

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Caracterização Geotécnica do Solo de uma Estrada não Pavimentada para fins de Dimensionamento de um Pavimento Flexível

Giovana Pelisser

Estudante, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, Brasil, E-mail: giovanapelisser@gmail.com

Eduardo Pavan Korf

Professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Brasil, E-mail: eduardo.korf@uffs.edu.br

Francisco Dalla Rosa

Professor, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, E-mail: dallarosa@upf.br

Guilherme Romero

Técnico de laboratório, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Brasil, E-mail: guilhermo@uffs.edu.br

RESUMO: Um trecho de uma estrada vicinal situada na zona rural do município de Erechim/RS foi estudado em termos de caracterização do solo e medição do tráfego diário para posterior proposta de dimensionamento de um pavimento flexível. Foi realizada a coleta de material para os ensaios de laboratório, além de uma sondagem superficial do aspecto do solo. Foram realizados ensaios de determinação do peso específico do solo, limites de atterberg, granulometria por sedimentação e o ensaios de compactação. O solo foi classificado como “GC” pelo Sistema de Classificação Unificada, pois possui uma granulometria característica de pedregulhos argilosos. A contagem do tráfego mostrou um volume diário de tráfego baixo, constituído principalmente por veículos de transporte de grãos. O peso específico determinado in loco detectou um solo denso e compactado, com peso específico médio de 28,9 kN/m³ já o peso específico real dos grãos para o solo apresentou um resultado de 26,4 kN/m³. O ensaio de compactação apresentou um peso específico máximo de 20,02 kN/m³ e um teor de umidade ótima de aproximadamente 14%. O dimensionamento proposto buscou utilizar materiais e métodos construtivos habituais da região.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de pavimento, Volume médio de tráfego, Manual de Pavimentação do DNIT.

ABSTRACT: This paper studies a part of a dirt road located in a rural area in the city of Erechim/RS, in terms of soil characterization and daily traffic measurement, for a later proposal for the design of a flexible pavement. Soil material was collected for laboratory tests, in addition to a superficial survey of the road. The tests performed include specific gravity tests, Atterberg limits, particle size distribution, and compaction tests. According to the Unified Classification System (USCS), the soil classification is “GC”, composed mostly of clayey gravel. The traffic count showed a low daily traffic volume, consisting mainly of grain transport vehicles. The specific gravity determined on site detected a dense and compacted soil, with an average specific gravity of 28.9 kN/m³, while the specific gravity of the grains performed at the laboratory presented a result of 26.4 kN/m³. The compaction test presented a maximum specific weight of 20.02 kN/m³ and an optimum moisture content of approximately 14%. The proposed design sought to use materials and construction methods that are usual in the region.



KEYWORDS: Pavement design, Average traffic volume, DNIT Pavement Manual.

1 Introdução

A malha rodoviária no Brasil é extensa, com 1.720.909,0 km segundo relatório da Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2021. Destes, 1.350.100,0 km ou 78,5% km são vias não pavimentadas, e apenas 213.500,0 km ou 12,4% são de rodovias pavimentadas (CNT, 2021).

As rodovias não pavimentadas ainda são uma realidade no interior dos municípios do Brasil. As estradas vicinais, ou também conhecidas como estradas de terra, são de suma importância para o escoamento dos produtos de origem animal e vegetal, principalmente o transporte da produção de grãos. Estes trajetos garantem o deslocamento das cargas para os centros urbanos e industriais. De acordo com o DER/SP (2020), as principais funcionalidades das estradas vicinais são a possibilidade de permitir acesso à áreas turísticas e históricas, possibilitar a inserção demográfica territorial e cultural de localidades e permitir o escoamento da produção agrícola e de atividades agropecuárias e agroindustriais (PLETCH, 2020).

Apesar das estradas de terra possuírem ampla importância para a economia do Brasil, ainda existe uma carência de dados sobre as características geotécnicas dos solos em estradas de terra já existentes, para posterior dimensionamento das camadas de base e sub-base para a pavimentação. As estradas de terra normalmente não são dimensionadas ou apresentam qualquer tipo de orientação técnica quanto ao projeto e manutenção.

Assim, o presente estudo objetivou caracterizar geotecnicamente um solo de um trecho de 600 metros de uma rodovia não pavimentada no município de Erechim/RS, com o intuito de projetar um pavimento asfáltico para o solo característico e volume médio de tráfego local, utilizando o Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006).

2 Metodologia

2.1 Coleta de dados e determinações *in loco*

A partir de sondagens superficiais simples foram coletadas, com auxílio de picareta e picão, amostras em três pontos do trecho para ensaios de caracterização em laboratório. Em campo, foi realizado o ensaio de peso específico, a contagem do tráfego diário, além da coleta das amostras deformadas de solo até a profundidade de 20cm para os ensaios de laboratório.

- a) Peso específico *in loco*: este parâmetro é importante para investigar a compactação do material já existente na estrada não pavimentada.
- b) Volume médio diário de tráfego (V_m): a localidade possui um tráfego caracterizado por transporte de grãos e com aumento de tráfego em época de colheitas. A contagem do tráfego no trecho de 600 m foi realizada em momento de entre safras, por períodos das 6h da manhã até às 20h da noite. Apenas os veículos de carga foram contabilizados, de modo a se obter o V_m necessário para o dimensionamento do pavimento conforme o Manual de Pavimentação do DNIT. Os eixos dos veículos eram contados e a carga sobre o veículo estimada.

O peso específico do solo da estrada de terra foi determinado por meio de um ensaio não normatizado, devido a falta dos equipamentos necessários. Uma abertura com dimensões de 50cm, 50cm e 20cm de profundidade foi escavada no solo local, sendo que todo e qualquer material removido foi coletado e inserido em sacos plásticos para evitar a perda de umidade. Em seguida, a escavação foi impermeabilizada, e prontamente um volume conhecido de água foi adicionado para realizar a aferição do volume da perfuração.

A amostra foi imediatamente levada ao laboratório e sua massa (em gramas) aferida em uma balança com precisão de 0,1g. Não foi realizado nenhum procedimento no material coletado antes de medir a sua massa, apenas foi evitado ao máximo perdas de umidade. Este procedimento foi realizado em 5 (cinco)



pontos do trecho estudado, em diferentes dias para diminuir o erro. Desta mesma amostra de solo, também foram coletadas 3 (três) amostras de 100g para obtenção do teor de umidade em cada amostra de solo coletado. Com isto, foi possível obter também o teor de umidade do solo para ser descontado da massa inicial. A massa de material encontrada foi dividida pelo seu volume, chegando a um valor de densidade conhecido.

2.2 Ensaios de laboratório

2.2.1 Ensaios de caracterização da amostra de solo

O tratamento da superfície do trecho é feito por meio de cascalho e brita, e então a superfície é compactada com rolo compressor. Por se tratar de uma estrada municipal, estes serviços são realizados pela equipe da Prefeitura Municipal de Erechim. O cascalho é coletado em outros pontos do município e então transportado para o ponto em estudo. O solo se mostrou bem compactado, de modo a apresentar dificuldade de penetração dos equipamentos para coleta de material. Após a coleta das amostras em diferentes pontos, o solo foi transportado ao laboratório de Geotecnia Ambiental da UFFS – Campus Erechim para as demais análises, entre elas:

- a) Peso específico real dos grãos: O ensaio é realizado de acordo com a norma DNER 093 (DNER, 1994), utilizando o método do picnômetro.
- b) Limites de Liquidez e Plasticidade: NBR 6459 (ABNT, 2016b) e NBR 7180 (ABNT, 2016c), respectivamente.
- c) Granulometria do solo: foram realizados os ensaios de granulometria por sedimentação e peneiramento grosso e fino de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016d).
- d) Teor de umidade natural pelo método da estufa.

As amostras de todos os ensaios foram preparadas, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016a).

2.2.2 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a NBR 7182 (ABNT, 2016e), com o cilindro grande sem reuso de material e energia normal. De acordo com a norma, o uso do cilindro grande é indicado em situações em que a granulometria do solo é mais elevada.

O solo em questão possui uma elevada quantidade de pedregulho na forma de cascalho. A opção pelo não reuso de material e energia normal se deu pelo mesmo fato de que as rochas do material poderiam fragmentar-se com uma energia mais elevada com reutilização do material, trazendo um resultado não satisfatório para o ensaio.

2.2.3 Dimensionamento do pavimento

O método de dimensionamento proposto pelo Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006) foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e está na sua terceira edição. Este método ainda é muito usado como parâmetro por profissionais da área, e explorado na literatura por autores como Scaranto (2007).

O pavimento foi dimensionado de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006). O ensaio CBR (California Bearing Ratio) ou ensaio ISC (Índice de suporte Califórnia) é um ensaio que mede as propriedades de um solo em relação a uma brita padrão, sendo medido por porcentagem. É costumeiramente utilizado no Brasil como medida de comparação de resistência entre as camadas do pavimento, por ser amplamente difundido e também por ser uma tecnologia fácil e relativamente barata de análise. Apesar de novos e diferentes ensaios serem utilizados fora do Brasil, o CBR ainda é uma variável muito utilizada e existente no método de dimensionamento do DNIT. O subleito do município de Erechim já foi previamente



estudado, inclusive por Scaranto (2007). Desta forma, para fins de dimensionamento, o CBR adotado foi o valor de 8% para o pavimento a ser projetado.

Algumas outras observações e delimitações:

- O período de projeto foi definido em 10 anos;
- Para o Fator Climático Regional será utilizado a unidade (1,0);
- Para o Fator de Carga, em caso de não poder se verificar o quanto cada veículo está transportando, é indicado utilizar o valor de 1,7;
- O Fator de Eixos calculado foi de 1,5;
- Para os volumes diários de tráfego apenas serão utilizados apenas veículos comerciais.
- O valor da Taxa de Crescimento Anual foi adotado em 3%;
- O volume médio diário de tráfego (V_m), considerando os períodos de safra e o crescimento anual, ficou com um valor de 241 veículos.

O cálculo do Número de repetições do eixo padrão “N” pode ser calculado utilizando parâmetros de volume médio diário de tráfego (V_m), fatores de tráfego (Fator de carga - FC, Fator de eixos - FE e Fator Regional - FR) e o período “P” de projeto. A equação é dada por:

$$N = 365 \times V_m \times P \times (FC) \times (FE) \times (FR) \quad (1)$$

As simbologias utilizadas para cálculo das espessuras de cada um dos constituintes de um pavimento estão apresentadas na Figura 3. Além disso, o Manual de Pavimentação apresenta o ábaco, onde é possível encontrar a espessura total do pavimento, ou então calculada pela Equação 2. Posteriormente são definidas as espessuras de acordo com os parâmetros das Equações 3, 4 e 5.

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (2)$$

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (3)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s \geq H_n \quad (4)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (5)$$

3 Resultados e Discussões

3.1. Coleta e determinação de dados *in loco*

O valor do peso específico *in loco* detectou um solo denso e compactado, com peso específico médio de 28,9 kN/m³. O teor de umidade natural do solo a uma profundidade de 20cm resultou em uma média de 10%.

A contagem do tráfego mostrou um tráfego com volume médio de tráfego baixo, isto por se tratar de uma área rural com tráfego sazonal (aumentando em épocas de safra de trigo e soja). Desta forma, para fins de dimensionamento e com o V_m obtido nos momentos de safra, foi possível obter o “N”, ou Número de repetições do eixo padrão “N”, que será discutido da seção 3.2.3.

3.2 Ensaios em laboratório

3.2.1 Ensaios de Caracterização

A Tabela 1 traz as características do solo conforme os ensaios realizados. O limite de liquidez e plasticidade foram realizados conforme as normas NBR 6459 (ABNT, 2016b) e NBR 7180 (ABNT, 2016c),



apenas com o material passante na peneira 0,42 mm. Os limites de consistência do solo são parâmetros importantes na classificação do solo.

O solo em questão possui uma granulação mais grosseira (Figura 1) e com mais que 12% de finos, é possível classificá-lo como “GC” pelo posicionamento do ponto na Carta de Plasticidade, conforme o Sistema de Classificação Unificada (SUCS). Esta classificação de solos é conhecida como “clayey gravel” ou pedregulho argiloso. Quanto ao Sistema Rodoviário de Classificação, o solo possui características mais próximas a solos “A-1a”.

Os parâmetros do diâmetro efetivo, também conhecido como D_{10} , pode ser observado na curva granulométrica como sendo a porcentagem que passa igual a 10%. O D_{60} é o diâmetro abaixo do qual se situam 60% das partículas, o qual é utilizado para o cálculo do Coeficiente de uniformidade (C_u). Se o C_u for maior do que 4, o pedregulho é considerado bem graduado e não uniforme (SOUZA PINTO, 2006). Um solo não uniforme apresenta grãos de tamanhos distintos, onde as partículas menores ocupam os vazios entre as partículas maiores, aumentando a resistência e o peso específico do solo. Tanto o D_{10} quanto o C_u podem ser observados em valores na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físicas do solo.

Propriedade	Resultado
Peso específico (kN/m^3)	26,4
Limite de Liquidez	28,7%
Limite de Plasticidade	22,11%
Índice de Plasticidade	6,6%
Diâmetro Efetivo (D_{10})	<0,001
D_{60}	10,5
Coeficiente de uniformidade (C_u)	10500
(D_{60}/D_{10})	

A curva granulométrica está exposta na Figura 1. A quantidade de argila (partículas menores que 0,002 mm) foi estimada em 21%, a quantidade de silte (partículas entre 0,002 mm e 0,06 mm) ficou em 8% e a quantidade de pedregulho (partículas entre 2 mm e 60 mm) foi 67%.

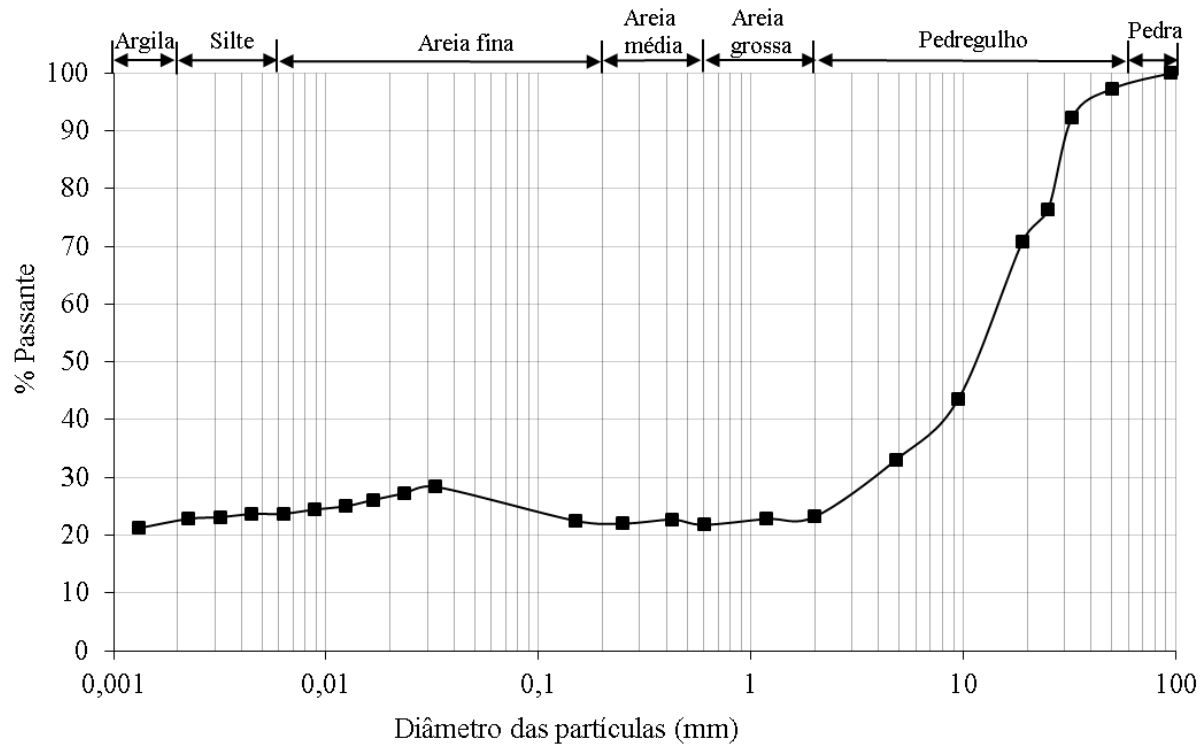


Figura 1. Curva granulométrica do solo.

Segundo Souza Pinto (2006), solos com uma curva granulométrica com trechos quase horizontais por não terem partículas de todas as dimensões, podem ser considerados solos mal-graduados, como observado nas porções de granulometria da areia na Figura 1. Porém, pela SUCS, é possível classificá-lo como um pedregulho bem graduado, com fração fina predominante de argila.

3.2.2 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação apresentou um peso específico seco máximo de $20,02 \text{ kN/m}^3$ e um teor de umidade ótima de aproximadamente 14%. O gráfico resultante é mostrado na Figura 2.

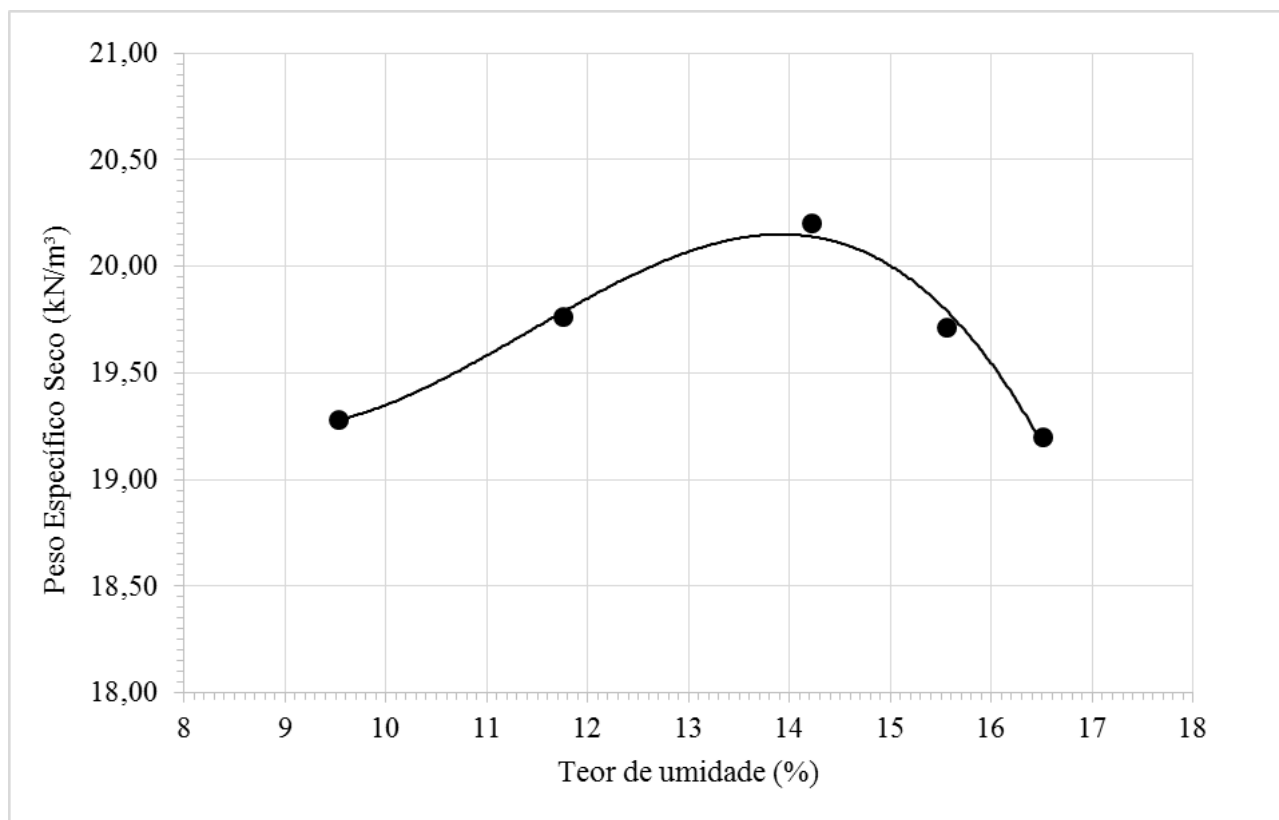


Figura 2. Curva do ensaio de compactação.

Pela curva de compactação, é possível observar um solo com peso específico alto, passando dos 20 kN/m³, por se tratar de um solo com pedregulho, por se tratar de uma amostra de solo compactado de uma estrada de terra consolidada. Segundo Pinto (2006), densidades secas máximas elevadas são características de solos pedregulhosos, assim como o teor de umidade ótimo relativamente baixo. O teor de umidade ficou dentro dos padrões de solos pedregulhosos com uma parcela menor de argila, sendo que neste caso, ainda, a argila absorve a parcela de umidade que o pedregulho não iria absorver, mantendo um solo com uma umidade mediana.

Considerando que solos argilosos possuem um teor de umidade ótimo mais elevado, e solos arenosos possuem um teor de umidade ótimo mais baixos (PINTO, 2006), a curva de compactação está mais condizente com solos tipo GC, ou seja solos pedregulhosos com uma parcela de argila.

3.2.3 Dimensionamento do pavimento

Pela Equação 1 exposta na seção 2.2.3, o número “N” adotado foi $N=2,2 \times 10^6$. Após a definição do número “N”, foi possível iniciar a determinação da espessura das camadas do pavimento. De acordo com Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006), para tráfegos entre $10^6 < N \leq 5 \times 10^6$, a camada betuminosa mínima é de 5 cm de espessura, ficando definido para este dimensionamento a forma de execução em CBUQ (Concreto betuminoso usinado a quente).

Na Figura 3, extraída do Manual de Pavimentação do DNIT, pode-se observar as camadas constituintes de um pavimento. Os símbolos B e R designam as espessuras de base e de revestimento, assim como as espessuras de sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n) (DNIT, 2006).

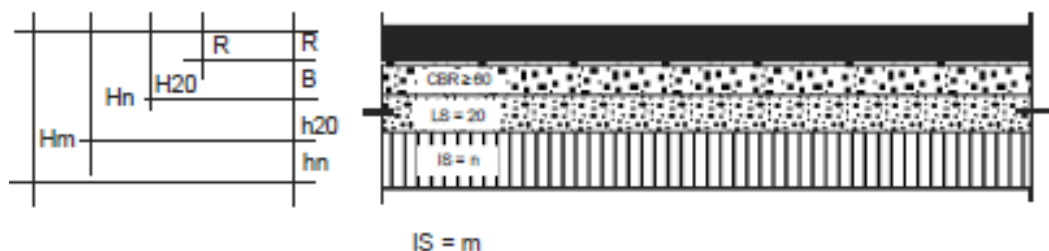


Figura 3. Camadas para dimensionamento do pavimento.

Fonte: DNIT, 2006.

Por se tratar de um trecho com tráfego baixo, não foi considerada a execução do reforço do subleito (H_n), devido a baixa solicitação do pavimento, tornando desnecessário o cálculo através da Equação 4. Além disso, obrigatoriamente, as camadas de base e sub-base devem ter no mínimo 15 cm. Da mesma forma, de acordo com a Figura 3, a camada de base deve ter um CBR com valor acima ou igual a 60, e uma sub-base com valor acima de 20. Os valores adotados foram: CBR de 80% para a base e 20% para sub-base.

O material escolhido para a constituição das camadas de base e sub-base é a brita graduada simples (BGS), pelo seu baixo custo e por ser um material muito acessível para as prefeituras, além de se tratar de um trecho com tráfego considerado baixo, o que justifica o emprego de materiais menos nobres.

O Manual de Pavimentação do DNIT ainda traz uma tabela com os coeficientes de equivalência estrutural, de acordo com os materiais utilizados no pavimento. Assim, para o revestimento de concreto betuminoso foi utilizado $K=2,0$; para as camadas granulares foi utilizado o valor de $K=1,0$. Desta forma é possível o cálculo de todas as variáveis das Equações 2, 3 e 5.

Através da Equação 2 foi dimensionada a espessura total do pavimento (H_t), chegando ao valor observado na Tabela 2. Por meio das Equações 3 e 5 foram calculados as espessuras da base e sub-base, já que o R já foi definido em 5 cm. Através dos cálculos, chegou-se à necessidade mínima de uma base ≥ 15 cm e uma sub-base ≥ 20 cm, sendo que os valores adotados podem ser iguais ou maiores que o encontrado. Desta forma, as espessuras propostas estão definidas na Tabela 2.

Tabela 2. Valores adotados para as espessuras do pavimento.

Camada	Material	Espessura
Revestimento (R)	CBUQ	5 cm
Base (B)	Brita Graduada	15 cm
Sub-base (h_{20})	Brita Graduada	25 cm
Total (H_t)		45 cm

Vale salientar que para um projeto de pavimentação ainda existem diversos outros fatores a serem previstos e projetados, como o Projeto Geométrico, o Projeto de drenagem, Projeto de sinalização, além de detalhamentos de todas as etapas construtivas do pavimento. Outro fator importante a ser considerado é a preparação do subleito, o aumento da largura da pista, a construção ou não de um acostamento. Todos estes fatores devem ser levados em conta ainda na etapa do Projeto Geométrico.

4 Conclusões

Através dos resultados de caracterização do solo no trecho escolhido foi possível o dimensionamento do pavimento asfáltico pelo Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006). A caracterização do solo mostrou um solo bem-graduado, classificado como “GC” pela Classificação Unificada de Solos, além de um



índice de plasticidade de 6,6%, uma umidade ótima de 14% e um peso específico seco máximo de 20,02 kN/m³.

A escolha dos parâmetros foi baseada em ensaios e materiais habituais para a execução de pavimentos de baixo tráfego na região. Este estudo trouxe parâmetros geotécnicos importantes para obras rodoviárias, podendo ser explorado e aplicado em obras de pequeno porte pelas prefeituras municipais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016a). NBR 6457. *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização- Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016b). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016c). NBR 7180. *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016d). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2016e). NBR 7182. *Solo - Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2017). NBR 9895. *Solo – Índice de suporte Califórnia – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.
- Confederação Nacional do Transporte - CNT (2021) *Pesquisa CNT de Rodovias 2021*. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1994) *Solos – determinação da densidade real- Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo- DER/SP (2020) *Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais – Volume I*. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/RodoviasVicinais.aspx>>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT (2006) *Manual de Pavimentação*. 3.ed. Rio de Janeiro, Brasil, 278p.
- Pletsch, L. (2020) *Condições de serventia de estradas rurais não pavimentadas: avaliação funcional da superfície de rolamento de um trecho da malha viária do município de Ijuí-RS*. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul / UNIJUÍ, 130 p.
- Scaranto, M. (2007) *Procedimentos aplicáveis na definição de medidas para a manutenção de pavimentos urbanos com revestimentos asfálticos*. Programa de Pós-graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo / UPF, 162 p.
- Souza Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos solos*. 3.ed. São Paulo, 367 p.