4. Resumo das informações para dimensionamento dos pavimentos.

TS	CBR (%)	EXP (%)	LL (%)	IP (%)	RM (MPa)
Solo natural	4	0,54	36	7	0,47
Solo-cimento – 3%	40	0,01	-	-	1,07
Solo-cimento – 7%	175	0,01	-	-	2,12

Legenda: TS: Tipo de solo; EXP: Expansão; LL: Limite de liquidez; IP: Índice de plasticidade; RM: Resistência média aos 7 dias.

Tabela 5. Resumo das porcentagens passantes nas peneiras de Nº 2½, 4, 40 e 200.

Peneiras	Passante (%)	Limite da Norma (%)	Verificação da situação
2½	100,00	100	OK
4	99,89	50 a 100	OK
40	78,65	15 a 100	OK
200	54,73	5 a 35	Não OK

Com isso, de acordo com as limitações impostas pela norma do DNIT 143/2010 (DNIT, 2010), não é possível utilizar o solo da pesquisa para camadas de base, em sua forma natural e com incorporação de 3% de cimento, pelos seguintes fatores:

- 1) Ambos não atingem o CBR mínimo de 80%;
- 2) O solo natural obteve um Limite de Liquidez maior que 25%, que seria o limite máximo a ser utilizado na camada de base, no entanto, para uso como base de solo-cimento, a norma do DNIT (2010) admite o limite de 40%;
- 3) O solo melhorado com 3% de incorporação de cimento não atingiu o valor mínimo de resistência à compressão com 7 dias de 21,00 kgf/cm<sup>2</sup>.

Para a análise granulométrica da Tabela 6 admitiu-se a possibilidade de utilização do solo para base com solo-cimento com a justificativa de que a alta porcentagem de finos (que excede o valor de 35% passante) irá demandar uma quantidade maior de cimento, não necessariamente invalidando o uso do solo.

A partir dos mesmos resultados é possível verificar que o solo natural pode ser utilizado como subleito, pois seu CBR e expansão atendem aos requisitos do DNIT (2006b). Para as camadas de sub-base e reforço de subleito, em todos os dimensionamentos, serão utilizados solos que atendam as condições de dimensionamento. O solo atribuído como sub-base será composto do material Macadame Seco com  $CBR \geq 20\%$  e o solo para reforço de subleito



será um material proveniente de jazida com  $CBR \geq 4\%$  (imediatamente superior ao  $CBR$  do subleito), adotando-se  $CBR = 10\%$ . Para material de base do pavimento que possui caráter comparativo proveniente de material de jazida será utilizado Brita Graduada Simples (BGS), que tem  $CBR \geq 100\%$ .

Por fim, tem-se que é possível dimensionar o pavimento a partir da utilização de solo-cimento com 7% de incorporação de cimento e o pavimento comparativo com os materiais de empréstimos idealizados. Observa-se que a mistura de solo-cimento com 7% atinge o limite mínimo de resistência à compressão simples de  $21,00 \text{ kgf/cm}^2$ , com um  $CBR$  superior à 80% e expansão menor do que 0,5%, conforme preconiza as normas regulamentadoras já discutidas anteriormente. No entanto, o índice de plasticidade resultou acima do limite máximo de 6% (cujo valor encontrado foi de 7%) para a amostra natural, não sendo ensaiadas as amostras com incorporação de cimento, portanto, não se tornou possível o comparativo com os valores normativos da maneira mais adequada. Apesar das situações mencionadas destaca-se que o prosseguimento da pesquisa ocorreu em virtude de ser o solo disponível no local, trabalhando-se com o material para a situação específica de campo, além de que a incorporação de cimento tende a diminuir consideravelmente os valores de índice de plasticidade, em que provavelmente seria inferior ao limite máximo de 6%.

#### 4.2 Dimensionamento pelo método do DNIT

Conforme apresentado anteriormente, o número “N” característico de projeto será de  $5 \times 10^7$  a partir do método do USACE, rodovia em estudo classificada como Via Coletora Principal, com tráfego previsto para Muito Pesado. Foi determinado, de acordo com o DNIT (2006b), que a espessura mínima do revestimento betuminoso é de 10,0 cm e de 15,0 cm para camadas granulares. Em relação à espessura mínima para camadas cimentadas, a CEHOP (2006) indica que esta é igual à 10,0 cm, de acordo com as boas práticas construtivas. Os

dimensionamentos do pavimento com a base de solo-cimento com 7% de incorporação e do pavimento comparativo com solo proveniente de jazida de empréstimo serão descritos a seguir.

Foram realizados dois tipos de dimensionamentos, envolvendo a base de solo-cimento com 7% e uma base de brita graduada simples (BGS), considerando no pavimento o uso ou não de reforço de subleito, totalizando quatro dimensionamentos característicos com o método do DNER.

Sendo a composição do pavimento com revestimento de concreto betuminoso, base de solo-cimento com 7% de incorporação, sub-base de macadame seco, reforço de subleito com material de jazida e subleito com solo natural da pesquisa, os coeficientes de equivalência estrutural e valores de  $CBR$  são definidos por:

- Revestimento de Concreto Betuminoso:  $K_R = 2,00$ ;
- Base solo-cimento 7% (resistência aos 7 dias entre  $28,0$  e  $21,0 \text{ kgf/cm}^2$ ):  $K_B = 1,20$ ;
- Base solo-cimento 7%:  $CBR \geq 100\%$ ;
- Sub-base de Macadame Seco:  $K_{SB} = 1,00$ ;  $CBR = 20\%$ ;
- Reforço subleito material jazida:  $K_{ref} = 1,00$ ;  $CBR = 10\%$ ;
- Subleito com material natural da pesquisa:  $CBR = 4\%$ .

#### 4.3 Dimensionamento pelo método da resiliência

No dimensionamento pelo Método da Resiliência inicialmente são confrontados os valores de percentual de silte, encontrados nos ensaios de granulometria por sedimentação, com os valores de  $CBR$  do subleito. O comportamento resiliente do solo apresenta relação com a classificação do solo de subleito, indicada a partir da Tabela 2.

Com isso, determina-se a porcentagem de silte na fração fina com os valores de  $P_1$  e  $P_2$ , porcentagem em peso de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a  $0,005 \text{ mm}$



e porcentagem em peso de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075 mm, respectivamente, a partir da curva granulométrica apresentada pela Figura 2 que especifica os valores determinados.

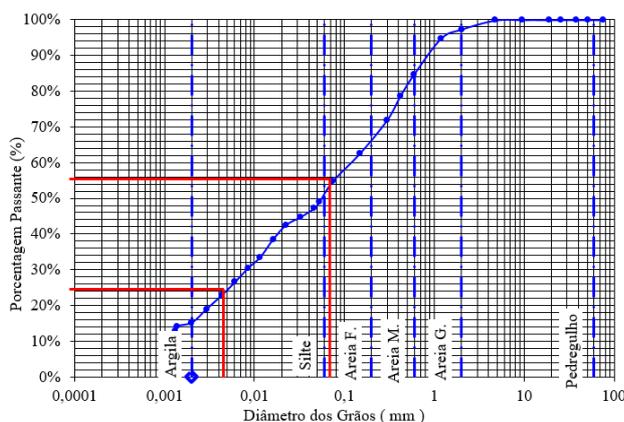


Figura 2. Curva granulométrica para determinação dos valores  $P_1$  e  $P_2$ .

Sendo assim, é possível calcular o valor da porcentagem de silte:

$$S = 100 - \frac{22,96}{54,73} \times 100 = 58,05\% \quad (10)$$

Por fim, conclui-se que o solo se enquadra na classificação resiliente tipo III.

Sendo a composição do pavimento com revestimento de concreto betuminoso, base de solo-cimento com 7% de incorporação, sub-base de macadame seco, reforço de subleito com material de jazida e subleito com solo natural da pesquisa, os parâmetros e valores de CBR utilizados no dimensionamento pelo Método da Resiliência, em estudo, apresentam-se:

- Revestimento de Concreto Betuminoso;
- Base de solo-cimento com 7% de incorporação: CBR  $\geq$  100%;
- Sub-base de Macadame Seco: CBR  $\geq$  20%;
- Reforço subleito material jazida: CBR = 10%;
- Subleito com material natural da pesquisa: CBR = 4%.

#### 4.4 Resumo dos resultados e comparação dos métodos de dimensionamento

Com a finalização de ambos os dimensionamentos, destaca-se a partir da Tabela 6 os resultados finais com o resumo das espessuras das camadas encontradas, considerando ambos os métodos de dimensionamento utilizados.

Tabela 6. Resumo das camadas a partir dos dimensionamentos pelo método do DNIT e pelo método da Resiliência.

MD	TD	Estrutura (cm)				
		R	B	SB	R	ET
DNIT	7% de incorporação (sem reforço)	10	15	45	-	<b>70</b>
	7% de incorporação (com reforço)	10	15	15	30	<b>70</b>
	BGS (sem reforço)	10	20	40	-	<b>70</b>
	BGS (com reforço)	10	20	15	25	<b>70</b>
Resiliência	7% de incorporação	16	20	15	50	<b>101</b>
	BGS	16	20	15	50	<b>101</b>

Legenda: MD: Método de dimensionamento; TD: Tipo de dimensionamento; R: Revestimento; B: Base; SB: Sub-base; R: Reforço de subleito; ET: Espessura total.

Analisando o dimensionamento pelo método do DNIT é possível perceber que esse não exige a utilização de reforço de subleito, deixando a cargo do projetista sua utilização ou não. Comparativamente, percebe-se que, para o caso em tela, no tipo de dimensionamento com ou sem reforço a diferença básica está na segurança aplicada, pois, pelas análises de cálculo, a espessura “sub-base + reforço” é única, optando-se por utilizar toda a espessura como sub-base ou a maior parte como reforço de subleito.

Ainda no método do DNIT, ambos os dimensionamentos, considerando base de solo-cimento e base de brita graduada simples, apresentaram o mesmo valor de espessura final. Salienta-se que uma espessura de revestimento de 10 cm, mesmo estando de acordo com o método normativo de dimensionamento, apresenta-se muito aquém da realidade executiva, pois no Brasil são utilizadas espessuras superiores à dimensionada e, ainda assim, encontram-se problemas durante a vida



útil do pavimento, sendo insuficiente para as situações atuais do tipo de tráfego.

A diferença de dimensionamento ocorreu nos valores de base, sub-base e reforço de subleito. Para o pavimento com brita graduada o valor da base ficou 5 cm acima do valor da espessura da base de solo-cimento, sendo que a espessura das camadas “sub-base + reforço” ficou 5 cm abaixo do valor da camadas “sub-base + reforço” do pavimento com base de solo-cimento.

A observação do parágrafo anterior é importante para examinar que a técnica de solo-cimento, para o caso em tela, possibilita uma menor espessura de base, compensando nas camadas subjacentes, que discutivelmente, apresentam um menor valor agregado em seu custo. Para esta situação fica difícil comparar os dois dimensionamentos sem levar em consideração os custos para a construção das camadas de base, em virtude dos materiais aplicados serem diferentes e as espessuras resultantes das camadas apresentarem uma diferença pequena, de apenas 5 cm.

Da mesma forma, salienta-se que, para o caso analisado nesta pesquisa, todos os dimensionamentos pelo método do DNIT apresentaram a mesma espessura final, com diferenças apenas na distribuição dos valores de espessura entre as camadas (mantendo-se fixa a espessura do revestimento, em virtude do parâmetro fixo do material e do número “N” de projeto). Percebe-se, portanto, que a influência do CBR do material pouco impacta nos resultados finais, sendo que os maiores parâmetros são definidos pelos coeficientes aplicados nas inequações.

Para o método da Resiliência observa-se que, para o subleito adotado na pesquisa, o método exige a utilização de reforço de subleito, portanto, não foi possível realizar o comparativo do método de dimensionamento com e sem reforço. No entanto, é possível analisar que ambos os dimensionamentos pelo método da Resiliência apresentaram os mesmos valores resultantes. Isso se deve, basicamente, ao fato de que as inequações das hipóteses de cálculo levam em consideração apenas os valores de

resistência de CBR dos materiais empregados, não utilizando coeficientes diferenciados para cada tipo de material a ser utilizado (como no método do DNIT).

Comparando os dois métodos de dimensionamento observou-se que, de acordo com os materiais empregados e fixados, o método do DNIT torna-se mais econômico, em termos de espessuras, do que o método da Resiliência, sendo esse último mais a favor da segurança em função da diferença na espessura final de 31 cm. Observa-se também que no método do DNIT o valor de revestimento é 6 cm inferior ao método da resiliência, enquanto que nas camadas de base e sub-base os valores no método da Resiliência equiparam-se com o método do DNIT, considerando uso de reforço, com diferenças significativas alcançando até 25 cm inferiores aos valores encontrados no método do DNIT sem uso de reforço.

Os maiores valores registrados de espessura ficam por conta da camada de reforço de subleito, no método da Resiliência, em função da utilização de todo o restante da espessura final nesta camada, possibilitando uma maior economia dos materiais das camadas superiores por apresentarem um maior valor agregado.

Discutivelmente o método do DNIT torna-se mais econômico em função da menor espessura final, no entanto, como há diferenças significativas nas espessuras individuais das camadas e nos valores dos serviços e dos materiais a serem utilizados, é necessária a análise de custos para execução de cada camada individualmente, a fim de promover um comparativo com maior propriedade de qual das situações seria, discutivelmente, mais econômica para ser implementada.

## 5 CONCLUSÕES

As limitações normativas apontam a não possibilidade de utilizar o solo da pesquisa para camadas de base, em sua forma natural e com incorporação de 3% de cimento, em virtude do não atingimento do CBR mínimo de 80%. O solo



natural não obteve um limite de liquidez abaixo de 25% (para a técnica de solo-cimento, o DNIT admite o limite máximo de 40%) e o solo melhorado com 3% de incorporação de cimento não atingiu o valor mínimo de resistência à compressão com 7 dias de 21,00 kgf/cm<sup>2</sup>.

Apesar do solo não se enquadrar no limite de 5 a 35% de material passante na peneira nº 200, admitiu-se a possibilidade de utilização para base com solo-cimento com a justificativa de que a alta porcentagem de finos irá demandar uma maior quantidade de cimento, não necessariamente invalidando o seu uso.

Observa-se que a mistura de solo-cimento com 7% de incorporação atinge o limite mínimo de resistência à compressão simples de 21,00 kgf/cm<sup>2</sup>, com CBR superior à 80% e expansão menor do que 0,5%.

Analisando o dimensionamento pelo método do DNIT observa-se que, para o pavimento com base de brita graduada, o valor da base ficou 5 cm acima do valor da espessura da base de solo-cimento, sendo que a espessura das camadas “sub-base + reforço” ficou 5 cm abaixo do valor da camadas “sub-base + reforço” do pavimento com base de solo-cimento.

Constatou-se que a técnica de solo-cimento possibilitou uma menor espessura de base, compensando nas camadas subjacentes em relação às espessuras, o que indica pouca influência do CBR do material utilizado em relação às camadas de sub-base e reforço.

Comparando os dois métodos de dimensionamento observou-se que, de acordo com os materiais empregados e fixados, o método do DNIT torna-se mais eficiente, em termos de espessuras, do que o método da Resiliência, sendo esse último mais a favor da segurança em função da diferença na espessura final superior em 31 cm.

Observa-se que no método do DNIT o valor de revestimento é 6 cm inferior ao método da resiliência, enquanto que nas camadas de base e sub-base os valores do método da Resiliência equiparam-se com o método do DNIT considerando uso de reforço, com diferenças significativas alcançando até 25 cm inferiores

aos valores encontrados no método do DNIT.

## REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Trama Criações de Arte, 2010.
- COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS. CEHOP – Infraestrutura – Pavimentação Rodoviária – Base com Solo Cimento. Recife, 2006. 10p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, DNER. 2005. 320p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Brasil). NORMA DNIT 143/10. Pavimentação – Base de solo-cimento – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: [s.l.], 2010. 10 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de estudos de tráfego – Rio de Janeiro, 2006b.
- DIAS, João José da Fonseca Marques Simões. Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2012.
- PEREIRA, Kiev Luiz de Araújo. Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- SENÇO, W. de. Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.
- SHERWOOD, P. Soil Stabilization with Cement and Lime – State of the art review, Transport Research Laboratory, HMSO, London, 1995.