

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DÉBORA SERRAGLIO

**ANÁLISE DE PROJETO DE RESTAURAÇÃO COM USO DA TÉCNICA DE  
RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL COMO BASE PARA REVESTIMENTO  
DE ASFALTO BORRACHA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO

PATO BRANCO

2014

DÉBORA SERRAGLIO

**ANÁLISE DE PROJETO DE RESTAURAÇÃO COM USO DA TÉCNICA DE  
RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL COMO BASE PARA REVESTIMENTO  
DE ASFALTO BORRACHA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Msc. Jairo Trombetta

PATO BRANCO

2014



## TERMO DE APROVAÇÃO

### ANÁLISE DE PROJETO DE RESTAURAÇÃO COM USO DA TÉCNICA DE RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL COMO BASE PARA REVESTIMENTO DE ASFALTO BORRACHA

**DEBORA SERRAGLIO**

Aos 11 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 13h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 08-TCC/2014.

Orientador: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC / UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

A realização de um sonho vem com uma soma de conquistas e sem a fé em Deus, o amor dos pais, a força de familiares, a amizade e a colaboração dos amigos e o conhecimento dos professores isso não seria possível.

Quero agradecer aos meus pais pelo exemplo, amor incondicional e por estarem comigo em todos os momentos me apoiando.

A família pela força, carinho e atenção, principalmente quando a dúvida e a insegurança tentaram dificultar a conquista.

Aos professores pelo aprendizado e por nos mostrar que é possível tornar nossos sonhos realidade, em especial gostaria de agradecer ao meu orientador Jairo Trombetta pela atenção, pelo conhecimento, pela amizade, muito obrigada por idealizar comigo e sempre estar apoiando a realização deste sonho.

Aos amigos, aos engenheiros colaboradores, a empresa que me auxiliou, obrigada pela confiança e o companheirismo.

Obrigada a todas as pessoas que contribuíram para o sucesso deste trabalho!

## EPÍGRAFE

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.” (Albert Einstein).*

## RESUMO

SERRAGLIO, D. Análise de Projeto de Restauração com uso da Técnica de Reciclagem de Pavimento Flexível como Base para Revestimento de Asfalto Borracha, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR/Pato Branco, 2014.

O modal rodoviário é o mais utilizado no Brasil, seja para o transporte de pessoas, produtos e serviços, afetando a economia do país, desta forma investimentos no setor de pavimentação tornam-se necessários, com novos produtos, novas técnicas e equipamentos, que garantam eficiência, economia e qualidade dos serviços executados. Para encontrar a melhor técnica, deve-se conhecer o pavimento antigo, o solo do subleito, fazer uma avaliação de cunho funcional (visão do usuário, conforto e segurança) e estrutural. Além de um dimensionamento adequado, para verificar a necessidade de reforço ou não, levando-se em conta o tráfego futuro. A restauração com o uso da técnica de reciclagem do pavimento flexível degradado proporciona vantagens tão procuradas para solucionar problemas dos serviços convencionais, como a valorização dos materiais existentes, em vez de gastar energia para a produção e transporte de novos materiais, ou a consequente colocação em depósito dos materiais não reutilizáveis. A reciclagem de pavimentos é uma técnica que consiste em reaproveitar os materiais nobres existentes, na construção de uma nova camada resistente ao tráfego futuro.

**Palavras – chave:** Reciclagem de Pavimento. Avaliação Funcional e Estrutural. Dimensionamento de Pavimento.

## ABSTRACT

SERRAGLIO, D. Restoration Project Analysis using the technique of recycling as a Basis for Flexible Floor Coating Asphalt Rubber 2014. Completion of course work in Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná - UTFPR / Pato Branco, 2014.

The road system is the most used in Brazil, both to transport people, products or services, affecting the country's economy, so the investment in the paving industry become necessary, with new products, new techniques and equipment to ensure efficiency, economy and quality of services performed. To find the best technique, is necessary to understand the old pavement, sub-base, make an assessment of functional imprint (the user view, comfort and safety) and structural, addition to an appropriate scaling, to verify the need the enhanced or not, observed the future traffic. Restoring using the recycling technique of degraded flexible pavement provides advantages sought solve problems of conventional services such the optimization of existing materials rather than expend energy to produce and transport new materials, or creating new deposits (send-outs) for the disposal of non-reusable materials. The pavement recycling is a technique that consists in reusing of the existing noble materials, in the construction of a new resistant layer future traffic.

**Key-words:** Recycling of Pavement. Functional and Structural Evaluation. Design of Pavement.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivo Específico .....	15
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
2. REVISÃO TEÓRICA .....	17
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS .....	17
2.2 FORMAS DE INTERVENÇÕES .....	18
2.2.1 Conservação .....	18
2.2.1.1 Conservação Corretiva Rotineira .....	19
2.2.1.2 Conservação Preventiva Periódica .....	19
2.2.1.3 Conservação de Emergência .....	19
2.2.2 Restauração .....	20
2.2.3 Reconstrução/Melhoramentos .....	20
2.3 ENSAIOS .....	21
2.3.1 Granulometria .....	21
2.3.2 Índice de Suporte Califórnia (CBR) .....	22
2.3.3 Compactação .....	22
2.4 ESTUDO DE TRÁFEGO .....	23
2.4.1 Volume Médio Diário - VMD .....	23
2.4.2 Cálculo do Número N .....	24
2.5 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS .....	25
2.5.1 Avaliação dos defeitos do pavimento .....	25
2.5.2 Avaliação funcional do pavimento .....	29
2.5.2.1 Avaliação subjetiva .....	30
2.5.2.1.1 Levantamento visual contínuo (LVC) .....	30
2.5.2.2 Avaliação objetiva .....	31
2.5.3 Avaliação estrutural do pavimento .....	32
2.5.3.1 Medidas de deflexões .....	33
2.5.3.1.1 Vigas de medição de deflexão .....	34
2.5.3.1.2 Equipamentos dinâmicos .....	36
2.6 CONCEPÇÃO DAS INTERVENÇÕES .....	37
2.6.1 Método do DNER de Resistência (CBR) .....	40
2.6.2 Método do DNER- PRO 11/79 B .....	42
2.7 RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXIVEL .....	44
2.7.1 Tipos de reciclagem .....	47
2.7.1.1 Reciclagem a quente .....	48
2.7.1.1.1 Reciclagem a quente em usina .....	49
2.7.1.1.2 Reciclagem a quente <i>in situ</i> .....	50
2.7.1.2 Reciclagem a frio .....	50
2.7.1.2.1 Reciclagem a frio em usina .....	51
2.7.1.2.2 Reciclagem a frio <i>in situ</i> .....	51
2.8 ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMERO .....	52
2.8.1 Asfalto borracha .....	53
3. MÉTODO DA PESQUISA .....	55
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	55
3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	56
4. RESULTADOS .....	59
4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS .....	59



4.1.1 Dados do estudo de tráfego.....	59
4.1.1.1 Número N para o Segmento 1:.....	60
4.1.1.2 Número N para o Segmento 2:.....	61
4.1.2 Avaliação funcional.....	62
4.1.2.1 Levantamento visual contínuo.....	62
4.1.3 Avaliação estrutural.....	62
4.1.3.1 Levantamento geotécnico.....	62
4.1.3.2 Levantamento Deflectométrico.....	63
4.2 DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO.....	64
4.2.1 Método do DNER de resistência (CBR).....	64
4.2.1.1 Trecho - Segmento 1.....	64
4.2.1.2 Trecho - Segmento 2.....	68
4.2.2 Método do DNER-PRO 11/79B.....	70
4.3 SOLUÇÃO PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO.....	72
4.4 PROJETO DA CAMADA DE BASE RECICLADA.....	74
4.5 MÉTODO EXECUTIVO DA RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	79
5. CONCLUSÃO.....	83
6. PESQUISAS FUTURAS.....	85
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXO A – Média das análises granulométricas das amostras de revestimento e base existentes.....	89
ANEXO B – Análises Granulométricas Individuais do material Brita 1”1/2, Pedrisco e Cimento.....	91
ANEXO C – Granulometrias dos agregados para composição da mistura.....	95
ANEXO D – Ensaios de Compactação com diferentes teores de cimento.....	99
ANEXO E – Granulometria da mistura e ensaio de Compactação com teor de cimento de 2,8%.....	106

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição modal da matriz brasileira de transportes em 2011 .....	13
Figura 2: Esquema de pavimento flexível .....	17
Figura 3: Esquema de pavimento rígido.....	18
Figura 4: Curva Granulométrica .....	21
Figura 5: Gráfico de compactação .....	22
Figura 6: Trincas tipo bloco .....	27
Figura 7: Afundamento por consolidação nas trilhas de roda .....	27
Figura 8: Afundamento plástico nas trilhas de roda .....	27
Figura 9: Escorregamento .....	28
Figura 10: Painelas .....	29
Figura 11: Remendo.....	29
Figura 12: Deformação de um pavimento .....	33
Figura 13: Esquema da Viga Benkelman .....	34
Figura 14: Esquema do sistema de referência na viga e no caminhão .....	35
Figura 15: Representação dos deflectômetros de impacto .....	37
Figura 16: Fluxograma da escolha da alternativa de Restauração .....	38
Figura 17: Serventia ao longo do tempo .....	38
Figura 18: Ábaco para dimensionamento.....	41
Figura 19: Símbolo das camadas.....	41
Figura 20: Fases da vida de um pavimento.....	42
Figura 21: Ábaco de dimensionamento da espessura do reforço .....	44
Figura 22: A esquerda trator equipado com escarificador e a direita máquina fresadora .....	45
Figura 23: A esquerda usina móvel para misturas frias e a direita reciclagem a frio “ <i>in situ</i> ” .....	46
Figura 24: Operação de usina “Drum Mixer” .....	49
Figura 25: A esquerda reciclagem a frio “ <i>in situ</i> ” e a direita “trem de reciclagem”.....	51
Figura 26: Dispositivo de reciclagem a frio no local .....	52
Figura 27: Exemplo de maior consistência do asfalto-borracha.....	53
Figura 28: Mapa rodoviário.....	55
Figura 29: Fluxograma da metodologia para o desenvolvimento das atividades da pesquisa.....	56
Figura 30: Estrutura existente .....	63
Figura 31: Símbolo representativo das espessuras das camadas .....	65
Figura 32: Ábaco para dimensionamento.....	66
Figura 33: Ábaco para dimensionamento.....	69
Figura 34: Esquema do pavimento existente e do novo pavimento .....	73
Figura 35: Moldagem dos corpos de prova. ....	75
Figura 36: Rompimento dos corpos de prova.....	76
Figura 37: Gráficos demonstrando a Resistência à compressão e tração com 2,8 % de cimento.....	77
Figura 38: Calibração da taxa de agregado e cimento.....	77
Figura 39: Deflexões Viga Benkelman .....	77
Figura 40: Gráfico das Deflexões - Viga Benkelman.....	78
Figura 41: Cura e rompimento dos corpos de prova .....	79
Figura 42: Espalhamento do Agregado e do Cimento.....	80
Figura 43: Reciclagem do pavimento .....	80

Figura 44: Compactação .....	81
Figura 45: Acabamento com motoniveladora e compactação final da base .....	81
Figura 46: Execução da camada anti-reflexão .....	82
Figura 47: Execução da 1° camada de CBUQ com borracha .....	82

## LISTA DE QUADROS

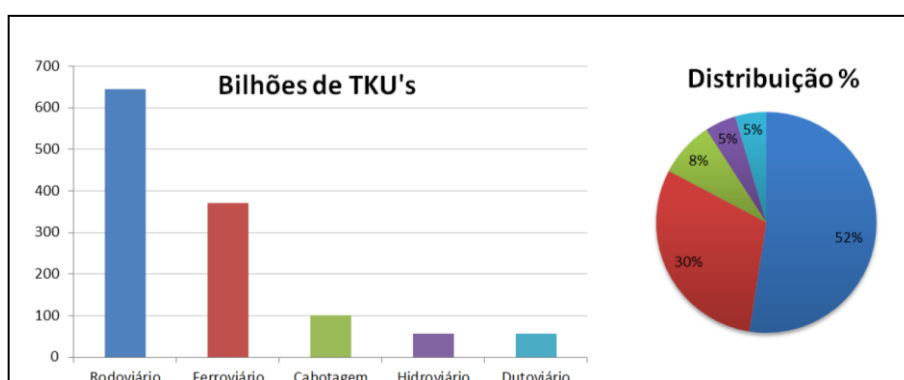
Quadro 1: Estado Geral das Rodovias Brasileiras 2012 .....	14
Quadro 2: Idade de rede pavimentada .....	15
Quadro 3: Granulometria padronizada .....	21
Quadro 4: Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação.....	26
Quadro 5: Conceitos do ICPF .....	31
Quadro 6: Índice do Estado da Superfície do Pavimento .....	31
Quadro 7: Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG .....	32
Quadro 8: Localização dos pontos .....	35
Quadro 9: Espessuras mínimas em função do N .....	40
Quadro 10: Coeficientes de equivalência estrutural - K .....	42
Quadro 11: Fator de correção Sazonal .....	43
Quadro 12: Tipos de Reciclagem .....	47
Quadro 13: Fatores de Equivalência de Veículo .....	60
Quadro 14: Projeção do Tráfego Segmento 1 .....	60
Quadro 15: Número N Segmento 1 .....	60
Quadro 16: Projeção do Tráfego Segmento 2.....	61
Quadro 17: Número N Segmento 2.....	61
Quadro 18: Caracterização do solo do subleito.....	63
Quadro 19: Valores de deflexão do pavimento .....	64
Quadro 20: Faixa Granulométrica .....	74
Quadro 21: Compressão simples e rompimento por tração diametral .....	76
Quadro 22: Determinação da Quantidade de cimento .....	76
Quadro 23: Resultados das deflexões na base reciclada .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensionamento da estrutura Segmento 1 .....	67
Tabela 2: Dimensionamento da estrutura Segmento 2 .....	70
Tabela 3: Espessura do reforço para cada segmento homogêneo .....	71
Tabela 4: Estrutura adotada .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é um dos indicadores de desenvolvimento de um país, e é responsável por transferir riqueza, produtos e serviços. Segundo o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) (2012), o transporte rodoviário brasileiro participa com 52% de toda a carga movimentada, o que evidencia que a economia brasileira continua bastante atrelada a este modal (rodoviário), conforme demonstrado na Figura 1 do PNLT, onde apresenta a distribuição do modal da matriz brasileira de transportes em 2011.



**Figura 1: Distribuição modal da matriz brasileira de transportes em 2011**  
**Fonte: PNLT- Plano Nacional de Logística e Transportes -2012.**

A falta de investimentos, no setor por décadas, desembocou em uma grande quantidade de problemas setoriais, ocasionando o encarecimento e o engessamento do sistema de logística para o transporte regional de cargas e passageiros no país.

A malha rodoviária brasileira obteve sua maior expansão a partir das décadas de 1960 e 1970. Contudo, a nível mundial, sua maior relevância se deu a partir do fim da 2ª Guerra Mundial, onde o transporte rodoviário já superava o ferroviário. Para exemplificar esta evolução podemos recorrer aos seguintes dados: o total da malha rodoviária nacional na década de 60 passou de aproximadamente 461.926 km para 1.734.000 km no ano de 2000, devemos considerar que mesmo com este salto a evolução da pavimentação no Brasil ainda apresenta uma proporção muito baixa. Menos de 10% das rodovias brasileiras estão pavimentadas enquanto nos países desenvolvidos, como a Grã-Bretanha ou os EUA apresentam 97% e 52% respectivamente de sua malha pavimentada.

Pesquisa realizada pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT) de rodovias em 2012 classificam as rodovias no que diz respeito à situação geral, conforme Quadro 1 abaixo, apontando que 62,7% (60.053 km) dos trechos avaliados

são considerados como Regular (33,4%), Ruim (20,3%) e Péssimo (9,0%). Os 35.654 km (37,3%) restantes são classificados como Ótimo (9,9%) e Bom (27,4%).

Estado Geral	2011		2012	
	km	%	Km	%
Ótimo	11.743	12,7	9.454	9,9
Bom	27.778	30,0	26.200	27,4
Regular	28.327	30,5	31.990	33,4
Ruim	16.751	18,1	19.412	20,3
Péssimo	8.148	8,8	8.651	9,0
<b>Total</b>	<b>92.747</b>	<b>100,0</b>	<b>95.707</b>	<b>100,0</b>

**Quadro 1: Estado Geral das Rodovias Brasileiras 2012**

Fonte: Pesquisa CNT de rodovias 2012.

O estado em que se encontra a pequena extensão de rodovias pavimentadas demonstra a deficiência em manter a qualidade da principal infraestrutura de transporte utilizada no país. Esses resultados influenciam no elevado preço de logística, viagens lentas e sem segurança, como apresenta pesquisa realizada com 144 países pelo Fórum Mundial Econômico onde o Brasil no quesito Qualidade das Estradas posicionou-se em 123º lugar.

Para garantirmos a melhoria das condições das rodovias é necessária uma política pública voltada a manutenção, conservação e restauração das rodovias existentes e a implantação de novas rodovias pavimentadas. A utilização de novas tecnologias e soluções surge neste momento com o intuito de aperfeiçoar sem elevar os custos garantindo a vida útil dos pavimentos.

Na busca de novas técnicas de restauração dos pavimentos degradados, a reciclagem do pavimento flexível existente para o uso como base de outros revestimentos ou até mesmo como pavimento novo, possibilita uma alternativa sustentável e eficiente à recuperação dos pavimentos.

Valorizar os materiais existentes, em vez de gastar energia para a produção e transporte de novos materiais, ou a conseqüente colocação em depósito dos materiais não reutilizáveis, garante valor econômico à solução de reciclagem.

Segundo Fonseca (2009), a reciclagem de pavimentos é uma técnica cujo objetivo fundamental é transformar um pavimento degradado em uma estrutura homogênea e adaptado ao tráfego que deverá suportar. Basicamente, consiste em reaproveitar os materiais nobres, existentes na construção de uma nova camada.

Em vista disso, este trabalho se propõe a investigar sobre a viabilidade do uso de reciclagem do material deteriorado do próprio pavimento para execução de base em restauração rodoviária para revestimento de asfalto borracha.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral analisar um projeto de restauração com o uso da técnica de reciclagem de pavimentos flexíveis degradados, como componente da camada de base para revestimento de asfalto borracha.

### 1.1.2 Objetivo Específico

- Analisar os dados do volume de tráfego;
- Analisar a avaliação estrutural e funcional do pavimento existente;
- Dimensionar as camadas de base reciclada e revestimento;
- Analisar o método executivo de reciclagem do pavimento;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Desde os primórdios no setor rodoviário, podemos vislumbrar claramente três horizontes de investimentos e/ou avanços na consolidação da nossa malha rodoviária atual. Inicialmente, começamos a pavimentar pontualmente as rodovias brasileiras no início dos anos 40. A grande mudança de paradigma veio logo após a segunda grande guerra, período que compreende o final da década de 60 e a década de 70, posteriormente só tivemos investimentos pesados a partir do ano 2000. Podemos observar no Quadro 2 abaixo que 80% da malha rodoviária pavimentada apresenta mais de 10 anos de idade.

Idade	Extensão	%
Até 5 anos	2082	5
De 5 a 10 anos	6247	15
Mais de 10 anos	33.319	80

**Quadro 2: Idade de rede pavimentada**  
**Fonte: Manual de Conservação Rodoviária- DNIT, 2005.**

É notório, o espaçamento temporal de investimentos no setor, aparentemente os investimentos são cíclicos e não contínuos. Um dos problemas gerados é a deficiência na manutenção de políticas que contribuam para um



investimento mais assertivo e linear. A não adoção de programas de longo prazo acarreta na má condição das vias e rodovias, em sua maioria apresentando grande grau de degradação, necessitando de restauração na sua camada de rolamento e ou reforço na sua estrutura. Tais serviços demandam valores monetários vultuosos além de grandes quantidades de materiais não renováveis. As rodovias já estão aí. O que deve ser feito com as camadas existentes e degradadas que necessitam ser removidas ou substituídas? Além disso, o material removido deve ter uma destinação adequada, visando minimizar os danos ambientais que esse material pode causar ao meio ambiente, junta-se a isso, a dificuldade de obtenção de autorização para a abertura de novas jazidas e a consequente extração de novos materiais, gerando passivos ambientais.

Outro grave problema que afeta a estrutura do pavimento é o excesso de peso dos caminhões que trafegam nas rodovias. Os próprios motoristas que reclamam das péssimas condições de algumas vias são os que ao mesmo tempo negligenciam as leis quanto ao peso da carga, além da falta de fiscalização que deveria fazer valer as regras quanto ao peso por eixo. Desse modo não há pavimento que seja capaz de suportar caminhões que em tese deveriam estar transportando até 60 toneladas, mas sabe-se que transportam pesos muito acima disto como demonstra reportagem feita pela Folha de São Paulo (2009) onde caminhões tipo CVC (Combinação de veículos de Carga) podem chegar a 120 mil quilos o equivalente ao peso de 80 carros populares de 1,5 toneladas cada.

Analisando a necessidade de se conhecer e avançar no uso de novas técnicas de restauração das rodovias em estado precário, o uso da reciclagem do pavimento pré – existente com a reutilização das camadas atuando como nova estrutura de suporte, promovendo um uso sustentável dos materiais.

A reciclagem dos materiais presentes nos pavimentos indica uma possibilidade de minimizar impactos ambientais, uma vez que a deposição acontece no próprio local da futura utilização, minimizando a extração de materiais novos, reduzindo gastos com transportes e o tempo de processamento dos novos materiais.

Esta técnica ainda é pouco explorada, bem como sua viabilidade técnica e sua condição de suporte estrutural. Deste modo faz-se necessário verificar as condições físicas dos pavimentos e os esforços que estão sujeitos pelos usuários, para que após esta análise possam ser estabelecidas intervenções adequadas para cada caso especificamente, analisando a viabilidade técnica.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado como infinito. A infraestrutura é designada de subleito (Manual de Pavimentação –DNIT - 2006).

Conceituando pavimento a NBR 7207/1982 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) descreve como sendo uma estrutura construída sobre terraplanagem destinada economicamente e tecnicamente a:

- Resistir e distribuir os esforços verticais do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Segundo Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos são classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígidos:

- **Flexível:** todas as camadas sofrem deformação elástica sob o carregamento aplicado e a carga se distribui em parcelas equivalentes entre as camadas. Exemplo: pavimento constituído por uma base de brita revestida por uma camada asfáltica. A Figura 2 mostra um esquema da estrutura de pavimento flexível.

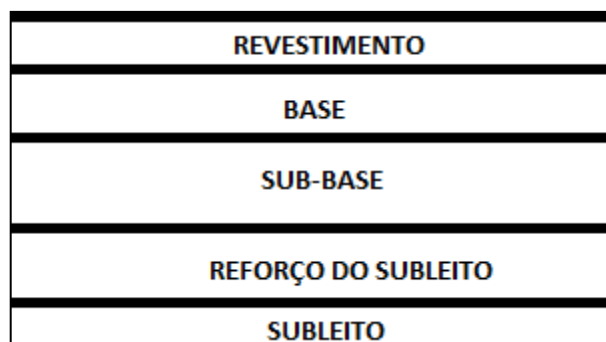
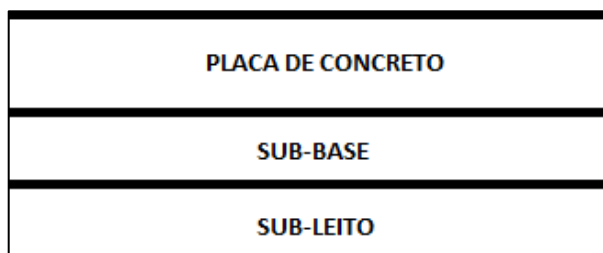


Figura 2: Esquema de pavimento flexível  
Fonte: Autora, 2013.

- **Semi-Rígido:** caracteriza-se por uma base cimentada como exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

- **Rígido:** o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto

de cimento Portland. A Figura 3 abaixo mostra um exemplo de estrutura típica de pavimento rígido.



**Figura 3: Esquema de pavimento rígido**  
**Fonte: Autora, 2013.**

Segundo a NBR 7207/1982 da ABNT, as camadas componentes, do pavimento são formadas pelo subleito, sub-base, base e revestimento, definidos como:

- Subleito: é o terreno natural do pavimento ou do revestimento.
- Sub-base: é uma camada intermediária ou complementar, que é necessária quando a resistência das camadas anteriores (subleito) não é adequada para suportar a carga de projeto.
- Base: é a camada responsável por absorver e distribuir as cargas verticais de projeto. É sobre esta camada que aplicamos o revestimento.
- Revestimento: é a camada, teoricamente impermeável, responsável por receber o tráfego dos veículos.

Se necessário, pode-se acrescentar uma camada de reforço do subleito, para melhorar as condições de suporte do solo de fundação do pavimento.

## **2.2 FORMAS DE INTERVENÇÕES**

Existem três grupos de intervenções: a conservação rodoviária em suas três modalidades, a rotineira, periódica e de emergência; a restauração e os melhoramentos/reconstrução (MANUAL DE RESTAURAÇÃO – DNIT, 2006). A seguir cada uma destas é exemplificada:

### **2.2.1 Conservação**

De acordo com a Norma DNER-TER 02-79 a conservação é representada pelos serviços que preservam as características técnicas e operacionais da rodovia

até que tais procedimentos sejam inviabilizados economicamente quando se faz necessário buscar alternativas para as intervenções.

Conforme Manual de Conservação Rodoviária (2005) a intervenção de conservação compreende os serviços executadas diariamente de caráter rotineiro ou eventual.

As atividades de conservação são destinadas a manter a operacionalidade da via além de proporcionar conforto e segurança aos usuários. Esta forma de intervenção está relacionada aos aspectos físicos do sistema rodoviário, sendo estas: as condições da pista como a pavimentação, a drenagem, sinalização e obras de arte especiais, faixa de domínio (MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2005).

#### **2.2.1.1 Conservação Corretiva Rotineira**

Conceitua-se sendo o conjunto de operações de conservação realizado com o objetivo de reparar ou sanar um defeito, condicionando o funcionamento adequado dos elementos da rodovia, garantindo aos usuários conforto e segurança (MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2005).

#### **2.2.1.2 Conservação Preventiva Periódica**

A conservação preventiva periódica apresenta-se como sendo o conjunto de operações de conservação realizada com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. Serviços executados durante o ano sendo a frequência dependente do trânsito, clima e topografia. Como exemplo cita-se os serviços de tapa-buraco, fechamento de trincas. (MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2005).

#### **2.2.1.3 Conservação de Emergência**

Segundo a Norma DNER-TER 02-79 a conservação de emergência conceitua-se como o conjunto de serviços que se destinam a corrigir defeitos da rodovia que surgem de modo inesperado, causando restrições ao tráfego e/ou sérios riscos aos usuários.

São intervenções ou obras emergenciais realizadas para reparar, reconstruir ou restaurar trechos ou estrutura da rodovia, que tenham sido afetados por seccionamento, obstrução ou danificados por uma eventualidade climática ou de outra natureza, ocasionando a interrupção do tráfego da rodovia. (MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2005).

### **2.2.2 Restauração**

Conforme a Norma DNER-TER 02-79 a restauração é o conjunto de atividades que se destinam a restabelecer o perfeito funcionamento da rodovia mantendo as características técnicas originais de projeto.

A restauração é um conjunto de medidas estruturais adotadas quando necessitamos adaptar a rodovia, as condições de tráfego, com intuito de promover o prolongamento de sua vida útil. A finalidade desta intervenção é dotar o pavimento existente de um novo aporte estrutural, aprontando o pavimento para suportar um novo ciclo de vida (MANUAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 2005).

### **2.2.3 Reconstrução/Melhoramentos**

Segundo a Norma DNER-TER 02-79 melhoramento caracteriza-se como o conjunto de serviços que garantem a rodovia novas características ou modifica as existentes.

Conforme a Norma DNER-TER 02-79 pode-se dividir em dois itens a intervenção de melhoramento: a complementação que são os melhoramentos que acrescentam condições técnicas que não existem, após a construção da rodovia e as modificações sendo os melhoramentos que modificam as características da rodovia aumentando o nível de utilização.

Gonçalves (2007) descreve a Reconstrução como a remoção de todo o pavimento existente e é utilizada quando:

- Os custos de uma restauração superam o da reconstrução do pavimento;
- O desempenho do pavimento novo não pode ser garantido;
- Houver alteração no padrão operacional da rodovia (classes) ou de traçado, juntamente com a recuperação do pavimento.

## 2.3 ENSAIOS

### 2.3.1 Granulometria

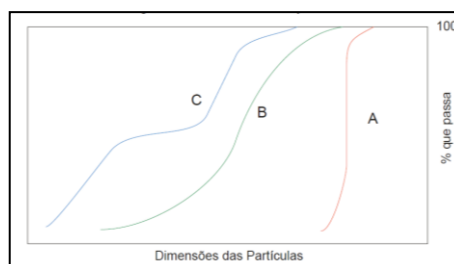
A análise granulométrica é a determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes do material (solo, agregado, mistura...). Para partículas maiores do que 0,075 mm (peneira n° 200 da ASTM) o ensaio é feito passando uma amostra do material por uma série de peneiras de malhas quadradas de dimensões padronizadas (Quadro 3). Pesam-se as quantidades retiradas em cada peneira e calculam-se as porcentagens que passam em cada peneira (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO - DNIT, 2006).

N°	Abertura (mm)
200	0,075
100	0,15
40	0,42
10	2,09
4	4,8

**Quadro 3: Granulometria padronizada**  
**Fonte: Manual de Pavimentação- DNIT, 2006.**

Conforme Manual de Pavimentação do DNIT (2006), com os resultados do ensaio de granulometria traça-se a curva granulométrica em um diagrama onde na abscissa temos os logaritmos das dimensões das partículas, e na ordenada às porcentagens, em peso, de material que passa. Segundo a forma da curva, podemos diferenciar os seguintes tipos de granulometria, conforme indicado na Figura 4, abaixo:

- uniforme (curva-A);
- bem graduada (curva-B);
- mal graduada (curva-C).



**Figura 4: Curva Granulométrica**  
**Fonte: Manual de Pavimentação- DNIT, 2006.**

A curva granulométrica do material a utilizar deverá situar-se entre a faixa granulométrica especificada. Quando o material não se enquadrar, deve-se mistura-

lo com outro, de maneira a obter uma mistura granulométrica dentro das especificações (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006).

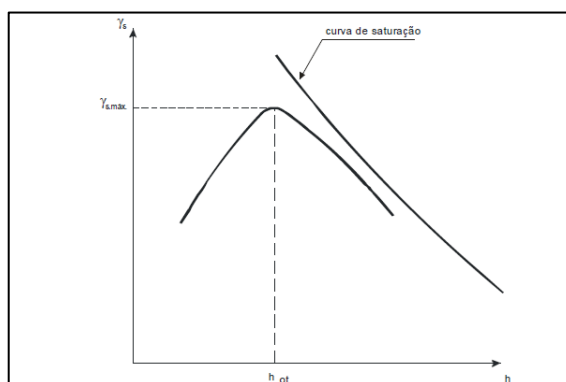
### 2.3.2 Índice de Suporte Califórnia (CBR)

O ensaio do Índice de Suporte Califórnia (CBR) determina a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão em um corpo-de-prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada. O valor dessa relação, em porcentagem, permite determinar, a espessura de pavimento flexível necessária, em função do tráfego (DNER-ME 049/94). A sequência do ensaio do CBR esta definida na norma do DNER 049/94.

### 2.3.3 Compactação

Compactação é a operação da qual resulta o aumento da massa especifica aparente de um material pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, o que ocasiona um contato mais íntimo entre as partículas que constituem o material devido a expulsão de ar que reduz a porcentagem de vazios, e conseqüentemente uma redução na variação da umidade dos materiais integrantes do pavimento, durante a vida de serviço (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006).

Variando-se o teor de umidade para um dado material e um dado esforço de compactação traça-se uma curva de compactação (Figura 05), há um teor de umidade chamado umidade ótima ( $h_{ot}$ ), ao qual corresponde uma massa especifica aparente seca máxima ( $\gamma_{smax}$ ). Quanto maior for à energia de compactação, maior será o  $\gamma_s$  e menor será o  $h_{ot}$  (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006).



**Figura 5: Gráfico de compactação**

Fonte: Manual de Pavimentação- DNIT, 2006.

A compactação na construção das camadas de um pavimento tem por objetivos obter uma máxima estabilidade e atenuar os recalques devidos ao tráfego. As condições de rolamento de um pavimento ou o desempenho de sua superfície, durante a vida de serviço, dependem de uma compactação bem executada durante a construção (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT, 2006).

O ensaio de compactação para determinação da umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima de um dado material é o ensaio normal de Proctor, detalhado na norma do DNER – ME 129/94.

## **2.4 ESTUDO DE TRÁFEGO**

O objetivo dos estudos de tráfego é obter, de forma sistemática através de coleta dados; informações fundamentais das cinco componentes do tráfego: o motorista, o pedestre, o veículo, a via e meio ambiente, bem como o seu inter-relacionamento (MANUAL DE ESTUDO DE TRÁFEGO – DNIT, 2006).

Conhecer o histórico da rodovia (pavimento) é fundamental para a elaboração de um diagnóstico preciso do pavimento existente. Para novos dimensionamentos; tanto de reforços ou de novas intervenções é necessária a determinação do tráfego futuro. De qualquer maneira é desejável que sejam contemplados ao menos os seguintes elementos relativos ao tráfego (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS – DNIT, 2006):

- Projeção do VMD – Volume Médio Diário do tráfego (Anual);
- Carregamento da frota;
- Cálculo do número N (Número equivalente de repetições de eixo padrão).

### **2.4.1 Volume Médio Diário - VMD**

Denominamos de Volume Médio Diário (VMD), a quantidade de veículos que transitam em um determinado trecho de rodovia durante um período de 24 horas. O VMD é computado para um período de tempo representativo, de um ano, salvo indicação em contrário (MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO – DNIT, 2006).

Esse volume é utilizado para indicar a necessidade de novas vias ou melhoramentos nas existentes, estimar benefícios esperados de uma obra viária, determinar as prioridades de investimentos, calcular taxas de acidentes, prever as



receitas dos postos de pedágio, etc. (MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO – DNIT, 2006).

É importante salientar que a avaliação dos volumes de tráfego deve ser atrelada a postos de contagens confiáveis com séries históricas baseadas em contagens volumétricas classificatórias (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - DNIT, 2006).

#### 2.4.2 Cálculo do Número N

Segundo Senço (2008) o tráfego previsto é calculado pelo número equivalente de operações de eixo padrão (8,2 t) no período de projeto escolhido:

$$N = 365 \times V_m \times P \times F_v \times F_r, \text{ onde:}$$

$N$  = nº de repetições da carga do eixo padrão de 8,2 t;

$V_m$  = volume médio diário de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto;

$P$  = período de projeto ou vida útil (anos);

$F_c$  = fator de carga;

$F_e$  = fator de eixo;

$F_v = F_c \times F_e$  = Fator de veículo;

$F_r$  = fator climático regional;

O  $V_m$  é calculado adotando-se uma taxa de crescimento de tráfego para o período de projeto. Deve-se levar em conta o crescimento histórico de tráfego da via, a esse tráfego atraído ou desviado, deve-se somar pelo tráfego gerado devido às melhorias nas condições da pavimentação (SENÇO, 2008).

O fator de carga ( $F_c$ ) é baseado na equivalência de operações (f) que representa o número entre a relação do efeito da passagem de qualquer tipo de veículo com o efeito provocado pela passagem de um veículo considerado padrão sobre o pavimento (SENÇO, 2008).

O fator de eixo ( $F_e$ ) transforma o tráfego em número de veículos padrão no sentido dominante em número de passagens de eixos equivalentes. Calcula-se o número de eixos dos tipos de veículos que passarão pela via (SENÇO, 2008).

O fator climático regional leva em conta as variações de umidade dos materiais do pavimento para as diversas estações do ano. O coeficiente varia de 0,2 para ocasiões de baixos teores de umidade e 5 para casos em que os materiais estão praticamente saturados. Na falta de dados deve-se adotar valores médios a serem estabelecidos por região (SENÇO, 2008).

## **2.5 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS**

A avaliação de um pavimento para Gonçalves (2007) é um conjunto de atividades na busca de dados, informações e parâmetros para diagnosticar os problemas e analisar o desempenho exposto pelo pavimento, podendo assim detectar as suas necessidades atuais e futuras de manutenção.

O diagnóstico das condições do pavimento surge a partir da avaliação dos defeitos de superfície, do conforto e da segurança dos usuários, a capacidade estrutural do pavimento, a resistência a derrapagem e a irregularidade longitudinal (TROMBETTA, 2010).

### **2.5.1 Avaliação dos defeitos do pavimento**

Na avaliação dos defeitos da superfície do pavimento deve se considerar a extensão, a frequência e a severidade dos defeitos existentes. Rodrigues (2007) caracteriza os defeitos quanto aos seguintes itens:

- Tipo de defeito: descreve-se o defeito entre trincas, exsudação, desgaste, escorregamento, erosão de bordo, bombeamento de finos, remendo e panelas. As trincas são caracterizadas conforme a sua geometria, relacionada com a causa que a originou (couro-de-crocodilo, isolados, interligados em padrão irregular, longitudinais, transversais, de bloco).

- Intensidade: O grau com que o defeito afeta a estrutura do pavimento ou compromete seu desempenho. É usual, avaliá-la em três níveis: baixa, média e elevada. Por exemplo, nas trincas, a avaliação é a relação entre a soma total dos comprimentos das trincas existentes e o valor da área que estas abrangem.

- Gravidade: é a medida do grau da evolução do defeito. No caso das trincas, a gravidade está relacionada com a sua abertura.

- **Frequência:** é a distribuição do defeito ao longo de um segmento ou trecho da rodovia. Expressa pela relação percentual entre o número de estacas onde ocorre o defeito e o número total de estacas existente dentro do segmento.

- **Extensão:** representa a área ocupada pelo defeito em uma determinada estaca. Por exemplo, no caso de trincas, tem-se a porcentagem de área trincada.

Os defeitos conforme a Norma 005/2003 – DNIT definem-se e classificam-se conforme Quadro 4, abaixo:

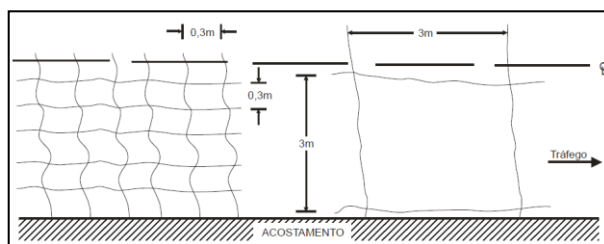
FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
<b>Fissuras</b>				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
<b>OUTROS DEFEITOS</b>					<b>CODIFICAÇÃO</b>		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP			
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP			
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC			
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC			
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O		
Escorregamento (do revestimento betuminoso)					E		
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX		
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D		
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P		
Remendos				Remendo Superficial		RS	
				Remendo Profundo		RP	
NOTA 1: Classe das trincas isoladas FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm. FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas. FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas. NOTA 2: Classe das trincas interligadas As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.							

**Quadro 4: Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação**

Fonte: NORMA DNIT 005/2003 – TER.

- **Fendas:** Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, apresentando aberturas de menor ou maior porte, assumindo diversas formas, como fissuras, trincas isoladas transversais, longitudinais, de retração e trincas interligadas

tipo em bloco, conforme demonstrado na Figura 6, ou couro de jacaré (NORMA 005/2003 – DNIT, 2003).



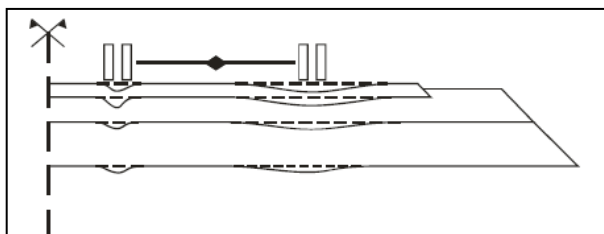
**Figura 6: Trincas tipo bloco**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

- **Afundamento:** é uma deformação permanente definida pela depressão da superfície do pavimento, pode estar acompanhada de solevamento, caracterizada de duas formas (NORMA 005/2003 – DNIT, 2003):

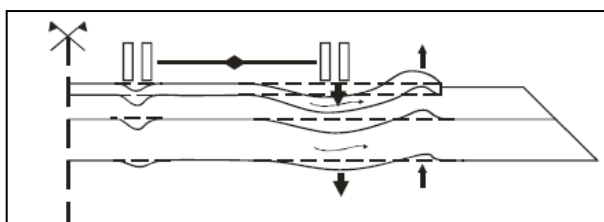
- Afundamento de consolidação: causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas de pavimento ou de subleito (Figura 7);
- Afundamento plástico: causado pela influência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou de subleito, acompanhado de solevamento (Figura 8).

Quando os afundamentos ocorrem em extensão até 6 metros são chamados de “afundamento local”. Quando ocorrem em extensões maiores que 6 metros são denominados de “afundamento de trilha de roda”.



**Figura 7: Afundamento por consolidação nas trilhas de roda**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

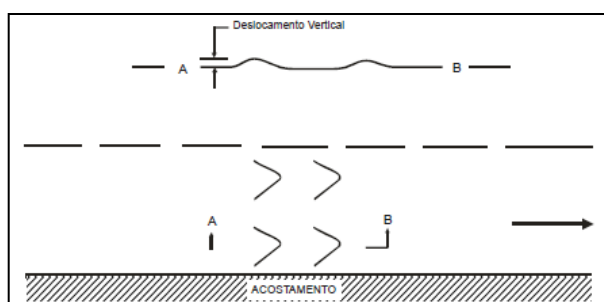


**Figura 8: Afundamento plástico nas trilhas de roda**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

- **Ondulação/Corrugação:** defeito apresentado por ondulações transversais no revestimento. Segundo o Manual de Restauração (2006) a ondulação pode ser causada por:

- Instabilidade da mistura betuminosa do revestimento e/ou da base de um pavimento;
  - Excesso de umidade das camadas subjacentes;
  - Contaminação da mistura asfáltica por materiais estranhos;
  - Retenção de água nas misturas asfálticas.
- **Escorregamento:** deslocamento do revestimento devido aos esforços tangenciais dos eixos dos veículos (frenagem e aceleração) gerando uma fenda em forma de meia lua, conforme mostra Figura 9 abaixo (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS, 2006):



**Figura 9: Escorregamento**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

- **Exsudação:** Excesso de ligante betuminoso formando uma película na superfície do pavimento devido à passagem do ligante pelo revestimento (NORMA 005/2003 – DNIT, 2003).

A exsudação, segundo o Manual de Restauração - DNIT (2006) ocorre por duas situações:

- Dosagem incorreta da mistura asfáltica, ocasionando excesso do ligante e/ou índice de vazio muito baixo;
- Temperatura do ligante elevada gerando a dilatação do asfalto e ocupação irreversível dos vazios entre as partículas.

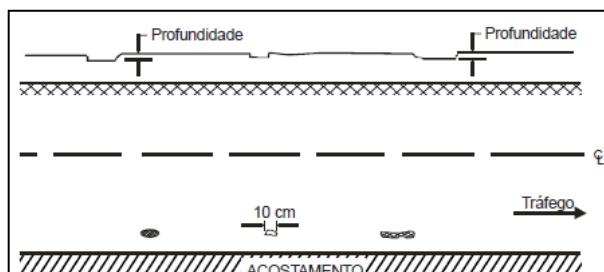
- **Desgaste:** destacamento dos agregados do revestimento asfáltico. Caracteriza-se pela aspereza superficial provocado pelos esforços tangenciais do tráfego (NORMA 005/2003 – DNIT, 2003).

- **Panela ou buraco:** são cavidades originárias no revestimento do pavimento que podem atingir as camadas inferiores, desagregando-as (Figura 10) (NORMA 005/2003 – DNIT, 2003).

Afeta estruturalmente o pavimento, pois a água superficial invade o interior da estrutura. Gera irregularidades longitudinais que causam insegurança no tráfego

e aumenta o custo do transporte. As principais causas são (MANUAL DE RESTAURAÇÃO – DNIT, 2006):

- Trincamento por fadiga (estágio terminal);
- Desagregação localizada no revestimento.

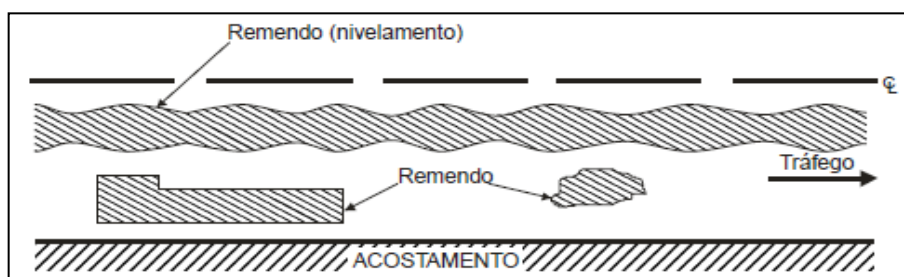


**Figura 10: Painelas**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

- **Remendo:** é o defeito onde havia uma panela e esta foi removida e no local foi preenchido com camadas de novo pavimento (tapa-buraco), demonstrado na Figura 11 abaixo. Os remendos devem ser considerados defeitos quando trazem desconforto aos usuários da via, devido às seguintes causas: (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

- Solicitação intensa do tráfego;
- Utilização de material de má qualidade;
- Agressividade das condições ambientais;
- Problemas gerados pela construção.



**Figura 11: Remendo**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

## 2.5.2 Avaliação funcional do pavimento

Conforme cita Trombetta (2010) a avaliação funcional configura o modo com que o pavimento atende suas funções, em relação ao conforto e a segurança dos usuários que trafegam pela via.

Segundo Gonçalves (2007) é a avaliação da condição do pavimento a partir do usuário. Afeta diretamente os custos operacionais, o tempo de viagem, e os custos com acidentes.

A funcionalidade do pavimento esta relacionada com a capacidade deste de proporcionar um nível de desempenho, intitulada de “Serventia do Pavimento”. A avaliação funcional é realizada através de duas técnicas (DNIT, 2006):

- Avaliação subjetiva: Expressa o estado de restauração do pavimento por conceitos qualitativos;
- Avaliação objetiva: Define a restauração do pavimento pela quantificação numérica e a distribuição da severidade nas exposições de ruína.

### **2.5.2.1 Avaliação subjetiva**

A avaliação subjetiva analisa as características funcionais do pavimento existente onde permite definir o estado de restauração da superfície do pavimento a partir de conceitos qualitativos, com base em inspeção no local, e leva em consideração a análise dos avaliadores (MANUAL DE RESTAURAÇÃO, 2006).

#### **2.5.2.1.1 Levantamento visual contínuo (LVC)**

Conforme a Norma DNIT 008/2003- PRO o levantamento visual contínuo (LVC) fornece a base de dados para a determinação do valor do ICPF- Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis e do cálculo do IGGE- Índice de Gravidade Global Expedito e do IES- Índice do Estado de Superfície.

O processo de levantamento consiste no preenchimento do formulário realizado no mínimo por dois técnicos, percorrendo a rodovia com uma velocidade de aproximadamente 40km/h. O ICPF é calculado pela média das notas atribuídas conforme o critério descrito no Quadro 5 (MANUAL DE RESTAURAÇÃO – DNIT, 2006).

Conceito	Descrição	ICPF
<b>Ótimo</b>	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 – 4
<b>Bom</b>	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 – 3
<b>Regular</b>	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO – pavimento trincado, com “painelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 – 2
<b>Ruim</b>	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS – defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos.	2 – 1
<b>Péssimo</b>	RECONSTRUÇÃO – defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Restauração do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base.	1 – 0

**Quadro 5: Conceitos do ICPF**

Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.

O IGGE – Índice da Gravidade Global Expedita é calculado por meio dos dados dos formulários do campo. O IES é determinado pelo ICPF e IGGE para cada seguimento, apresentado a seguir (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006):

Descrição	IES	Código	Conceito
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq e$ $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10	E	PÉSSIMO

**Quadro 6: Índice do Estado da Superfície do Pavimento**

Fonte: Norma DNIT 008/2003 – PRO.

### 2.5.2.2 Avaliação objetiva

A avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis é realizada quando se deseja obter um inventário do pavimento com as suas ocorrências e as prováveis causas e como base de verificação da necessidade de se fazer uma avaliação estrutural, e posteriormente podendo ser usada como complemento (NORMA DNIT 006/2003).

O método para o índice geral de gravidade do pavimento esta definida na norma do DNIT 006/2003 – PRO, onde são considerados os diversos defeitos presentes no pavimento, sendo que cada um contribui com um Índice de Gravidade Individual (IGI); a soma destes corresponde ao Índice de Gravidade Global (IGG) que, varia de 0 a valores acima de 160, sendo valores menores correspondentes a



pavimentos em ótimo estado e valores maiores correspondendo a pavimentos mais degradados, conforma o Quadro 07 abaixo, retirado da NORMA 006/2003:

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

**Quadro 7: Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG**  
 Fonte: NORMA DNIT 006/2003 – PRO.

### 2.5.3 Avaliação estrutural do pavimento

A condição estrutural de um pavimento é a sua capacidade de resistir à deformação causada pela passagem das cargas do tráfego. Desta forma, a avaliação deve conter os seguintes parâmetros (RODRIGUES, 2007):

- Elementos que caracterizam a deformabilidade elástica dos materiais nas condições impostas pelas cargas dos veículos. São utilizados para calcular as tensões e deformações produzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento;
- Elementos que caracterizam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas sobre cargas repetidas, em função da natureza, da condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações dos materiais;
- Integridade das camadas asfálticas, expressa pelo grau de fissuramento.

A condição estrutural do pavimento pode ser realizada por meio dos dados obtidos nos levantamentos dos defeitos de superfície, nos ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

Conforme Gonçalves (2007), a avaliação estrutural pode ser efetuada de duas formas:

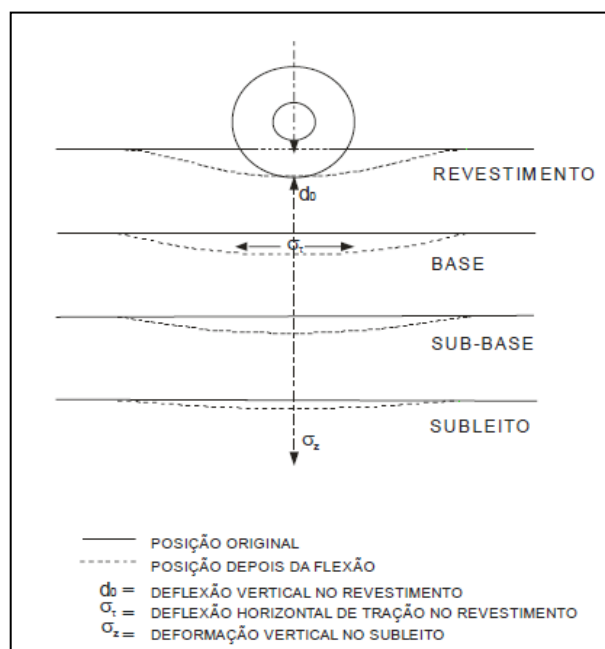
- Avaliação destrutiva: Realiza-se abertura de furos de sondagem para identificação da natureza e das espessuras das camadas e a devida coleta de amostras de materiais que são ensaiados em laboratório. Alguns ensaiados em laboratório. Pode se feitos alguns ensaios no local, como CBR *in situ* e determinações de umidade e densidade;
- Avaliação não destrutiva: Provas de carga para medida da resposta da estrutura às cargas de roda em movimento. Os deslocamentos verticais (deflexões) são os parâmetros verticais de resposta sendo a medida mais simples e confiável,

em comparação com tensões ou deformações, razão pela qual os equipamentos mais utilizados para ensaios não destrutivos são deflectômetros.

Uma capacidade estrutural insuficiente para o tráfego que atua sobre o pavimento aumenta os defeitos de superfície, bem como a queda do nível de serventia com o tempo. Portanto, a condição estrutural de um pavimento indica a velocidade com que os defeitos estão surgindo e/ou aumentando de severidade. O momento mais eficiente para restaurar um pavimento é imediatamente antes de a capacidade estrutural atingir um nível onde a deterioração do pavimento se processe a uma velocidade cada vez maior (GONÇALVES, 2007).

### 2.5.3.1 Medidas de deflexões

A deflexão de um pavimento é a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação de um carregamento. Quando se aplica uma carga em um ponto da superfície do pavimento, todas as camadas fletem devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento, o valor da deflexão diminui conforme a profundidade da camada (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).



**Figura 12: Deformação de um pavimento**

**Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.**

O desempenho estrutural pode ser verificado pela diferença entre a resposta (flexão) dos pavimentos sadios e os debilitados, desta forma percebe-se que

pavimentos com deflexões mais baixas suportam maior número de solicitações de tráfego (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

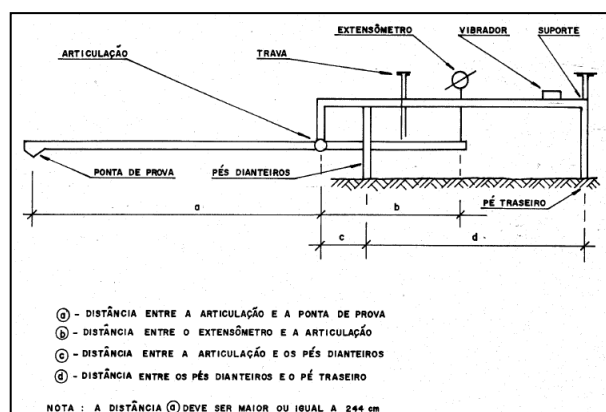
Os equipamentos mais utilizados para a avaliação da deflexão recuperável máxima da superfície são divididos em:

- vigas de deflexão;
- equipamentos dinâmicos.

### 2.5.3.1.1 Vigas de medição de deflexão

As vigas de deflexão medem a resposta do pavimento ao ser submetido a uma carga estática ou a aplicação desta em movimento vagaroso. Os equipamentos mais utilizados são a viga Benkelman e as vigas de deflexão automatizadas. Sendo a viga Benkelman o mais simples e difundido (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

Segundo a Norma DNER-ME 024/94 a viga Benkelman é um aparelho usado para medir deflexões dos pavimentos. É constituída de um conjunto de sustentação onde ocorre a articulação de uma alavanca interfixa, formando dois braços onde a relação dos comprimentos  $a$  e  $b$  é de 2/1, 3/1 ou de 4/1, conforme Figura 13.



**Figura 13: Esquema da Viga Benkelman**  
**Fonte: DNER-ME 024/94.**

A viga possui um vibrador para evitar possíveis inibições do ponteiro do extensômetro este com precisão de 0,01 milímetros (mm). E uma trava de proteção usada no transporte. Devendo ser revestida com isopor quando esta não estiver em uso. A aparelhagem constitui além da viga um caminhão com carga de 8,2 tonelada-

força (tf) no eixo traseiro simples com roda dupla, simetricamente distribuída em relação as rodas (NORMA DNER-ME 024/94).

Para usar a viga esta deve ser aferida segundo a Norma DNER-PRO 175/94 “Aferição é a operação para verificar se uma dada viga Benkelman está em condições de ser utilizada e para definir o valor da constante a ser usada para o cálculo das deflexões”.

A localização dos pontos no pavimento onde serão feitas as medidas de deflexão devem ser marcados e estarem a uma distância da borda do revestimento conforme o Quadro 8:

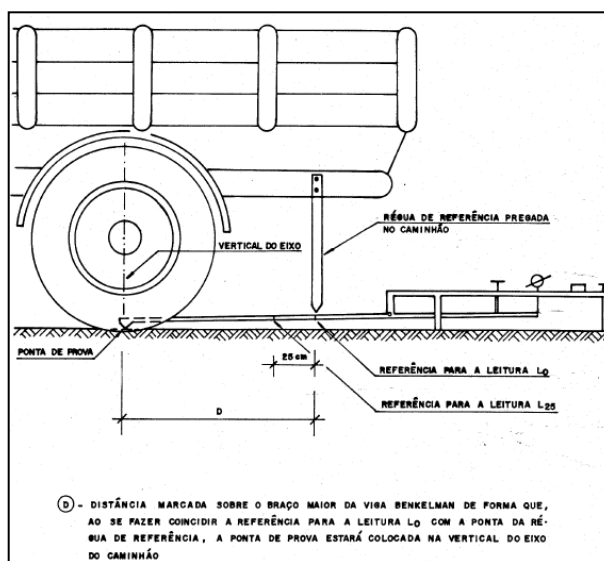
Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

**Quadro 8: Localização dos pontos**

Fonte: NORMA DNER-ME 024/94.

O posicionamento do caminhão perante a Norma DNER-ME 024/94 deve ser centrado sobre o ponto marcado na trilha externa com um dos conjuntos de rodas duplas traseiras. O eixo do veiculo que transmite o peso da carga deve estar perpendicular ao eixo da pista.

A viga Benkelman deve ser posicionada com a ponta de prova entre os pneus da roda dupla, idêntico com o ponto selecionado. O perfeito posicionamento da ponta da viga, na vertical do eixo traseiro, é estabelecido pelo sistema de referência, conforme demonstrado na Figura 14 a seguir (NORMA DNER-ME 024/94).



**Figura 14: Esquema do sistema de referência na viga e no caminhão**  
Fonte: DNER-ME 024/94.

Conforme a Norma DNER-ME 024/94, a leitura inicial ( $L_0$ ) deve ser feita ligando o vibrador e quando o extensômetro mostrar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min, ou após 3 minutos da ligação do vibrador. O caminhão deve-se movimentar lentamente, pelo menos 10 metros para frente, faz-se a leitura final ( $L_f$ ), quando o extensômetro mostrar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min, ou após 3 minutos contados a partir do caminhão se deslocar da posição original.

Desliga-se o vibrador, e trava-se a parte móvel da viga, sendo transportada para novo ponto. Para determinar o raio de curvatura da bacia de deformação, deve-se fazer uma leitura adicional, deslocando o eixo das rodas duplas do caminhão 25 centímetros (cm) á frente do ponto de prova (NORMA DNER-ME 024/94).

A Norma DNER-ME 024/94 demonstra a fórmula de se calcular a deflexão do pavimento no ponto de prova e o raio de curvatura:

$$D_0 = (L_0 - L_f)a/b$$

Onde:

$D_0$ = deflexão real, em centésimos de milímetro;

$L_0$  = leitura inicial, em centésimos de milímetro;

$L_f$ = leitura final, em centésimos de milímetro;

$a$  e  $b$ = dimensões da viga Benkelman;

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Onde:

$R$ = raio de curvatura, em metros;

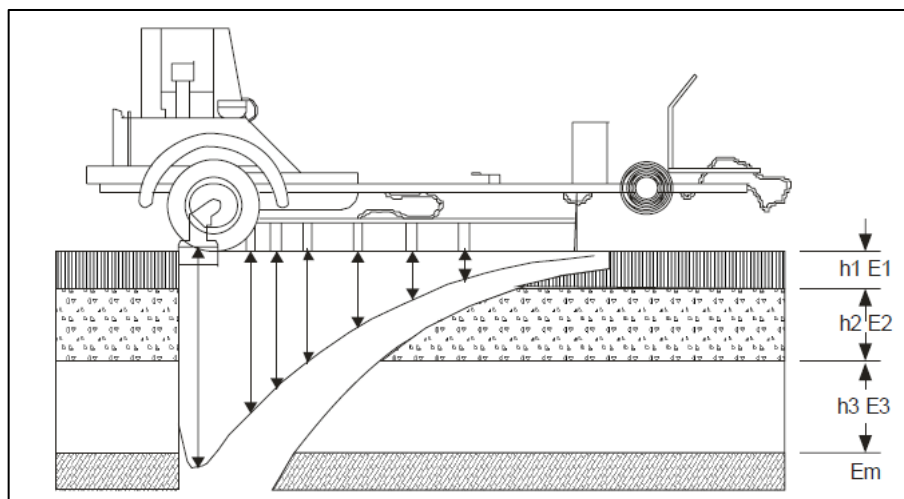
$D_0$ =deflexão real, em centésimos de milímetro;

$D_{25}$ =deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimos de milímetro;

### 2.5.3.1.2 Equipamentos dinâmicos

Os equipamentos que transferem ao pavimento uma carga dinâmica de impacto são chamados de FWD “Falling Weight Deflectometer” ou defletômetros de impacto. Estes equipamentos usam um peso que é elevado até uma altura pré-determinada e é solto em queda livre até atingir uma placa apoiada sobre a superfície do pavimento que transmite uma força de impulso à estrutura (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

A resposta do pavimento ao impacto é registrada por um conjunto de sensores posicionados na longitudinal a partir do centro da placa (Figura 15). O equipamento é montado em um reboque e comandado automaticamente por meio de um microcomputador instalado em um veículo de apoio (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

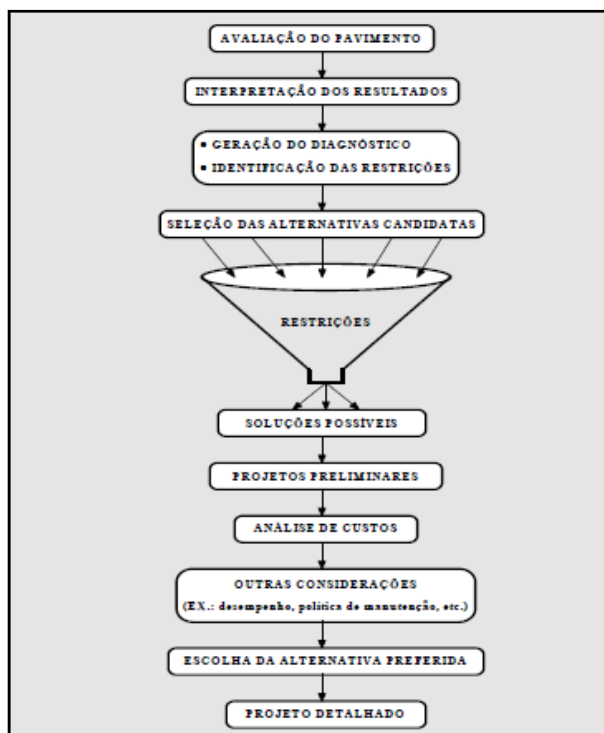


**Figura 15: Representação dos deflectômetros de impacto**  
**Fonte: Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis, 2006.**

A maior vantagem desses equipamentos é a sua capacidade de simular, as características de uma carga de tráfego atuante em termos de magnitude e frequência, o que não é possível no ensaio estático com viga Benkelman. Portanto, as deflexões resultantes se aproximam das causadas por uma carga real dinâmica. Além disso, o equipamento permite a determinação precisa e rápida de deformadas completas, com aquisição automática de dados (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

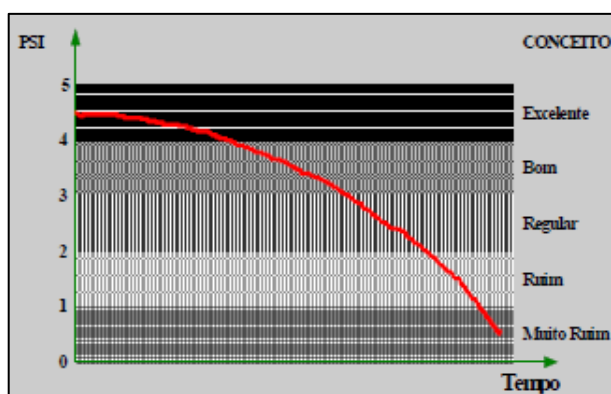
## 2.6 CONCEPÇÃO DAS INTERVENÇÕES

Conforme Gonçalves (2007) para estabelecer a manutenção de uma via deve-se fazer a identificação da medida de conservação ou de restauração de menor custo que promova ao pavimento condições funcionais adequadas ou aceitáveis por um período mínimo de tempo. É preciso elaborar um diagnóstico do pavimento para assim selecionar as medidas de manutenção, o que será função do desempenho desejado. O fluxograma a seguir apresenta a sequência da escolha da alternativa para a restauração:



**Figura 16: Fluxograma da escolha da alternativa de Restauração**  
**Fonte: Gonçalves, 2007.**

Para analisarmos a melhor alternativa de intervenção no pavimento precisamos destacar o conceito de serventia que segundo Gonçalves (2007) é o estágio com que o pavimento atende aos quesitos de conforto e segurança, nas velocidades operacionais da via e em um determinado momento de sua vida de serviço. Sendo o desempenho a variação da serventia ao longo do tempo (Figura 17).



**Figura 17: Serventia ao longo do tempo**  
**Fonte: Gonçalves, 2007.**

Verifica-se a necessidade de elaborar critérios para avaliar as deficiências estruturais e funcionais e o nível de degradação de superfície e relacionar estes com

a adequada restauração para cada caso. Para isto deve-se levar em conta alguns aspectos (RODRIGUES,2007):

- Pavimentos severamente trincados, a ocorrência de reflexão de trincas é mais rápida quanto maior for à espessura e a rigidez do revestimento existente e quanto maior for à abertura das trincas. Para as condições mais críticas é recomendado a selagem prévia das trincas existentes com o uso de uma camada de Massa Fina de CBUQ (2 cm) e a aplicação de uma camada intermediária, entre o pavimento existente e a camada de recapeamento;

- O pavimento existente permaneceu trincado por um longo período de tempo e a entrada de água pelas trincas levou à formação de afundamentos plásticos em trilha de roda, é indicada a reconstrução, total ou parcial, do pavimento, em vista do comprometimento provável das camadas de base e sub-base;

- Pequenas espessuras de concreto asfáltico (4 a 8 cm) têm uma elevada eficiência na redução da irregularidade superficial do pavimento. Estas pequenas espessuras não resistem, contudo, à reflexão de trincas, nos casos onde seu potencial de ocorrência é mais elevado.

Conforme Rodrigues (2007) a escolha da medida aplicável deve partir da decisão de se aproveitar ou não a estrutura existente, o é função do grau com que as camadas de inferiores estão comprometidas pela infiltração de água pelas trincas.

Segundo Balbo (2007) a análise funcional que é a perda de serventia pode também ser verificado sobre um viés da avaliação estrutural, em função da evolução da deformação plástica na superfície do pavimento.

Para a escolha da melhor solução de intervenção, devem se seguir alguns passos, conforme descreve Balbo (2007):

- A avaliação de materiais disponíveis na região da obra para se explorar soluções alternativas;

- Critérios de normas técnicas vigentes devem ser utilizados para o dimensionamento das possíveis soluções;

- Análise de atendimento a critérios de fadiga;

- Previsão do desempenho de cada solução;

- Determinação dos custos implícitos de cada alternativa.



Assim é possível uma escolha consistente da estrutura do pavimento atendendo a critérios técnicos e econômicos (BALBO, 2007).

Os métodos tradicionais de restauração rodoviária, como o recapeamento que consiste na sobreposição de uma ou mais camadas de misturas betuminosas e/ou concreto de cimento portland, utilizam grandes quantidades de recursos naturais de boa qualidade e geram entulho, em muitos casos pela deficiência de implantação de novas tecnologias. A necessidade da implantação de empreendimentos e a verificação de sua viabilidade, conforme critérios técnicos e econômicos, sempre foram suficientes para a tomada de decisões na área de pavimentação. Assim, os danos ambientais provocados por essas atividades foram considerados por muitos anos uma consequência natural, sendo compensados pelos benefícios da oferta de bens e serviços (COSTA E PINTO, 2011).

Conforme Balbo (2007), existem várias metodologias que podem ser aplicadas no dimensionamento de reforços. Neste trabalho será abordado dois desses métodos o de resistência (CBR -índice de suporte califórnia) e o da DNER-PRO 11/79 B.

### 2.6.1 Método do DNER de Resistência (CBR)

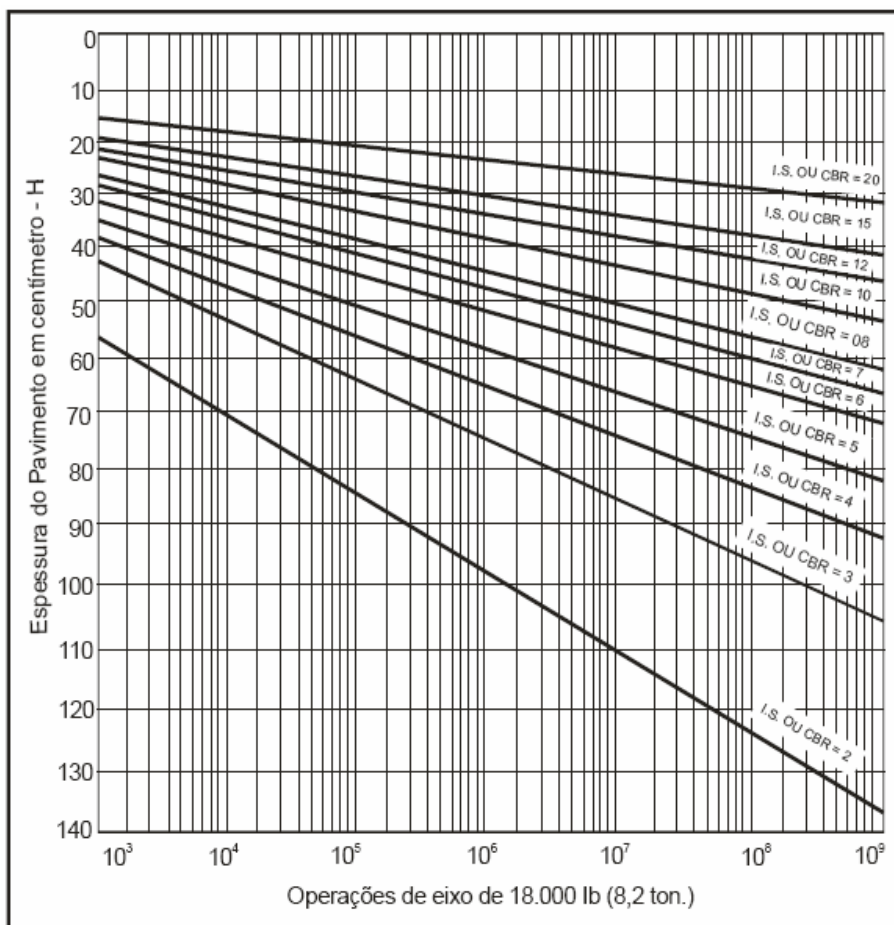
Segundo Balbo (2007) a espessura das camadas é dimensionado levando-se em conta o CBR do subleito e o N (número de repetições do eixo-padrão), considerando os seus coeficientes de equivalência estrutural. Obedecendo as espessuras mínimas de revestimento asfáltico que são apresentadas no Quadro 9 abaixo:

<b>ESPESSURAS MÍNIMAS EM FUNÇÃO DO N</b>	
$N \leq 10^6$	1,5 a 3,0 cm tratamentos superficiais
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	5 cm revestimento asfáltico
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	7,5 cm de CBUQ
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	10 cm de CBUQ
$N > 5 \times 10^7$	12,5 cm de CBUQ

**Quadro 9: Espessuras mínimas em função do N**

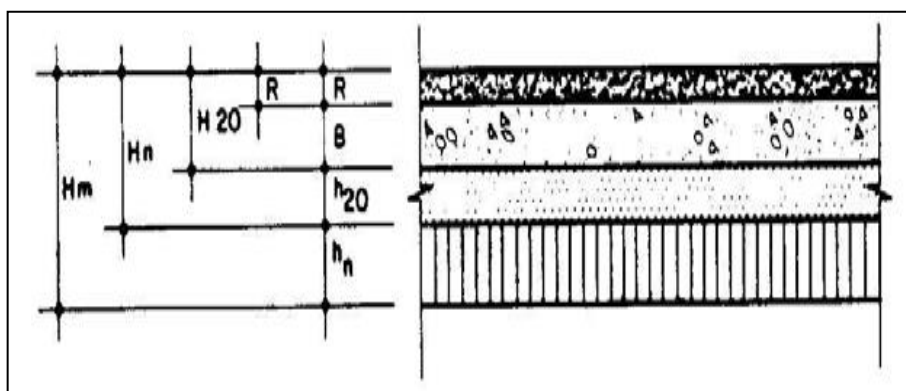
Fonte: Adaptado de Balbo, 2007.

Conforme Senço (2008), inicialmente deve-se utilizar o ábaco abaixo para a verificação das espessuras totais das camadas em função do N, CBR ou IS (Índice de Suporte), fornecidas em termos de material granular ( $k=1$ ).



**Figura 18: Âbaco para dimensionamento**  
**Fonte: Senço, 2008.**

Analisando as espessuras necessárias das camadas acima dessas, conforme a simbologia apresentada na Figura 19:  $H_m$  (IS-subleito),  $H_n$  (IS - camada de reforço do subleito),  $H_{20}$  (IS=20 sub-base), sendo R- revestimento betuminoso e B- base granular.



**Figura 19: Símbolo das camadas**  
**Fonte: Senço, 2008.**

Para a obtenção do dimensionamento das camadas resolvem-se as inequações (SENÇO, 2008):

$$R.K_R + B.K_B \geq H_{20}$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_{SB} \geq H_n$$

$$R.K_R + B.K_B + h_{20}.K_{SB} + h_n.K_{Ref} \geq H_m$$

Onde,  $K_i$  é o coeficiente de equivalência estrutural do material da camada  $i$ , conforme demonstrado no Quadro 10, a seguir:

Componentes dos pavimentos	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77 (1,00)
Reforço do subleito	0,77 (1,00)
Solo-cimento (resistência à compressão em 7 dias > 45kgf/cm <sup>2</sup> )	1,70
Idem (resist à compr. em 7 dias entre 45kgf/cm <sup>2</sup> e 35kgf/cm <sup>2</sup> )	1,40
Idem (resistência à compressão a 7 dias inferior 35kgf/cm <sup>2</sup> )	1,00

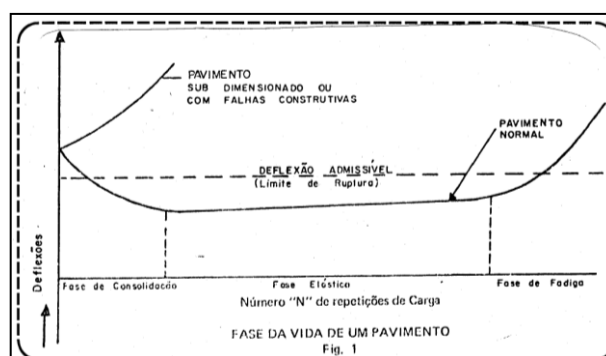
**Quadro 10: Coeficientes de equivalência estrutural - K**

Fonte: Senço, 2008.

## 2.6.2 Método do DNER- PRO 11/79 B

O pavimento sofre ao longo do seu período de vida solicitações do tráfego e do clima (precipitações pluviométricas e mudanças de temperatura) causando fadiga da estrutura que em relação a deflexão pode ser dividido em fases (DNER- PRO 011/79):

- Fase de consolidação: imediatamente após a construção, decréscimo desacelerado da deflexão devido ao tráfego, tende a se estabilizar ao fim desta fase.
- Fase Elástica: o valor da deflexão se mantém constante, a menos das variações sazonais.
- Fase da Fadiga: crescimento acelerado do valor de deflexão, a estrutura começa a expor os efeitos da fadiga (fissuras, trincas e deformações permanentes).



**Figura 20: Fases da vida de um pavimento**

Fonte: DNER – PRO 011/79.

Conforme Balbo (2007) este método segue alguns passos básicos para o dimensionamento da espessura do reforço aplicada no pavimento existente:

- Verificação do nível de deflexão admissível para a nova camada de revestimento, tendo em vista o tráfego previsto, para que, limitando-se tal nível de deflexão, seja possível atingir um determinado nível de serviço final (serventia) para tal tráfego ou um horizonte de projeto sem ocorrência precoce de determinados padrões de fissuração por fadiga;

- Verificação da espessura necessária para essa camada buscando trazer a deflexão atual existente aos níveis da deflexão admissível, por meio de uma equação de redução de deflexão.

A deflexão de projeto ( $D_p$ ) é calculada pela fórmula (DNER-PRO 011/79):

$$D_p = D_c \times F_s$$

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

$D_c$ : deflexão característica obtida no levantamento deflectométrico (0,01 mm);

$F_s$ : Fator de correção sazonal, de acordo com Quadro 11:

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - $F_s$	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 – 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 – 1,40	1,00

Quadro 11: Fator de correção Sazonal

Fonte: DNER- PRO 011/79.

A deflexão admissível sobre a camada de reforço do pavimento é calculada pela equação segundo Balbo (2007):

$$D_{adm} = 10^{3,01 - 0,176 \times \log N}$$

Onde  $N$  é o número de repetições de um eixo padrão de 8,2 t.

A espessura de reforço do pavimento pode ser calculada pela expressão ou por ábaco (Figura 21):

$$h = K \times \log \frac{D_p}{D_{adm}}$$

onde:

$h$ : espessura do reforço do pavimento em centímetros;

$K$ : fator de redução de deflexão, próprio do material usado no reforço.

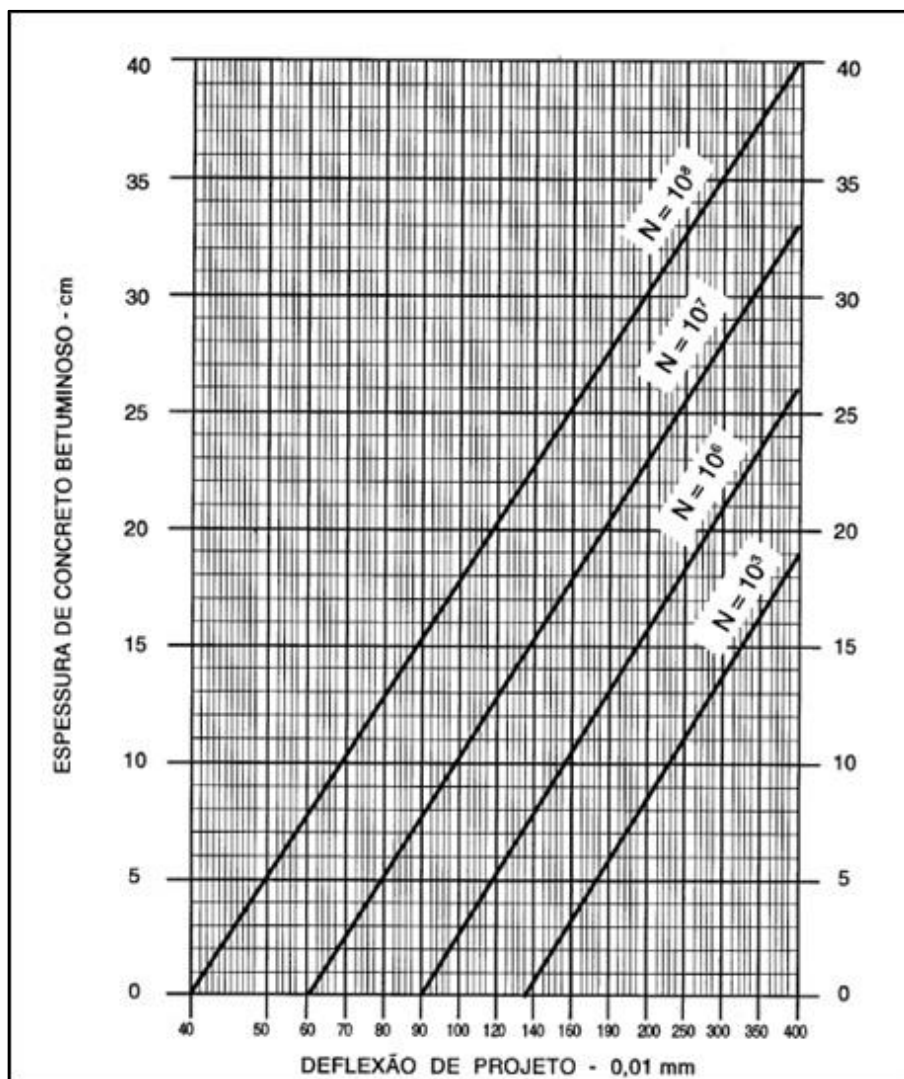


Figura 21: Ábaco de dimensionamento da espessura do reforço  
Fonte: DNER- PRO 011/79.

## 2.7 RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXIVEL

A reciclagem de pavimentos é uma técnica onde toda ou parte da camada do pavimento existente é reaproveitada na construção de uma nova camada, incorporando ou não novos materiais, garantindo um novo pavimento com características semelhantes ou superiores ao pavimento antigo (FONSECA, 2009).

A reciclagem de revestimentos asfálticos possui vantagens em relação ao meio ambiente, pois utiliza total ou parcialmente os materiais do pavimento existente, com seu devido beneficiamento, além de diminuir a quantidade de resíduos gerados (COSTA E PINTO, 2011).

Segundo Momm e Domingues (1995), a reciclagem é a reutilização dos materiais existentes do revestimento e/ou da base e/ou da sub-base, misturando-se

os materiais no estado após a desagregação ou com o uso de energia térmica e/ou com aditivos de ligantes rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica.

Com a crise do petróleo na década de 1970 gerando a escassez de materiais asfálticos e com a crise econômica internacional, os técnicos rodoviários em conjunto com os organismos de fomento, trouxeram em pauta a ideia de reprocessar os materiais de pavimentos deteriorados, por meio da reciclagem, de forma a restaurar as condições de tráfego em níveis satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro (BONFIM, 2001).

No Brasil, a primeira utilização da técnica de reciclagem de revestimentos betuminosos aconteceu na cidade do Rio de Janeiro em 1960, onde, na época, o revestimento era removido por meio de marteletes, transportado para a usina e remisturado. A primeira rodovia a ser reciclada foi a Via Anhanguera, trecho entre São Paulo e Campinas, na década de 1980 (PINTO, 1989).

Inicialmente a reciclagem era feita com equipamentos manuais de lâminas e escarificadores. Atualmente, usam-se máquinas fresadoras, para a retirada do material da pista (COSTA E PINTO, 2011).



**Figura 22:** A esquerda trator equipado com escarificador e a direita máquina fresadora

**Fonte:** Costa e Pinto, 2011.

Conforme Costa e Pinto (2011) o princípio básico da reciclagem é o de fragmentar, triturar e retirar a camada antiga do pavimento e com a combinação de novos materiais obter uma nova camada com o uso de equipamentos modernos como as máquinas fresadoras-recicladoras, ou recicladoras-estabilizadoras.



**Figura 23:** A esquerda usina móvel para misturas frias e a direita reciclagem a frio “*in situ*”

**Fonte:** Costa e Pinto, 2011.

A reciclagem de pavimento apresenta-se como uma solução para vários problemas e oferece inúmeros benefícios em relação a utilização convencional de materiais virgens. Podendo ser citados os seguintes (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006):

- conservação dos agregados , dos ligantes e de energia;
- preservação do meio ambiente; e
- restauração das condições geométricas existentes

A reutilização dos agregados proporciona uma diminuição no uso de novos materiais e das distâncias de transporte, aumentando o tempo de exploração das ocorrências existentes. Tornando-se uma vantagem devido as restrições impostas pela legislação de proteção ao meio ambiente e pela valorização dos sítios de ocorrências de jazidas (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

Com a reutilização do asfalto envelhecido pode ser reduzida a quantidade de asfalto novo para a restauração do pavimento. Por exemplo, a reutilização dos materiais de um revestimento de concreto asfáltico poderá necessitar de cerca de 1 a 3% de asfalto adicional, enquanto uma mistura de concreto asfáltico com materiais virgens requer cerca de 6% de asfalto, o que representa uma redução apreciável (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT,2006)

A reciclagem preserva o meio ambiente, pois esta técnica evita a exploração de jazidas minerais, evitando o acúmulo e/ou geração do passivo ambiental (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT,2006).

A técnica de reciclagem garante que as condições geométricas da pista sejam mantidas evitando problemas como o acréscimo de carga permanente, desníveis na pista e a altura livre em túneis e passagens inferiores. Além disso, reduz os problemas de ajuste vertical dos dispositivos de drenagem, como

profundidade de sarjetas, altura de meios-fios, bocas-de-lobo e poços de visita (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

O material removido, que antes era considerado um entulho problemático, passa a ser um excelente produto, sem prejuízo da qualidade final. A reciclagem permite ao pavimento antigo um ciclo de vida maior, além de poupar os recursos naturais da região. Em relação aos métodos tradicionais de restauração é uma alternativa possivelmente mais econômica e mais ecológica (COSTA E PINTO, 2011).

### 2.7.1 Tipos de reciclagem

Conforme Costa e Pinto (2011) a reciclagem de pavimento classifica-se em dois processos a quente e a frio, que podem ser realizadas no próprio local, ou seja, "*in situ*", ou em usina apropriada.

Bonfim (2001) classifica as reciclagens conforme Quadro 12 a seguir:

<b>Quanto à geometria original</b>	Sem modificação	Quando se mantém as cotas do greide.
	Com modificação	
<b>Quanto ao local de processamento</b>	Em usina	Fixa ou móvel, á quente ou á frio.
	" <i>In situ</i> "	
	Mista	" <i>In situ</i> " da reciclagem base e aplicação de reciclagem a quente, processada em usina com material fresado.
<b>Quanto á fresagem do material</b>	A frio	Realizada na temperatura ambiente.
	A quente	Realizada com pré-aquecimento do pavimento.
<b>Quanto á profundidade do corte</b>	Superficial	Somente da camada de revestimento.
	Profunda	Camada de revestimento, base e até sub-base.
<b>Quanto á mistura reciclada</b>	Mistura a Frio	PMF
	Mistura a quente	CBUQ,PMQ
<b>Quanto ao uso da mistura</b>	Com base reciclada	
	Com camada de ligação	
	Como revestimento	
<b>Quanto aos materiais adicionados</b>	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland e cal	Aumento da capacidade estrutural
	Emulsão especial, CAP, Polímeros	Rejuvenescimento
	Mistura Asfáltica	Adição de material fresado

**Quadro 12: Tipos de Reciclagem**  
Fonte: Bonfim, 2001.



A escolha do melhor processo de execução da reciclagem deve levar em conta a condição da superfície do pavimento (desgastes, trincamentos, afundamentos nas trilhas de roda, etc), a capacidade estrutural, qualidade do material, disponibilidade de material virgem, irregularidade longitudinal, a resistência à derrapagem (camada de revestimento), localização e extensão do trecho, a classe da rodovia, seção transversal do pavimento, condições geométricas, tráfego (atual e futuro), as condições de remanejamento do tráfego, a disponibilidade de equipamento, características do subleito e da base e por fim o objetivo da restauração (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

Devem-se realizar ensaios de laboratório e de campo para se obter a quantidade de material disponível no pavimento e os tipos de estabilizadores que podem ser usados. A partir desses dados desenvolve-se o projeto com a seleção e a avaliação econômica da melhor alternativa de modalidade de reciclagem. Novos ensaios de laboratórios são realizados para a determinação do teor necessário de estabilizante ou agente reciclador. Os custos para os serviços são determinados juntamente com as especificações para a execução da reciclagem. Após a realização dos serviços é avaliado o desempenho dos materiais reciclados ao longo do período de tempo de vida útil, mediante a execução de ensaios de laboratório e de campo para a determinação das propriedades dos materiais em serviço. Estes dados são incluídos em um Sistema de Gerência de Pavimentos e usados como subsídios para futuras seleções de alternativas de restauração de pavimentos (DNIT, 2006).

#### **2.7.1.1 Reciclagem a quente**

Segundo DNIT (2006) na reciclagem a quente parte ou toda a estrutura do revestimento é removida e reduzida a dimensões apropriadas para depois ser misturada a quente no próprio local (*in situ*) ou em usina estacionária, podendo ser adicionados novos agregados, cimento asfáltico e agente rejuvenescedor. O produto final deve atender as especificações de misturas asfálticas a quente destinadas às camadas de base, 'binder' ou de rolamento.

### 2.7.1.1.1 Reciclagem a quente em usina

Conforme Costa e Pinto (2011) a reciclagem a quente em usina é um processo em que parte ou toda a estrutura é removida, reduzida e transportada para ser misturada e recuperada em usina de asfalto apropriada.

O método adiciona novos agregados, material de enchimento, cimento asfáltico de petróleo (CAP) e caso seja necessário, um agente rejuvenescedor. O tipo de usina mais empregada é a “Drum mix”, esquematizada na figura a seguir: (DNIT, 2006).

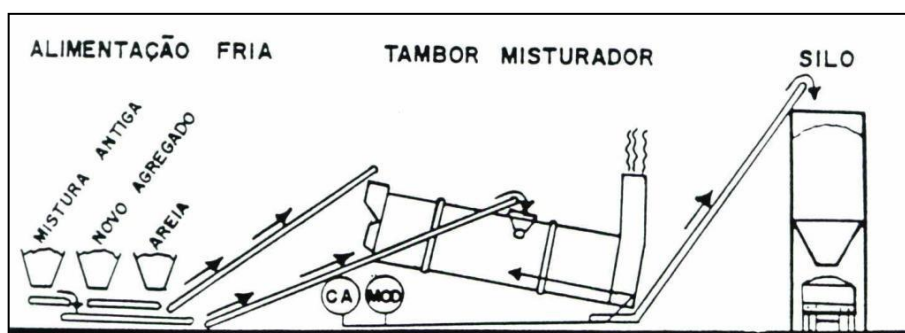


Figura 24: Operação de usina “Drum Mixer”  
Fonte: WIRTGEN, 2007.

As etapas para a execução das misturas recicladas a quente são (DNIT, 2006):

- **Preparação do material:** retirada e fragmentação do pavimento até um tamanho adequado.
- **Avaliação dos estoques:** deve-se conhecer o material empilhado que será utilizado para a mistura reciclada.
- **Usinagem a quente:** No processo de reciclagem a quente são necessárias algumas modificações nas usinas convencionais, sendo o principal objetivo aquecer e secar o revestimento asfáltico removido sem expô-lo diretamente a chama do secador, pois isto causaria poluição do ar e o endurecimento adicional do asfalto remanescente.
- **Lançamento e compactação:** a mistura pode ser lançada e compactada como um concreto asfáltico normal, usando os procedimento e equipamentos convencionais.

### 2.7.1.1.2 Reciclagem a quente *in situ*

DNIT (2006) define a reciclagem a quente no local como:

A reciclagem a quente no local ou "*in situ*" é definida como um processo de correção de defeitos de superfície, através do corte e fragmentação do revestimento asfáltico antigo (geralmente por fresagem), mistura com agente rejuvenescedor, agregado virgem, material ou mistura asfáltica, e posterior distribuição da mistura reciclada sobre o pavimento, sem remover do local original o material a ser reciclado.

Para que a reciclagem a quente no local seja considerada viável na fase de avaliação é necessário que não haja problemas estruturais, de drenagem ou de qualidade dos materiais constituintes do pavimento. Como as técnicas de reciclagem a quente "*in situ*" envolvem a reelaboração de uma camada do revestimento relativamente delgada, elas devem ser utilizadas para correção de defeitos de superfície, exclusivamente de classe funcional (desagregações, corrugações, afundamentos nas trilhas de roda, exsudações) (MANUAL DE RESTAURAÇÃO - DNIT, 2006).

Na reciclagem a quente no local deve se ter um cuidado maior na escolha do tipo e a quantidade de agente rejuvenescedor, pois o revestimento reciclado pode sofrer afundamento nas trilhas de roda se o ligante possuir viscosidade muito baixa ou se for adicionado agente rejuvenescedor em excesso, para que isso não ocorra o projeto deve ser bem executado e deve haver um controle tecnológico adequado (DNIT, 2006).

### 2.7.1.2 Reciclagem a frio

A reciclagem a frio dá-se quanto o reprocessamento dos materiais do pavimento ocorre sem o dispêndio de energia para o aquecimento dos mesmos (MOMM E DOMINGUES, 1995).

Neste método pode ser adicionado materiais betuminosos (emulsão asfáltica), agregados, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos. A mistura final é utilizada em camada de base que deve ser revestida com um tratamento superficial ou uma mistura asfáltica nova, antes de ser submetida à ação do tráfego (DNIT, 2006).

DNIT (2009), descreve as etapas do processo de reciclagem á frio:

- Fresagem da mistura betuminosa;
- Adição de agente;
- Mistura na pista;
- Compactação.

#### 2.7.1.2.1 Reciclagem a frio em usina

Na reciclagem a frio em usina o material é removido e misturado a frio em uma usina misturadora. A principal vantagem desse processo é o ótimo controle de qualidade obtido na adição do estabilizador e no processo de mistura, no entanto, como desvantagens podemos citar, os transportes adicionais e os custos de execução adicionais sendo que são necessários prazos maiores de construção (DNIT, 2006).

#### 2.7.1.2.2 Reciclagem a frio *in situ*

Na reciclagem no local o material é fragmentado e misturado com o agente estabilizador e redistribuído em uma única passada. As vantagens desse processo é que o material não precisa ser transportado para fora da pista, além disso, o equipamento exigido é mínimo e proporciona a correção rápida de problemas estruturais e de qualidade do material, evitando assim interrupções prolongadas do tráfego (DNIT, 2006)

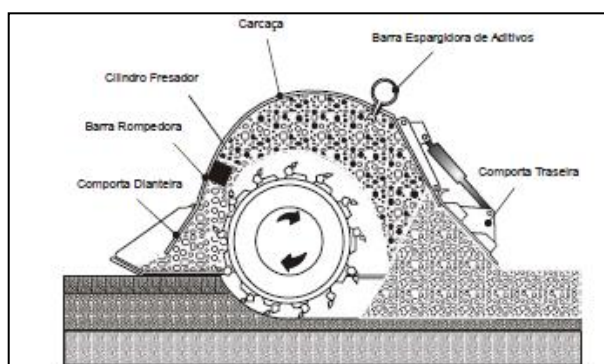
A reciclagem a frio no local é executada com equipamento do tipo fresadora-recicladora, conforme as figuras a seguir: (COSTA E PINTO, 2011)



Figura 25: A esquerda reciclagem a frio "*in situ*" e a direita "trem de reciclagem"  
Fonte: Costa e Pinto, 2011.

Segundo Fonseca (2009), o processo de reciclagem a frio *in situ* é composto por três etapas:

- A exploração: fresagem até uma profundidade determinada do pavimento existente para retirar o material granular, a ser reutilizado na nova camada;
- A mistura: representa a mistura a frio do material desagregado no próprio local. Podem ser adicionados água, os ligantes (emulsão betuminosa, espuma de betume, cimento ou cal) e os agregados;
- A compactação: adensamento do material por compactação e o nivelamento para obtenção de uma nova camada do pavimento.



**Figura 26: Dispositivo de reciclagem a frio no local**  
Fonte: DNIT, 2006.

## 2.8 ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMERO

O asfalto, principal material utilizado nos revestimentos, possui um envelhecimento que está associado a perda de componentes voláteis durante o seu aquecimento e a oxidação progressiva no campo principalmente exposto as intempéries. Na busca de melhorar as características dos asfaltos utilizam-se polímeros visando (DNIT, 2009):

- O aumento do ponto de amolecimento e da viscosidade;
- A diminuição da susceptibilidade térmica;
- O aumento da resistência ao envelhecimento;
- A menor variação do módulo de rigidez com a temperatura;
- Módulos elásticos dinâmicos mais compatíveis com as condições submetidas.

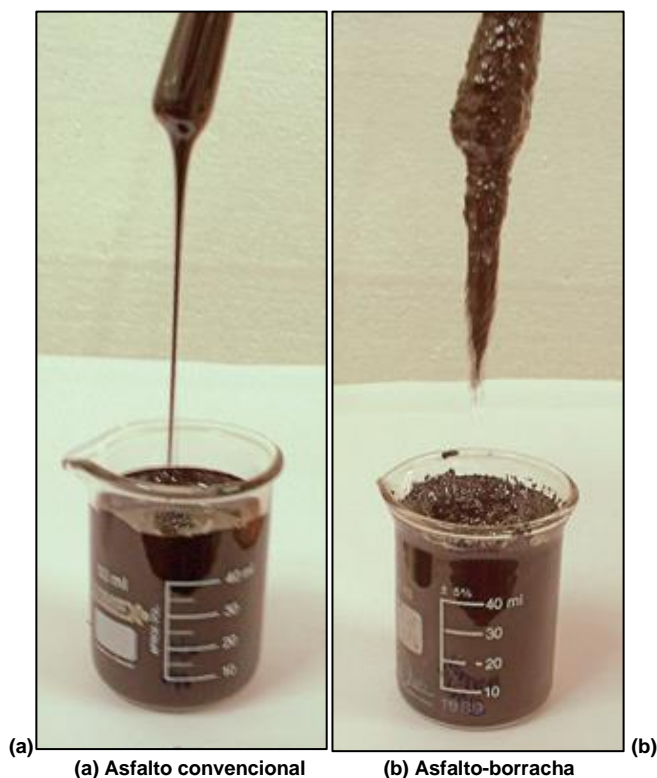
Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob

as condições climáticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos. (PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, 2008).

### 2.8.1 Asfalto borracha

Uma forma alternativa de incorporar os benefícios de um polímero ao ligante asfáltico, e ao mesmo tempo reduzir problemas ambientais, é utilizar a borracha de pneus inservíveis em misturas asfálticas. Emprega-se grande volume desse resíduo que anteriormente seria um problema para a sociedade e se torna para a pavimentação a melhora nas misturas asfálticas (PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, 2008).

Segundo Petrobrás (2013) o asfalto borracha é um asfalto modificado por borracha moída de pneus, além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus que não são mais utilizados, resolvendo problemas ecológicos, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico. A aplicação é feita por equipamentos convencionais de pavimentação.



**Figura 27: Exemplo de maior consistência do asfalto-borracha**  
**Fonte: Pavimentação Asfáltica, 2008.**

São dois os processos de incorporação da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas (PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, 2008):

- Processo úmido: a borracha triturada finamente é adicionada ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) aquecido, produzindo o ligante modificado, denominado de asfalto-borracha. O pó de pneus representa em geral 15 a 20% da massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura.

- Processo seco: a borracha triturada é usada como parte do agregado pétreo da mistura e juntamente com o ligante asfáltico dá origem ao “agregado-borracha” ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha. A mistura modificada com adição de borracha via seca só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente (concreto asfáltico convencional ou com granulometria especial descontínua), não devendo ser usada em misturas a frio (PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA, 2008 APUD SPECHT, 2004; PATRIOTA, 2004; PINHEIRO, 2004).

É recomendado em aplicações que requeiram do ligante asfáltico um desempenho superior, alta elasticidade e resistência ao envelhecimento, tais como revestimento drenantes, camadas intermediárias de absorção de tensões e camadas anti-reflexão de trincas (PETROBRAS, 2013).

As vantagens do asfalto borracha são: a alta elasticidade; a alta resistência ao envelhecimento; a alta coesividade e a excelente relação benefício/custo (PETROBRAS, 2013).

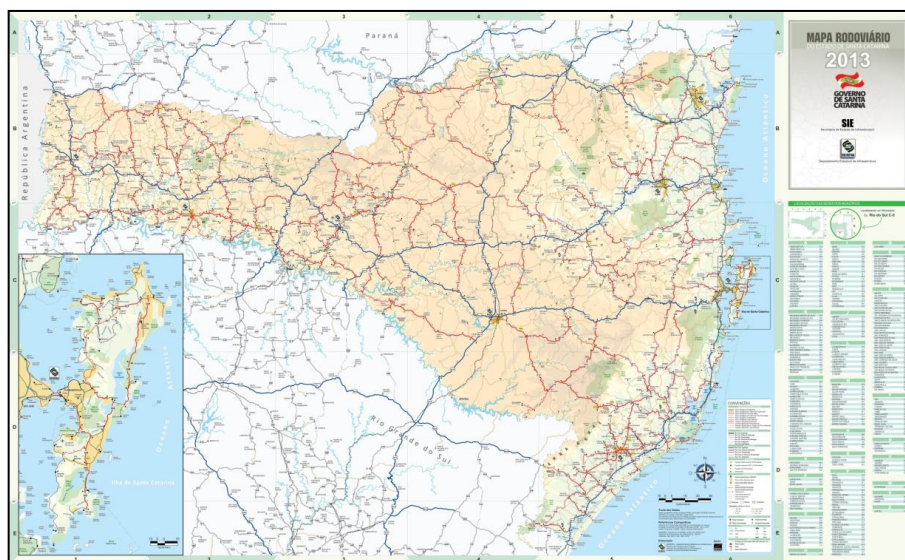
### 3. MÉTODO DA PESQUISA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo encontra-se no Sul do Brasil, no estado de Santa Catarina (Figura 28), localizada no Oeste Catarinense com extensão de 47 quilômetros (km), onde foi realizado um projeto de restauração do pavimento.

Santa Catarina tem uma economia diversificada baseada na agricultura, na indústria, no extrativismo e na pecuária. O clima é subtropical úmido com temperaturas agradáveis, com chuvas durante todo o ano e com as estações bem definidas.

Devido o alto grau de degradação da camada de rolamento foi projetado a reutilização desta camada, para compor uma nova base para o posterior recapeamento da rodovia.



**Figura 28: Mapa rodoviário**  
**Fonte: Deinfra, 2013.**



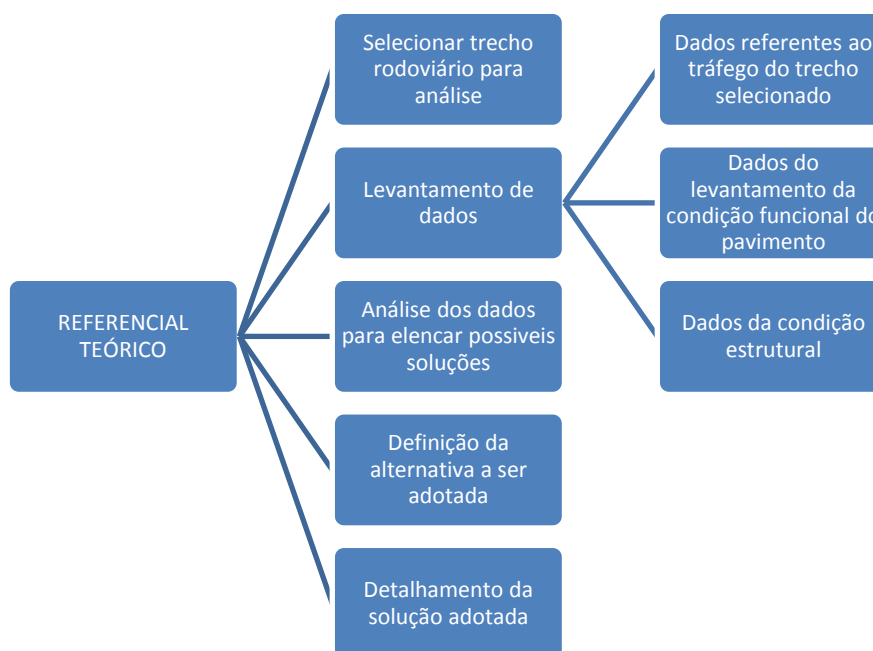
### 3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Silva e Menezes (2001) afirmam poder classificar a pesquisa em quatro parâmetros conforme a sua natureza, abordagem, objetivos e dos procedimentos técnicos.

A pesquisa é básica do ponto de vista da sua natureza, segundo Silva e Menezes (2001) tem como objetivo gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência. Na forma de abordagem pode se descrever como quantitativa, podendo utilizar os dados (números) para traduzi-los em informação para a análise. Do ponto de vista dos seus objetivos é uma pesquisa descritiva/explicativa, pois busca levantar dados e informações para posterior explicação das possíveis soluções e exemplificação da adotada. O procedimento técnico usado será o de estudo de caso, com a seleção do local a coleta de dados e a análise da situação.

O objetivo geral deste trabalho depende diretamente de dados que foram cedidos pela empresa responsável pela execução do trecho em estudo, para efeitos desse trabalho, sua denominação a partir de agora passa a ser Empresa X. De modo semelhante a empresa que realizou os estudos necessários e o projeto de restauração será denominada por Empresa Y.

A estrutura metodológica do trabalho com as etapas da pesquisa está apresentada no fluxograma da Figura 29:



**Figura 29: Fluxograma da metodologia para o desenvolvimento das atividades da pesquisa**  
 Fonte: Autora, 2013.

O referencial bibliográfico foi realizado através de pesquisas em bibliografia especializada, normas, periódicos e estudos referentes ao assunto da pesquisa.

A seleção do trecho rodoviário para a análise foi definido por ser um local da região sul e por apresentar características de solo, materiais e tráfego fornecidas pelas Empresas X e Y. Além de o trecho estar sob restauração rodoviária e a alternativa escolhida ser a reciclagem.

Para o levantamento dos dados entrou-se em contato com a empresa responsável pelos serviços de restauração para buscar todos os dados necessários para a pesquisa.

Os dados referentes ao tráfego do trecho selecionado foram os da coleta existente pela análise dos volumes de tráfego e a sua previsão futura. Com estas informações foi calculado o número N (nº de repetições da carga do eixo padrão de 8,2 t).

Para a avaliação funcional do pavimento levou-se em conta os dados do levantamento visual contínuo, onde foram definidos e anotados os defeitos com vistas a definir o grau de degradação do pavimento para assim poder definir o tipo de restauração a ser executada no pavimento.

A condição estrutural do pavimento foi baseada em dados oriundos de levantamento da condição deflectométrica do pavimento realizado com o emprego do equipamento Viga Benkelman, e do levantamento geotécnico.

Os dados geotécnicos do pavimento foram considerados a partir de levantamentos executados através de sondagens realizados pela Empresa Y, obtendo-se assim as características dos materiais que compõem o pavimento e as espessuras médias das camadas do revestimento, da base e da sub-base do pavimento existente.

De posse dos dados foram calculados os valores necessários de espessura das camadas do pavimento, em função do tráfego e das condições atuais, analisando a necessidade ou não de restauração e/ou reforço do trecho. A partir daí em função do resultado apresentado determinou-se as possíveis intervenções. Para isto foram utilizados dois métodos para dimensionamento com um período de projeto de 10 anos, o método do DNER pelo critério do CBR (Índice de suporte Califórnia), e o método do DNER-PRO 11/79 B.

Em virtude das condições atuais da rodovia e do tráfego previsto para o seu período de projeto, e das necessidades acima estabelecidas foi optado pela

implantação de um projeto que levasse em conta a reciclagem da camada degradada do revestimento incorporada à base existente como componente da nova base a ser executada; e, o revestimento executado com concreto betuminoso usinado a quente sendo o ligante aditivado com borracha reciclada de pneus.

O detalhamento desta técnica partiu do projeto da base reciclada melhorada, a partir do conhecimento das camadas do pavimento existente, com a análise granulométrica e a correção granulométrica com adição de agregados e cimento, sendo realizada pela Empresa X uma pista de teste experimental.

Por fim, foi descrito a técnica utilizada para a implantação desse projeto, descrevendo suas principais etapas construtivas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS

#### 4.1.1 Dados do estudo de tráfego

O trecho analisado é uma importante ligação para o escoamento da produção agropecuária, comercial e industrial, principalmente, agrícola na produção de grãos (soja e milho). O estudo de tráfego foi realizado pela Empresa Y, para se determinar os volumes de tráfego histórico, atual e futuro.

O estudo de tráfego constitui-se da coleta de dados existentes, a avaliação dos dados, os levantamentos de campo, a análise dos volumes de tráfego, a previsão dos volumes de tráfego e o cálculo do número N.

Para o estudo de tráfego do referido trecho foram planejadas e realizadas pesquisas de campo, através de contagens volumétricas classificatórias, por tipo de veículo em períodos de 15 em 15 minutos de duração, em três postos de contagem denominados de P01, P02, P03.

As contagens realizadas foram expandidas para o período de 24 horas e corrigidas quanto á sazonalidade, para a obtenção do Volume Médio Diário - VMD, no ano de contagem.

A previsão de tráfego fornece os volumes de veículos para os diversos anos de interesse do projeto. Admitindo-se como ano base 2013, ano de abertura 2015 e horizonte de projeto 2024, foi realizada assim a projeção do VMD (Volume Médio Diário) do trecho em estudo. Dividiu-se em dois segmentos o referido trecho, desta forma será adotado Segmento 1 e Segmento 2, para o cálculo do número N.

A determinação do número “N” – Número de repetições de eixo padrão de 8,2 tf, necessária para o dimensionamento de uma rodovia, foi feita através da expressão:

$$N = 365 \times F_r \times F_p \times \sum (V_i \times F_i)$$

Onde:

$F_r$  = fator climático regional, adotado conforme as características climáticas da região = 1,0;

$F_p$  = fator de pista, relacionado ao número de faixas da rodovia = 2,  $F_p=0,5$ ;

$V_i$  = número de veículos da categoria “i” (automóveis, caminhões leves, caminhões médios, etc.), obtido a partir do VMD de cada categoria de veículo;

$F_i$  = fator de equivalência de veículos para cada categoria “i”.

Categoria de Veículos				
Automóveis	Ônibus	Caminhão Simples	Caminhão Duplo	Reboque e Semi-reboque
0,000	0,790	1,149	4,767	12,078

**Quadro 13: Fatores de Equivalência de Veículo**  
Fonte: Adaptado da Empresa Y, 2013.

#### 4.1.1.1 Número N para o Segmento 1:

A projeção do tráfego com ano de abertura para 2015 e período de projeto de 10 anos para o segmento 1, é apresentada a seguir:

Projeção do Tráfego						
Ano	Automóveis	Ônibus	Caminhão Simples	Caminhão Duplo	Reboque e Semi-reboque	Total
2015	1097	49	377	78	139	1740
2016	1113	50	394	81	145	1784
2017	1130	51	411	85	152	1829
2018	1147	52	429	89	159	1875
2019	1164	53	448	93	166	1923
2020	1182	54	468	97	173	1973
2021	1200	55	488	101	181	2024
2022	1217	56	510	105	189	2077
2023	1236	57	532	110	198	2132
2024	1254	58	555	115	207	2189

**Quadro 14: Projeção do Tráfego Segmento 1**  
Fonte: Empresa Y, 2013.

A partir das projeções dos volumes médios diários (VMD) de cada categoria de veículo, é possível obter o valor de N, conforme demonstrado a seguir:

Número N						
Ano	Ônibus	Caminhão Simples	Caminhão Duplo	Reboque e Semi-reboque	Anual	Acumulado
2015	49	377	78	139	460.365,56	460.365,56
2016	50	394	81	145	480.744,35	941.109,91
2017	51	411	85	152	502.030,29	1.443.140,20
2018	52	429	89	159	524.263,86	1.967.404,06
2019	53	448	93	166	547.487,33	2.514.891,40
2020	54	468	97	173	571.744,88	3.086.636,28
2021	55	488	101	181	597.082,66	3.683.71894
2022	56	510	105	189	623.548,86	4.307.267,81
2023	57	532	110	198	651.193,86	4.958.461,66
2024	58	555	115	207	680.070,25	5.638.531,91
<b>Número N</b>						<b>5,64E+06</b>

**Quadro 15: Número N Segmento 1**  
Fonte: Empresa Y, 2013.

O valor do Número N de solicitação do tráfego, a ser adotado para fins de projeto para o período de 10 anos para o trecho do Segmento 1, será de  $5,64 \times 10^6$ .

#### 4.1.1.2 Número N para o Segmento 2:

Para o Segmento 2 do trecho selecionado teremos a seguinte projeção do tráfego:

Projeção do Tráfego						
Ano	Automóveis	Ônibus	Caminhão Simples	Caminhão Duplo	Reboque e Semi-reboque	Total
2015	1112	48	383	141	145	1829
2016	1129	49	400	147	152	1876
2017	1146	50	417	154	158	1925
2018	1163	51	436	160	165	1975
2019	1180	52	455	168	173	2027
2020	1198	52	475	175	181	2081
2021	1216	53	496	183	189	2137
2022	1234	54	518	191	197	2194
2023	1253	55	541	199	206	2254
2024	1271	56	564	208	215	2315

**Quadro 16: Projeção do Tráfego Segmento 2**  
Fonte: Empresa Y, 2013.

O valor do número N para o Segmento 2 a partir do Volume Médio Diário (VMD) e das equivalências das categorias de veículos é demonstrado a seguir:

Número N						
Ano	Ônibus	Caminhão Simples	Caminhão Duplo	Reboque e Semi-reboque	Anual	Acumulado
2015	48	383	141	145	529.513,53	529.513,53
2016	49	400	147	152	552.951,81	1.082.465,34
2017	50	417	154	158	577.432,52	1.659.897,86
2018	51	436	160	165	603.002,11	2.262.899,96
2019	52	455	168	173	629.709,11	2.892.609,07
2020	52	475	175	181	657.604,22	3.550.213,29
2021	53	496	183	189	686.740,38	4.236.953,67
2022	54	518	191	197	717.172,92	4.954.126,59
2023	55	541	199	206	748.959,62	5.703.086,21
2024	56	564	208	215	782.160,83	6.485.247,04
<b>Número N</b>					<b>6,49E+06</b>	

**Quadro 17: Número N Segmento 2**  
Fonte: Empresa Y, 2013.

O valor do Número N de solicitação do tráfego, a ser adotado para fins de projeto para o período de 10 anos, para o segmento 2 é de  $6,49 \times 10^6$ .

## **4.1.2 Avaliação funcional**

### **4.1.2.1 Levantamento visual contínuo**

Para a análise da condição do estado da superfície do pavimento foi executado o inventário dos defeitos, o levantamento da irregularidade e o levantamento contínuo com cadastro das áreas com defeitos

Conforme relatório do levantamento visual contínuo apresentado pela Empresa Y (2013), temos:

Conforme o mais recente Inventário do estado da superfície (LVC), no segmento 1, a deterioração do pavimento está mais agravada, pois, além do desgaste acentuado do revestimento com desagregação e perda do ligante, ocorre atualmente trincamentos generalizados e deformações plásticas em áreas localizadas. Foi também constatada uma elevada irregularidade longitudinal (IRI).

No segmento 2, constatou-se que o pavimento apresenta uma grande ocorrência de áreas com trincas transversais, longitudinais, jacarés e afundamentos plásticos localizados. Também aí as medidas de irregularidade (IRI) apresentaram valores elevados.

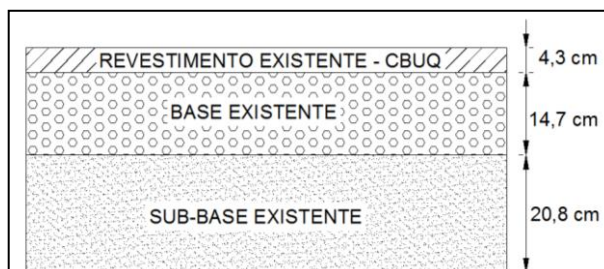
Com o levantamento percebe-se um elevado nível de degradação do pavimento nos dois segmentos, com problemas funcionais, que contribuem para a tomada de decisão. O projeto de restauração não apresenta dados de avaliação funcional objetiva, porém, pela descrição fornecida do levantamento visual contínuo o pavimento apresenta valores de IGG (Índice de Gravidade Global) superiores a 80, que conforme demonstrado no Quadro 7, configura-se a degradação do pavimento com conceitos ruins a péssimos.

## **4.1.3 Avaliação estrutural**

### **4.1.3.1 Levantamento geotécnico**

Para a verificação da estrutura do pavimento existente foram realizados 36 furos de sondagem ao longo da rodovia pela Empresa Y. Foram determinadas as espessuras e o tipo do material das camadas que compõem a estrutura do pavimento existente.

O resultado da sondagem indica que a estrutura do pavimento compõe-se de camada de CBUQ (com espessura média de 4,3 cm), base de brita graduada (espessura média de 14,7 cm), sub-base de macadame seco (espessura média de 20,8 cm), conforme esquema apresentado a seguir:



**Figura 30: Estrutura existente**  
**Fonte: Autora, 2013.**

Com o material coletado da camada do subleito foram realizados os ensaios de caracterização do CBR. O Quadro 18 apresenta os valores de CBR para o material coletado do subleito:

Quilômetro	CBR(%)
10+850	7,0
20+520	14,6
30+920	9,7
42+720	14,0
47+760	9,2

**Quadro 18: Caracterização do solo do subleito**  
**Fonte: Empresa Y, 2013.**

Em função dos dados obtidos no Quadro 18 será considerado que o subleito é constituído de um material com índice de suporte CBR de 8%, sendo um valor de segurança.

#### 4.1.3.2 Levantamento Deflectométrico

O levantamento da condição deflectométrica do pavimento existente foi realizado com o uso de viga Benkelmann, os resultados dos valores das deflexões características para todos os segmentos homogêneos do projeto constam no quadro abaixo:



Segmento	Km	Km	Comp. (m)	Dc (x0,01 mm)
1	2,2	3,2	1000,00	84
2	3,2	5,28	2080,00	112
3	5,28	14,56	9280,00	97
4	14,56	16,56	2000,00	75
5	16,56	17,68	1120,00	119
6	18,68	19,76	1080,00	85
7	19,76	21,12	1360,00	67
8	21,12	25,7	4580,00	60
9	27,46	29,44	1980,00	81
10	29,44	30,16	720,00	123
11	30,16	31,44	1280,00	82
12	31,44	32,88	1440,00	120
13	32,88	33,76	880,00	89
14	33,76	35,04	1280,00	99
15	35,04	39,76	4720,00	98
16	39,76	43,84	4080,00	83
17	43,84	47,36	3520,00	109
18	47,36	47,92	560,00	79
19	47,92	48,48	560,00	102

Quadro 19: Valores de deflexão do pavimento

Fonte: Empresa Y, 2013.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO

Para o dimensionamento do reforço necessário para o novo pavimento foram utilizados dois métodos, o do DNER de resistência (CBR) e o do DNER-PRO 11/79 B.

### 4.2.1 Método do DNER de resistência (CBR)

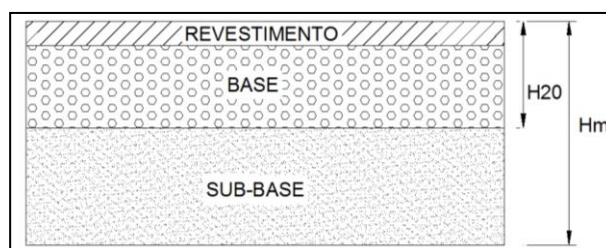
O método do DNER de resistência considera o estudo de tráfego através do número N, e o CBR do subleito, sendo considerado o período de projeto de 10 anos, foram calculados para os dois segmentos isoladamente, a camada necessária de reforço para o trecho.

#### 4.2.1.1 Trecho - Segmento 1

Para o dimensionamento do Segmento 1 serão utilizados os seguintes parâmetros:

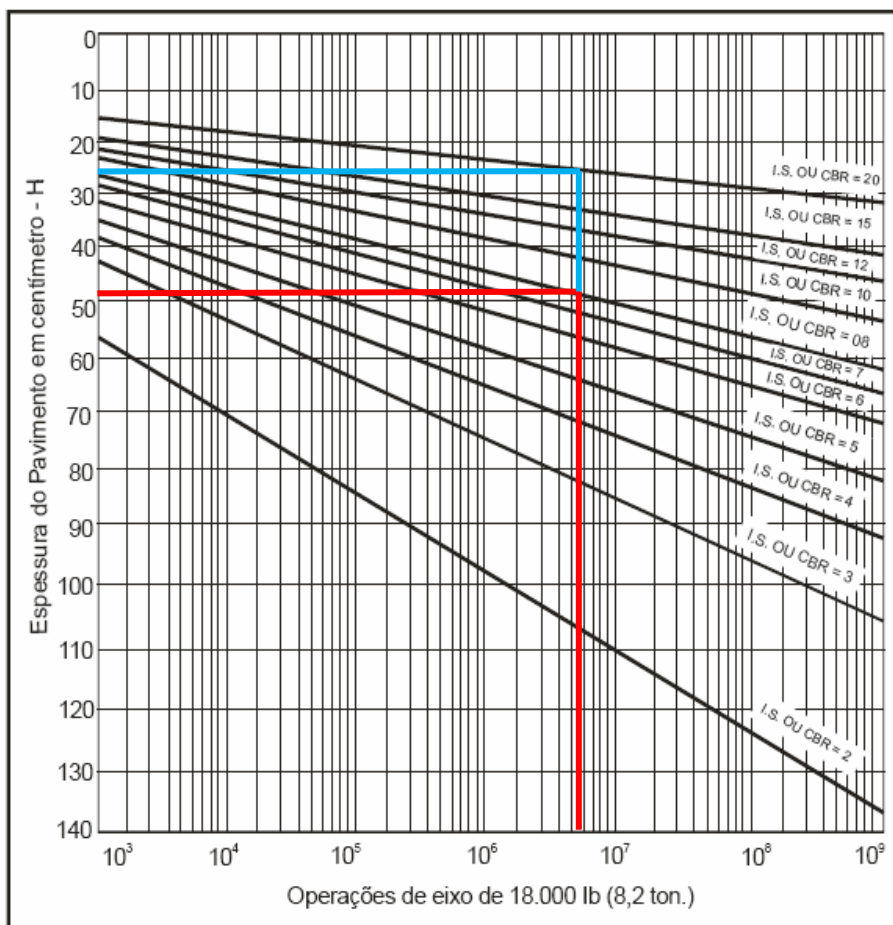
- Período de Projeto = 10 anos;
- $N = 5,64 \times 10^6$  repetições de eixo de 8,2 tf;

- CBR do subleito = 8%;
- Conforme Quadro 10, os coeficientes estruturais serão:
  - $K_r$  = coef.estrutural do revestimento asfáltico = 2,0;
  - $K_b$  = coef.estrutural da base = 1,0;
  - $K_{sb}$  = coef.estrutural da sub-base = 1,0;
- $R$  = espessura mínima de revestimento asfáltico para o tráfego de projeto = 7,5 cm, conforme Quadro 09;
- $B$  = espessura da base;
- $SB$  = espessura da sub-base de Macadame Seco;
- $H_m$  = espessura total de pavimento da seção dimensionada em cm, considerando que todos os materiais constituintes possuem coeficientes estruturais unitários, conforme demonstrado na Figura 31.
- $H_{20}$  = espessura total da base mais o revestimento em cm, assentados sobre a camada da sub-base, considerando coeficientes estruturais unitários, demonstrado na figura abaixo:



**Figura 31: Símbolo representativo das espessuras das camadas**  
**Fonte: Autora, 2013.**

No ábaco de dimensionamento (Figura 32) com número  $N = 5,64 \times 10^6$  na linha da abscissas traça-se uma linha vertical até encontrar a curva de  $CBR=20$ , nessa interseção determina-se a espessura  $H_{20}$  constante na escala da ordenada do ábaco, com o mesmo procedimento busca-se a interseção com a curva de  $CBR=8$  obtendo-se o  $H_m$ , conforme demonstrado na Figura 32 a seguir:



**Figura 32: Âbaco para dimensionamento**  
**Fonte: Adaptado de Senço, 2008.**

Conforme Quadro 09 para  $N=5,64 \times 10^6$  a espessura do revestimento deve ser  $R = 7,5$  cm, juntamente com os respectivos coeficientes estruturais e a partir dos valores obtidos do ábaco acima ( $H_{20} = 26$  cm;  $H_m = 49$  cm), calcula-se a espessura da base necessária, pela seguinte inequação:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$7,5 \times 2 + B \times 1 \geq 26$$

$$B \geq 11 \text{ cm}$$

$$\mathbf{B = 11 \text{ cm}}$$

Conforme item 3.4.3.1 (Figura 30) as camadas do pavimento existente são constituídas de revestimento médio de CBUQ de 4,3 cm e uma base granular média de 14,7 cm, com isso comparando o dimensionamento do revestimento e da base apresentado acima com o existente podemos verificar a necessidade ou não de reforço estrutural conforme demonstrado a seguir:

$$\text{Estrutura existente} = 2 \times 4,3 + 14,7 \times 1 = 23,3 \text{ cm}$$

$$\text{Estrutura calculada} = 2 \times 7,5 + 11 \times 1 = 26 \text{ cm}$$

$$\text{Reforço} = \text{Estrutura calculada} - \text{Estrutura existente}$$

$$\text{Reforço} = 26 - 23,3$$

$$\text{Reforço} = 2,7 \text{ cm}$$

Podemos perceber que para o tráfego futuro que o pavimento novo deverá suportar há a necessidade de um reforço de 2,7 cm conforme demonstrado acima.

Conforme apresentado no ábaco da Figura 32, a espessura  $H_m$  para um CBR=8 e  $N=5,64 \times 10^6$  é de 49 cm. Para a Sub-base, sabendo que a espessura total de pavimento (revestimento; base; sub-base) que deverá existir é de 49 cm para suportar o tráfego estabelecido e para um projeto que considera um revestimento de 7,5 cm de CBUQ e uma base granular de 11 cm, teremos:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_m$$

$$7,5 \times 2 + 11 \times 1 + SB \times 1 \geq 49$$

$$SB \geq 23 \text{ cm}$$

$$SB = 23 \text{ cm}$$

Resumindo teremos inicialmente para o dimensionamento da estrutura do pavimento novo as seguintes espessuras:

**Tabela 1: Dimensionamento da estrutura Segmento 1**

Dimensionamento da Estrutura (cm)							
N	CBR	$H_m$	R	$H_{20}$	$R_{CBUQ}$	B	SB
$5,64 \times 10^6$	8%	49,0	7,5	26,0	7,5	11,0	23,0

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Para esta análise teórica teremos as seguintes considerações:

- Sub-base calculada 23 cm; sub-base existente 20,8 cm;
- Base calculada 11 cm; base existente 14,7 cm;
- Revestimento 7,5 cm; revestimento existente 4,3 cm;

Como a sub-base necessária apresentou espessura maior que a existente o projeto deverá prever uma compensação através da nova base. Por exemplo, poderíamos manter a sub-base com 20,8 cm, e aumentarmos a base, conforme demonstrado a seguir:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_m$$

$$7,5 \times 2 + B \times 1 + 20,8 \times 1 \geq 49$$

$$B \geq 13,2 \text{ cm}$$

$$B = 13,2 \text{ cm}$$

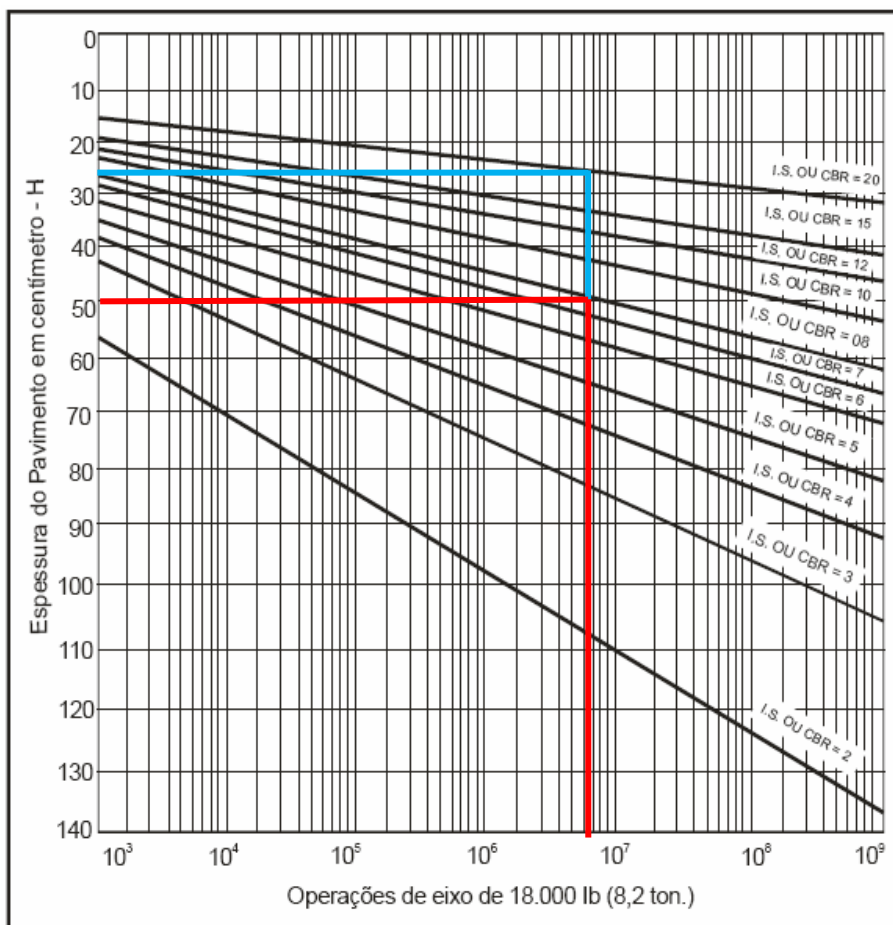
Assim poderíamos manter a Base e a Sub-base existente e modificaríamos apenas o revestimento.

#### 4.2.1.2 Trecho - Segmento 2

Para o dimensionamento do segmento 2 serão utilizados os seguintes parâmetros:

- Período de Projeto = 10 anos;
- $N = 6,49 \times 10^6$  repetições de eixo de 8,2 tf;
- CBR subleito = 8%;
- Conforme Quadro 10, os coeficientes estruturais serão:
  - $K_r$  = coef.estrutural do revestimento asfáltico = 2,0;
  - $K_b$  = coef.estrutural da base = 1,0;
  - $K_{sb}$  = coef.estrutural da sub-base = 1,0;
- $R$  = espessura mínima de revestimento asfáltico para o tráfego de projeto = 7,5 cm (Conforme Quadro 09);
- $B$  = espessura da base;
- $SB$  = espessura da sub-base de Macadame Seco;
- $H_m$  = espessura total de pavimento da seção dimensionada em cm, considerando que todos os materiais constituintes possuem coeficientes estruturais unitários, conforme Figura 31;
- $H_{20}$  = espessura total da base mais o revestimento em cm, assentados sobre a camada da sub-base, considerando coeficientes estruturais unitários (Figura 31).

Inicialmente entramos no ábaco de dimensionamento (Figura 33) com número  $N = 6,49 \times 10^6$  na linha das abscissas traça-se uma linha vertical até encontrar a curva de  $CBR=20$ , onde teremos a espessura  $H_{20}$  obtida na interseção constante na escala da ordenada do ábaco, com o mesmo procedimento e número  $N$  mas com o  $CBR=8$  teremos o  $H_m$ , conforme demonstrado na Figura 33 a seguir:



**Figura 33: Âbaco para dimensionamento**  
**Fonte: Adaptado de Senço, 2008.**

Com o revestimento mínimo de 7,5 cm para  $N=6,49 \times 10^6$ , juntamente com os respectivos coeficientes estruturais e o valor de  $H_{20}$  (espessura da base mais o revestimento), calcula-se a espessura da base necessária conforme demonstrado a seguir:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$7,5 \times 2 + B \times 1 \geq 27$$

$$B \geq 12 \text{ cm}$$

$$\mathbf{B = 12 \text{ cm}}$$

Como podemos verificar (item 3.4.3.1) possuímos no pavimento existente um revestimento médio de CBUQ de 4,3 cm e uma base granular média de 14,7 cm, comparando o dimensionamento do revestimento e da base apresentado acima com o existente podemos verificar a necessidade ou não de reforço estrutural conforme demonstrado a seguir:

$$\text{Estrutura existente} = 2 \times 4,3 + 14,7 \times 1 = 23,3 \text{ cm}$$

$$\text{Estrutura calculada} = 2 \times 7,5 + 12 \times 1 = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Reforço} = \text{Estrutura calculada} - \text{Estrutura existente}$$

$$\text{Reforço} = 27 - 23,3$$

$$\text{Reforço} = 3,7 \text{ cm}$$

Desta forma podemos perceber que para o tráfego futuro o qual o pavimento novo deverá suportar há a necessidade de um reforço equivalente de 3,7 cm, conforme demonstrado acima.

Para a sub-base, sabendo que a espessura total ( $H_m$ ) de pavimento que deverá existir é de 50 cm, conforme apresentado no ábaco da Figura 33, e considerando um revestimento de 7,5 cm de CBUQ e uma base granular de 12 cm, para suportar o tráfego estabelecido, teremos:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_m$$

$$7,5 \times 2 + 12 \times 1 + SB \times 1 \geq 50$$

$$SB \geq 23 \text{ cm}$$

$$SB = 23 \text{ cm}$$

Resumindo teremos inicialmente para o dimensionamento da estrutura do pavimento novo as seguintes espessuras:

**Tabela 2: Dimensionamento da estrutura Segmento 2**

Dimensionamento da Estrutura (cm)							
N	CBR	$H_m$	R	$H_{20}$	$R_{CBUQ}$	B	SB
$6,49 \times 10^6$	8%	50,0	7,5	27,0	7,5	12,0	23

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Para esta análise teórica teremos as seguintes considerações:

- Sub-base calculada 23 cm; sub-base existente 20,8 cm;
- Base calculada 12 cm; base existente 14,7 cm;
- Revestimento 7,5 cm; revestimento existente 4,3 cm;

Como a sub-base necessária apresentou espessura maior que a existente o projeto deverá prever uma compensação através da nova base.

#### 4.2.2 Método do DNER-PRO 11/79B

Para o dimensionamento pelo método do DNER-PRO 11/79B, inicialmente foram calculadas as deflexões de projeto ( $D_p$ ) pela fórmula (DNER-PRO 011/79):

$$D_p = D_c \times F_s$$

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

Dc: deflexão característica obtida no levantamento deflectométrico (0,01 mm);

Fs: Fator de correção sazonal, adotado  $F_s=1,20$ ;

As deflexões admissíveis sobre a camada de reforço do pavimento foram calculadas pela equação:

$$D_{adm} = 10^{3,01-0,176 \times \log N}$$

Onde N é o número de repetições de um eixo padrão de 8,2 t.

E finalmente as espessuras de reforço do pavimento foram calculadas pela expressão:

$$h = Kx \log \frac{D_p}{D_{adm}}$$

onde:

h: espessura do reforço do pavimento em centímetros;

K: fator de redução de deflexão, sendo  $K=40$  para reforço de concreto betuminoso.

Os resultados dos cálculos para cada segmento homogêneo estão apresentados a seguir:

**Tabela 3: Espessura do reforço para cada segmento homogêneo**

N	Segmento	Dc (x0,01 mm)	Dp (x0,01 mm)	Dadm(x0,01 mm)	h (cm)
$5,64 \times 10^6$	1	84	100,8	66,34	7,27
	2	112	134,4	66,34	12,26
	3	97	116,4	66,34	9,76
	4	75	90	66,34	5,29
	5	119	142,8	66,34	13,32
	6	85	102	66,34	7,47
	7	67	80,4	66,34	3,34
	8	60	72	66,34	1,42
	9	81	97,2	66,34	6,63
$6,49 \times 10^6$	10	123	147,6	64,72	14,32
	11	82	98,4	64,72	7,28
	12	120	144	64,72	13,89
	13	89	106,8	64,72	8,70
	14	99	118,8	64,72	10,55
	15	98	117,6	64,72	10,37
	16	83	99,6	64,72	7,49
	17	109	130,8	64,72	12,22
	18	79	94,8	64,72	6,63
	19	102	122,4	64,72	11,07

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

Pode-se perceber pelo dimensionamento do DNER-PRO 11/79 B que leva em consideração as deflexões e o tráfego previsto que em todo o segmento necessita de um reforço estrutural.



### 4.3 SOLUÇÃO PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO

Analisando os dados do dimensionamento pode-se perceber que em comparação com o primeiro método (CBR) o do DNER- PRO 11/79B que considera as deflexões, apresentou espessuras de reforços superiores, demonstrando assim que o pavimento encontra-se em alto grau de degradação, proporcionando deficiência de suporte do pavimento existente.

Conforme item 2.2.2 a restauração de um pavimento pressupõem a execução de serviços que reestabeleçam as condições técnicas originais de projeto. Para a restauração do trecho analisado poderiam ser adotadas as seguintes alternativas de intervenções:

- Uma camada de revestimento superior ao reforço solicitado, com remendos superficiais ou profundos nos locais necessários;
- Remoção do pavimento existente e a implantação de uma nova estrutura;
- Reutilização dos materiais das camadas existentes para a implantação de uma nova camada.

A partir do tráfego de projeto, da evolução do estado de degradação do pavimento e os valores elevados das deflexões medidas para os segmentos, foi adotado a solução de restauração do pavimento, executando base reciclada (base existente + revestimento existente), e um revestimento novo de asfalto borracha.

Pelo dimensionamento pelos métodos do DNER de resistência (CBR) e do DNER-PRO 11/79B pode-se perceber que a camada existente de pavimento não suportará o tráfego futuro, sendo assim necessário camada de reforço estrutural.

Em razão de tratar-se da implantação de uma nova camada granular de base reciclada, o dimensionamento do pavimento será feito pelo método do DNER de resistência (CBR) que leva em conta a análise do subleito e pode-se utilizar a camada de sub-base existente sem alteração de material e espessura. A partir disso será implantada uma nova base e revestimento conforme materiais especificados. Analisando os resultados da aplicação do método do DNER de resistência (CBR) observa-se que as dimensões das camadas necessárias apresenta grande similaridade por isso será adotado para efeito de dimensionamento do trecho todo, os dados fornecidos pelo Segmento 2 onde obtêm-se o maior valor de  $N (6,49 \times 10^6)$ .

Com os dados do ábaco (Figura 33) e com os coeficientes estruturais das camadas de revestimento asfáltico ( $K_R = 2$ ) e de base granular reciclada ( $K_B = 1$ ),

considerando a espessura do revestimento de 7,5 cm para um  $N=6,49 \times 10^6$ , podemos calcular a espessura da nova base:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$7,5 \times 2 + B \times 1 \geq 27$$

$$B \geq 12 \text{ cm}$$

$$\mathbf{B = 12 \text{ cm}}$$

Como a espessura da nova base reciclada será composta pela base necessária existente ( $e=12$  cm) mais o revestimento existente ( $e=4,3$  cm), a base total reciclada será:

$$B = 12 + 4,3$$

$$\mathbf{B = 16,3 \text{ cm}}$$

Para a Sub-base, sabendo que a espessura total de pavimento que deverá existir é de 50 cm para suportar o tráfego estabelecido e que a nova base reciclada para facilitar a execução será de 16 cm, teremos:

$$R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_m$$

$$7,5 \times 2 + 16 \times 1 + SB \times 1 \geq 50$$

$$SB \geq 19 \text{ cm}$$

$$\mathbf{SB = 19 \text{ cm}}$$

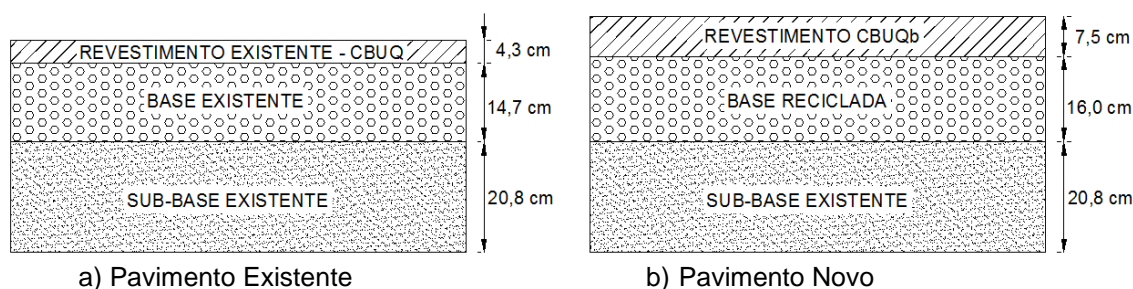
A condição da Sub-base segundo o dimensionamento deve ser maior ou igual a 19 cm, como a sub-base existente apresenta 20,8 cm à condição é atendida.

Conforme, Tabela 4 e desenho esquemático a espessura das camadas do pavimento a ser executado deve ser:

**Tabela 4: Estrutura adotada**

Estrutura Adotada (cm)	
Revestimento (CBUQ) (cm)	Base Reciclada (cm)
7,5	16,0

Fonte: Autoria Própria, 2013.



a) Pavimento Existente

b) Pavimento Novo

**Figura 34: Esquema do pavimento existente e do novo pavimento**

Fonte: Autoria Própria, 2013.

A camada de base será executada em material granular reciclado e para fins de dosagem da mistura, a granulometria deverá enquadrar-se na Faixa II, conforme demonstrada a seguir:

<b>Peneira</b>	<b>Faixa II (% em peso passando)</b>
<b>2"</b>	100
<b>1"</b>	75-90
<b>3/8"</b>	40-75
<b>4</b>	30-60
<b>10</b>	20-45
<b>40</b>	15-30
<b>200</b>	5-15

**Quadro 20: Faixa Granulométrica**  
**Fonte: Adaptado de Empresa Y, 2013.**

A reciclagem da base mais o revestimento, com adição de 1% a 3,0% de cimento e 10% a 20% de agregados novos, produzirá uma nova camada de base granular. Sobre a base reciclada, será aplicado um TSS (Tratamento Superficial Simples) com a função de proteção e de permitir a liberação do tráfego. A camada de revestimento será de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) modificado com borracha (CBUQ Borracha).

#### **4.4 PROJETO DA CAMADA DE BASE RECICLADA**

A base restaurada consiste da mistura da base granular existente com o material fresado da camada de revestimento (reciclagem do pavimento flexível). Para o estudo e conhecimento das camadas que compõem o pavimento existente foram abertas cinco janelas para coleta e inspeção. Com este material foi realizada a análise granulométrica baseado na Faixa "II" DEINFRA, demonstrada no Quadro 20.

Conforme média das análises granulométricas (ANEXO A) das coletas do revestimento e da base existente usada para a reciclagem pode-se perceber que está ficou entre os limites da faixa pré-estabelecida, mas devido à descontinuidade na graduação, prevendo possíveis quebras na compactação do material graúdo (proveniente da capa asfáltica), houve a necessidade de incorporação de agregado pétreo para correção granulométrica.

Para a devida correção granulométrica da base reciclada foi feita a análise granulométrica individual do material Brita 1"1/2, Pedrisco e Cimento Portland. A adição de cimento ajudou também na distribuição da curva da mistura granulométrica. Foram então determinadas misturas com diferentes teores de

cimento. Conforme demonstrado no ANEXO B, foram utilizadas três amostras de cada material e determinado a média.

Foi realizada a análise granulométrica dos agregados para a composição da mistura, usando as médias granulométricas dos materiais individuais e da mistura do revestimento e da base reciclada. Conforme o apresentado no ANEXO C, podemos perceber que foram analisadas porcentagens diferentes de cimento variando de 2,0%, 2,5% e 3,0%. Composto misturas com valores fixos de Brita 1"1/2 (14%) e de Pedrisco (5,0%), e com a variação do cimento ocorre a proporcionalidade de variação do fresado mais base em 79,0%, 78,5%, 78,0%.

A partir da curva granulométrica da mistura com diferentes teores de cimento observa-se que houve uma melhora na granulometria da reciclagem, com a homogeneidade dos materiais. Para ser possível chegar-se no índice ideal de cimento na mistura, foram moldados corpos de prova para determinação da densidade seca máxima e umidade ótima em teores de cimento de 2,0%, 2,5% e 3,0%. Realizando ensaios de compactação, para os diferentes teores de cimento (ANEXO D). Após definido as umidades ótimas com teores de cimento de 2,0%, 2,5% e 3,0% foram moldados lotes de corpos de prova em cilindros 10x20cm, 15x30cm, para rompimentos em compressão simples após três, sete e vinte e oito dias.

Foram moldados corpos de prova em cilindros Marshall para rompimento por tração diametral após sete dias. Também foram moldados corpos de prova prismáticos com rompimento previsto para 28 dias.



**Figura 35: Moldagem dos corpos de prova.**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**



**Figura 36: Rompimento dos corpos de prova**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**

Conforme ensaio realizado de compressão simples dos corpos de prova e rompimento por tração diametral, dos diferentes teores de cimento, após 07(sete) dias de cura, obtivemos os resultados para comparativo da pista de teste experimental proposta. Logo, pela dosagem de cimento efetuada em laboratório, chegamos a seguinte determinação da quantidade de cimento:

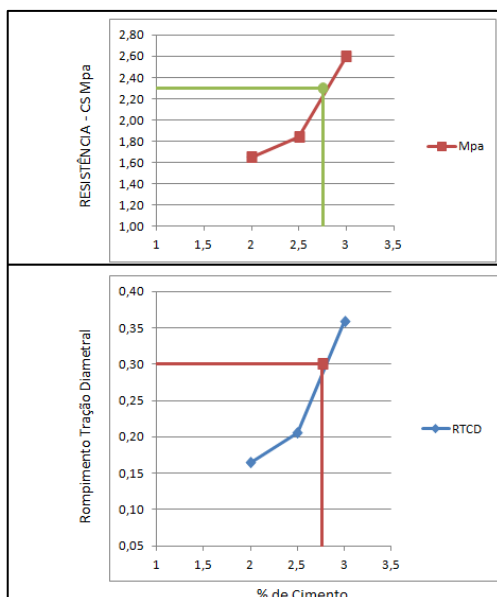
<b>Determinação da Quantidade de Cimento</b>		
<b>% Cimento</b>	<b>Mpa</b>	<b>RTCD</b>
<b>2</b>	1,65	0,16
<b>2,5</b>	1,84	0,21
<b>3</b>	2,60	0,36

**Quadro 21: Compressão simples e rompimento por tração diametral**  
**Fonte: Empresa X.**

Sabendo que a resistência à compressão da base deverá estar entre os limites mínimos de 2,1 Mpa e 0,25 RTCD e máximos de 2,5 Mpa e 0,35 RTCD, por interpolação foi adotado as porcentagens de cimento correspondentes. Com as médias das porcentagens de cimento em Mpa e RTCD, obteve-se o teor adotado de cimento de 2,8%, como podemos observar no Quadro 22.

<b>Determinação da Quantidade de Cimento</b>				
<b>% Cimento</b>	<b>Mpa</b>	<b>%Cimento</b>	<b>RTCD</b>	<b>%Cimento</b>
<b>Mínimo</b>	2,1	2,57	0,25	2,53
<b>Máximo</b>	2,5	2,94	0,35	2,99
<b>Médias</b>		2,75		2,76
<b>Teor médio de cimento (%)</b>			<b>2,76</b>	
<b>Teor adotado de cimento</b>			<b>2,8 %</b>	

**Quadro 22: Determinação da Quantidade de cimento**  
**Fonte: Empresa X.**



**Figura 37: Gráficos demonstrando a Resistência à compressão e tração com 2,8 % de cimento**

Fonte: Empresa X.

Na pista de teste experimental foram realizados ensaios para a verificação de distribuição das taxas de agregado e de cimento, conforme mostrado abaixo:



**Figura 38: Calibração da taxa de agregado e cimento**

Fonte: Empresa X.

Foram realizadas medições das deflexões com o uso do equipamento Viga Benkelman, no pavimento existente antes da reciclagem, após compactação, após 1 dia, após 3 dias, após 7 dias, após 14 dias.



**Figura 39: Deflexões Viga Benkelman**

Fonte: Empresa X, 2013.

Com a análise das deflexões pode-se perceber uma redução significativa nos valores de deflexões, demonstrando a melhora estrutural da base e atendendo as especificações do projeto.

Deflexões na base reciclada						
Posição	Primitivo	No dia	Após 1 dia	Após 3 dias	Após 7 dias	Após 14 dias
1	88	66	62	58	46	42
2		70	66	62	44	40
3		60	60	58	50	44
4		68	64	58	48	42
5	74	64	64	62	44	40
6		70	66	60	36	32
7		60	52	48	40	36
8		62	58	52	46	42
9	80	66	62	56	46	44
10		60	60	58	40	36
11		66	62	56	38	36
12		66	64	58	34	30
13	68	60	58	54	38	34
14		56	56	56	32	26
15		58	52	48	28	26
16		62	56	52	38	34
17	66	54	52	50	32	28
18		52	52	48	36	32
19		58	54	50	40	36
20		54	54	52	44	40
21	64	60	56	54	26	22

Quadro 23: Resultados das deflexões na base reciclada

Fonte: Adaptado de Empresa X.

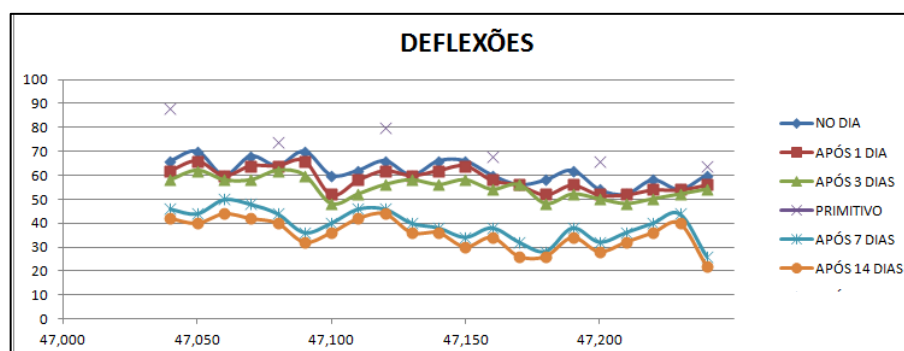


Figura 40: Gráfico das Deflexões - Viga Benkelman

Fonte: Empresa X, 2013.

Conforme resultado de teor de cimento ideal de 2,8%, chegou-se finalmente a curva granulométrica da mistura a partir da faixa de trabalho, realizou-se também o ensaio de compactação, para a determinação da umidade ótima e densidade máxima seca (ANEXO E).

A reciclagem de base, (base brita graduada + capa CBUQ), executada na obra corresponde a uma espessura de 16 cm de camada, tendo incorporação na



ordem de 19% de brita 1 1/2" mais pedrisco e 2,8% com adição de cimento Portland. A reciclagem segue a especificação vigente e os resultados encontrados atendem ao esperado. As características mecânicas testadas em laboratório e no local foram:

- Rompimento compressão simples sete dias: 2,28 Mpa;
- Rompimento tração diametral sete dias: 0,30 Mpa;
- Grau de compactação: > que 98%;
- Deflexões conformes.



Figura 41: Cura e rompimento dos corpos de prova  
Fonte: Empresa X, 2013.

#### 4.5 MÉTODO EXECUTIVO DA RECICLAGEM DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

A execução da reciclagem a frio *in situ* do pavimento flexível existente inicia-se com a distribuição do agregado novo na taxa pré-estabelecida de 76 Kg/m<sup>2</sup>, que corresponde a 19% do peso na espessura de 16 cm, para correção granulométrica da base reciclada. O caminhão basculante carregado com agregado é conectado ao distribuidor de agregado que distribui o material uniformemente no pavimento a ser reciclado, conforme Figura 42 a.

Na sequência foi realizada a distribuição do Cimento Portland na taxa de 14,76 Kg/m<sup>2</sup>, ou seja, 2,8 % do peso na base reciclada de 16 cm, para correção da resistência da base do pavimento reciclado, com caminhão dotado de uma barra distribuidora de cimento, conforme Figura 42 b.

O controle das taxas de agregado e de cimento distribuídos na pista foi verificado com o auxílio de uma bandeja metálica.





a) Espalhamento do agregado

b) Espalhamento do cimento

**Figura 42: Espalhamento do Agregado e do Cimento**

Fonte: Empresa X, 2013.

Com a distribuição do agregado e do cimento na pista, a reciclagem do pavimento flexível a frio in loco, ocorre com o corte da base mais o revestimento na espessura estabelecida de 16 cm com a máquina recicladora da marca Caterpillar RM 350, reciclando a uma velocidade de 6 a 8 mts/min em operação. Acoplada a recicladora um caminhão pipa fornece água para a mistura na quantidade 6,2%, de umidade. A água deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. Assim ocorre a mistura do pavimento existente com o agregado e o cimento Portland, e a devida reposição na pista, pela própria máquina recicladora, conforme Figura 43.

**Figura 43: Reciclagem do pavimento**

Fonte: Empresa X, 2013.

Após a reciclagem é feita a compactação da base do pavimento reciclado com quatro rolos vibratórios corrugados (“pé de carneiro”) com três passadas individuais, ida e volta, totalizando doze fechadas no total. Tomou-se o cuidado para que os rolos compactassem logo após a reciclagem para que a umidade na mistura não evaporasse o que poderia prejudicar a qualidade da reciclagem.



**Figura 44: Compactação**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**

Posteriormente a compactação inicial da base reciclada, foi executado o acabamento com a conformação da geometria da pista com o uso de motoniveladora e a compactação final da base com rolo de pneu em três passadas e o chapa liso com duas fechadas.



**Figura 45: Acabamento com motoniveladora e compactação final da base**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**

Para complemento do pavimento sobre a base reciclada foi aplicado uma camada de tratamento superficial simples (TSS) com finalidade de proteção, sendo possível a liberação do tráfego até que o revestimento asfáltico fosse executado, e auxilia na anti-reflexão da camada reciclada.

Para o TSS foi executado uma pintura de ligação com emulsão polimerizada RR-2C aplicada com o uso de um caminhão espargidor na quantidade de  $1,4 \text{ lt/m}^2$ , na sequência foram distribuídos  $8 \text{ Kg/m}^2$  de agregado pétreo com caminhão distribuidor de agregado, e para finalizar o tratamento foi executado a compactação com o uso de rolo de pneu e rolo liso. Após aplicou-se uma camada de massa fina com CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) com adição de borracha, cuja finalidade é de camada anti-reflexão, conforme demonstrado nas fotos da Figura 46.



**Figura 46: Execução da camada anti-reflexão**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**

Para finalizar a restauração do pavimento foi executado o revestimento de CBUQ com borracha, aplicada em duas camadas, com espessura total de 7,5 cm. Sendo que para promover aderência entre as camadas foi aplicado um banho de ligação com emulsão com polímero, conforme Figura 47.

As misturas asfálticas modificadas com borracha de pneus reciclados apresentam benefícios importantes para o desempenho e durabilidade dos revestimentos asfálticos, tais como:

- Redução do envelhecimento por oxidação do asfalto;
- Aumento da flexibilidade comparativamente aos ligantes convencionais;
- Maior resistência a propagação de trincas e as formações de trilhas de rodas;
- Redução da susceptibilidade térmica;
- Melhor adesividade aos agregados;
- Aumento da vida útil do pavimento.



**Figura 47: Execução da 1ª camada de CBUQ com borracha**  
**Fonte: Empresa X, 2013.**

## 5. CONCLUSÃO

O termo reciclagem vem sendo usado nos últimos anos em diversas áreas de produção, pois o processo de reaproveitamento de materiais que anteriormente seriam descartados e na maioria das vezes se torna um 'lixo' não desejável é visto com bons olhos por órgãos governamentais e principalmente ambientalistas (Costa e Pinto, 2011).

A análise de um projeto de restauração inicia-se com a caracterização do trecho, desde a obtenção de dados do tráfego existente e futuro, da condição estrutural e funcional, além de conhecer as camadas que compõem o pavimento, o que possibilita o dimensionamento dos reforços equivalentes necessários para suportar o tráfego previsto, mantendo a segurança e o conforto dos usuários. Assim é possível se ter uma percepção generalizada das soluções para a restauração.

A espessura das camadas necessárias para suportar o tráfego durante o período de projeto, demonstrou que o material existente (base + revestimento) seria suficiente para a execução da base reciclada.

A análise granulométrica dos materiais para a base indicaram uma curva granulométrica que necessitou ser corrigida com agregado novo e cimento, para o enquadramento do material em uma granulometria especificada.

O método empregado de reciclagem de pavimento *in situ*, levou em conta o espalhamento sobre a superfície do agregado novo e do cimento em uma taxa pré-estabelecida, e a fresagem simultânea da base, do revestimento degradado e dos novos materiais além do ajuste da umidade necessária para a compactação. Foi executada a compactação com rolos vibratórios e o ajuste do greide com a motoniveladora. O tratamento superficial simples (TSS) foi executado para a liberação do trânsito e proteção da base reciclada, juntamente com a camada de massa fina como anti-reflexão, e para finalizar o processo de restauração do trecho analisado foi executado a camada de revestimento com asfalto borracha.

A restauração pela solução de reciclagem a frio *in situ* de pavimento flexível servindo como base para revestimento traz benefícios visíveis devido ao reaproveitamento das camadas de materiais existentes para a construção de um novo pavimento. Evita a exploração excessiva de jazidas minerais e a energia utilizada para a fabricação de novos materiais para a construção de novas camadas sem reaproveitamento, elimina o depósito e a contaminação devido a retirada de

materiais do pavimento, gerando vantagens ambientais podendo ser economicamente viável.

A técnica da reciclagem do pavimento diminui gastos com transporte de novos materiais, além da menor deterioração das estradas. A possibilidade de liberar o tráfego em um tempo menor durante os serviços reduz os prazos de execução da obra. Garantindo desta forma a redução dos custos em relação à restauração convencional.

Apesar de ser uma técnica nova de restauração esta sendo difundida e muito utilizada principalmente onde a deterioração do pavimento existente não suporta uma nova camada de concreto asfáltico devido a problemas estruturais.

A desvantagem encontrada na execução dos serviços de reciclagem é a falta de mão de obra especializada para o serviço, e a dificuldade de encontrar máquinas especializadas além do elevado preço destas.

## 6. PESQUISAS FUTURAS

- Analisar o comportamento do pavimento após o período estipulado de projeto, pelas avaliações funcionais e estruturais.
- Desempenho da restauração de reciclagem de pavimento flexível durante o período de projeto estipulado.
- Análise econômica do comparativo da restauração do pavimento pela reciclagem e a de uma camada de CBUQ convencional.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7207 – Terminologia e classificação de Pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo, 2007.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica. Rio de Janeiro, 2008.

BONFIM, VALMIR, Fresagem de Pavimentos Asfálticos, 2 ed., São Paulo, Fazendo Arte Editorial, 2001.

CNT: SEST: SENAT. Pesquisa CNT de rodovias 2012: relatório gerencial. – Brasília, 2012.

COSTA, C.; PINTO, S. O uso de Reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil. 2011.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, Conservação, Restauração e melhoramentos, DNER-TER 02-79. Rio de Janeiro, 1979.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman, DNER-ME 024-94. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, Aferição de viga Benkelman, DNER-PRO 175/94. Rio de Janeiro, 1994.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. Avaliação Estrutural dos pavimentos flexíveis, DNER - PRO 011/1979-B. Rio de Janeiro. 1979.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas, DNER - ME 129/94. Rio de Janeiro. 1994.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas, DNER - ME 049/94. Rio de Janeiro. 1994.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, DNIT 009/2003 - PRO. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, DNIT 006/2003 - PRO. Rio de Janeiro. 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, DNIT 005/2003 - TER. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Levantamento visual contínuo para a avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, DNIT 008/2003 - PRO. Rio de Janeiro. 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de pavimentação. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de conservação rodoviária. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de estudo de tráfego. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Materiais, misturas asfáticas e reciclagem de revestimentos – Manual do Aluno. Vol.1. Rio de Janeiro, 2009.

FOLHA DE SÃO PAULO. Carga Pesada – Treminhões levam excesso de peso e podem tombar. Ribeirão Preto, 2009. Disponível em:



<<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/ri0908200910.htm>> Acesso em: 31/08/2013.

FONSECA, P. RECICLAGEM DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS. RECIPAV – Engenharia e Pavimentos, Ltda., 2009. Disponível em: <<http://www.recipav.pt>>. Acesso em: 17/07/2013.

GONÇALVES, F. J. P. Diagnóstico e manutenção de pavimentos: ferramentas auxiliares. Passo Fundo: Ed. Universidade, 2007.

JORGE, A.P.C.; JORGE, B.S.; LAURA, M. G. M.; LIEDI, B.B. Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, 2008.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT- Plano Nacional de Logística e Transportes. Brasília, 2012.

MOMM, L.; DOMINGUES, F.A.A. - “Reciclagem de Pavimentos à Frio *in situ* Superficial e Profunda”. In: Reunião Anual de Pavimentação, 29a, Cuiabá, 1995.

PETROBRAS. Asfalto Borracha. Rio de Janeiro, 2013: Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/autoborracha>>. Acesso em: 15/08/2013.

PINTO, S. - “Tópicos Especiais em Mecânica dos Pavimentos”, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1989.

RODRIGUES, R. M. Engenharia de pavimentos. Parte II. Gerência de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 2007.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. 2. ed. v. I. São Paulo: Pini, 2008.

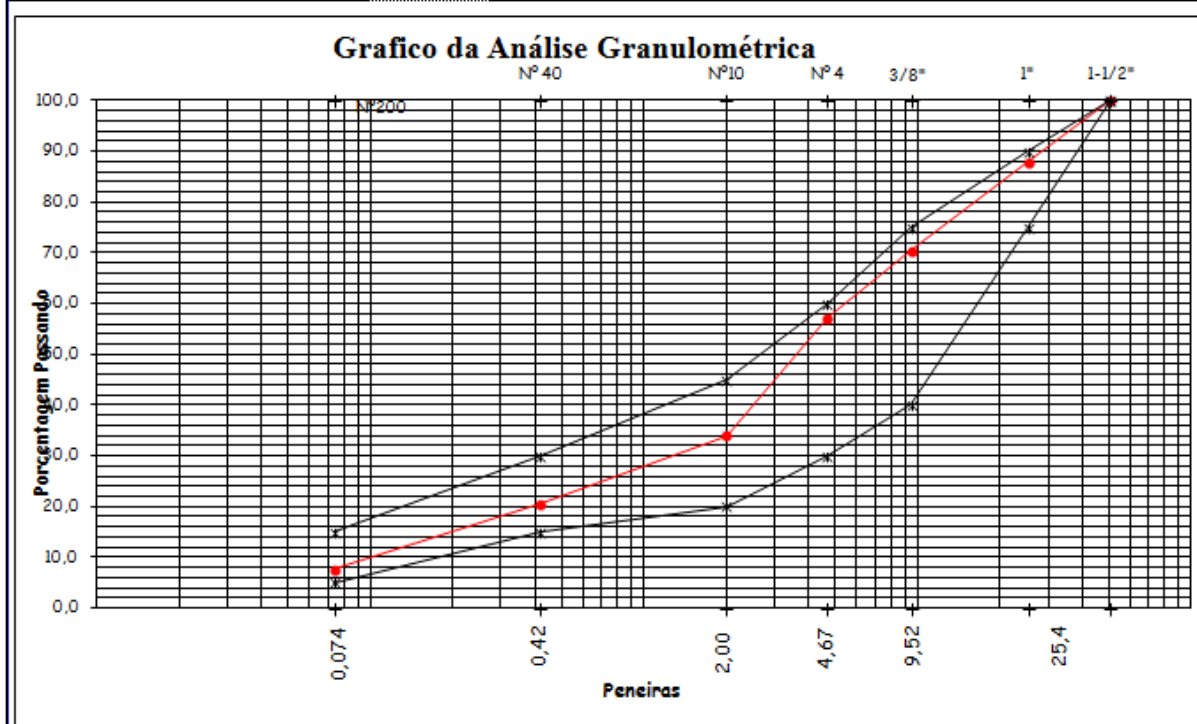
SILVA, E.L.; MENEZES, M.E. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TROMBETTA, J. Subsídios para a tomada de decisão na gestão da infraestrutura viária urbana: aplicação nos pavimentos asfálticos no município de Pato Branco – PR. Passo Fundo, 2010.

WIRTGEN. Catálogos sobre reciclagem de revestimento. São Paulo, 2007.

**ANEXO A** – Média das análises granulométricas das amostras de revestimento e base existentes.

Peneira	mm	Peso ret. Ac.	% RET	Peso da Amostra (g)= 5.988,4	
				% Passando	FAIXA "II" DEINFRA
				100,0	a 100,0
2"	50,80			100,0	a 100,0
1"	25,40	725,7	12,1	87,9	a 90,0
3/8"	9,52	1.766,6	29,5	70,5	a 75,0
4	4,67	2.563,1	42,8	57,2	a 60,0
10	2,00	3.958,3	66,1	33,9	a 45,0
40	0,42	4.760,8	79,5	20,5	a 30,0
200	0,074	5.533,3	92,4	7,6	a 15,0



Fonte: Empresa X.

**ANEXO B** – Análises Granulométricas Individuais do material Brita 1" 1/2,  
Pedrisco e Cimento.

Material: BRITA 1"1/2							
		<b>10/02/2013</b>				<b>10/02/2013</b>	
Peso da Amostra (g):		4768,9		Peso da Amostra (g):		5432,1	
Peneira	Peso	% Retido	Passando	Peneira	Peso	% Retido	Passando
2"			100,0	2"			100,0
11/2"			100,0	11/2"			100,0
1"	1.921,3	40,3	59,7	1"	2.123,1	39,1	60,9
3/8"	4.530,4	95,0	5,0	3/8"	5.225,6	96,2	3,8
4	4.654,4	97,6	2,4	4	5.328,8	98,1	1,9
10	4.721,2	99,0	1,0	10	5.383,2	99,1	0,9
40				40			
200				200			
		<b>10/02/2013</b>				<b>MÉDIA</b>	
Peso da Amostra (g):		4356,7		Peso da Amostra (g):			
Peneira	Peso	% Retido	Passando	Peneira	Peso	% Retido	Passando
2"			100,0	2"			100,0
11/2"			100,0	11/2"			100,0
1"	1.765,2	40,5	59,5	1"			60,0
3/8"	4.182,4	96,0	4,0	3/8"			4,3
4	4.334,9	99,5	0,5	4			1,6
10	4.339,0	99,6	0,4	10			0,8
40				40			
200				200			
Registro de ensaio:				Registro de ensaio:			

Fonte: Empresa X.

Material: PEDRISCO									
		<b>10/02/2013</b>					<b>10/02/2013</b>		
Peso da Amostra (g):		2536,6			Peso da Amostra (g):		2811,1		
Peneira	Peso	% Retido	Passando		Peneira	Peso	% Retido	Passando	
2"			100,0		2"			100,0	
11/2"			100,0		11/2"			100,0	
1"			100,0		1"			100,0	
3/8"			100,0		3/8"			100,0	
4	2.158,6	85,1	14,9		4	2.369,8	84,3	15,7	
10	2.483,3	97,9	2,1		10	2.760,5	98,2	1,8	
40	2.511,2	99,0	1,0		40	2.805,5	99,8	0,2	
200	2.534,1	99,9	0,1		200	2.808,0	99,9	0,1	
		<b>10/02/2013</b>					<b>MÉDIA</b>		
Peso da Amostra (g):		2457,4			Peso da Amostra (g):				
Peneira	Peso	% Retido	Passando		Peneira	Peso	% Retido	Passando	
2"			100,0		2"			100,0	
11/2"			100,0		11/2"			100,0	
1"			100,0		1"			100,0	
3/8"			100,0		3/8"			100,0	
4	2.116,3	86,1	13,9		4			14,8	
10	2.425,5	98,7	1,3		10			1,7	
40	2.432,8	99,0	1,0		40			0,7	
200	2.435,3	99,1	0,9		200			0,4	
Registro de ensaio:					Registro de ensaio:				

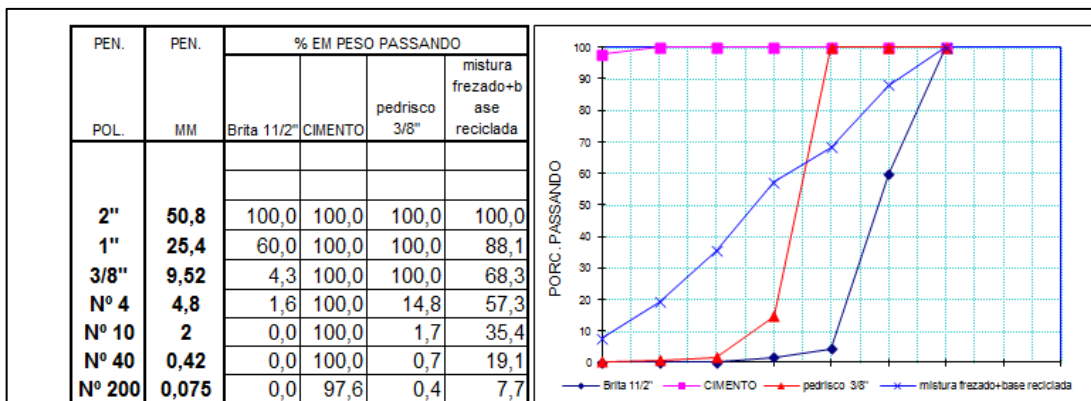
Fonte: Empresa X.

Material: Cimento - Portland							
		<b>10/02/2013</b>				<b>10/02/2013</b>	
Peso da Amostra (g):		647,8		Peso da Amostra (g):		597,5	
Peneira	Peso	% Retido	Passando	Peneira	Peso	% Retido	Passando
2"			100,0	2"			100,0
11/2"			100,0	11/2"			100,0
1"			100,0	1"			100,0
3/8"			100,0	3/8"			100,0
4			100,0	4			100,0
10			100,0	10			100,0
40			100,0	40			100,0
200	13,4	2,1	97,9	200	14,6	2,4	97,6
Registro de ensaio:				Registro de ensaio:			
		<b>10/02/2013</b>				<b>MÉDIA</b>	
Peso da Amostra (g):		634,2		Peso da Amostra (g):		712,1	
Peneira	Peso	% Retido	Passando	Peneira	Peso	% Retido	Passando
2"			100,0	2"			100,0
11/2"			100,0	11/2"			100,0
1"			100,0	1"			100,0
3/8"			100,0	3/8"			100,0
4			100,0	4			100,0
10			100,0	10			100,0
40			100,0	40			100,0
200	16,1	2,5	97,5	200			97,6
Registro de ensaio:				Registro de ensaio:			

Fonte: Empresa X.

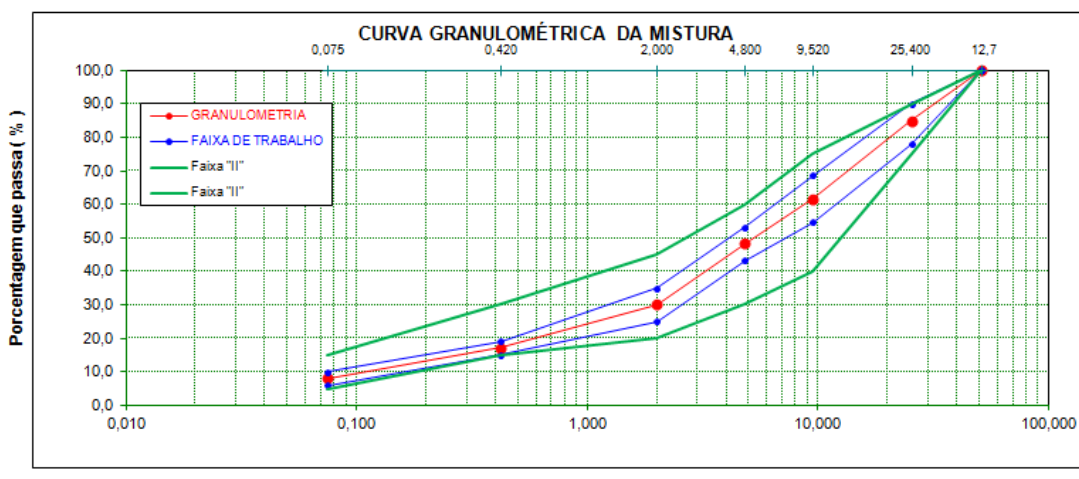
**ANEXO C – Granulometrias dos agregados para composição da mistura.**



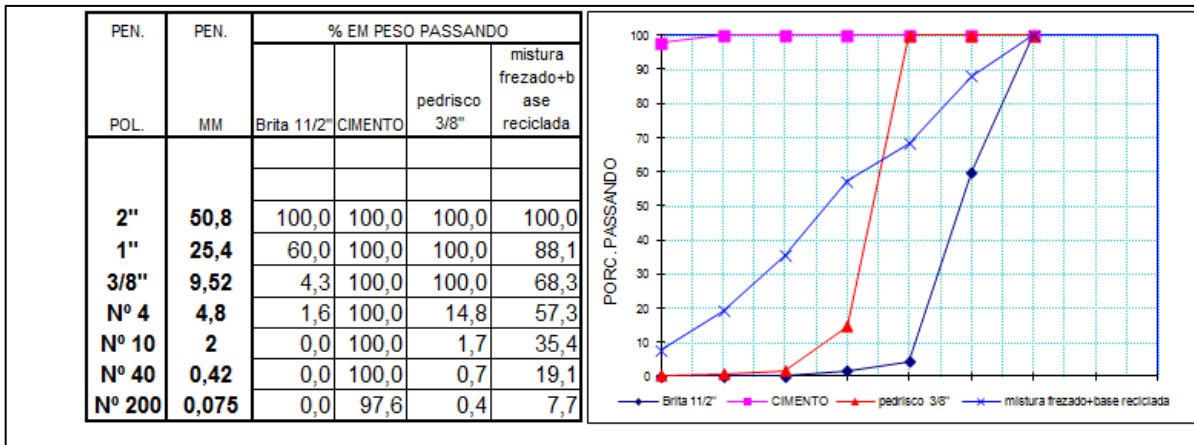


GRANULOMETRIA DA MISTURA

PEN.	PEN.	% EM PESO PASSANDO				Projeto	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO	
		Brita 11/2"	CIMENTO	pedrisco 3/8"	mistura frezado+base reciclada				Faixa "II"	
POL.	MM	%	%	%	%	%	-	-	-	-
-	-	14,0	2,0	5,0	79,0	100,0	-	-	-	-
2"	50,800	14,0	2,0	5,0	79,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	25,400	8,4	2,0	5,0	69,6	85,0	78,0	90,0	75,0	90,0
3/8"	9,520	0,6	2,0	5,0	54,0	61,6	54,6	68,6	40,0	75,0
Nº 4	4,800	0,2	2,0	0,7	45,3	48,2	43,2	53,2	30,0	60,0
Nº 10	2,000	0,0	2,0	0,1	28,0	30,1	25,1	35,1	20,0	45,0
Nº 40	0,420	0,0	2,0	0,0	15,1	17,1	15,1	19,1	15,0	30,0
Nº 200	0,075	0,0	2,0	0,0	6,1	8,1	6,1	10,1	5,0	15,0

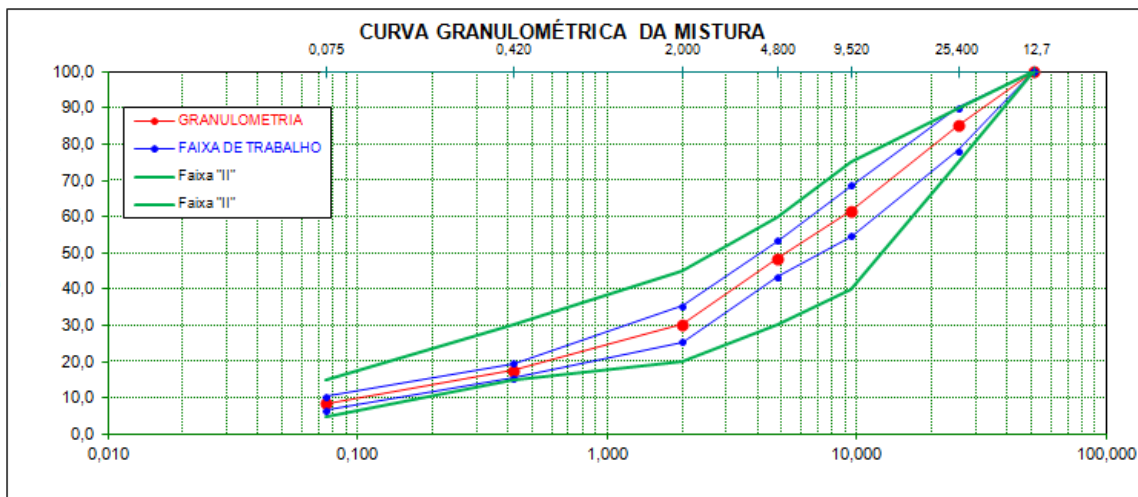


Fonte: Empresa X.

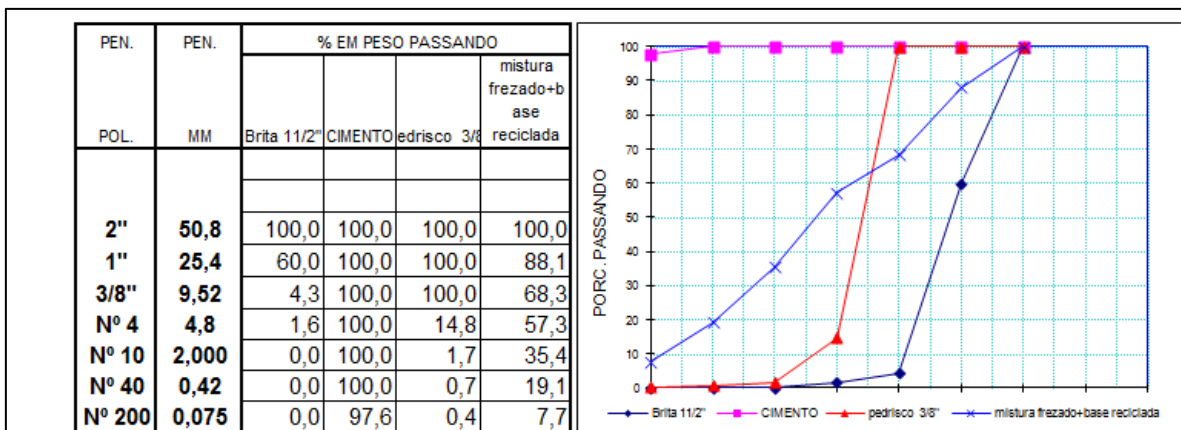


GRANULOMETRIA DA MISTURA

PEN.	PEN.	% EM PESO PASSANDO				Projeto	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO		
		Brita 11/2"	CIMENTO	pedrisco 3/8"	frezado+base		-	-	-	-	
POL.	MM	%	%	%	%	%	-	-	-	-	
-	-	14,0	2,5	5,0	78,5	100,0	-	-	-	-	
2"	50,800	14,0	2,5	5,0	78,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	7
1"	25,400	8,4	2,5	5,0	69,2	85,1	78,1	90,0	75,0	90,0	7
3/8"	9,520	0,6	2,5	5,0	53,6	61,7	54,7	68,7	40,0	75,0	7
Nº 4	4,800	0,2	2,5	0,7	45,0	48,4	43,4	53,4	30,0	60,0	5
Nº 10	2,000	0,0	2,5	0,1	27,8	30,4	25,4	35,4	20,0	45,0	5
Nº 40	0,420	0,0	2,5	0,0	15,0	17,5	15,5	19,5	15,0	30,0	2
Nº 200	0,075	0,0	2,4	0,0	6,0	8,5	6,5	10,5	5,0	15,0	2



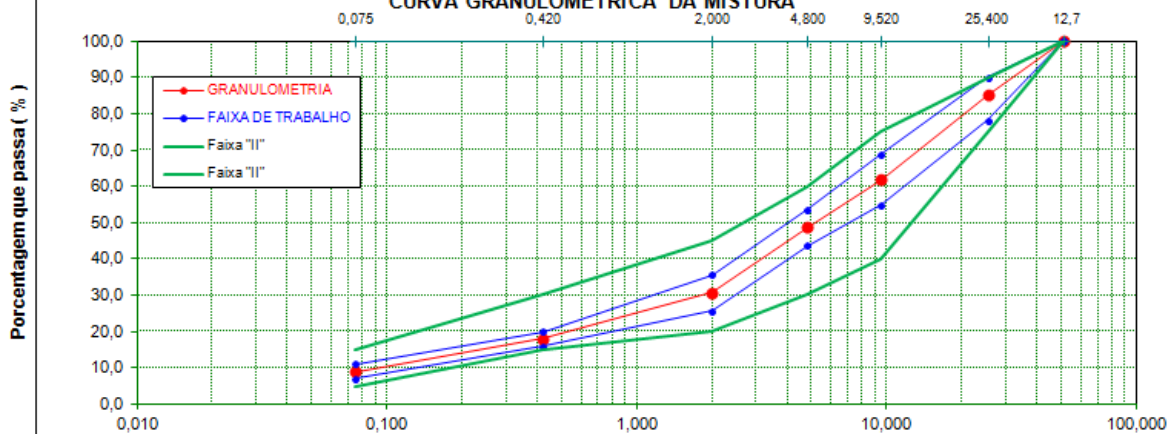
Fonte: Empresa X.



GRANULOMETRIA DA MISTURA

PEN.	PEN.	% EM PESO PASSANDO				Projeto	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO		TOL.
		Brita 1 1/2"	CIMENTO	pedrisco 3/8"	frezado+base		Faixa "I"		Faixa "II"		
-	-	%	%	%	%	%	-	-	-	-	
-	-	14,0	3,0	5,0	78,0	100,0	-	-	-	-	
2"	50,800	14,0	3,0	5,0	78,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	7
1"	25,400	8,4	3,0	5,0	68,7	85,1	78,1	90,0	75,0	90,0	7
3/8"	9,520	0,6	3,0	5,0	53,3	61,9	54,9	68,9	40,0	75,0	7
Nº 4	4,800	0,2	3,0	0,7	44,7	48,7	43,7	53,7	30,0	60,0	5
Nº 10	2,000	0,0	3,0	0,1	27,6	30,7	25,7	35,7	20,0	45,0	5
Nº 40	0,420	0,0	3,0	0,0	14,9	17,9	15,9	19,9	15,0	30,0	2
Nº 200	0,075	0,0	2,9	0,0	6,0	9,0	7,0	11,0	5,0	15,0	2

CURVA GRANULOMÉTRICA DA MISTURA



Fonte: Empresa X.

**ANEXO D – Ensaio de Compactação com diferentes teores de cimento.**

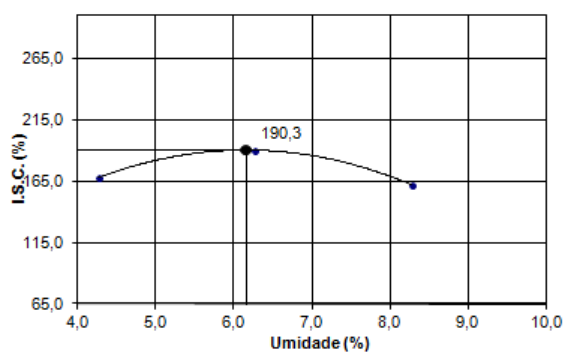
### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO COM 2% DE CIMENTO

UMIDADE HIGROSCÓPICA				AMOSTRA		CARACTERÍSTICAS			
Cápsula	Nº	0	0	PESO DA AMOSTRA ÚMIDA		Tipo de Compactação : Modificado			
Cápsula + Solo úmido	g	1510,00	1630,00	Ph =	7000,0	Cilindro :	Nº de golpes = 55		
Cápsula + Solo seco	g	1503,20	1628,60	PESO DA AMOSTRA SECA		<input checked="" type="checkbox"/> Proctor	<input checked="" type="checkbox"/> C.B.R.		
Peso da Cápsula	g	0,00	0,00	Ps =	Ph / (100 + hm) x 100	Disco Espaçador (Pol)	2"		
Água	g	6,80	1,40	Ph =	6981,0	Dens. Máxima (Kg/cm³)	2,214		
Solo seco	g	1503,20	1503,20					Umidade Ótima (%)	6,2
Umidade	%	0,5	0,1					C.B.R. (%)	190,3
Média	hm (%)	0,3						Expansão (%)	0,00

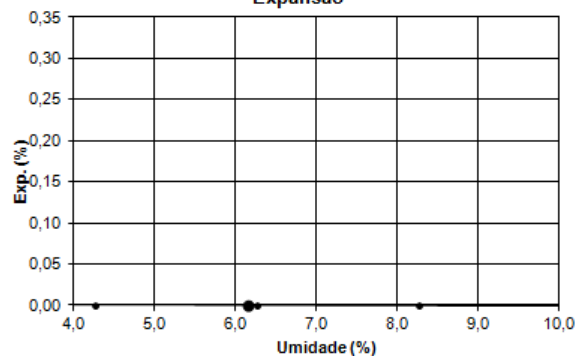
### MOLDAGEM

DESCRIÇÃO				Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº
				01	08	09	10	05	
Solo úmido + molde	g	a	-	8912	9054	9489	9384	9192	
Peso do molde	g	b	-	4450	4332	4536	4488	4342	
Solo úmido	g	c	a - b	4462	4722	4953	4896	4850	
Volume do molde	dm³	d	-	2098	2093	2105	2099	2100	
Dens. do solo úmido	kg/m³	e	c / d	2,127	2,256	2,353	2,333	2,310	
Dens. do solo seco				2,080	2,164	2,214	2,154	2,094	
Cápsula	nº	g	-						
Solo úmido + cápsula	g	h	-						
Solo seco + cápsula	g	i	-						
Peso da cápsula	g	j	-						
Água	g	k	h - i						
Solo seco	g	l	i - j						
Umidade	%	m	k / l	2,3	4,3	6,3	8,3	10,3	
Porc. de água	%	n		2	4	6	8	10	

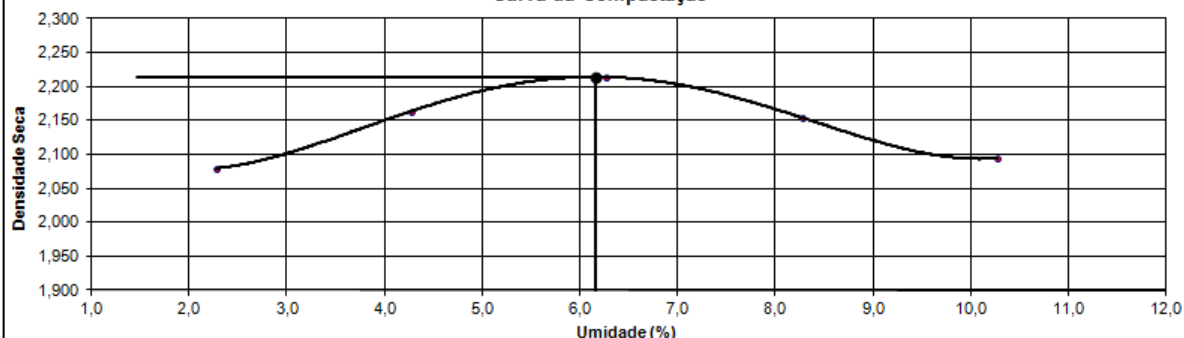
Curva da Penetração



Expansão



Curva da Compactação



Fonte: Empresa X.

## Índice de Suporte Califórnia

### EXPANSÃO

Anel Dinamométrico N° : \_\_\_\_\_

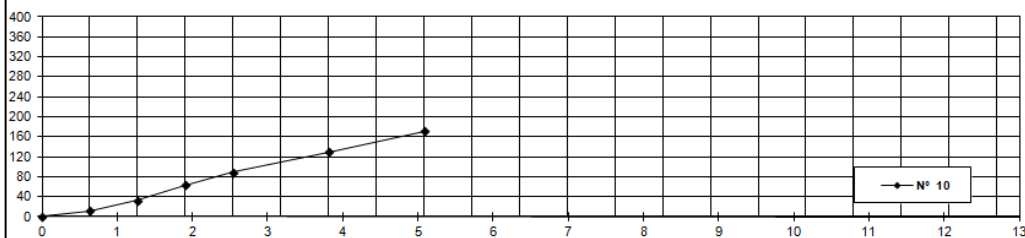
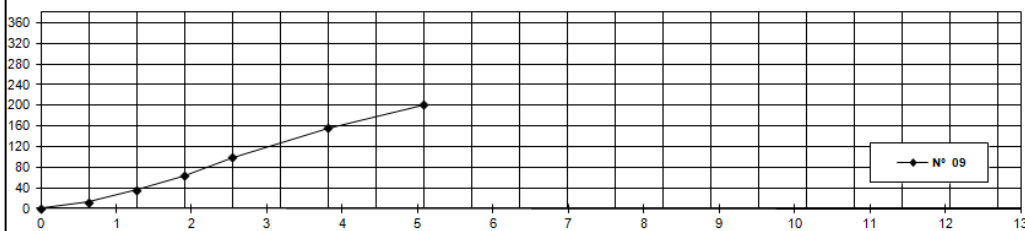
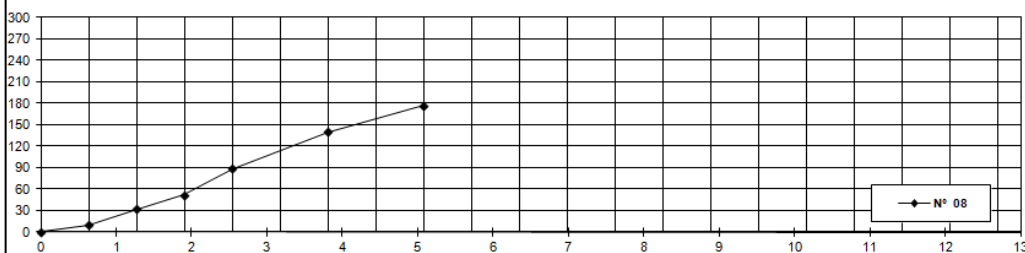
Área do Pistão : \_\_\_\_\_

Constante : 0,1024

Recipiente		N° 08			N° 09			N° 10								
Altura do molde (cm)		11,27			11,54			11,5								
Data	Hora	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %
26/02/2013	09:23	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
27/02/2013	10:34	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
28/02/2013	13:45	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
01/03/2013	14:06	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
02/03/2013	13:42	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
Peso do molde e solo úmido após embebição (g)																
Peso da água absorvida (g)																

### PENETRAÇÃO

T	Penetração		Pressão Padrão	Molde N° 08			Molde N° 09			Molde N° 10			Molde		
	mm	Pol.		L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.
0,5	0,63	0,025	-	98	10,0		117	12,0		110	11,3				
1,0	1,27	0,050	-	312	31,9		358	36,7		317	32,5				
1,5	1,90	0,075	-	510	52,2		615	63,0		612	62,7				
2,0	2,54	0,100	70,31	870	89,1	89,1	<b>126,7</b>	968	99,1	99,1	<b>141,0</b>	870	89,1	89,1	<b>126,7</b>
3,0	3,81	0,150	-	1370	140,3		1520	155,6		1265	129,5				
4,0	5,08	0,200	105,46	1730	177,2	177,2	<b>168,0</b>	1960	200,7	200,7	<b>190,3</b>	1670	171,0	171,0	<b>162,2</b>



Fonte: Empresa X.

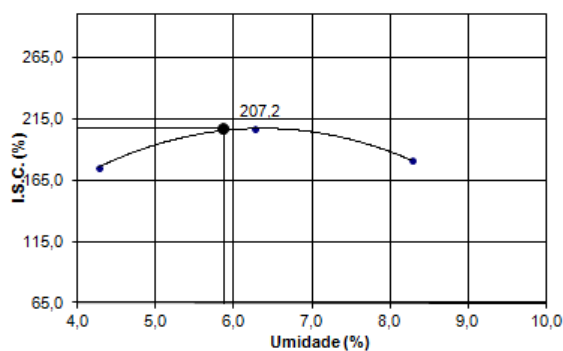
### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO COM 2,5% DE CIMENTO

UMIDADE HIGROSCÓPICA				AMOSTRA		CARACTERÍSTICAS	
Cápsula	Nº	0	0	PESO DA AMOSTRA ÚMIDA		Tipo de Compactação : Modificado	
Cápsula + Solo Úmido	g	1510,00	1630,00	Ph =	7000,0	Cilindro :	Nº de golpes = 55
Cápsula + Solo seco	g	1503,20	1628,60	PESO DA AMOSTRA SECA		<input checked="" type="checkbox"/> Proctor	<input checked="" type="checkbox"/> C.B.R.
Peso da Cápsula	g	0,00	0,00	Ps =	$Ph / (100 + hm) \times 100$	Disco Espaçador (Pol)	2"
Água	g	6,80	1,40	Ph =	6981,0	Dens. Máxima (Kg/cm³)	2,219
Solo seco	g	1503,20	1503,20			Umidade Ótima (%)	5,9
Umidade	%	0,5	0,1			C.B.R. (%)	207,2
Média	hm (%)	0,3				Expansão (%)	0,00

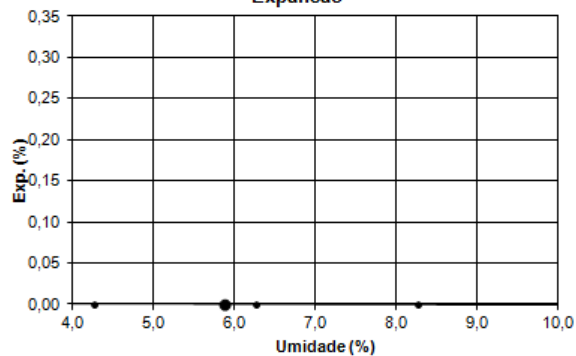
### MOLDAGEM

DESCRIÇÃO				Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº
				01	17	18	19	03	
Solo úmido + molde	g	a	-	8967	10245	9674	10321	9292	
Peso do molde	g	b	-	4450	5534	4758	5472	4436	
Solo úmido	g	c	a - b	4517	4711	4916	4849	4856	
Volume do molde	dm³	d	-	2098	2069	2087	2087	2103	
Dens. do solo úmido	kg/m³	e	c / d	2,153	2,277	2,356	2,323	2,309	
Dens. do solo seco				2,105	2,184	2,216	2,146	2,094	
Cápsula	nº	g	-						
Solo úmido + cápsula	g	h	-						
Solo seco + cápsula	g	i	-						
Peso da cápsula	g	j	-						
Água	g	k	h - i						
Solo seco	g	l	i - j						
Umidade	%	m	k / l	2,3	4,3	6,3	8,3	10,3	
Porc.de água	%	n		2	4	6	8	10	

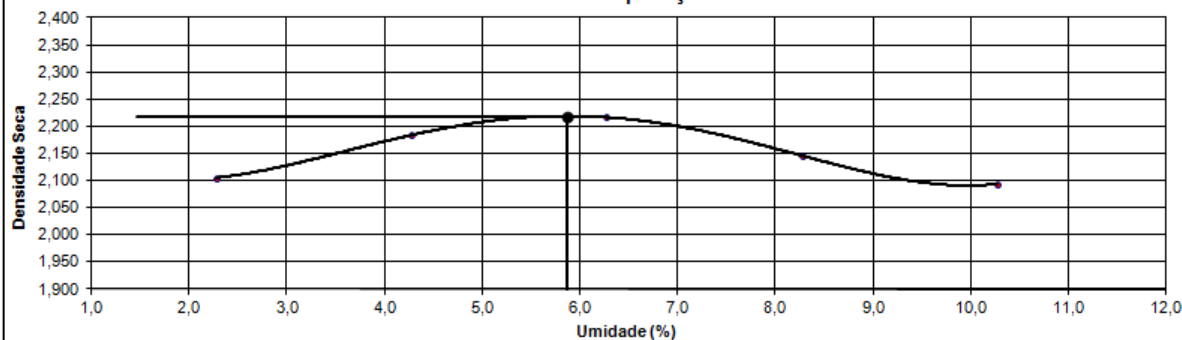
Curva da Penetração



Expansão



Curva da Compactação



Fonte: Empresa X.

## Índice de Suporte Califórnia

## EXPANSÃO

Anel Dinamométrico Nº :

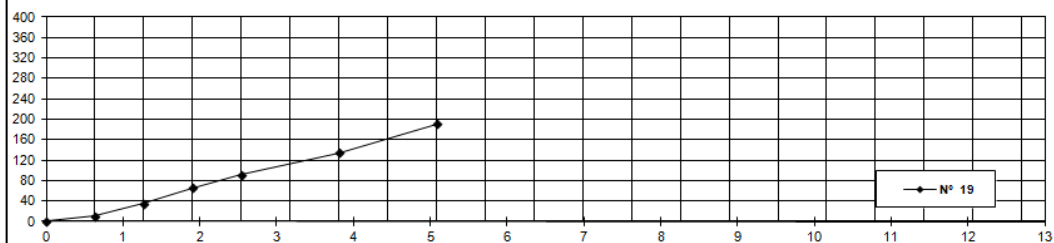
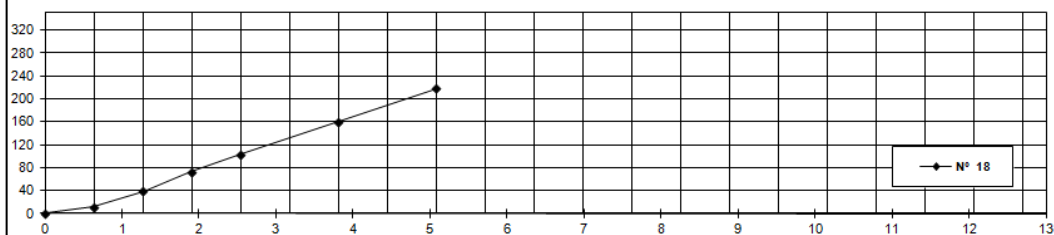
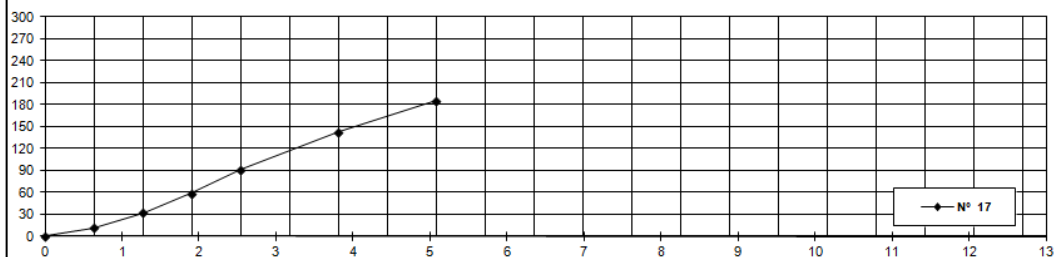
Área do Pistão :

Constante : 0,1024

Recipiente		Nº 17			Nº 18			Nº 19								
Altura do molde (cm)		11,27			11,54			11,5								
-	-	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %
Data	Hora															
26/02/2013	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
27/02/2013	13:20	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
28/02/2013	09:45	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
01/03/2013	14:10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
02/03/2013	13:42	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
Peso do molde e solo úmido após embebição (g)																
Peso da água absorvida (g)																

## PENETRAÇÃO

T	Penetração			Pressão Padrão	Molde Nº 17			Molde Nº 18			Molde Nº 19			Molde		
	Min.	mm	Pol.		L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.
0,5	0,63	0,025	-	110	11,3		115	11,8		98	10,0					
1,0	1,27	0,050	-	315	32,3		380	38,9		346	35,4					
1,5	1,90	0,075	-	570	58,4		710	72,7		643	65,8					
2,0	2,54	0,100	70,31	890	91,1	91,1	129,6	1010	103,4	103,4	147,1	890	91,1	91,1	129,6	
3,0	3,81	0,150	-	1390	142,3			1570	160,8			1312	134,3			
4,0	5,08	0,200	105,46	1810	185,3	185,3	175,7	2134	218,5	218,5	207,2	1867	191,2	191,2	181,3	



Fonte: Empresa X.



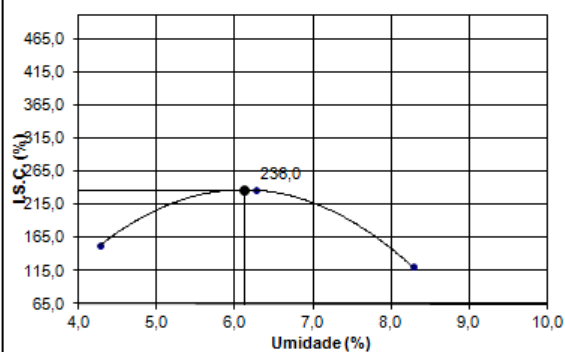
### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO COM 3% DE CIMENTO

UMIDADE HIGROSCÓPICA				AMOSTRA		CARACTERÍSTICAS	
Cápsula	Nº	0	0	PESO DA AMOSTRA ÚMIDA	Tipo de Compactação : Modificado		
Cápsula + Solo Úmido	g	1510,00	1630,00	Ph =	Cilindro : Nº de golpes = 55		
Cápsula + Solo seco	g	1503,20	1628,60		<input checked="" type="checkbox"/> Proctor <input checked="" type="checkbox"/> C.B.R.		
Peso da Cápsula	g	0,00	0,00	PESO DA AMOSTRA SECA	Disco Espaçador (Pol) 2"		
Água	g	6,80	1,40	Ps =	Dens. Máxima (Kg/cm³) 2,233		
Solo seco	g	1503,20	1503,20	Ph =	Umidade Ótima (%) 6,1		
Umidade	%	0,5	0,1		C.B.R. (%) 236,0		
Média	hm (%)	0,3			Expansão (%) 0,00		

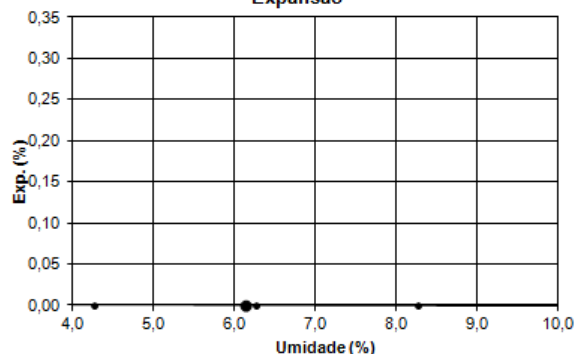
### MOLDAGEM

DESCRIÇÃO				Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº
				05	11	12	13	01	
Solo úmido + molde	g	a	-	8895	10264	9619	9576	9323	
Peso do molde	g	b	-	4342	5518	4668	4686	4450	
Solo úmido	g	c	a - b	4553	4746	4951	4890	4873	
Volume do molde	dm³	d	-	2100	2087	2087	2087	2098	
Dens. do solo úmido	kg/m³	e	c / d	2,168	2,274	2,372	2,343	2,323	
Dens. do solo seco				2,120	2,181	2,232	2,164	2,106	
Cápsula	nº	g	-						
Solo úmido + cápsula	g	h	-						
Solo seco + cápsula	g	i	-						
Peso da cápsula	g	j	-						
Água	g	k	h - i						
Solo seco	g	l	i - j						
Umidade	%	m	k / l	2,3	4,3	6,3	8,3	10,3	
Porc. de água	%	n		2	4	6	8	10	

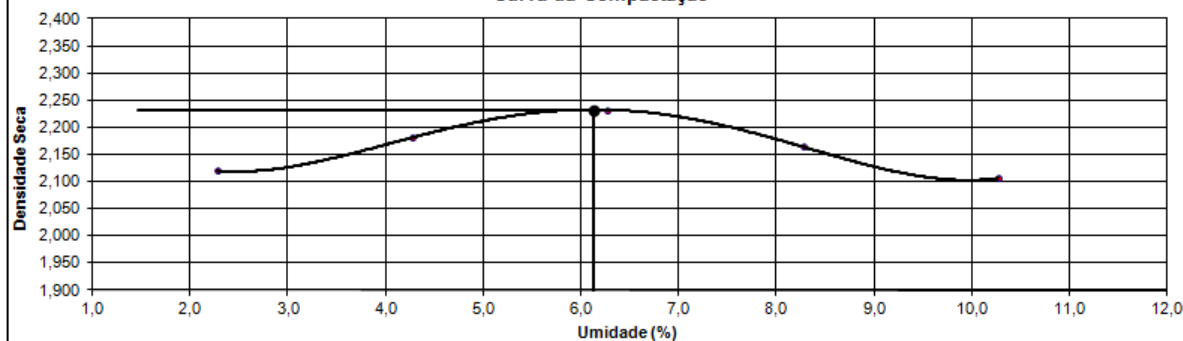
Curva da Penetração



Expansão



Curva da Compactação



Fonte: Empresa X.

## Índice de Suporte Califórnia

## EXPANSÃO

Anel Dinamométrico N° :

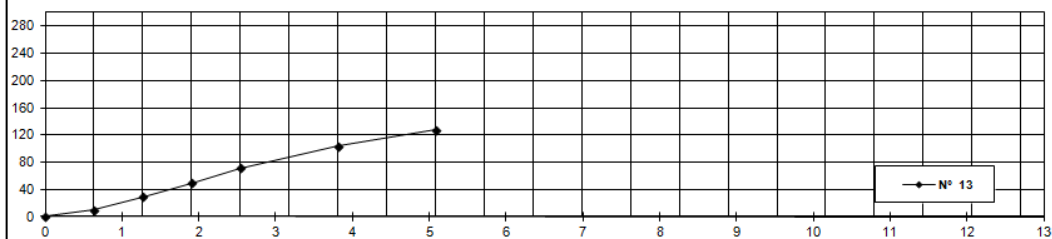
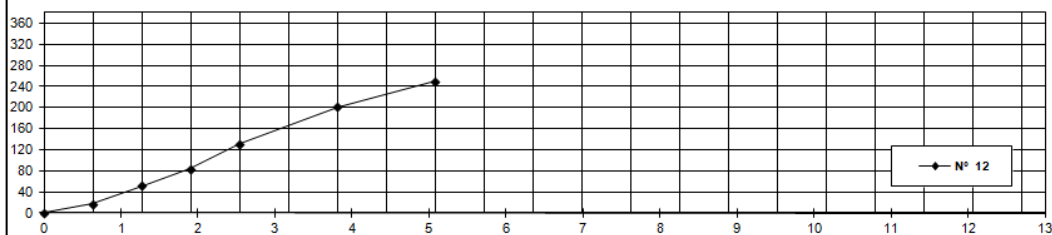
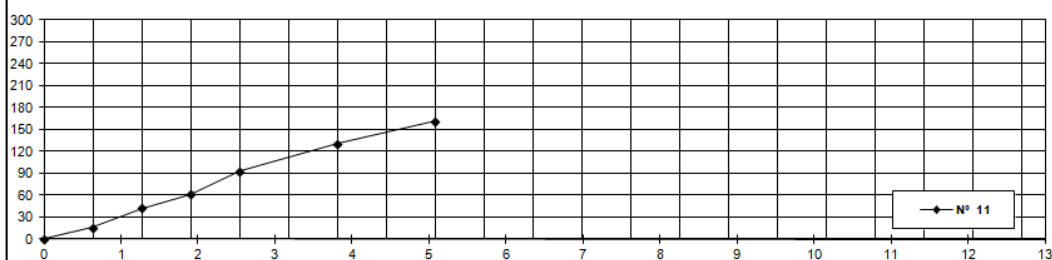
Área do Pistão :

Constante : 0,1024

Recipiente		N° 11			N° 12			N° 13								
Altura do molde (cm)		11,27			11,54			11,5								
-	-	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %	Leitura (mm)	Difer. (mm)	Exp. %
Data	Hora															
26/02/2013	14:00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
27/02/2013	13:20	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
28/02/2013	09:45	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
01/03/2013	14:10	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
02/03/2013	13:42	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00						
Peso do molde e solo úmido após embebição (g)																
Peso da água absorvida (g)																

## PENETRAÇÃO

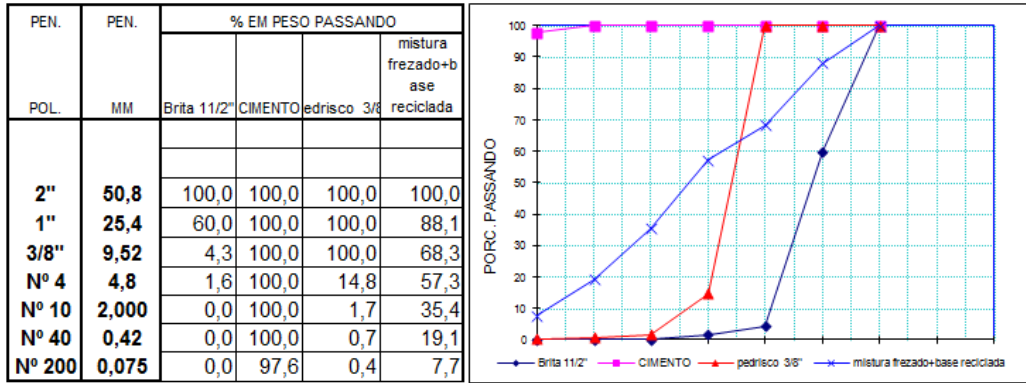
T	Penetração			Pressão Padrão	Molde N° 11			Molde N° 12			Molde N° 13			Molde		
	Min.	mm	Pol.		L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.	L mm	Pressão kg/m <sup>2</sup> calc.	ISC corr.
0,5	0,63	0,025	-	154	15,8		170	17,4		98	10,0					
1,0	1,27	0,050	-	412	42,2		510	52,2		279	28,6					
1,5	1,90	0,075	-	600	61,4		813	83,3		479	49,0					
2,0	2,54	0,100	70,31	910	93,2	93,2	1277	130,8	130,8	700	71,7	71,7	1010	103,4	101,9	
3,0	3,81	0,150	-	1280	131,1		1970	201,7		1010	103,4					
4,0	5,08	0,200	105,46	1578	161,6	161,6	2436	249,4	249,4	1246	127,6	127,6	1246	127,6	121,0	



Fonte: Empresa X.

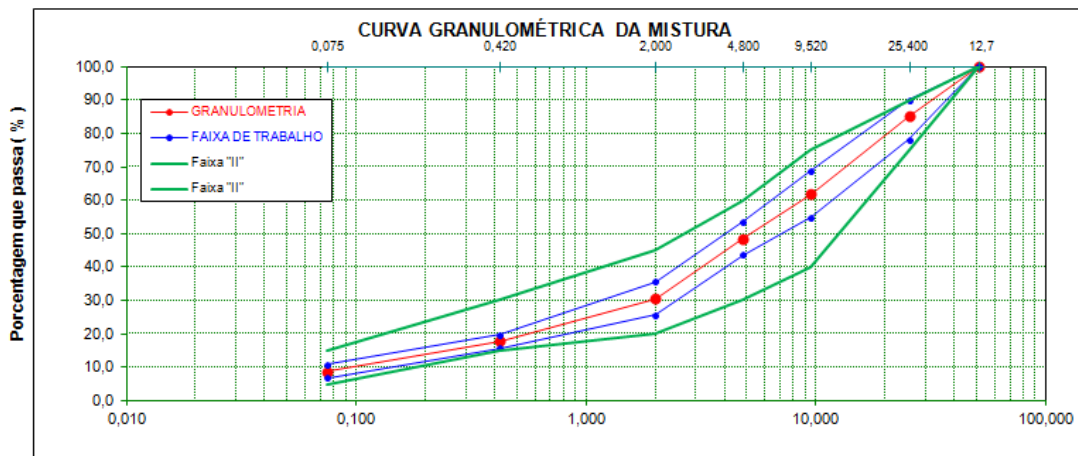
**ANEXO E** – Granulometria da mistura e ensaio de Compactação com teor de cimento de 2,8%.

**GRANULOMETRIAS DOS AGREGADOS PARA COMPOSIÇÃO DA MISTURA**



**GRANULOMETRIA DA MISTURA**

PEN.	PEN.	% EM PESO PASSANDO				Projeto	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO		TOL.
		Brita 11/2"	CIMENTO	pedrisco 3/8"	frezado+base		Faixa "II"				
-	-	%	%	%	%	%	-	-	-	-	
-	-	14,0	2,8	5,0	78,2	100,0	-	-	-	-	
2"	50,800	14,0	2,8	5,0	78,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	7
1"	25,400	8,4	2,8	5,0	68,9	85,1	78,1	90,0	75,0	90,0	7
3/8"	9,520	0,6	2,8	5,0	53,4	61,8	54,8	68,8	40,0	75,0	7
Nº 4	4,800	0,2	2,8	0,7	44,8	48,6	43,6	53,6	30,0	60,0	5
Nº 10	2,000	0,0	2,8	0,1	27,7	30,6	25,6	35,6	20,0	45,0	5
Nº 40	0,420	0,0	2,8	0,0	14,9	17,8	15,8	19,8	15,0	30,0	2
Nº 200	0,075	0,0	2,7	0,0	6,0	8,8	6,8	10,8	5,0	15,0	2



Fonte: Empresa X.

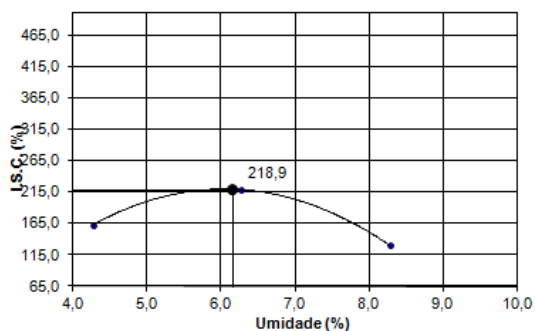
### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO COM 2,8% DE CIMENTO

UMIDADE HIGROSCÓPICA				AMOSTRA		CARACTERÍSTICAS	
Cápsula	Nº	0	0	PESO DA AMOSTRA ÚMIDA		Tipo de Compactação : Modificado	
Cápsula + Solo Úmido	g	1510,00	1630,00	Ph =	7000,0	Cilindro :	Nº de golpes = 55
Cápsula + Solo seco	g	1503,20	1628,60	PESO DA AMOSTRA SECA		<input checked="" type="checkbox"/> Proctor	<input checked="" type="checkbox"/> C.B.R.
Peso da Cápsula	g	0,00	0,00	Ps =	$Ph / (100 + hm) \times 100$	Disco Espaçador (Pol)	2"
Água	g	6,80	1,40	Ph =	6981,0	Dens. Máxima (Kg/cm³)	2,227
Solo seco	g	1503,20	1503,20			Umidade Ótima (%)	6,2
Umidade	%	0,5	0,1			C.B.R. (%)	218,9
Média	hm (%)	0,3				Expansão (%)	0,00

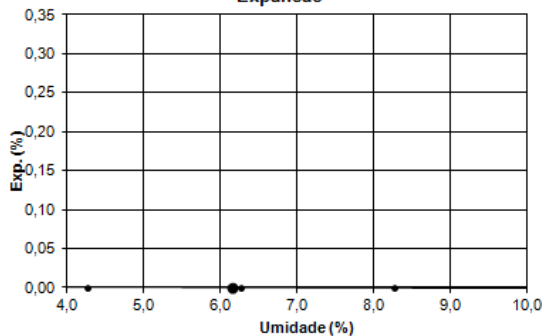
### MOLDAGEM

DESCRIÇÃO				Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº	Molde Nº
				03	04	05	06	01	02
Solo úmido + molde	g	a	-	8993	9248	9312	9225	9342	
Peso do molde	g	b	-	4436	4458	4342	4306	4450	
Solo úmido	g	c	a - b	4557	4790	4970	4919	4892	
Volume do molde	dm³	d	-	2103	2102	2100	2088	2098	
Dens. do solo úmido	kg/m³	e	c / d	2,167	2,279	2,367	2,356	2,332	
Dens. do solo seco				2,119	2,185	2,227	2,176	2,115	
Cápsula	nº	g	-						
Solo úmido + cápsula	g	h	-						
Solo seco + cápsula	g	i	-						
Peso da cápsula	g	j	-						
Água	g	k	h - i						
Solo seco	g	l	i - j						
Umidade	%	m	k / l	2,3	4,3	6,3	8,3	10,3	
Porc. de água	%	n		2	4	6	8	10	

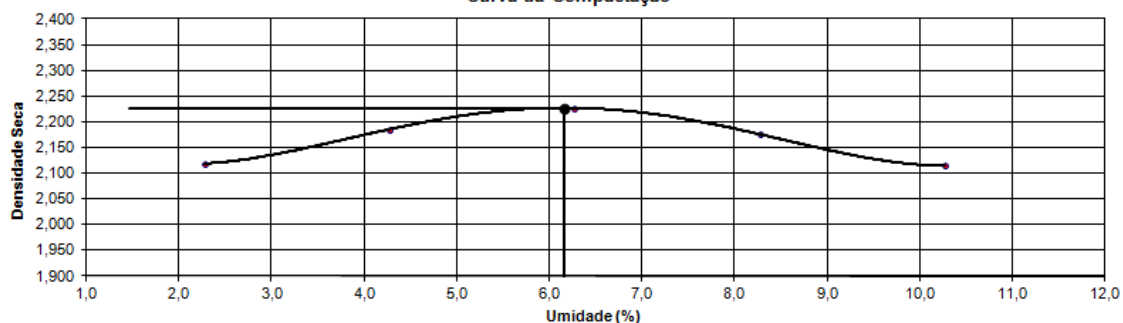
Curva da Penetração



Expansão



Curva da Compactação



Fonte: Empresa X.