

# DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DO TIPO FLEXÍVEL: ESTUDO DE CASO APLICADO NO PARQUE INDUSTRIAL – ALVORADA DO SUL, PR

FLEXIBLE PAVEMENT SIZING: CASE STUDY APPLIED IN THE INDUSTRIAL PARK - ALVORADA DO SUL, PR

RAMON FELICIO<sup>1</sup>, LUIZ ROBERTO TABONI JUNIOR<sup>2\*</sup>

1. Acadêmico do curso Pós-graduação de Engenharia de Infraestrutura de Rodovias da Universidade FEITEP - Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional; 2. Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá – UEM e Professor na Faculdade de Engenharias e Arquitetura de Maringá – FEITEP.

\*Avenida Paranavai 1164, Bairro: Parque Industrial Bandeirantes, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87070 – 130. E-mail: [prof.luiizjunior@feitep.edu.br](mailto:prof.luiizjunior@feitep.edu.br)

Recebido em 19/09/2022. Aceito para publicação em 17/05/2023

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi verificar a capacidade de suporte do subleito de um solo do tipo argiloso por meio de ensaios laboratoriais de liquidez e plasticidade. E, por meio dos resultados obtidos buscou-se dimensionar o pavimento flexível localizado no parque industrial do município de Alvorada do Sul – PR. O estudo geotécnico utilizado para embasar os resultados foi desenvolvido por meio da adaptação da classificação estabelecida pelo Engenheiro Murillo Lopes (1981). A partir da observação do dimensionamento do pavimento tipo flexível, que considerou a espessura mínima construtiva por camada, visando a garantia de sua homogeneidade e qualidade, durabilidade e sustentabilidade, bem como, as sondagens realizadas por meio de estudos tecnológicos e de tráfegos, buscou-se verificar o melhor resultado de dimensionamento do pavimento flexível neste estudo de caso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento de Pavimento Flexível; Estudo de Tráfego; Estudos Geotécnicos.

## ABSTRACT

The objective of this research was to verify the support capacity of the subgrade of a clayey soil through of laboratory tests of liquidity and plasticity. And, through the results obtained, it was sought to size the flexible pavement located in the industrial park of the city of Alvorada do Sul - PR. The geotechnical study used to support the results was developed by adapting the classification established by Engineer Murillo Lopes (1981). From the observation of the flexible pavement dimensioning, which considered the minimum constructive thickness per layer, aiming at ensuring its homogeneity and quality, durability and sustainability, as well as the surveys conducted through technological studies and traffic, it was sought to verify the best result of flexible pavement dimensioning in this case study.

**KEYWORDS:** Flexible Pavement Dimensioning; Traffic Study; Geotechnical Study.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é o sistema de transporte mais utilizado, sendo que aproximadamente 90% do tráfego é de passageiros e 60% de todas as mercadorias são transportadas por via terrestre. Entretanto, o transporte rodoviário enfrenta problemas em virtude da baixa qualidade da infraestrutura, contendo apenas 12,4% da malha rodoviária pavimentada e sendo a maior parte de pista simples<sup>1</sup>.

Diante disso, Bernucci *et al.* (2010)<sup>2</sup> afirmam que o maior desafio em projetar um pavimento está em fazer com que as demandas estruturais e funcionais sejam cumpridas, alinhando a maior economia possível as restrições orçamentárias. Caso não sejam cumpridas as demandas estruturais e funcionais, podem surgir patologias, ou seja, defeitos ou irregularidades, nas quais são perceptíveis pelos usuários da via. As patologias funcionais são definidas como determinações da capacidade de desempenho funcional momentânea, ou seja, qualidade que o pavimento proporciona ao usuário.

O pavimento flexível é atualmente o modelo de pavimento mais utilizado em território brasileiro, atingindo uma porcentagem de uso de aproximadamente 96% do total de vias pavimentadas no país. Além disso, esse modelo é de suma importância em relação aos aspectos econômicos, uma vez que em 2018 gerou uma renda para mais de 400 mil autônomos que trabalham no setor de transportes<sup>3</sup>.

Ainda de acordo com a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2019)<sup>3</sup>, o Brasil possui pouco mais de 213mil quilômetros de vias pavimentadas. Deste total, cerca de 105 mil quilômetros foram pesquisados, dos quais, aproximadamente 18 mil quilômetros estão classificados como ruins ou péssimas, 35 mil regulares e o restante por volta de 52 mil, ótimo e bom.

Pavimentar, segundo Balbo (2007)<sup>4</sup>, é a atividade de construção de estrutura que visa primordialmente à melhoria operacional para o tráfego, independentemente de sua natureza, na medida em que é criada uma

superfície mais regular e mais aderente, características que permitem, respectivamente, maior conforto no deslocamento e mais segurança em condições de pista úmida ou molhada.

No Brasil, a pavimentação é domínio de conhecimento técnico com significativa defasagem de emprego em relação aos países desenvolvidos. Apenas na década de 1950, deu-se início a um vasto plano de pavimentação, inovador no Brasil, introduzindo a utilização da estabilização de solos com cimento e da estabilização granulométrica de materiais de construção viária, bem como o aproveitamento de solos granulares em pavimentos. No final desta década, um fato de significativa importância foi a criação de uma comissão técnica especial dentro do âmbito do extinto DNER, que possibilitou o avanço das práticas e pesquisas tecnológicas concernentes à pavimentação de rodovias<sup>4</sup>.

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem Paranaense<sup>5</sup>, a PR-090 (estrada do cerne) foi considerada como a maior rodovia que se construiu no Paraná em todos os tempos, servindo a uma das zonas mais ricas e de intensa produção do Paraná e do país.

O nome de "Rodovia do Cerne", provém do Rio Cerne. Essa denominação prevalece até hoje. Cerne, é o lugar, mais precisamente um rio localizado no Km 35, e quando o trecho Santa Felicidade-Cerne foi concluído, determinou a liberação da rodovia ao tráfego<sup>5</sup>.

A denominação dessa estrada de "Rodovia Engenheiro Angelo Ferrario Lopes", que liga a capital do Estado ao município de Alvorada do Sul próximo à divisa com o Estado de São Paulo, foi dada através do Decreto Estadual nº 5.546 em 18 de outubro de 1982<sup>5</sup>.

Apresentação do estudo realizado sobre o projeto de pavimentação, realizando a partir de sondagens, estudos de tráfegos, conforme especificações técnicas vigentes, referente à implantação de Infraestrutura do Parque Industrial Antenor Gasparelli, Município de Alvorada do Sul – PR.

De acordo com a Lei n 2547/2018 <sup>6</sup> que cria e regulamenta o parque industrial e comercial fica criado e instituído "Parque Industrial" no imóvel de propriedade do município de Alvorada do Sul.

Fica autorizado o município a executar toda a infraestrutura do empreendimento, inclusive com os recursos decorrentes da alienação dos lotes e de outros pertencentes ao município, bem como a construção de barracões para fins de implantação de incubadora industrial e de instalação de outras empresas, tendo como objetivos a geração de empregos e renda<sup>6</sup>.

Conforme apresentado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT (2006)<sup>7</sup>, o pavimento rodoviário é classificado como flexível, semirrígido e rígido, que podem ser descritos como:

- Flexível: é o pavimento em que todas as camadas passam por deformações elásticas, em decorrência da carga aplicada, de tal forma que a carga se distribui em partes aproximadamente iguais entre as camadas. Exemplo usual: pavimento construído com base de brita (brita graduada e macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso e uma camada asfáltica em seu

revestimento.

- Semirrígido: define-se por uma base cimentada composta por algum aglutinante com capacidade cimentícias, como, por exemplo, uma camada composta por solo-cimento com um revestimento asfáltico.

- Rígido: pavimento assim denominado quando seu revestimento possui uma camada de alta rigidez em relação às demais camadas, assim absorvendo praticamente todas as tensões oriundas do tráfego. Exemplo comum: pavimento formado por placas de concreto de cimento Portland. Contudo, em território brasileiro, as classificações são basicamente entre pavimentos rígidos e flexíveis, sendo as estruturas dos pavimentos bem distintas.

O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, as tensões são distribuídas de maneira equivalente em todas as camadas do pavimento (BALBO, 2011)<sup>8</sup>.

Diante disso, esse estudo teve como objetivo dimensionar um pavimento do tipo flexível, em um parque industrial para geração de empregos, localizado no município de Alvorada do Sul – Paraná.

Além disso, será analisado estudo de tráfego médio anual, ensaios laboratoriais para limite de plasticidade e liquidez, método empírico para calcular suas espessuras e oferecendo uma superfície de rolamento livre, destinada a permitir circulação de veículos com segurança, conforto e economia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Métodos Empíricos

Os métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, ainda são os mais utilizados no Brasil, são aqueles baseados na experiência acumulada e correlacionam o desempenho do pavimento com algumas propriedades dos materiais utilizados na construção.

Não leva em conta o conceito de deformabilidade das camadas do pavimento e do subleito no cálculo da espessura do pavimento. Baseia-se em observação do desempenho de estruturas existentes. No Brasil, são dois os procedimentos para dimensionamento de pavimentos flexíveis normalizados pelo DNIT:

O método de dimensionamento com base no ensaio CBR foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE), tornando-se a base principal do método do DNER brasileiro, que será apresentado adiante.

Para oferecer maior confiabilidade aos resultados, é utilizado para o dimensionamento o Índice de Suporte (IS), que é obtido por meio do valor médio encontrado no ensaio CBR mais o valor de suporte ISIG, dado pelo índice de grupo (IG). Vale ressaltar que o IS não poderá ser maior que o valor do CBR, que mostra os valores de IG e IS, e em seguida a formulação para o Índice de Suporte de Califórnia (Coutinho, 2011)<sup>9</sup>.

Segundo Balbo (1997)<sup>10</sup>, de modo intuitivo, os coeficientes de equivalência estrutural atribuídos aos

materiais constituintes das camadas do pavimento representam a capacidade relativa de um dado material em distribuir pressões sobre as camadas inferiores, levando a concluir que quanto maior o módulo de elasticidade do material, menor pressão resultaria sobre uma camada subjacente a ele, e em cascata, tal capacidade relativa de distribuição de pressões seria maior para este material.

De acordo com Biroli (2003)<sup>11</sup>, o pavimento flexível é constituído por várias camadas com diversos tipos de materiais, sendo que, dependendo das tensões exercidas por este e pela capacidade de suporte do subleito, algumas dessas camadas podem ser eliminadas. Logo, segundo o autor, o pavimento flexível pode ser dividido nas seguintes camadas:

- Capa de rolamento: uma camada com característica impermeável, responsável por resistir primeiramente às ações das forças exercidas pelo tráfego por ser a primeira camada em atrito direto com os veículos. Além de suportar as forças solicitantes, a capa de rolamento tem como objetivo transmitir de maneira moderada as tensões para as camadas inferiores;

- Base: camada atribuída de transmitir os esforços provenientes das tensões refletidas no revestimento para o subleito;

- Sub-base: camada com finalidade de acrescentar a base. Normalmente essa camada é projetada quando há necessidade de uma camada entre a base e o subleito;

- Reforço do subleito: camada a acrescentar no subleito ou na sub-base elaborada acima da regularização;

- Subleito: a fundação sobre onde se constitui o pavimento. Nesta camada deve-se considerar até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego.

Para Bernucci *et al.* (2010)<sup>12</sup>, pavimentos flexíveis são constituídos de camadas, como, revestimento, base, sub-base, e reforço do subleito de materiais granulares e solos que não apresentam em sua constituição materiais do tipo cimento. Os autores ainda destacam que dependendo da espessura das camadas, rigidez e capacidade de suporte do subleito algumas das camadas podem ser eliminadas. A fim de que, seu funcionamento ocorra de forma correta. Outrossim, às deformações das camadas devem ser compatíveis com seu dimensionamento, de maneira que não ocorram danificações ou rupturas prematuras ao pavimento.

De acordo com Bernucci *et al.* (2010)<sup>13</sup>, é de fácil percepção a distinção entre o pavimento flexível e rígido, tendo assim, as únicas semelhanças nas camadas de suporte, sendo a de subleito e sub-base. O pavimento rígido, por sua vez, dispensa as demais camadas pela alta resistência da placa de concreto que é a camada de rolamento.

Segundo Balbo (2007)<sup>4</sup> uma dada carga atuante sobre um pavimento flexível impõe nessa estrutura um campo de tensões muito concentrado, nas proximidades do ponto de aplicação dessa carga., desta forma, as camadas de revestimento e base devem apresentar maior resistência, pois, estão submetidas diretamente as ações

do fluxo de veículos e recebem a maior parte das tensões de compressão.

Contudo, para que a fundação do terreno não sofra deformações excessivas, todas as camadas constituintes da estrutura do pavimento devem trabalhar em conjunto, distribuindo entre elas as tensões verticais de compressão, de forma que seja mínima quando chegar no subleito.

Atualmente, o pavimento flexível é o mais utilizado nas construções rodoviárias do Brasil, sua vida útil máxima gira em torno de 10 anos, e durante este período é extremamente necessário que haja manutenções periódicas<sup>14</sup>.

Isso se deve ao fato de que no decorrer dos anos, o pavimento vai perdendo sua serventia gradualmente através da deterioração de seus componentes físicos, sendo as intempéries climáticas e as solicitações do tráfego os principais agentes externos responsáveis<sup>15</sup>.

Conforme abordado pelos autores, Barca e Nogueira (2015)<sup>16</sup>, o revestimento é a camada dimensionada para resistir diretamente às ações do tráfego e impermeabilizar o pavimento, dando boas condições de rolamento, no âmbito de segurança e conforto.

Balbo (2007)<sup>17</sup> reforça que o revestimento tem como uma de suas funções receber as cargas, tanto estáticas como dinâmicas, sem sofrer deformações elásticas ou plásticas de grandes proporções. Portanto, faz-se necessário ter em sua composição materiais bem aglutinados ou predispostos de forma que possa evitar movimentações horizontais, desagregação de materiais ou até mesmo perda de compactação.

De acordo com Bernucci *et al.* (2006)<sup>18</sup>, é de fácil percepção que a composição do pavimento flexível se difere completamente do pavimento rígido, as únicas semelhanças se dão pelo fato de possuírem camadas de suporte idênticas, sendo elas a de subleito e sub-base.

O pavimento rígido dispensa as demais camadas pela alta resistência da placa de concreto que é a camada de rolamento.

### Ligantes Asfálticos

Por definição da Petrobras (2019)<sup>19</sup>, o ligante asfáltico é um material de alta viscosidade, produzido por meio da destilação do petróleo cru. Possui boa adesividade, não volátil, com coloração marrom ou preta, composto por asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos de natureza aromática, solúvel em tricloroetileno.

Ainda de acordo com a Petrobras (2019)<sup>19</sup>, é possível descrever os tipos e utilizações de acordo com os seguintes tipos e aplicações:

- Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP: material com alta viscosidade, semissólido ou sólido em temperatura ambiente, com comportamento termoplástico, fluido se aquecido e retornando a seu estado original após resfriamento.

Sua consistência depende da quantidade remanescente de fração oleosa, tendo este critério para sua classificação.

- Asfalto Diluído de Petróleo – ADP: composta por uma mistura de CAP's e solventes, capaz de interferir no

tempo de cura da aplicação, tais como: asfaltos de cura rápida (CR) com a utilização de nafta; cura média (CM), com querosene e por fim; cura lenta (CL), com gásóleo. Tais misturas são realizadas para reduzir a viscosidade do CAP.

- Emulsões Asfálticas: composta por pequenas partículas ou glóbulos de CAP, suspensos em água com agentes emulsificantes. Quando são aplicadas, as partículas de CAP se acumulam sobre o agregado mineral, causando a ruptura da emulsão, assim, se separando da água. As emulsões asfálticas possuem classificação de acordo com sua ruptura.

### Concreto Betuminoso Usinado a Quente

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) se destaca pelo fato de ser utilizado em aproximadamente 96% dos 230.000 km de vias pavimentadas no Brasil.

Para Steffernon (2003)<sup>20</sup>, CBUQ define-se como uma mistura usinada a quente de agregados graúdos, miúdos, material de enchimento (filler) e CAP, misturados em usina adequada, devendo ser disperso sobre a superfície de aplicação e compactado à quente.

O concreto asfáltico, segundo o DNIT (2006)<sup>21</sup>, pode ser utilizado como revestimento, camada de ligação (binder), base, regularização ou reforço do pavimento, não sendo permitida a execução dos trabalhos referidos em dias chuvosos e só deve ser produzido, transportado e aplicado em temperaturas superiores a 10°C.

### A Camada de Base

A base, é a camada situada imediatamente abaixo da capa ou revestimento asfáltico. Possui a função de resistir às cargas atuantes devido ao tráfego e minimizar as deformações de consolidação e os esforços cisalhantes, nas camadas subjacentes.

Considerando-se a camada de revestimento asfáltico, as características mecânicas da base são essenciais para garantir o controle da magnitude das tensões na capa, de maneira que não causem manifestação patológica prematura, na camada de superfície<sup>22</sup>.

### A Camada de Sub-base

Os pavimentos são estruturas constituídas por múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a terraplanagem, com a função principal de fornecer aos usuários segurança, conforto e garantir trafegabilidade em qualquer época do ano, em diferentes condições climáticas.

Com a função de resistir e transmitir as tensões verticais e horizontais oriundas do tráfego, de forma economicamente viável, a estrutura do pavimento é composta por diferentes camadas, de acordo com os níveis de esforços a que cada uma está submetida.

Assim, tradicionalmente, os materiais mais nobres e resistentes estão mais próximos da superfície e os menos nobres e menos resistentes estão mais próximos da camada de terraplanagem.

De modo amplo, pode-se dividir a estrutura dos pavimentos asfálticos nas seguintes camadas: camada de

rolamento, binder ou intermediária - ambas constituem o revestimento asfáltico - base, sub-base e reforço do subleito.

Estas camadas são assentadas sobre o subleito, que é a camada final da terraplanagem, ou a fundação do pavimento.

A sub-base é a camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.

Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. (DNIT, 1996)<sup>23</sup>.

### Reforço do Subleito

Camada existente nos pavimentos muito espessos, executada com o objetivo de reduzir espessura da camada de sub-base.

O reforço do subleito é executado logo acima da regularização, com características geotécnicas superiores às do subleito.

Visto isso, a capacidade de suporte do reforço deve ser maior que a do subleito.

Os pavimentos rodoviários destinados a tráfego pesado, ou seja, que possuem base com CBR maior ou igual a 80%, mas de espessura considerável, carecem de uma camada adicional – o reforço do subleito – para que se possa executar a estrutura com menor espessura de sub-base, complementada por uma camada de material menos nobre<sup>24</sup>.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Alvorada do Sul, mais precisamente no Parque Industrial Antenor Gasparelli, localizado na PR-090. Na Figura 1, é possível visualizar a área de estudo e os pontos onde ocorreram a coleta das amostras de solo para o estudo geotécnico.



Figura 1 - Mapa de Situação Fonte: Adaptado do Google Earth, 2022.

O estudo geotécnico da presente pesquisa foi realizado por meio de sondagens a trado manual, com diâmetro de 0,20 metros e profundidade máxima de 1,80 metro, em relação ao nível do terreno natural. Sendo que, em cada furo de sondagem, foram coletadas 4 (quatro) amostras.

Durante a sondagem foi determinada a profundidade e a característica tátil-visual do material, inclusive as

profundidades do nível d'água quando interceptadas pelas perfurações.

Em cada furo de sondagem, foram coletadas amostras representativas para fins de caracterização do solo de subleito em laboratório, onde foram realizados os seguintes ensaios:

- Ensaio de limite de liquidez (DNER-ME 122/94);
- Ensaio de limite de plasticidade (DNER-ME 82/94);
- Análise granulométrica por peneiramento (DNER-ME 080/94);
- Ensaio de compactação (energia normal) (DNIT 164/2013-ME);
- Ensaio de CBR - Índice de Suporte Califórnia (DNIT 172/2016 ME);
- Ensaio de expansão
- Classificação do Solo (HRB).

Na tabela 1, pode-se verificar o boletim de sondagem dos pontos coletados no parque industrial.

**Tabela 1.** Boletim de Sondagem dos pontos coletados.

ST	Horizonte	Localização	Nível d'água	Solo
01	0,30 - 1,50	22°47'13.79"S 51°14'18.22"W	Não encontrado	Argiloso
02	0,30 - 1,50	22°47'26.88"S 51°14'19.34"W	Não encontrado	Argiloso
03	0,30 - 1,50	22°47'18.72"S 51°14'27.68"W	Não encontrado	Argiloso
04	0,30 - 1,50	22°47'20.98"S 51°14'34.21"W	Não encontrado	Argiloso

Fonte: Autores (2022).

Segundo o DERSA, (1986)<sup>25</sup> As sondagens são realizadas por meio de quatro métodos de perfuração distintos ou ainda pela combinação dos métodos: trado, percussão, rotativa ou barra mina.

A sondagem a trado (ST) tem o objetivo de determinar, espessuras, nível d'água e o tipo de solo encontrado. É realizado com a escavação através de trado cavadeira com coletas de amostra de solo a cada metro, horizonte, ou a critério pré-estabelecido para ensaios geotécnicos ou estudos geológicos.

O índice de resistência à penetração, é realizado pela cravação de amostrador padrão no terreno, em golpes sucessivos de um peso determinado em queda livre, sobre a cabeça de cravação, conectada às hastes e ao barrilete corresponde ao número de golpes necessários à cravação do amostrador.

A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m, seguindo-se a instalação até essa profundidade, do primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante.

A sondagem a trados mecânicos é utilizada para perfurações mais profundas.

É uma escolha bastante utilizada nos canteiros de obra, levando em consideração que este processo é considerado o mais limpo, por não produzir lama, além

de ter mais mobilidade dentro da execução do serviço e diminuir o número de funcionários<sup>26</sup>.

Na sondagem a trados manuais do solo, a perfuração é feita por meio de cavadeiras manuais para obter amostras nas camadas do solo que possuem baixa resistência e estão acima do nível da água.

Este processo é mais rápido e econômico, quando comparado aos outros, pois necessita de apenas duas pessoas girando a cavadeira manual. O processo é bastante utilizado para indicar o nível do lençol freático<sup>26</sup>.

**Quadro de Resumo**

Segundo o DNER (1996)<sup>27</sup> os resultados dos ensaios de laboratórios devem constar de um "Quadro - Resumo de Resultados de Ensaios" (tabela 2), tendo-se que, para dar generalidade ao modelo, figuram ensaios que podem não ser feitos durante o reconhecimento do subleito.

Na tabela 2 pode-se verificar o Quadro de Resumo dos Ensaios tecnológicos dos pontos coletados no Parque Industrial.

**Tabela 2.** Quadro de Resumo dos Ensaios Geológicos

Quadro Resumo: Ensaios de Caracterização de Solos											
ST No	Índices Físicos			Granulometria			Classif. Solos HRB (IG)	Ensaio Proctor e CBR Energia Normal			
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Argila + Silte (%)		Wot. (%)	D máx. (g/cm³)	CBR (%)	Exp. (%)
ST 01	57,0	32,8	24,2	1,33	3,58	95,09	A7-5 (17)	29,8	1,473	8,7	0,4
ST 02	55,8	34,3	21,5	1,37	3,77	94,87	A7-5 (16)	30,7	1,453	10,6	0,2
ST 03	53,1	34,8	18,3	1,26	4,69	94,05	A7-5 (14)	29,1	1,497	9,0	0,5
ST 04	59,0	31,6	27,4	0,64	2,64	96,72	A7-5 (19)	29,3	1,460	10,6	0,3

Fonte: Autores (2022)

Onde:

- ST: Sondagem a Trado
- LL: Limite de Liquidez (%)
- LP: Limite de Plasticidade (%)
- IP: Índice de Plasticidade (%)
- HRB: Classificação do Solo
- IG: Índice de Grupo
- D máx.: Massa Específica Aparente Seca Máxima (g/cm3)
- Wot.: Umidade Ótima (%)
- CBR: Índice de Suporte Califórnia (%)
- Exp.: Expansão (%)
- Determinação do CBR de Projeto
- CBRp = 8,7%
- CBR de Projeto = CBRp

**Determinação dos Limites de Atterberg**

Os índices de Atterberg, propostos pelo engenheiro químico Atterberg, e padronizados pelo professor de Mecânica dos solos Arthur Casagrande, são os chamados limites de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL)<sup>28</sup>.

A determinação desses limites é regida pelas

respectivas normas: ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016.

De acordo com a explicação de Oliveira (2011)<sup>29</sup>, esses limites “são as variáveis que melhor expressam as condições de menor ou maior capacidade dos solos serem moldados, sob condições de certas de umidade, sem variação de volume.”

Diante disso, os limites têm como base na verificação de que um solo argiloso mostra aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. (PINTO, 2015)<sup>30</sup>.

Para descobrir o teor de umidade por meio do ensaio de LL, é utilizado o aparelho de Casagrande, onde segundo a NBR 6459 (ABNT, 2016)<sup>31</sup>, é colocada uma porção de massa de solo com uma determinada umidade na concha do aparelho, separa a porção de solo ao meio com um cinzel, e aplica entre 15 a 35 golpes contra a base, até que as bordas inferiores se unam em aproximadamente 13 mm de comprimento.

Ainda conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016)<sup>31</sup>, após as ranhuras se unirem, anota os golpes dados e coleta uma pequena amostra de massa de solo próximo as bordas inferiores e transfere imediatamente para um recipiente adequado para a determinação da umidade.

Diferentemente do LL, o LP é definido como o menor teor de umidade, onde é possível com a massa do solo, se moldar um cilindro com 3mm de diâmetro, quando se rola o solo na palma da mão<sup>30</sup>.

Para Caputo (1988, p. 56)<sup>32</sup>, “o LP é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento”.

O índice de plasticidade (IP) é o teor de umidade dentro da qual o solo possui plasticidade, sendo calculado pela diferença numérica entre LL e LP<sup>33</sup>.

### Estimativa Volumétrica

A estimativa volumétrica e classificatória do tráfego foi realizada conforme demonstrado na tabela 3.

O Número N considerado neste projeto foi aquele obtido a partir dos fatores de equivalência de carga determinados pela USACE.

O fator de veículo (FV) foi calculado a partir da ponderação das possíveis ocorrências de porcentagens de veículos comerciais, considerando a seguinte hipótese:

Parte dos veículos com carga máxima legal (100%), vazios (0%), e com tolerância legal (0%).

A taxa de crescimento para o período de projeto foi de 3,0% ao ano em progressão aritmética, conforme expressão abaixo:

$$I = [2 + ((p-1) tx/100)] / 2$$

Onde:

I = índice multiplicativo da taxa;

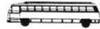
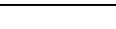
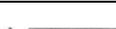
p = período em anos;

tx = taxa de crescimento (3,0% ao ano)

Na tabela 3 pode-se verificar o Quadro de Resumo

dos Ensaio tecnológicos dos pontos coletados no Parque Industrial.

**Tabela 3.** Estudo de Tráfego Médio Diário Anual.

Vias marginais (tráfego médio)			
Classe (DNIT)	Tipo	TMDA (Ano 2021)	Distribuição (%)
Autos		< 100	-
2CB		8	6,3%
2CC		32	25,4%
2C		22	17,5%
3C		16	12,7%
4C		14	11,1%
2S1		2	1,6%
2S2		4	3,2%
2S3		2	1,6%
3S2		0	0,0%
3S3		18	14,3%
3D4		8	6,3%
<b>Total - Veículos Comerciais</b>		<b>126</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autores (2022).

De acordo com Baerwald (1976)<sup>34</sup>, o volume de tráfego é determinado pela contagem do número de veículos que passam por um determinado ponto em uma unidade de tempo.

Segundo DNER (1997)<sup>35</sup>, o VMD é o volume médio de tráfego que ocorre em determinada seção de uma via.

AASHTO 2002 (Hallin, 2000)<sup>36</sup>, o número N ainda é um parâmetro de cálculo fundamental no Setor de Transportes no Brasil, tanto pela sua utilização direta no dimensionamento de pavimentos, como por seu uso na gerência de pavimentos e na classificação das vias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Dimensionamento do Pavimento

O método tradicional empírico do DNER de dimensionamento de pavimentos flexíveis elaborado pelo Eng. Murillo Lopes de Souza foi desenvolvido a partir da adaptação do método de dimensionamento americano, tendo como base o trabalho intitulado *Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*, de autoria da USACE e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO DNIT (2006)<sup>37</sup>.

O método visa à proteção do subleito de deformações plásticas ao longo da sua vida útil do pavimento, se baseando na identificação da capacidade de suporte dos materiais granulares construtivos do pavimento<sup>38</sup>.

Um dos programas mais utilizados para dimensionamento e verificação de pavimentos flexíveis por meio de um método mecanístico-empírico é o SisPav, que foi desenvolvido por Franco (2007)<sup>39</sup>.

Este método possibilita um tratamento mais racional da estrutura do pavimento, podendo, por exemplo, ter melhor previsão das deflexões, uma vez que o método tradicional de dimensionamento, que é o semi-empírico, não contempla o efeito de fadiga<sup>39</sup>.

Segundo Franco (2007)<sup>39</sup> o principal objetivo do programa é dimensionar o pavimento com base nas informações detalhadas de tráfego, das condições ambientais e das características dos materiais disponíveis, por meio de uma interface de fácil utilização, com entrada de dados simplificada e com valores sugeridos para fins de anteprojeto.

A estrutura do pavimento flexível, através dos dados fornecidos, será possível determinar para o trecho a estrutura da implantação da pista. A determinação das camadas constituintes do pavimento se faz pelas seguintes inequações (1.1) a (1.3):

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B \geq H_{20} \quad (1.1)$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_c \geq H_n \quad (1.2)$$

$$R \cdot K_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_c + h_n \cdot K_{ref} \geq H_m \quad (1.3)$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

B = espessura da base;

H<sub>20</sub> = espessura sobre a sub-base;

h<sub>20</sub> = espessura da sub-base;

H<sub>n</sub> = espessura sobre o reforço do subleito;

H<sub>ref</sub> = espessura do reforço do subleito;

H<sub>m</sub> = espessura total do pavimento sobre o subleito;

K<sub>R</sub>, K<sub>B</sub>, K<sub>S</sub>, K<sub>ref</sub> = coeficientes de equivalência estrutural.

Na tabela 4, apresenta-se o memorial de cálculo para definir as espessuras do pavimento de acordo com o método empírico do DNER.

**Tabela 4 - Memorial de Cálculo Método DNER 1966/1981.**

<b>a) Dados da entrada:</b>		
Nusace = 2,09E+06		
CBRsubleito = 8,7%		
CBRreforço = 10,0%		
CBR Subbase ≥ 20%		
CBR base ≥ 80%		
<b>b) Espessura mínima de revestimento</b>		
NUSACE	Materiais	Esp. mín. (cm)
N ≤ 10 <sup>6</sup>	Tratamentos	1,5 a 3,0
10 <sup>6</sup> < N ≤ 5 x 10 <sup>6</sup>	CA, PMQ, PMF	5
5 x 10 <sup>6</sup> < N ≤ 10 <sup>7</sup>	Concreto asfáltico	7,5
10 <sup>7</sup> < N ≤ 5 x 10 <sup>7</sup>	Concreto asfáltico	10
N > 5 x 10 <sup>7</sup>	Concreto asfáltico	12,5
<b>c) Materiais e Coeficientes</b>		
Materiais	Coeficientes	
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0	
Base ou revestimento de pré-misturado a quente de graduação densa	1,7	
Base ou revestimento de pré-misturado a frio de graduação densa	1,4	
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2	
Base granulares	1,0	
Sub-base granulares	0,77 a 1,0	
Reforço do subleito	0,71 a 1,0	
Solo-cimento com resistência aos 7 dias superior a 4,5 MPa (compressão)	1,7	
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,8 a 4,5 MPa (compressão)	1,4	
Solo-cimento com resistência aos 7 dias entre 2,1 a 4,5 Mpa (compressão)	1,2	
Bases de solo-cal	1,2	
<b>d) Espessura total de pavimento</b>		
H <sub>m</sub> = 77,67 x N <sup>0,0482</sup> x CBR <sup>-0,598</sup>		
H <sub>m</sub> = 42,96	p/ CBRsubleito =	8,7 %
<b>e) Espessura da sub-base + base + revestimento</b>		

$H_n = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$
$H_n = 39,53$ p/ CBRreforço = 10,0 %
<b>f) Espessura da base + revestimento</b>
$H_{20} = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$
$H_{20} = 26,11$ p/ CBRsubbase = 20,0 %
<b>g) Espessura do revestimento</b>
Adotou-se:
R = 5,0cm [Revestimento: CA]
<b>h) Espessura da base</b>
$R \times K_R + B \times K_B \geq 1,0 \times H_{20}$ (1)
$5,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 26,1$
$10 + B \geq 26,1$
$B \geq 16,1$
Adotou-se:
B = 15,0 cm [Base: Brita Graduada Simples]
<b>i) Espessura da sub-base</b>
$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$ (2)
$5,0 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 39,5$
$10,0 + 15,0 + 1,0 h_{20} \geq 39,5$
$h_{20} \geq 14,5$
Adotou-se:
$h_{20} = 20,0$ cm [Sub-base: Macadame Seco]
<b>j) Espessura do reforço do subleito</b>
$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{Ref} \geq H_n$ (3)
$5,0 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + 20,0 \times 1,0 + h_n \times 0,71 \geq 43,0$
$10,0 + 15,0 + 20,0 + h_n \times 0,71 \geq 43,0$
$h_n \geq -2,9$
Adotou-se:
$h_n = 0,0$ cm [Reforço: Não aplicável]

Fonte: Autores (2022).

Conforme o cálculo anterior obtém-se os resultados a seguir na tabela 5.

Tabela 5 – Resultado do dimensionamento de pavimento.

Item	Materiais	DER	(cm)
A	Concreto Asfáltico Faixa C DER-PR	ES-P 21/17	5,0
B	Pintura de ligação com emulsão RR-1C	ES-P 17/17	0,5 a 0,8 l/m <sup>2</sup>
C	Imprimação com CM-30	ES-P 17/17	0,8 a 1,7 l/m <sup>2</sup>
D	Base de Brita Graduada Simples (CBR ≥ 80%) (100% PM)	ES-P 05/18	15,0
E	Sub-base de Macadame Seco (diâmetro máx. = 4" pol.)	ES-P 03/05	20,0
<b>CFT - CAMADAS FINAIS DE TERRAPLENAGEM</b>			
A	Regularização e compactação do subleito (100% PN)	ES-P 01/05	20,0
B	Subleito compactado (100% PN)	-	20,0

Fonte: Autores (2022).

### Estrutura Final do Pavimento

Ao final da execução obteve-se a seguinte estrutura de pavimento: camada de base com 15 cm de Brita Graduada Simples, Sub-base com macadame seco e travamento com brita graduada simples com espessura de 20 cm, pintura de ligação com emulsão de ruptura

rápida RR-1C com taxa de aplicação de 0,5 l/m<sup>2</sup> a 0,8 l/m<sup>2</sup>, Imprimação com CM-30 com taxa de aplicação de 0,8 l/m<sup>2</sup> a 1,7 l/m<sup>2</sup> e revestimento em CBUQ faixa “C” com CAP 30-45.

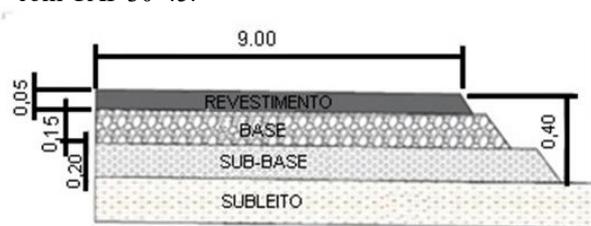


Figura 2 – Resultado do Dimensionamento. Fonte: Autores

Pavimentar uma via de circulação é, portanto, uma obra civil que enseja antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), mais aderente (garantia de segurança em condições climáticas adversas) e uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental), seja qual for a melhoria física oferecida<sup>4</sup>.

Conforme já explicitado anteriormente, as estruturas do pavimento têm a função principal de suportar os esforços oriundos de cargas e de ações climáticas, sem que apresentem processos de deterioração de modo prematuro.

Assim, o desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e as especificidades do tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários<sup>40</sup>.

## 5. CONCLUSÃO

Observando os dados apresentados, conclui-se a importância do estudo do subleito antes do dimensionamento de um pavimento para o melhor dimensionamento

Com base nos estudos de dimensionamento e levando em consideração a espessura mínima construtiva por camada, visando a garantia de sua homogeneidade e qualidade do pavimento para uma melhor durabilidade e sustentabilidade do pavimento bem como o estudo realizado a partir de sondagens, estudos tecnológicos e estudos de tráfegos para um melhor resultado de dimensionamento de pavimento com um revestimento de 5 cm base com brita graduada simples com 15 cm de espessura, sub-base em macadame seco com travamento com brita graduada simples, espessura de 20 cm.

Este estudo teve um caráter preliminar a fim de propor o melhor dimensionamento para a pavimentação asfáltica em um parque industrial, no entanto não é possível concluir que ela seja efetivada, mesmo comprovando a eficácia dos cálculos, até o presente momento a empresa vencedora do processo licitatório não começou os serviços.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] CNT, Confederação Nacional do Transporte. Boletim

- Técnico Unificado 2017. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- [2] Bernucci LB, Da Motta LMG, Ceratti JAP, *et al.* Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros capítulo 1. 3. ed. 2010. Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA 2010. 496 p. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/videos/livro-pavimentacao-asfaltica/>. Acesso em: 03 jul. 2022.
- [3] CNT - Confederação Nacional do Transporte. Porque os pavimentos do Brasil não duram? Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias. 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- [4] Balbo JT. Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração. Oficina de texto, 2007.
- [5] DER, Departamento de Estradas de Rodagem. História das rodovias paranaenses. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/Pagina/Historia>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- [6] Alvorada do Sul, LEI N°2.547/2018, Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/a/alvorada-do-sul/lei-ordinaria/2018/255/2547/lei-ordinaria-n-2547-2018-cria-e-regulamenta-parque-industrial-e-comercial-e-da-outras-providencias?r=p>. Acesso em 09 jun. 2022.
- [7] Norma DNIT 006/2003 - PRO Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit006\\_2003\\_pro.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf). Acesso em 09 jun. 2022.
- [8] Balbo JT, "Pavimentação Asfáltica", 2ª ed., Oficina de Textos. 2011
- [9] Coutinho JCP. Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método do DNER com um método mecanístico-empírico aplicada a um trecho. 2011.184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.
- [10] Balbo. High Quality Cement Treated Crushed Stones for Concrete Pavement Bases. In: 6th Purdue Conference on Concrete Pavement, Indianapolis, U.S.A., 1997.
- [11] Biroli FC. Comparação dos Custos de Pavimentos Flexíveis e Rígidos com base em Conceitos de Gerência de Pavimentos. 2003. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanuais/normas/procedimento-pro/DNIT1782018PRO.pdf>. Acesso em 20 jun. 2022.
- [12] Bernucci, LB, Motta LMG, Ceratti JAP, *et al.* Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Imprinta, 2010.
- [13] Bernucci, LB, Motta LMG, Ceratti JAP, *et al.* Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros capítulo 1. 3. ed. 2010. Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA 2010. 496 p. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/videos/livro-pavimentacao-asfaltica/>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- [14] Ferreira LAR. Estudo sobre a durabilidade, sustentabilidade e competitividade dos pavimentos de concreto utilizados nas estradas de rodagem brasileiras. 2015. 66 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.
- [15] Oliveira PCA. de. Contribuição ao estudo da técnica de reciclagem profunda na recuperação de pavimentos flexíveis. 2003. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Comissão de Pós-Graduação, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- [16] Barca MA, Nogueira SP. Análise de técnicas de conservação de pavimentos rodoviários. Rio de Janeiro: [s. n.], 2015. 140 p. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015810.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- [17] Balbo JT. Pavimentação asfáltica: materiais projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 541 p. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/175002/epub/38#>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- [18] Bernucci LB, *et al.* Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Abeda, 2006. 508 p.
- [19] Petrobras. Gerência de desenvolvimento de produtos Marketing e Comercialização. Gerência de Produto: asfalto informações técnicas, 2019. 10 p. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciaticnic/a/public/downloads/manual-deasfalto.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- [20] Stefenon F. Incorporação de resíduos industriais em concreto betuminoso usinado à quente. Incorporação de resíduos industriais em concreto betuminoso usinado à quente, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3830/000404737.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- [21] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 031/2006: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006. 14 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanuais/normas/procedimento-pro/DNIT1782018PRO.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2020.
- [22] Pinto S, Preussler E. Pavimentação rodoviária – conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002. 269p.
- [23] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER – Manual de Pavimentação – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 1996.
- [24] Yoder EJ, Witczak MW. Principles of pavement design. New York: John Wiley & SONS, INC. 1975
- [25] Desenvolvimento Rodoviário S.A. — DERSA. ET-G0/001. Especificação de Sondagem e Ensaio Geotécnicos — São Paulo, 1986.
- [26] Pereira C. Tipos de Sondagem de Solo. In: Escola Engenharia, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- [27] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER – Manual de Pavimentação – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 1996.
- [28] Pinto LM. Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- [29] Oliveira CR. de. Avaliação de solo-cimento reforçado

- com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico. 2011. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2011.
- [30] Pinto CS. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. São Paulo, 2000. 247p
- [31] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2016. 6 p.
- [32] Caputo HP. Mecânica dos solos e suas aplicações, volume1. Editora LTC. 6ª edição. Rio de Janeiro, RJ, 1988.
- [33] Oliveira CR. de. Avaliação de solo-cimento reforçado com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico. 2011. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2011
- [34] Baerwald JE. (Ed). Transportation and traffic engineering handbook. USA: The Institute of Traffic Engineers, 1976.ISBN:0-13-930578-5.
- [35] DNER. Método de projeto de pavimentos flexíveis. Ministério dos Transportes. Dep. Nacional de Estradas de Rodagem. 1981.
- [36] AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Guide for Design of Pavement Structures: Appendix J – Analysis Unit Delineation by Cumulative Differences. AASHTO, Washington, D.C., USA. 1993.
- [37] DNIT. Manual de Pavimentação Rodoviária. Publicação Instituto de pesquisa rodoviária, IPR 719. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006.
- [38] Santiago LS. Contribuições ao desenvolvimento do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos no Brasil. UFC, Ceará, CE, Brasil. 2015.
- [39] Franco JCP. Um sistema para análise mecânica de pavimentos asfálticos - Dimensionamento de Pavimento Asfáltico - Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.
- [40] Bernucci, LB, Motta LMG, Ceratti JAP, *et al.* Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros, Rio de Janeiro, PETROBRÁS: ADEBA, 2006.