



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

RANIERE SOARES VALDEVINO

**ANÁLISE DO TRÁFEGO DA BR – 104 PARA
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N NO PERÍODO DE MAIOR
FLUXO, TRECHO TORITAMA/CARUARU, SEGUNDO
NORMAS DO (DNIT)**

Caruaru, julho de 2014

RANIERE SOARES VALDEVINO

**ANÁLISE DO TRÁFEGO DA BR – 104 PARA
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N NO PERÍODO DE MAIOR
FLUXO, TRECHO TORITAMA/CARUARU, SEGUNDO
NORMAS DO (DNIT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil / Estradas e Transportes.

Orientador: Prof. Msc. Renato Mahon Macedo

Caruaru, julho de 2014

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4-1223

- V145a Valdevino, Raniere Soares.
Análise do tráfego da BR-104 para determinação do número N no período de maior fluxo, trecho Toritama/Caruaru, segundo normas do (DNIT). / Raniere Soares Valdevino. – Caruaru, 2014.
74f., il.; 30 cm.
- Orientador: Renato Mahon Macedo.
Monografia (Trabalho de Conclusão de curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2014.
Inclui referências.
1. Engenharia – Estruturas. 2. Pavimentos - Pernambuco. 3. Tráfego. I. Macedo, Renato Mahon. (Orientador). II. Título.
- 620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2014-94)

RANIERE SOARES VALDEVINO

**ANÁLISE DO TRÁFEGO DA BR – 104 PARA
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N NO PERÍODO DE MAIOR
FLUXO, TRECHO TORITAMA/CARUARU, SEGUNDO
NORMAS DO (DNIT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil / Estradas e Transportes.

Aprovado em: Caruaru, 12 de agosto de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Msc. Renato Mahon Macedo: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof.(a) Dr.(a) Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. (a) Msc. Shirley Minnell Ferreira de Oliveira: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. (a) Dr.(a) Sylvana Melo dos Santos: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da Disciplina TCC)

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha avó.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me dado força, coragem e sabedoria para enfrentar os desafios dessa caminhada.

Em especial a minha mãe Ione Soares de Lima e ao meu pai Givani Valdevino que infelizmente está ao lado de Deus, pois eles me deram a educação e humildade necessária para conseguir atravessar os obstáculos não só da Universidade, como também os da vida.

E ao meu grande amigo Ewerton Henrique que sempre teve um tempinho para me ajudar nas horas de dificuldades e desesperos.

Como também ao meu professor e orientador Renato Mahon Macedo pela sua ajuda, paciência e atenção.

RESUMO

O número N é definido como sendo o número equivalente de operações de eixo simples padrão durante o período de projeto. Onde esse parâmetro é preponderante para o dimensionamento de estruturas de pavimentos, o seu estudo está relacionado basicamente ao volume de tráfego. A falta dessa informação, ou a incerteza quanto à representatividade desse dado, gera distorções nos estudos rodoviários, pois, esse número constitui-se de elemento básico à elaboração de planos diretores rodoviários, estudos de viabilidade técnico-econômica, projetos geométricos, projetos de pavimentos, programas de conservação, análise de segurança de tráfego, capacidade das vias entre outros. Deste modo, este trabalho tem como propósito analisar o volume de tráfego após a duplicação da BR 104, no trecho Toritama/Caruaru, com o intuito de calcular o número N, pela metodologia aplicada pelo DNIT. Um dos fatores que interfere diretamente a determinação do número N, é a taxa de crescimento da frota veicular, que ficou superior a 100% nos últimos dez anos, para as cidades de Caruaru e Toritama. Dessa forma, foi feita uma contagem manual do tráfego de veículos da BR-104, trecho Toritama/Caruaru, durante três dias seguidos em horários fixos. A partir dos dados obtidos foram determinados todos os parâmetros para o cálculo do número N, onde foi obtido um valor de aproximadamente 3×10^8 . É possível concluir que o resultado obtido de 3×10^8 é considerado alto, se comparado aos valores de número N especificados pelo DNIT. Este fato ocorre, porque no trecho estudado neste trabalho, tem-se um tráfego composto por quase 50% de caminhões médios e pesados, logo, as solicitações sobre o pavimento são consideráveis. Desta forma, tais solicitações influenciam diretamente para um aumento do valor do número N. No entanto, para que se obtenha um resultado mais apurado do número N, é necessário que seja realizada uma análise mais detalhada do tráfego.

Palavra-chave: Pavimento, Tráfego, Número-N.

ABSTRACT

The number N is defined as the equivalent number of simple operations shaft standard operations during the design. Where this parameter is preponderant for the design of pavement structures their study is basically related to traffic. The lack of information or uncertainty about the representativeness of this data creates distortions in road studies because this number is made up of the basic element of road development master plans, studies of technical and economic feasibility, geometric designs, floor, conservation programs, analysis of traffic safety, capacity of roads and other. Thus this paper aims to analyze the traffic volume after the BR 104, the stretch Toritama / Caruaru, in order to calculate the number N, the methodology applied by DNIT. One of the factors that directly interfered with the determination of the number N is the growth rate of the vehicle fleet, which was more than 100% in the last ten years to the cities of Caruaru and Toritama. Hus was done a manual count of the traffic of the BR-104, excerpt Toritama / Caruaru for three consecutive days at fixed times, from the data obtained were determined all the parameters for the calculation of the number N where a value was obtained approximately 3×10^8 . It is possible to conclude that the result of 3×10^8 is considered high compared to the number N of values specified by DNIT. This occurs because the stretch studied in this work, has become a traffic comprises almost 50% of medium and heavy trucks, so requests on the pavement are considerable. Thus such requests directly influence to increase the value of the number N. However in order to obtain a more accurate result of the number N, it is necessary that a detailed traffic analysis is performed.

Keywords: Pavement, traffic, number N.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frota de Veículos automotores no Brasil por tipo de veículo – 2001 a 2012 (fonte: INCT, 2013).	15
Figura 2 - BR – 104 e os respectivos Estados que ela atravessa.....	19
Figura 3 - mapa de Pernambuco com uma ampliação do trecho Toritama/Caruaru.....	20
Figura 4 - Gráfico de Evolução populacional de Toritama em relação a Pernambuco e ao Brasil.....	21
Figura 5 - Gráfico de Evolução populacional de Caruaru em relação a Pernambuco e ao Brasil.	23
Figura 6 - Veículos adotados na classificação do DNIT (2006).....	27
Figura 7 - Planilha de contagem manual para um período de 24 horas em rodovia (DNIT, 2006).....	33
Figura 8 - Aplicação de fatores de expansão para transformar VMD horário, semanal e mensal (sazonal) para VMDa.	37
Figura 9 - Tipos de Veículos com a composição dos Eixos.	40
Figura 10 - Cargas relativas a cada tipo de Eixo para cada tipo de Veículo.	41
Figura 11 - Solicitações dos diversos tipos de eixo	43
Figura 12 - Fatores de Equivalência.	51
Figura 13 - Contagem Manual.....	54
Figura 14 – Gráficos das médias da Contagem do Volume de Veículos.	56
Figura 15 - (a) Crescimento da frota de veículos da Cidades de Caruaru (b) Crescimento da frota de veículos da Cidades de Toritama.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação da População de Toritama em relação a Pernambuco e Brasil.....	22
Tabela 2 - Variação da População de Caruaru em relação a Pernambuco e ao Brasil.	23
Tabela 3 - Espessuras mínimas de revestimentos.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4 - Cálculo do Fator de Eixo.	49
Tabela 5 - Determinação da Equivalência para o cálculo do Fator de Carga.	52
Tabela 6 – Valores da Contagem Manual do Volume de Veículos	Erro! Indicador não definido.
Tabela 7 - Frota veicular e variação percentual em Caruaru e Toritama de 2003 a 2013.	57
Tabela 8 – Cálculo do Volume Médio Diário (V1).	59
Tabela 9 – Volume de Tráfego comercial e porcentagem de cada categoria de veículos comerciais...	60
Tabela 10 – Cálculo do Valor do Fator de Eixo (FE).	61
Tabela 11 – Tipos de Eixos dos Veículos e suas respectivas Cargas para o cálculo do Fator de Carga.	62
Tabela 12 – Cálculo do fator de carga.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Número N pelo método da AASHTO.	45
Equação 2 - Volume médio diário de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão aritmética.	47
Equação 3 - Volume total de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão aritmética.	48
Equação 4 - Volume total de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão geométrica.	48
Equação 5 - Parâmetro de tráfego N.	48
Equação 6 - Parâmetro de tráfego N, em função do Fator de Veículo (FV).	49
Equação 7 - Número total de eixos n, para o cálculo do Fator de Eixo (FE).	49
Equação 8 - Fator de Carga (FC).	52
Equação 9 - Fator de Veículo (FV).	53
Equação 10 - Cálculo do Valor do Volume Total de Tráfego (Vt).	59
Equação 11 - Cálculo do Valor do Fator de Carga (FC).	63
Equação 12 - Cálculo do Valor do Fator de Veículo.	63
Equação 13 - Cálculo do Valor do Número N.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Hingway and Transportation Officials</i>
AET	Autorização Especial de Trânsito
CBR	<i>California Bearing ratio</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CPA	Concreto Poroso de Asfalto
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CVC	Circulação de Combinações de Veículos de Carga
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER	Departamento de Estradas e Rodagens
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutra de Transportes
FC	Fator de Carga
FE	Fator de Eixo
FEC	Fator de Equivalência de Cargas
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FR	Fator Climático Regional
FV	Fator de Veículo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
IPR	Instituto de Pesquisa Rodoviária
LABTRANS	Laboratório de Transportes e Logística
MMD	Média, das Médias entre os dias
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
USACE	<i>US Army Corps of Engineers</i>
VMD _a	Volume Médio Diário Anual
VMD _d	Volume Médio Diário em um Dia
VMD _m	Volume Médio Diário Mensal
VMD _s	Volume Médio Diário Semanal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Relevância do tema.....	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivos gerais	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. Área de estudo	19
1.4. Estrutura do Trabalho	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Tipos de veículos e suas cargas sobre o pavimento.....	25
2.2. Legislação Relativa Às Dimensões e Pesos dos Veículos	32
2.3. Estudo da capacidade de tráfego	33
2.4. Espessuras mínimas de revestimento em função do número N	37
2.5. Fatores considerados no cálculo do número N, Fator de Eixo (FE), Fator de Carga (FC) e Fator de Veículo (FV).....	38
2.6. Métodos de determinação do número N	44
2.7. Tipos de defeitos gerados pelo excesso de carga	46
3. METODOLOGIA	47
4. RESULTADOS E DISCURSÕES	54
4.1. Determinação das curvas representativas do Crescimento da frota de veículos das cidades de Caruaru e Toritama.....	57
4.2. Cálculo do Volume Médio Diário em um Sentido (V_1)	59
4.3. Cálculo do Volume Total (V_t)	59
4.4. Cálculo do Fator de Eixo (FE)	60
4.5. Cálculo do Fator de Carga (FC)	61

4.6. Cálculo do Fator de Veículo (FV)	63
4.7. Cálculo do Número N da BR – 104 do trecho Caruaru/toritama	63
5. CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	69

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos quando as civilizações começaram a expandir e conquistar territórios fora de suas fronteiras, tiveram elas que fazer viagens por estradas muito longas e sem nenhuma estrutura que lhe garantisse conforto e segurança. O mesmo ocorria em intercâmbios comerciais entre as civilizações, com isso surgiu a necessidade de implantar vias que lhe garantissem uma melhor acessibilidade, conforto e segurança e que também diminuísse o tempo de viagem.

O Brasil é um país de grande extensão territorial e possui uma população de aproximadamente 202 milhões de habitantes (IBGE, 2014), devido ao grande consumo gerado por essa população no setor automobilístico a frota de veículos no Brasil terminou o ano de 2012 com um total de 76.137.125 veículos automotores, em 2001 havia aproximadamente 34.9 milhões de veículos. Houve, portanto, um crescimento superior a 118,2% entre 2001-2012. Vale lembrar, que o crescimento populacional no Brasil, entre os dois últimos censos demográficos (2000 e 2010), foi de 11,8% (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - INCT). Com isso faz-se necessário elaborar novos estudos para ampliar e construir novas vias de acessos para atender essa demanda que vem crescendo a cada ano. A Figura 1 mostra a composição da frota de veículos automotores no ano de 2001 e 2012.

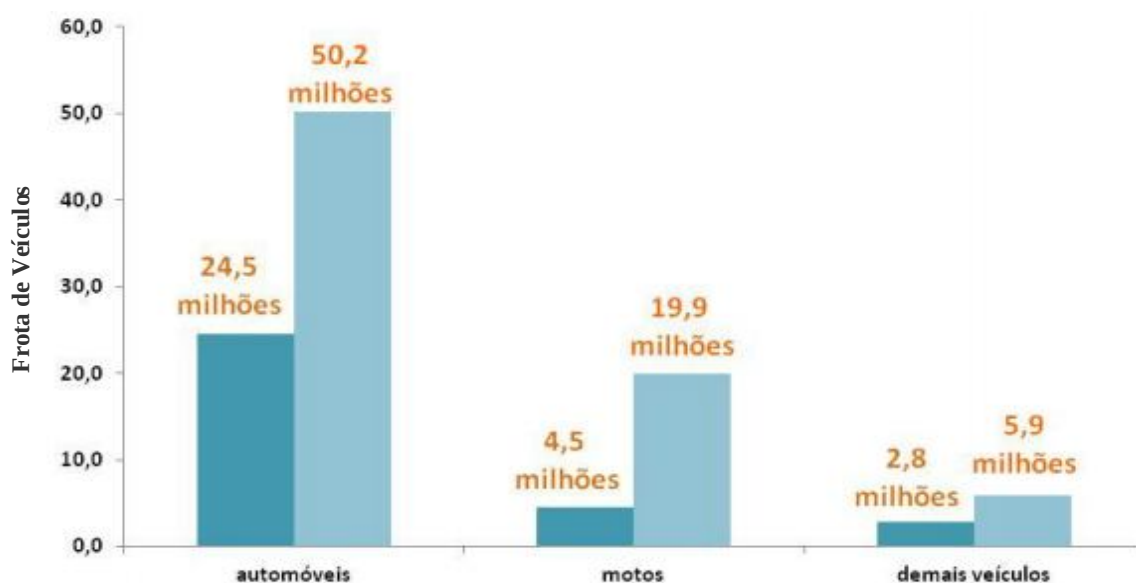


Figura 1 - Frota de Veículos automotores no Brasil por tipo de veículo – 2001 a 2012 (fonte: INCT, 2013).

Em relação ao grande crescimento da frota de veículos do Brasil a primeira característica a se destacar é o fato do crescimento ter ocorrido de maneira bastante concentrada na Região Sudeste, apesar de ser a região com menor crescimento percentual (91,6%). Entre 2001 e 2002, 51,5% de todo o crescimento da frota de automóveis esteve concentrada no Sudeste. Nessa região, o número de automóveis passou de 14,4 milhões para 27,6 milhões. Em segundo lugar, com 21,5% de todo o crescimento no período, aparece a Região Sul, onde a frota de automóveis passou de 5,2 milhões para 10,7 milhões (crescimento de 105,7%). Na Região Nordeste o número de automóveis saltou de 2,5 milhões para 6 milhões no período 2001-2012 (crescimento de 136,4%), o que representa 13,5% de todo o crescimento da frota nacional. As regiões Centro-Oeste e Norte, apesar dos altos crescimentos percentuais (132,9% e 187,5%, respectivamente), contribuem menos para o crescimento da frota brasileira. No Centro-Oeste, de todo o incremento da frota de automóveis, 9,4% estavam na região, enquanto que a participação da Região Nordeste foi de 4,1% (INCT, 2013).

Devido ao elevado percentual do aumento de veículos circulando no Brasil, a taxa de Motorização (número de automóveis para cada 100 habitantes) aumentou em todo o país. Essa taxa passou de 11,4 automóveis/100habitantes para 25,9 automóveis/100habitantes. Ocorre o que poderíamos chamar de uma generalização do fenômeno da motorização. Os automóveis estão presentes em um número maior de municípios e em quantidades cada vez maiores. (DENATRAN, 2014). Com esse aumento crescente o estudo do tráfego deve ser realizado periodicamente, para monitorarmos a qualidade das nossas rodovias, como a construção de novas estradas. Portanto é necessário que se tenha o conhecimento técnico sobre o que é um pavimento.

Segundo Andrade (2011), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construída sobre a terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços oriundos do tráfego e a melhorar as condições de rolamento. Com o passar do tempo e os avanços tecnológicos as estruturas de pavimentos evoluíram e são classificados em três tipos rígidos, semirrígidos e flexíveis.

Existem várias definições de pavimentos nas diversas literaturas, outra definição para pavimento seria, superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação) a qual é designado de subleito. (DNIT, 2006).

Um dos parâmetros preponderantes para o dimensionamento de pavimentos, além dos materiais utilizados em suas camadas e na construção do revestimento, é o número N, onde esse parâmetro é definido como sendo o número equivalentes de operações de eixo simples padrão durante o período de projeto. (DNIT, 2006).

Neste método de dimensionamento, para efeito de projeto, o tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações de um eixo rodoviário padrão, onde este é um eixo simples de rodas duplas e que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 toneladas (ou 80kN), durante a sua respectiva vida útil.

1.1. Relevância do tema

Conforme discussões preliminares do Manual de Projetos AASHTO 2002 (Hallin. 2000), o número N ainda é um parâmetro de cálculo fundamental no Setor de transportes no Brasil, tanto pela sua utilização direta no dimensionamento de pavimentos, como por seu uso na gerência de pavimentos e na classificação das vias. Dessa forma, é importante saber como se comporta o tráfego de veículos no trecho Toritama/Caruaru, para que se possa saber sua composição e o seu volume, para que se possa obter o melhor resultado para o valor do número N.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é determinar o valor do número N da BR – 104, trecho Toritama/Caruaru para determinado período de projeto, segundo normas do DNIT.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Determinação das curvas representativas do Crescimento da frota de veículos das cidades de Caruaru e Toritama;
- Realização da contagem de veículos em três dias seguidos, nos horários de maior fluxo (7:00h as 8:00h, 13:00h as 14:00h e 18:00h as 19:00h);
- Determinação do Volume Médio Diário (V_1);
- Determinação do volume de Total de Tráfego (V_t);
- Determinação dos Fatores de Eixo (FE), de Carga (FC) e de Veículo (FV);
- Determinação do número N

1.3. Área de estudo

O número N é um parâmetro que depende do tráfego para o seu cálculo, por isso é de fundamental importância saber quais as características da via que se está estudando, pois será de importante relevância saber como se comporta o tráfego da via, para que se possa obter os melhores valores da área estudada, e assim, poder determinar o valor do número N com qualidade e o mais próximo da realidade.

A BR-104 é uma rodovia federal longitudinal. Seu ponto inicial fica na cidade de Macau – Rio Grande do Norte, e o fim, em Maceió – Alagoas, e ainda corta os Estados de Pernambuco e Paraíba. Sua extensão total é de 672,3 Km (DNIT, 2014). No Estado de Pernambuco, a rodovia terá o trecho de 86 Km duplicados entre a cidade de Agrestina-PE, e a divisa do Estado da Paraíba, sendo que, atualmente, encontra-se duplicado o trecho de 37 Km, entre a cidade de Caruaru-PE e a cidade de Toritama-PE. Esse trecho será a área de estudo para o presente trabalho. A Figura-2 ilustra a BR-104 e os respectivos estados que ela atravessa, e a Figura-3 representa o mapa de Pernambuco com uma ampliação do trecho Toritama/Caruaru que será a área de estudo.



Figura 2 - BR – 104 e os respectivos Estados que ela atravessa.

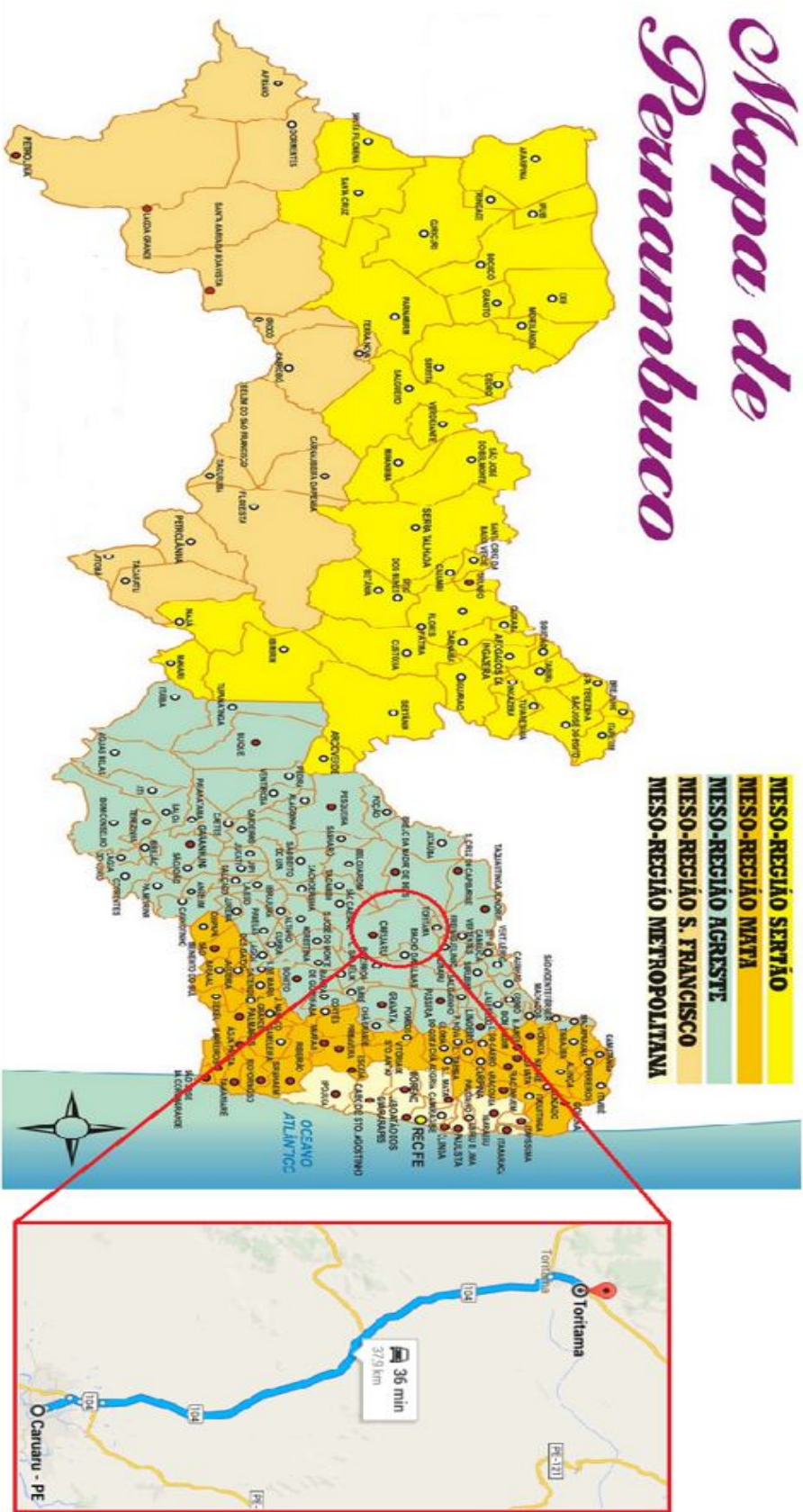


Figura 3 - mapa de Pernambuco com um zoom do trecho Toritama/Caruaru.

Sobre o município de Toritama, pode-se colocar que foi fundado em 1953 e atualmente possui uma população estimada em 39.913 habitantes (IBGE, 2013). Possui uma área territorial de 25,904 Km², apesar de ser um município relativamente pequeno possui uma elevada densidade demográfica de 1383,21 hab/Km². Sua economia é fundamentada na produção e confecção de roupas (principalmente feita de jeans). Nos últimos anos a cidade de Toritama, impulsionada pelo crescimento do polo de confecções do Agreste, teve um crescimento populacional significativo em relação a Pernambuco e ao Brasil como mostra a Figura-4 e a Tabela-1 a seguir. Nelas, percebe-se que a população de Toritama cresceu a uma taxa de variação média de 24,49%, enquanto Pernambuco alcançou 5,42% e o Brasil 6,78%.

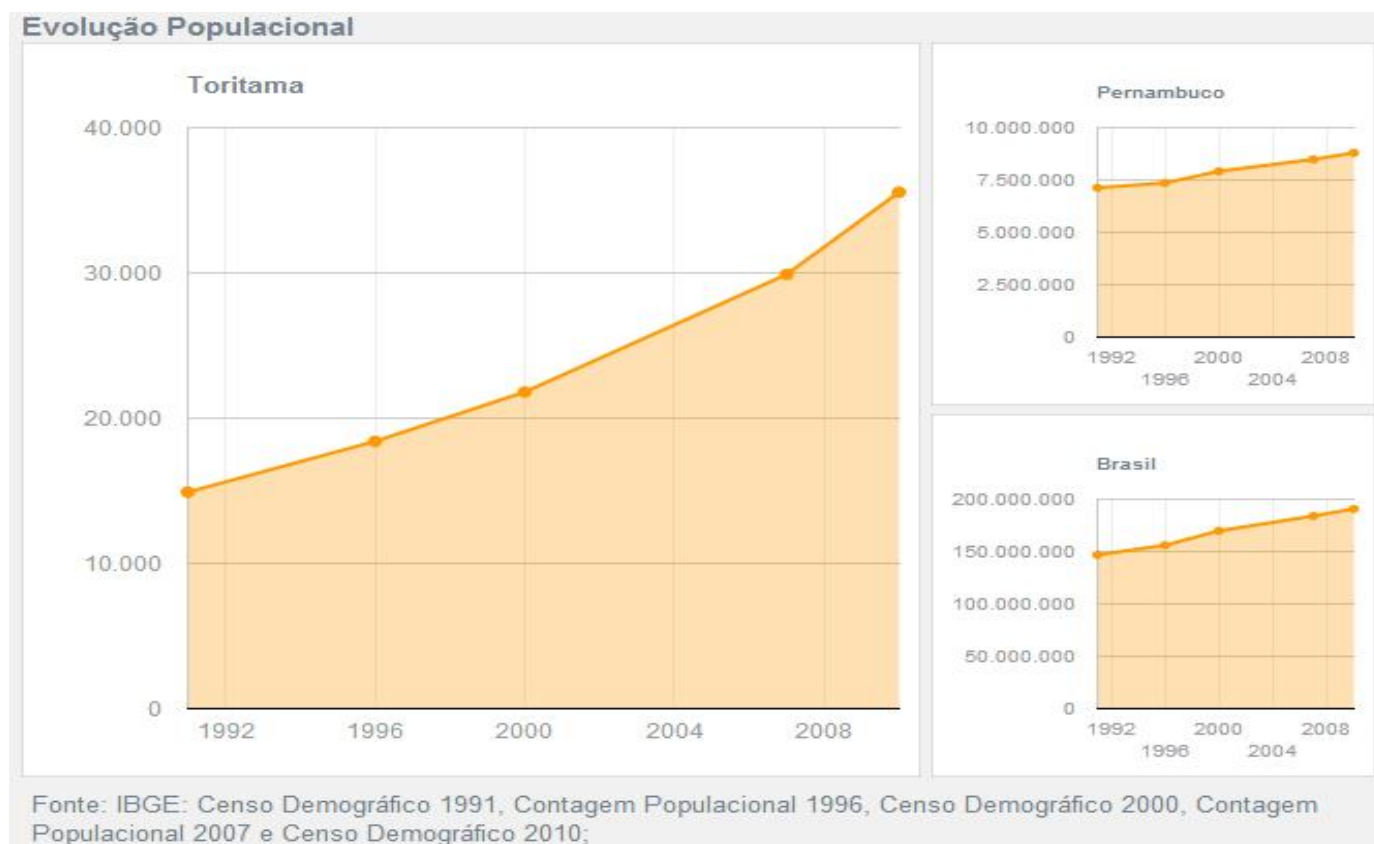


Figura 4 - Gráfico de Evolução populacional de Toritama em relação a Pernambuco e ao Brasil.

Ano	Toritama	Variação (%)	Pernambuco	Variação (%)	Brasil	Variação (%)
1991	14907	-----	7127855	-----	146825475	-----
1996	18399	23,43	7361368	3,28	156032944	6,27
2000	21800	18,48	7918344	7,57	169799170	8,82
2007	29897	37,14	8485386	7,16	183987291	8,36
2010	35554	18,92	8796448	3,67	190755799	3,68
Variação total		138,51	Variação total	23,41	Variação total	29,92
Variação Média		24,49	Variação Média	5,42	Variação Média	6,78

Tabela 1 - Variação da População de Toritama em relação a Pernambuco e Brasil.

Fonte: IBGE Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010.

Sobre o município de Caruaru, pode-se colocar que foi fundado em 1857 e atualmente possui uma população estimada em 337.416 habitantes (IBGE, 2013). É o município mais populoso do interior de Pernambuco e possui área territorial de 921 km². Em termos de economia, Caruaru se destaca como o mais importante polo da indústria têxtil, médico-hospitalar, acadêmico e cultural do agreste pernambucano.

Nos últimos anos, a economia de Caruaru tem crescido significativamente, principalmente em função do polo têxtil e isso tem causado reflexo também na população. Para se ter uma ideia, nas últimas décadas a cidade de Caruaru vem experimentando crescimento populacional acima da média de Pernambuco e do Brasil, conforme mostram a Figura-5 e a Tabela-2 a seguir. Nelas, se percebe que a população de Caruaru cresceu à taxa de variação média de 10,20%, enquanto Pernambuco alcançou 5,42% e o Brasil 6,78%.

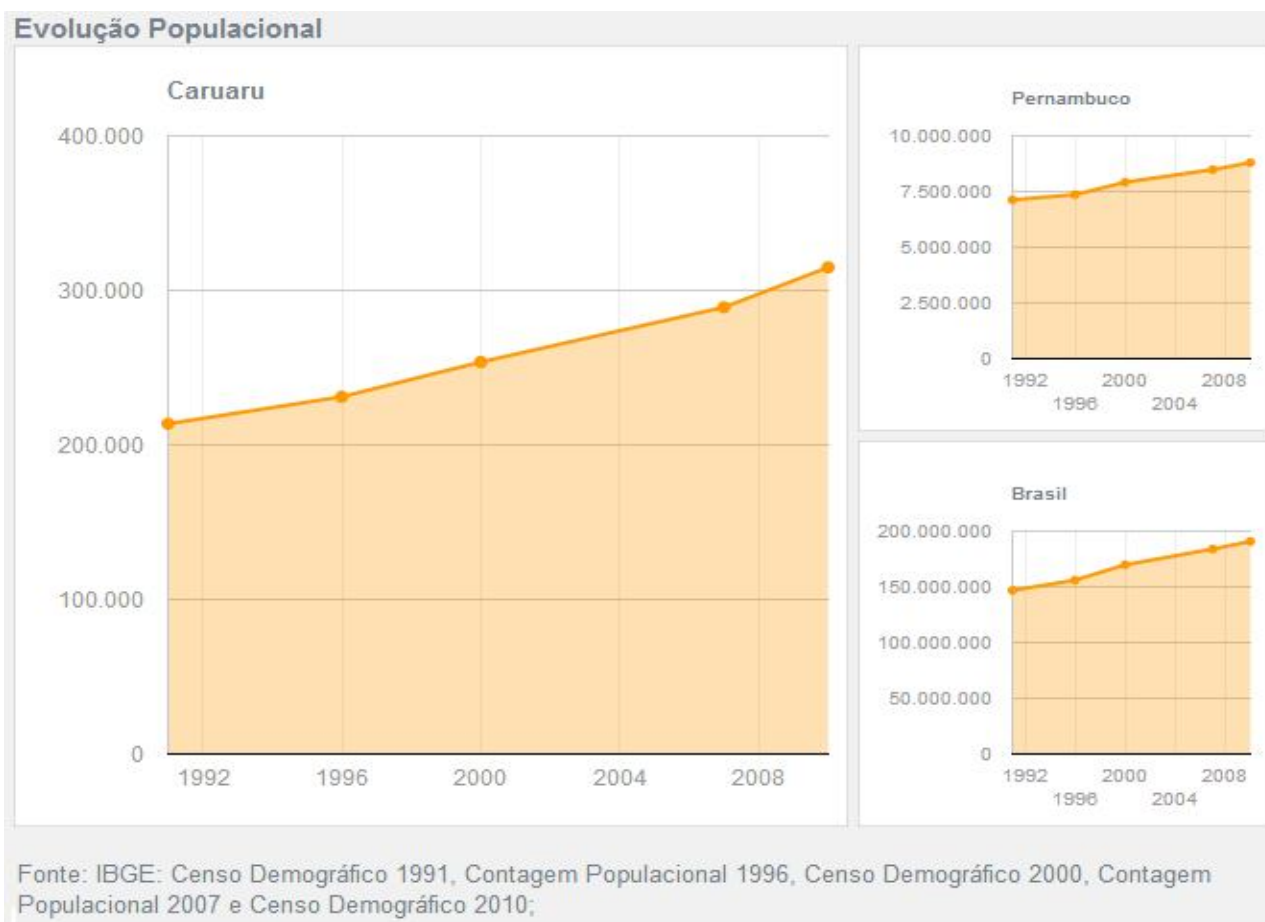


Figura 5 - Gráfico de Evolução populacional de Caruaru em relação a Pernambuco e ao Brasil.

Ano	Caruaru	Variação (%)	Pernambuco	Variação (%)	Brasil	Variação (%)
1991	213697	-----	7127855	-----	146825475	-----
1996	231170	8,18	7361368	3,28	156032944	6,27
2000	253634	9,72	7918344	7,57	169799170	8,82
2007	289086	13,98	8485386	7,16	183987291	8,36
2010	314912	8,93	8796448	3,67	190755799	3,68
Variação total		47,36	Variação total	23,41	Variação total	29,92
Variação Média		10,2	Variação Média	5,42	Variação Média	6,78

Tabela 2 - Variação da População de Caruaru em relação a Pernambuco e ao Brasil.

Fonte: IBGE Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO: Apresenta uma breve descrição do crescimento da frota de veículos do Brasil nos últimos anos, assim como, as definições de pavimentos e do número N, mostra a relevância do tema em estudo e os objetivos a serem alcançados neste trabalho. E por fim descreve a área de estudo deste trabalho.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: Contém aspectos relacionados ao objetivo específico do trabalho e estudos de fatores de tráfego, além de abordagens de defeitos gerados pelo excesso de carga no pavimento e alguns métodos de determinação do número N.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA: Apresenta o método do DNER para dimensionamento de pavimentos flexíveis, assim como, as equações e a sequência de cálculo aplicada na determinação do número N.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCURSÕES: Apresenta os dados obtidos da contagem manual do volume de tráfego da BR-104, trecho Toritama/Caruaru e os resultados obtidos pela aplicação dos dados na metodologia apresentada.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO: Apresenta conclusões que ajudam na compreensão da importância de abordagens mais cuidadosas na avaliação do tráfego.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tipos de veículos e suas cargas sobre o pavimento

Nas rodovias circulam veículos de passageiros (carros de passeio) e veículos comerciais (caminhões e ônibus). Do ponto de vista do projeto geométrico, leva-se em conta o tráfego total, mas do ponto de vista do dimensionamento do pavimento, o tráfego de veículos comerciais tem efeito preponderante.

O tráfego é muito variado quanto ao tipo de veículos e cargas transportadas. Uma das dificuldades no dimensionamento de pavimentos é a previsão da evolução do tráfego ao longo do tempo e a avaliação do poder de destruição que exercem as várias cargas a diferentes níveis de repetições no pavimento.

Segundo Pinto e Preussler (2010), as cargas que solicitam os pavimentos rodoviários são assim classificadas:

- Automóveis (P): Veículos de dois eixos e quatro rodas destinados ao transporte de pessoas.
- Ônibus (O): Veículos com dois ou três eixos; o eixo dianteiro possui duas rodas e os demais, quatro rodas cada.
- Caminhões Leves (CL): Veículos com dois eixos e quatro rodas destinados ao transporte de carga leve.
- Caminhões Médios (CM): Veículos destinados ao transporte de carga, com dois eixos, o traseiro possuindo rodas duplas.
- Caminhões Pesados (CP): Veículos que possuem dois eixos traseiros com quatro rodas cada e o dianteiro com duas rodas.
- Reboques (R) e Semi-reboques (SR): Veículos constituídos por mais de uma unidade. O eixo dianteiro do veículo trator é simples com duas rodas. Os demais, possuem quatro rodas podendo ser simples, em tandem duplo ou tandem triplo.

Pereira e Lendzion (2013) apresentam outra maneira de classificação a ser adotada, a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Existe quatro grupos básicos de veículos de projeto a serem adotados, conforme as características predominantes do tráfego:

- VP: Veículos de passeio leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pickups, furgões e similares;
- CO: Veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de 2 eixos e 6 rodas;
- SR: Veículos comerciais articulados, compostos normalmente de unidade tratora simples e semi reboque;
- O: Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO básico, como ônibus de longo percurso e de turismo, e caminhões longos.

Já o DNIT adota a classificação dos veículos segundo a Figura-6 a seguir, que apresenta as configurações básicas de cada veículo ou combinação de veículos, bem como número de eixos, seu PBT máximo e sua classe.

As diversas classes são representadas por um código alfanumérico, por exemplo 2S3. No código adotado, o primeiro algarismo representa o número de eixos do veículo simples ou da unidade tratora, enquanto que o segundo algarismo, caso exista, indica a quantidade de eixos da(s) unidade(s) rebocada(s). As letras significam:

C = veículo simples (caminhão ou ônibus) ou veículo trator + reboque;

S = veículo trator (cavalo mecânico) + semi-reboque;

I = veículo trator + semi-reboque com distância entre-eixos > 2,40 m (eixos isolados);

J = veículo trator + semi reboque com um eixo isolado e um eixo em tandem;

D = combinação dotada de 2 (duas) articulações;

T = combinação dotada de 3 (três) articulações;

Q = combinação dotada de 4 (quatro) articulações;

X = veículos especiais;

B = ônibus.

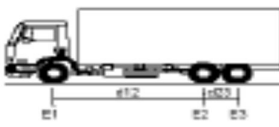
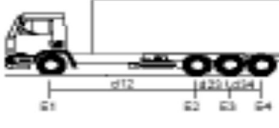
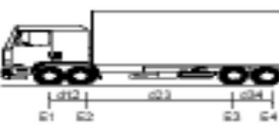
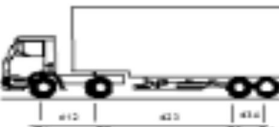
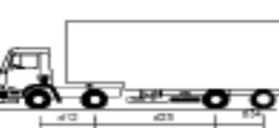
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	4	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t $1,20m < d34 \leq 2,40m$	4CD
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d12, d23, d34 > 2,40m$	2I2

Figura 6 - Veículos adotados na classificação do DNIT (2006).

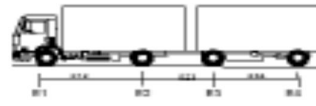
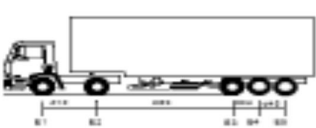
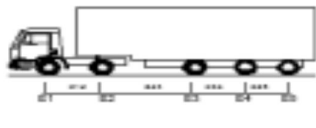
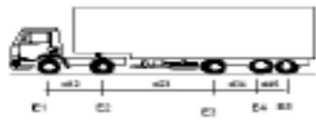
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	5	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2

Figura 6 – Veículos adotados na classificação do DNIT (2006) (Continuação).

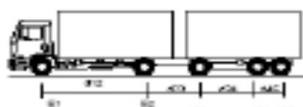
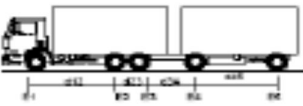
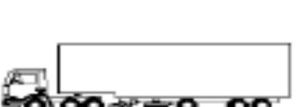
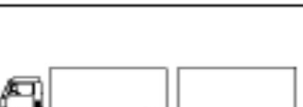
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	5	43(45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	6	19,5(20,5)	CAMINHÃO TRATOR E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10 ton até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X

Figura 6 – Veículos adotados na classificação do DNIT (2006) (Continuação).

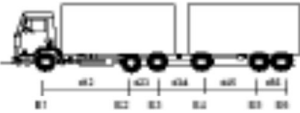
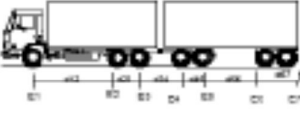
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	6	50(52,5)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = T0, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	7	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	57(59,9)	BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	63(66,2)	TREMINHAO(caminhão trucado + dois reboques) E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	9	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 8t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6

Figura 6 – Veículos adotados na classificação do DNIT (2006) (Continuação).

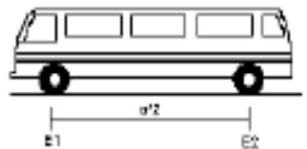
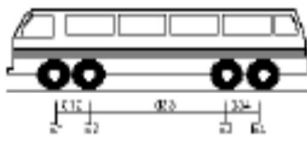
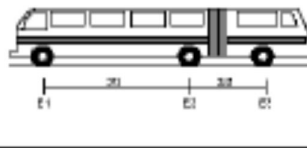
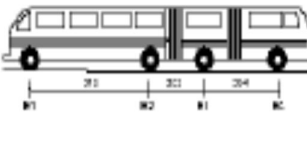
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	9	74(77,7)	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t $d_{12}, d_{34}, d_{56}, d_{78} > 2,40m$ $1,20m < d_{23}, d_{45}, d_{67}, d_{89} \leq 2,40m$	3T6
	2	16(16,8)	ÔNIBUS E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t $d_{12} \leq 3,50m$	2CB
	3	19,5(20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t $d_{12} > 2,40m$ $1,20 < d_{23} \leq 2,40m$	3CB
	4	25,5(26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t $1,20 < d_{34} \leq 2,40m$	4CB
	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t $d_{12}, d_{23} > 2,40m$	2SB1
	4	36(37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d_{12}, d_{23}, d_{34} > 2,40m$	2IB2

Figura 6 – Veículos adotados na classificação do DNIT (2006) (Continuação).

2.2. Legislação Relativa Às Dimensões e Pesos dos Veículos

Neste item serão apresentadas informações relativas a pesos e dimensões de veículos utilizados com mais frequência nos estudos de tráfego. Maiores detalhes constam do manual Quadro de Fabricantes de Veículos, elaborado pelo DNIT e disponibilizado em seu site na internet. Desse manual foram extraídas outras informações consideradas adequadas para inclusão em vários itens do presente trabalho (DNIT/IPR, 2006).

a) Resoluções N.º 12, de 06/02/98

O Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, usando da competência que lhe confere o inciso I, do art. 12, da Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro – CTB, estabeleceu, limites de dimensões e peso para veículos em trânsito livre. A descrição desta resolução segue no anexo-I deste trabalho.

b) Circulação de Combinações de Veículos de Carga (CVC)

De um modo geral, veículos com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, exigem autorização especial para trafegar. O comprimento máximo dos rodotrens e treminhões está limitado pelas autoridades de trânsito a 30 m. A Resolução nº 68, de 23 de setembro de 1998, e alterações introduzidas pelas Resoluções 76/98 e 164/04 estabelecem as normas regulamentares para circulação desses veículos. A descrição deste item segue no anexo-II deste trabalho.

c) Resoluções relativas a cargas excepcionais

O transporte de cargas excepcionais e o trânsito de veículos especiais devem atender além do disposto no Código de Trânsito Brasileiro, às Instruções para o Transporte de Cargas Indivisíveis e Excedentes em Peso e/ou Dimensões e para o Trânsito de Veículos Especiais constantes da Resolução 2264/81 do Conselho de Administração do DNIT na sessão 40 de 07/12/1981 e alterada pela Resolução 2471/89, sessão 39 de 08/12/1989. A descrição desta resolução segue no anexo-III deste trabalho.

2.3. Estudo da Capacidade de Tráfego

Os estudos da capacidade de tráfego permitem a determinação das características fundamentais para o Projeto de Rodovias através de um melhor entendimento do comportamento dos fluxos de tráfego e das suas principais características (FREITAS, 2010).

A melhor maneira de quantificação dos volumes de veículos que se utilizam da via são as contagens em campo, que, no entanto, são apenas viáveis quando a via já existe, e aqui ainda cabem algumas restrições. As contagens são obrigatórias na construção, restauração, implantação e melhoramentos de pavimentos.

As contagens classificatórias e volumétricas são geralmente realizadas em períodos de sete dias, cobertas as 24 horas por dia, empregando-se equipamentos automatizados instalados em pista ou a partir de levantamentos visuais em campo. No último caso, é conveniente a adoção da nomenclatura indicada pela Figura-6, e a utilização de planilhas auxiliaadoras por contadores manuais em que são anotados, hora a hora, os volumes observados para cada tipo de veículo, conforme apresentada na Figura-7 (BALBO, 2007).

RODOVIA: BR-000/XX				SEGMENTO: km000,0-km000,0								PESQUISADOR XXX				FOLHA						
LOCAL		Posto 00 "A"		SENTIDO		Local xxxx - Localyyyyy																
DATA		00/00/2000 2a Feira		PERÍODO		24 HORAS																
		CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS		BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		TOTAL
HORA		P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
0:00	1:00																				0	
1:00	2:00																				0	
2:00	3:00																				0	
3:00	4:00																				0	
4:00	5:00																				0	
5:00	6:00																				0	
6:00	7:00																				0	
7:00	8:00																				0	
8:00	9:00																				0	
9:00	10:00																				0	
10:00	11:00																				0	
11:00	12:00																				0	
12:00	13:00																				0	
13:00	14:00																				0	
14:00	15:00																				0	
15:00	16:00																				0	
16:00	17:00																				0	
17:00	18:00																				0	
18:00	19:00																				0	
19:00	20:00																				0	
20:00	21:00																				0	
21:00	22:00																				0	
22:00	23:00																				0	
23:00	24:00																				0	
TOTAL		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 7 - Planilha de contagem manual para um período de 24 horas em rodovia (DNIT, 2006).

Alguns fatores podem afetar a capacidade/contagem dos volumes de serviço. AKISHIRO (2006), lista os seguintes:

- **Características da via:** tipo, número de faixas por sentido, largura das faixas, distância entre as margens da pista e obstáculos laterais (largura dos acostamentos), ambiente típico atravessado, traçado em planta;
- **Características do tráfego:** composição da frota, distribuição do fluxo por sentido e tipo de usuário;
- **Condições Ideais:** largura de faixa igual a 3,6 m (12 pés), distância de 1,8 m (6 pés) da borda do leito das faixas externas até às obstruções ou objetos mais próximos ao lado ou no canteiro central. Velocidade de projeto de 112 km/h (70 mph) para rodovias de múltiplasfaixas e de 96 km/h (60mph) para rodovias com duas faixas. Somente automóveis na corrente de tráfego;
- **Distribuição Direcional:** Durante uma hora específica, o volume em uma direção pode ser muito maior do que em outra. Uma rodovia radial urbana, atendendo a uma forte demanda direcional no sentido do acesso ao centro da cidade durante a manhã e no sentido oposto ao entardecer, pode apresentar um desequilíbrio entre os fluxos direcionais, maior do que 2:1. Outros tipos de rodovias também podem ser objeto de desequilíbrios direcionais significativos, os quais devem ser levados em consideração no processo de projeto. A distribuição direcional é um fator preponderante na análise de capacidade. Isto é particularmente verdadeiro para rodovias rurais de pista simples com duas faixas de rolamento.

O VMD (Volume Médio Diário), é umas das ferramentas fundamentais para os estudos das rodovias. A análise do VMD facilita localizar e projetar instalações para operação rodoviária, realizar análise estatístico de acidentes, estabelecer classificação das rodovias, analisar a capacidade da via, estabelecer as tendências de tráfego no futuro, planejar o sistema rodoviário, medir a demanda atual da via, classificar os tipos de veículos, prever a manutenção na via, verificar a funcionalidade e o comportamento da rodovia, prever saturação e gargalos nas proximidades das cidades, planejar operações e manutenções em geral da via. (MORAES, 2006; DER, 2005).

São de uso corrente os seguintes conceitos de volume médio diário (DNIT, 2006):

- Volume Médio Diário Anual (VMDa): número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365.
- Volume Médio Diário Mensal (VMDm): número total de veículos trafegando em um mês dividido pelo número de dias do mês. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere.
- Volume Médio Diário Semanal (VMDs): número total de veículos trafegando em uma semana dividido por 7. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere. É utilizado como uma amostra do VMDm.
- Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd): número total de veículos trafegando em um dia de semana. Deve ser sempre acompanhado pela indicação do dia de semana e do mês correspondente.

Para todos esses casos a unidade é veículos/dia (vpd). O VMDa, ou simplesmente VMD, é o de maior importância. Os demais são geralmente utilizados como amostras a serem ajustadas e expandidas para determinação do VMD. A determinação do verdadeiro valor desse parâmetro somente é possível por meio de contagens contínuas, ou permanentes, efetuadas normalmente por equipamentos eletrônicos. (LABTRANS, 2007).

O volume de tráfego varia ao longo do tempo, sendo classificado nas seguintes escalas de variações cíclicas temporais:

- **Variação anual:** Como reflexo das mudanças na economia do país, o fluxo de tráfego normalmente se altera de ano a ano. Este efeito faz com que seja necessário um cuidado especial na utilização de dados antigos, uma vez que podem levar a uma avaliação errônea da importância da rodovia. As variações anuais costumam ser mais acentuadas nas vias rurais, principalmente nas de acesso a áreas de recreio (DNIT/IPR, 2006);
- **Variação mensal ou sazonal:** As mudanças contínuas dos valores dos volumes de tráfego ao longo dos meses de um ano são, primeiramente, em função do tipo de rodovia (rural, urbana ou turística) e do tipo de atividades sócio-econômicas da área servida pela via. De maneira geral, a variação mensal é mais intensa nas rodovias rurais do que nas vias urbanas, sendo que nessas últimas as alterações dos volumes são mais significativas

durante os períodos de férias escolares. No caso de rodovias rurais, as variações decorrem de influências de safras agrícolas, de épocas de comercializações, etc. Quanto às rodovias turísticas, existem as influências de estações do ano e de férias escolares, criando variação volumétrica mais severa ao longo do ano (GOMES, 2004);

- **Variação semanal:** As variações diárias do volume também estão relacionadas com o tipo de rodovia. Percebe-se que no padrão urbano os volumes são aproximadamente constantes, durante os dias da semana, e que existe um leve declínio nos fins de semana e feriados, sendo o volume do domingo mais baixo que o do sábado. Esse comportamento pode existir em muitas rodovias rurais. O outro padrão de variação de volume é normalmente encontrado em áreas rurais com grande quantidade de viagens turísticas, onde se observa um volume constante durante a semana, seguido de um aumento do tráfego nos fins de semana. (FHWA, 2001);
- **Variação horária:** Os volumes de tráfego também variam ao longo do dia, apresentando pontos máximos acentuados, designados por picos. A compreensão destas variações é de fundamental importância, uma vez que é no horário de pico que necessariamente deverão ocorrer os eventos mais relevantes. Na expansão de contagens de algumas horas para o dia todo, a precisão da estimativa dependerá sempre do conhecimento dos padrões de flutuação dos volumes (DNIT/IPR, 2006).

Os dados das contagens classificatórias ou globais podem ser obtidos de contagens ininterruptas (24 horas durante todo o ano), ou contagens periódicas de cobertura, com as quais são obtidos dados durante, por exemplo, 12, 24 ou 48 horas, 3 dias, uma semana ou um mês. Em outras palavras, os dados sobre o tráfego podem ser constituídos por variações ao longo das horas do dia, dos dias da semana e/ou dos meses do ano. Com o auxílio de fatores de expansão é possível relacionar estes valores de volumes entre si. A Figura-8 apresenta a aplicação dos fatores de expansão para transformar VMD horário, semanal e mensal (sazonal) para VMDa. (LABTRANS, 2007).

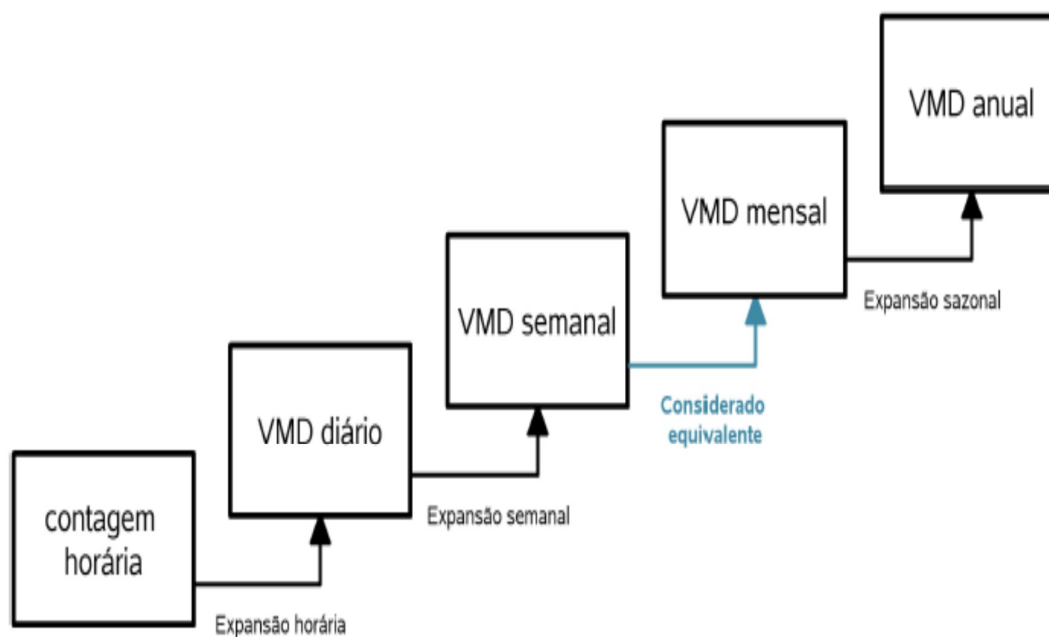


Figura 8 - Aplicação de fatores de expansão para transformar VMD horário, semanal e mensal (sazonal) para VMDa.

2.4. Espessuras mínimas de revestimentos em função do número N.

Os revestimentos têm a finalidade de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego. Com isso o DNIT determinou uma tabela de espessura mínima em função do número N e o tipo de material do revestimento, como mostra a Tabela-3.

Número N	Espessura mínima de revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 \leq N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 \leq N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Tabela 3 - Espessuras mínimas de revestimentos.

2.5. Fatores considerados no cálculo do número N, Fator de Eixo (FE), Fator de Carga (FC) e Fator de Veículos(FV)

Os fatores apresentados neste item, devem ser estudados com muita calma e segurança, pois se forem calculados errados isso ocasionará um erro no parâmetro N, e o dimensionamento da espessura final do pavimento depende desse parâmetro, com isso pode ocorrer duas situações:

- O parâmetro N ser dimensionado com um valor maior que o real o que acarretará no superdimensionamento do projeto aumentando assim o custo de sua obra.
- O parâmetro N ser dimensionado com um valor menor que o valor real, nessa situação o pavimento foi subdimensionado o que acarretará o efeito de fadiga no pavimento, esse efeito causa danos a estrutura como, por exemplo, o aparecimento de trincas no pavimento, fazendo com que a estrutura fique frágil e susceptível a infiltração da água de chuva diminuindo assim sua resistência, e fazendo com que a estrutura deteriore antes do prazo de sua vida útil.

Fator de Eixo (FE): É definido pelo DNER (1996), como sendo o coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego que solicitará o pavimento durante o período de projeto, fornece a estimativa do número de eixos que solicitarão o pavimento no mesmo período de projeto.

O parâmetro N está relacionado com dois fatores que serão definidos na metodologia desse estudo, são eles o fator de eixo (FE) e o fator de carga (FC), para o bom desempenho do cálculo desse parâmetro devem-se saber quais as solicitações que atuam no pavimento, essas solicitações são consideradas no fator de veículo ($FV = FE \times FC$) e elas estão relacionadas aos tipos de veículos que trafegam no pavimento estudado.

Fator de Carga (FC): É definido pelo DNER (1996), como sendo o coeficiente que, multiplicado pelo número de eixos que solicitarão o pavimento durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 KN.

Fator de Veículo (FV): É definido pelo DNER (1996), como sendo o coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicita o pavimento durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão no mesmo período. Ou seja: $FV = FE \times FC$.

O conhecimento dos efeitos cumulativos das solicitações do tráfego é fundamental para os métodos de dimensionamento e para os sistemas de gerenciamento dos pavimentos. Por causa da grande variabilidade das condições do tráfego, seus efeitos cumulativos têm que ser expressos por um denominador comum, os Fatores de Equivalência de Cargas (FEC). A figura-9 a seguir apresenta alguns tipos de veículos com a composição de eixos para cada tipo de veículo e a Figura-10 a seguir, mostra suas respectivas cargas.

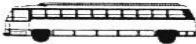
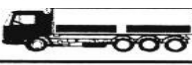
TIPOS DE VEÍCULOS										
CLASSE / TIPO			CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Nº EIXOS	Nº PNEUS	Nº UNIDADES
				1º	2º	3º	4º			
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)		 	SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01
ÔNIBUS	ÔNIBUS $\geq$ 2C			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
	TRIBUS			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO ESPECIAL			03	08	01
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS		02	06	01
		CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS		02	06	01
			3C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM		03	10	01
			4C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	TRIPLO TANDEM		04	14	01
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	03	10	01
			2S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM	04	14	01
			2S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	TRIPLO TANDEM	05	18	01
			3S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO TANDEM	05	18	01
			3S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	TRIPLO TANDEM	06	22	01
		CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEU E JULIETA)	2C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	04	14	02
			2C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	05	18	02
			3C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	05	18	02
			3C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	06	22	02
		"TREMINHÃO"	3C4		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO	07	26	02

Figura 9 - Tipos de Veículos com a composição dos Eixos.

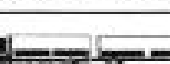
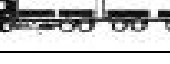
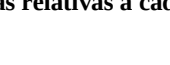
CARGA LEGAL (DNER)								
CLASSE / TIPO			CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				
				1°	2°	3°	4°	Σ
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO							
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)		 					
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≥ 2C			4,0	7,5			11,5
	TRIBUS							
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		2,0	4,0		6,0
		CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		6,0	10,0		16,0
			3C		6,0	17,0		23,0
			4C		6,0	25,5		31,5
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		6,0	10,0	10,0	26,0
			2S2		6,0	10,0	17,0	33,0
			2S3		6,0	10,0	25,5	41,5
			3S2		6,0	15,0	17,0	38,0
			3S3		6,0	15,0	25,5	46,5
		CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEIRO E JULIETA)	2C2		6,0	10,0	10,0	36,0
			2C3		6,0	10,0	10,0	41,0
			3C2		6,0	15,0	10,0	41,0
			3C3		6,0	15,0	10,0	46,0
		"TREMINHÃO"	3C4		6,0	17,0	17,0	57,0

Figura 10 - Cargas relativas a cada tipo de Eixo para cada tipo de Veículo.

São mostrados alguns exemplos na Figura-11 a seguir, de como ocorrem a distribuição das solicitações geradas por cada tipo de eixo:

- Figura 11 (a) – Caminhão pesado (3C) - 1º eixo: simples de rodas simples (6t), 2º eixo: Tandem duplo (17t).
- Figura 11 (b) – Caminhão com semi-reboque romeu e julieta (3C2) - 1º eixo: simples de rodas simples (6t), 2º eixo: Tandem duplo (17t) e (3º e 4º) eixo: simples de rodas duplas (10t).
- Figura 11 (c) – Caminhão com semi-reboque (3S3) - 1º eixo: simples de rodas simples (6t), 2º eixo: Tandem duplo (17t) e 3º eixo: Tandem triplo (25,5t).
- Figura 11 (d) – Caminhão com semi-reboque e adaptação de eixos auxiliares - 1º eixo: simples de rodas simples (6t) e (2º, 3º, 4º e 5º) eixo: Tandem duplo (17t).
- Figura 11 (e) – Treminhão (3C4) - 1º eixo: simples de rodas simples (6t) e (2º, 3º e 4º) eixo: Tandem duplo (17t).
- Figura 11 (f) – Caminhão com semi-reboque e adaptação de eixos auxiliares - 1º eixo: simples de rodas simples (6t), 2º eixo: Tandem duplo (17t) e (3º e 4º) eixo: Tandem triplo (25,5t).

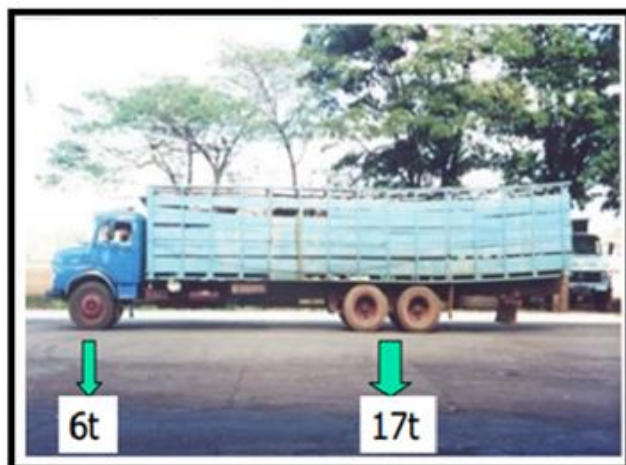


Figura - 11 (a)

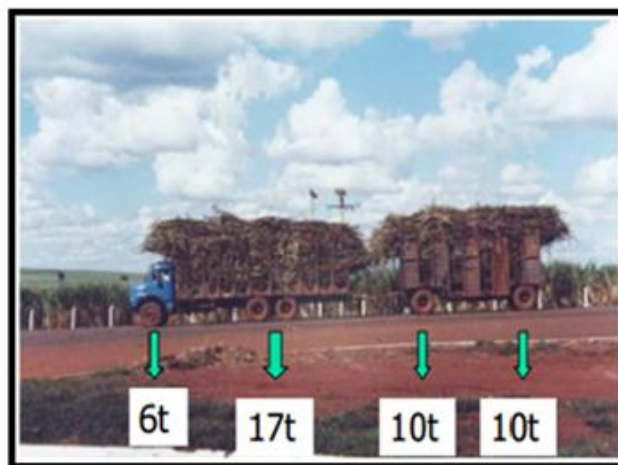


Figura - 11 (b)

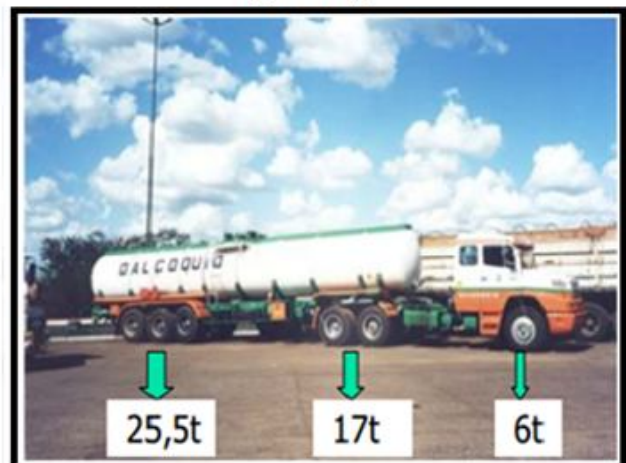


Figura - 11 (c)

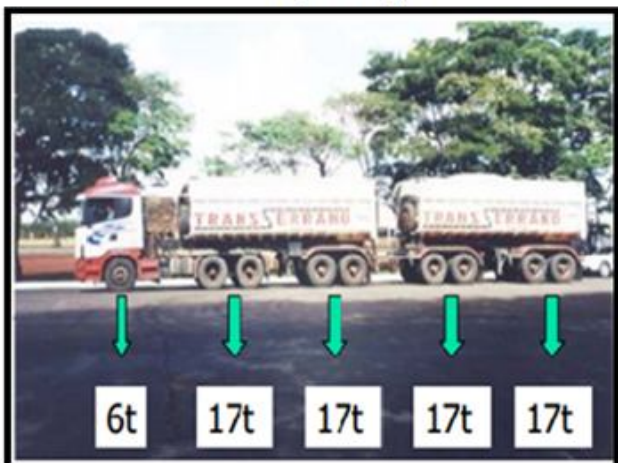


Figura - 11 (d)

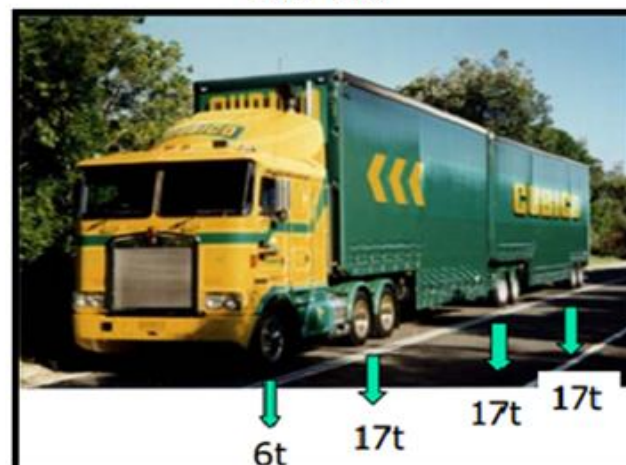


Figura - 11 (e)

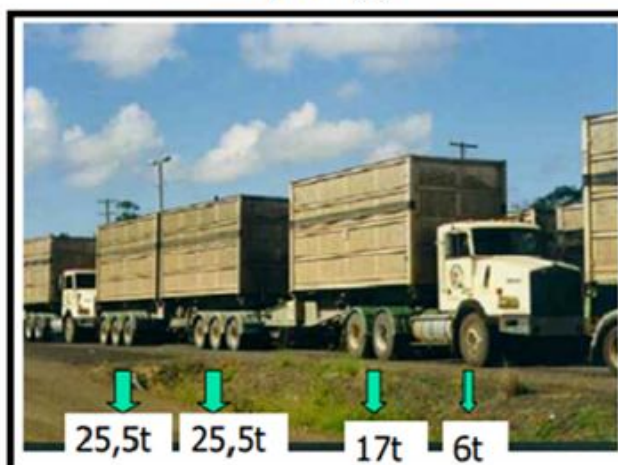


Figura - 11 (f)

Fonte: Apostila cargas rodoviárias e tráfego professora Jisela Aparecida Santanna Greco

Figura 11 - Solicitações dos diversos tipos de eixo

2.6. Métodos de determinação do Número N

Para elaborar novos estudos para o dimensionamento de pavimentos existem alguns métodos:

a) Método do DNER:

Este método está embasado no manual do DNIT (2006), seguindo o método do DNER, para dimensionamento de pavimentos flexíveis, foi elaborado pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza, tem sua fundamentação nas características de suporte do subleito, nos materiais que constituem a estrutura do pavimento, e no número N, para um eixo padrão de 8,2tf, durante a vida útil de projeto. Neste método, a estrutura do pavimento é concebida para proteger o subleito quanto à ruptura por cisalhamento ou por acúmulo de deformações permanentes.

O cálculo do número N para este método tem como base o estudo do volume de tráfego e sua composição, onde este pode ser obtido através de dados de séries históricas da via, ou pela contagem do volume de veículos que trafegam na via. A metodologia e o procedimento para o cálculo do parâmetro N por esse método estão explícitos no capítulo 3 deste estudo.

b) Método do AASHTO:

A concepção do método de dimensionamento da AASHTO teve seu início na década 50 nos Estados Unidos quando foi criada “*The AASHO Road Test*”, quando a AASHTO realizou um estudo do desempenho de vários tipos de estruturas de pavimento através da avaliação dos efeitos das cargas do tráfego de magnitudes e frequência conhecidas.

Este método da AASHTO, além de levar em considerações as cargas que solicitam o pavimento, também leva em conta a performance do pavimento ou índice de serventia, que estão divididas em dois tipos:

- Performance estrutural que está ligado à sua condição física, ou seja, condições que possam afetar a capacidade estrutural de um pavimento

- Performance funcional que diz respeito a sua capacidade de prestar um bom serviço ao usuário, ou seja, o conforto do usuário ou a qualidade de dirigibilidade é o aspecto preponderante e por último a segurança do usuário.

As informações de tráfego requeridas pelas equações de dimensionamento utilizadas neste método são tipos de eixos, carga por eixo e número de aplicações. A metodologia de conversão de um tráfego de múltiplas configurações em um número equivalente de operações de um eixo padrão rodoviário é o mesmo considerado na aplicação do método de dimensionamento do DNER, o diferencial e que é feita a adoção dos **fatores de equivalência de cargas** (FEC). Pois neste método, o FEC utilizados são aqueles obtidos na “Pista Experimental da AASHTO”.

É importante destacar que estudos de tráfego para obtenção do número N de operações equivalentes ao eixo padrão utilizando o FEC da AASHTO conduzem a resultados consideravelmente inferiores aos estudos que se utilizando dos FEC adotados pelo método de dimensionamento do DNER, ou seja, FEC derivados dos estudos conduzidos por Ahvin, Foster e Turnbull para o Corpo de engenheiros do Exército Norte Americano – USACE.

Assim para uma mesma contagem volumétrica e classificatória, com os mesmos dados de pesagem e estimativa de crescimento de tráfego, para um mesmo período P de projeto, têm-se:

$$N_{AASHTO} = 0.25 \times N_{USACE}$$

Equação 1 – Número N pelo método da AASHTO.

2.7. Tipos de defeitos gerados pelo excesso de carga

Os pavimentos flexíveis, segundo Ceratti (1997), sofrem uma contínua degradação no decorrer do tempo, ocorrendo deformações plásticas e trincas no revestimento, decorrentes da ação do tráfego, sendo os principais problemas:

- Fissuras que se formam e crescem nas camadas de revestimentos asfálticos devido à fadiga provocada pela repetição das cargas do tráfego;
- Afundamento de trilha de roda ou ondulações na superfície ocasionadas por acúmulo de deformações plásticas em todas as camadas ou localizadas na camada de revestimento, sob a ação das cargas do tráfego;
- Desgastes e exposição de agregados, com perda de macrotextura superficial do pavimento decorrente da abrasão provocada pelos veículos;
- Envelhecimento do ligante betuminoso por oxidação, fragilizando a mistura asfáltica e possibilitando seu trincamento e o arrancamento dos agregados.

Esses defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificadas segundo uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003 – TER – DNIT, 2003a).

O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasa o diagnóstico da situação funcional para subsidiar uma solução tecnicamente adequada e, em caso de necessidade, indicar a melhor ou as melhores alternativas de restauração de pavimentos.

Esses defeitos ocorrem geralmente pelo mal dimensionamento da espessura de revestimento do pavimento, que não suportam o excesso de carga, por isso a determinação do número N é de fundamental importância para este requisito, pois é através deste parâmetro que se dimensiona a espessura mínima de revestimento (item 2.4).

3. METODOLOGIA

Este estudo está embasado no manual do DNIT (2006), seguindo o método do DNER para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Como o cálculo do número N depende do tráfego, este precisa ser analisado e levar em conta sua composição e o seu volume.

Primeiramente para o cálculo do número N precisamos calcular o **volume médio diário de tráfego (V_m)**, onde pode ser calculado pela seguinte equação:

$$V_m = \frac{V_1 \cdot \left[2 + (P - 1) \cdot \frac{t}{100} \right]}{2}$$

Equação 2 - Volume médio diário de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão aritmética.

Onde:

V_1 = Volume médio diário de tráfego em um sentido no ano de abertura.

P = Período adotado para o dimensionamento da estrutura do pavimento, de tal forma a desempenhar sua função de proporcionar trafegabilidade, conforto e segurança aos usuários durante este período.

t = Taxa de crescimento anual, em progressão aritmética.

Para o período (P) de dimensionamento da estrutura do pavimento, nas instruções de projeto do DER (2005), é definido que, normalmente adota-se período de projeto igual a 10 anos para pavimentos flexíveis e semi-rígidos, e 20 anos para pavimentos rígidos.

Já a Taxa de crescimento anual (t) relacionada ao tráfego o DNIT admite taxas de crescimento anual máximas de 4,0% para projetos de rodovias planejadas que irão atender áreas de expansão agrícola, para as demais rodovias a taxa de crescimento recomendada é de 3,0%.

Para a determinação do Volume médio diário em um sentido no ano de abertura, foram realizadas contagens de veículos no posto da Polícia Rodoviária Federal (BR -104) entre as cidades de Toritama e Caruaru. As contagens foram realizadas em 3 dias seguidos (Segunda,

Terça e Quarta), foram escolhidos esses dias porque são os dias onde ocorrem o maior fluxo de veículos devido as feiras do polo de confecções das cidades de Toritama e Caruaru, nos seguintes horários: 7:00h as 8:00h, 13:00h as 14:00h e das 18:00h as 19:00h. A partir desses valores, determinou o valor médio de veículos para uma hora do dia, o qual será expandido para as 24 horas, sendo esse o Volume médio diária de tráfego (V_1).

Após determinar o volume médio diário de tráfego (V_m), pode-se determinar o **volume total de tráfego (V_t)**, e um sentido durante o período **P**, dessa forma têm-se a equação:

$$V_t = 365 \cdot P \cdot V_m$$

Equação 3 - Volume total de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão aritmética.

Esse volume total de tráfego dado pela equação acima está relacionado com uma taxa de crescimento em progressão aritmética, ou seja, tem um crescimento linear, mas na prática sabe-se que esse crescimento não é constante ao longo dos anos, então admite uma taxa de crescimento anual (t), em progressão geométrica, para o cálculo do volume total V_t , com isso temos a seguinte equação:

$$V_t = \frac{365 \cdot V_1 \cdot \left[\left(1 + \frac{t}{100} \right)^P - 1 \right]}{\frac{t}{100}}$$

Equação 4 - Volume total de tráfego, para uma taxa de crescimento em progressão geométrica.

Conhecido o número total de veículos que trafegam a via e alguns fatores de equivalência que serão explicados adiante, pode-se calcular o N , que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no método de dimensionamento do DNER, que é dado pela equação:

$$N = V_t \cdot FE \cdot FC$$

Equação 5 - Parâmetro de tráfego N .

Mas a equação 4 pode ser simplificada quando sabemos o **Fator de Veículos (FV)**, que é o produto do fator de eixo (FE) pelo fator de carga (FC), atua na compensação da grande diversidade de veículos e cargas que transitam pela via, transformando estas cargas e veículos diversos em uma quantidade de operações do eixo padrão que seja equivalente em termos de feito destrutivo do pavimento, com isso obtêm-se a seguinte equação:

$$N = V_t \cdot FV$$

Equação 6 - Parâmetro de tráfego N, em função do Fator de Veículo (FV).

Para o cálculo de FE, FC e FV, é necessário conhecer a composição de tráfego. Para isto, é necessário fazer uma contagem do tráfego na estrada que se está considerando, estudando-se um certo volume total, V_t (para o período de amostragem). Faz-se contagem do **número total de eixos n**. Dessa forma pode-se calcular o Fator de Eixo pela equação abaixo:

$$n = V_t \cdot FE \quad \text{Onde, } FE = \frac{n}{V_t}$$

Equação 7 - Número total de eixos n, para o cálculo do Fator de Eixo (FE).

Para o cálculo do Fator de Eixo pode-se utilizar uma tabela conforme ilustrado abaixo na Tabela-4, onde a coluna 4 **Fatores de Eixo Individual** (FE.Individual) é dada pelo produto da coluna 2 pela coluna 3 e o **Fator de Eixo** (FE), será o somatório da coluna 4.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
Tipo de Veículos	Nº de Eixos	Porcentagem do Tráfego comercial	FE.Individual
FE = $\sum$ FE.Individual			

Tabela 4 - Cálculo do Fator de Eixo.

O cálculo do fator de carga baseia-se no conceito de equivalência de operações, mais especificamente no Fator de Equivalência, que podem ser citados pelas literaturas de duas formas, como **Fator de Equivalência de Operações (FEO)** ou **Fator de equivalência de Carga (FEC)**.

Fator de equivalência (FEO/FEC) é um número que relaciona o efeito de uma passagem de qualquer tipo de veículo sobre o pavimento, com o efeito provocado pela passagem de um veículo considerado padrão. Assim, por exemplo, quando o fator de equivalência é igual a 9, deve-se interpretar como um veículo cuja passagem representa o mesmo efeito que nove passagens do veículo padrão; um veículo comum fator de equivalência igual a 0,2 deve ser interpretado como a necessidade de cinco passagens desse veículo para equivaler a uma passagem do veículo padrão.

Para se obter esses dados para o cálculo do Fator de Carga, faz-se uma pesagem de todos os eixos, pra que se possa determinar os fatores de equivalência para cada tipo de eixo, com o auxílio da Figura-12 mostrada a seguir.

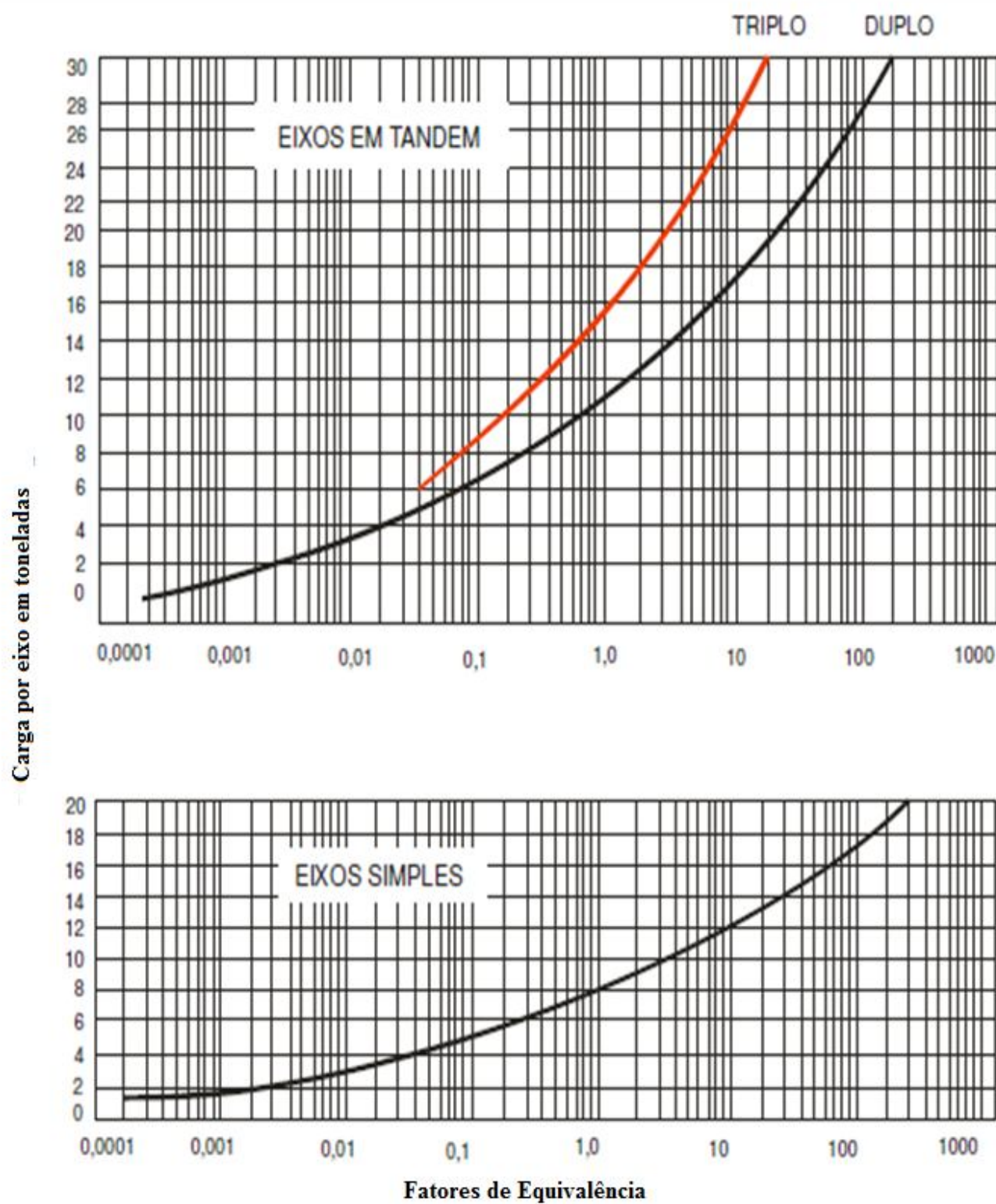


Figura 12 - Fatores de Equivalência.

Com os dados de pesagem, organiza-se uma tabela conforme mostrado na Tabela-5, agrupando-se os diversos eixos por intervalos de carga.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
	Porcentagem	Fator de Equivalência	Fator de Operação
Eixo Simples			
Eixos Tandem			
Equivalência = $\sum$ Fator de Operação			

Tabela 5 - Determinação da Equivalência para o cálculo do Fator de Carga.

Os valores da coluna 3 são obtidos no gráfico da Figura-12. Os valores da coluna 4 são os produtos dos valores da coluna 2 pelos da coluna 3. O somatório da coluna 4 representa o produto 100 x (FC), isto é, Equivalência = 100.FC. Dessa forma temos:

$$FC = \frac{\text{EQUIVALÊNCIA}}{100}$$

Equação 8 - Fator de Carga (FC).

Com isso têm-se o Fator de Veículo que é dado por, $FV = (FE) \times (FC)$. Normalmente, o cálculo de N é feito de acordo com as seguintes etapas:

- Cálculo de V_t através de dados estatísticos da estrada que se está considerando, incluindo-se fixação V_1 (onde devem ser levados em conta os tráfegos gerado e desviado), do tipo de crescimento e de sua taxa t . O cálculo de V_t pode ser feito também em face de um estudo econômico da região.
- Cálculo de FV, através do FV individuais (FV_i) para as diferentes categorias de veículos, determinadas numa estação de pesagem representativa da região e das percentagens P_i (determinada no item a) com que estas categorias de veículos ocorrem na estrada que está sendo considerada.

O cálculo da etapa b) é dado pela seguinte Equação:

$$FV = \sum \left[\frac{(P_i) \cdot (FV_i)}{100} \right]$$

Equação 9 - Fator de Veículo (FV).

Os diferentes veículos são classificados pelo DNIT (2006) nas seguintes categorias:

- a) Automóveis
- b) Ônibus
- c) Caminhões leves, com dois eixos simples, de rodas simples
- d) Caminhões médios, com dois eixos, sendo o traseiro de rodas duplas
- e) Caminhões pesados, com dois eixos, sendo o traseiro “tandem”
- f) Reboques e semi-reboques: as diferentes condições de veículos, em unidades múltiplas

Os FV_i para automóveis e caminhões leves (embora calculáveis) são desprezíveis interessando especialmente, os FV_i para caminhões médios, pesados e reboques e semi-reboques.

Além desses fatores deve ser considerado que um mesmo pavimento apresenta resistências diferentes em diferentes condições climáticas. Este fato deve-se a constatação de que a umidade presente no subleito e no interior de uma estrutura de pavimento é variável em função do regime de chuvas de determinada região. Para tentar minimizar este efeito no dimensionamento de pavimentos, o método do DNER propôs a adoção de um **fator Climático Regional (FR)** que deve multiplicar o parâmetro de tráfego N. Tem-se adotado um $FR = 1,0$ face aos resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER(1996) (Instituto de Pesquisa Rodoviária/DNER).

Finalmente pode-se determinar o número N, visto que todos os parâmetros necessários ao seu cálculo foram também determinados.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Os cálculos e resultados deste trabalho, foram realizados com base nos dados obtidos pela contagem manual do volume de veículos, em um sentido da BR-104, no trecho Caruaru/Toritama durante três dias seguidos (Segunda-Feira, Terça-Feira e Quarta-Feira), durante três horários fixos das 7:00h as 8:00h, 13:00h as 14:00h e 18:00h as 19:00h. (Figura-13 Ilustrativa).

Após a contagem foi montada a Tabela-6 a seguir, onde contém os valores totais de cada tipo de veículo para cada dia com suas médias, em seus respectivos horários.



Figura 13 - Contagem Manual.

Dia	Horários	Veículos Leves	Ônibus	Caminhões Leves	Caminhões Médios	Caminhões Pesados	Caminhões com Reboque			
					2C	3C	2S2	2S3	3S2	3S3
Segunda	7:00/8:00	440	7	11	9	14	6	0	0	3
	13:00/14:00	318	11	8	13	14	3	0	0	1
	18:00/19:00	417	16	18	25	24	8	4	0	1
	Média	392	11	12	16	17	6	1	0	2
Terça	7:00/8:00	412	10	9	5	15	4	2	0	1
	13:00/14:00	422	8	12	17	12	1	4	1	0
	18:00/19:00	481	24	22	22	25	6	6	1	7
	Média	438	14	14	15	17	3	4	1	3
Quarta	7:00/8:00	394	9	14	7	25	5	1	0	10
	13:00/14:00	292	7	7	11	19	5	2	0	0
	18:00/19:00	376	10	14	23	20	3	2	0	5
	Média	354	9	12	14	21	4	2	0	5
Média das Médias dos Dias (MMD)		395	11	13	15	18	4	2	1	3

Tabela 6 - Valores da Contagem Manual do Volume de Veículos

Com os dados da Tabela-6, foram gerados dois gráficos mostrados na figura-14, com a finalidade de observar se haveria uma grande variação no volume de cada tipo de veículo entre os dias. Analisando o gráfico da **Figura-14 (a)**, onde consta apenas as médias de cada tipo de veículos para cada dia, pode-se observar que não houve uma grande variação entre os volumes de veículos comerciais. Sendo assim, foi feita uma média, das médias dos dias (MMD), e comparado aos valores médios de cada dia como mostra a **Figura-14 (b)**, observando o gráfico pode-se perceber que o MMD não teve uma grande variação do volume de veículos comerciais em relação as médias de cada dia, dessa forma adotou-se como volume base para o cálculo do volume médio diário (V_1), os valores da **Média das Médias dos Dias (MMD)**. Não foi levado em consideração a variação do volume de veículos leves, pois o seu volume não interfere na determinação do número N, devido seu peso ser considerado baixo em relação aos demais veículos.

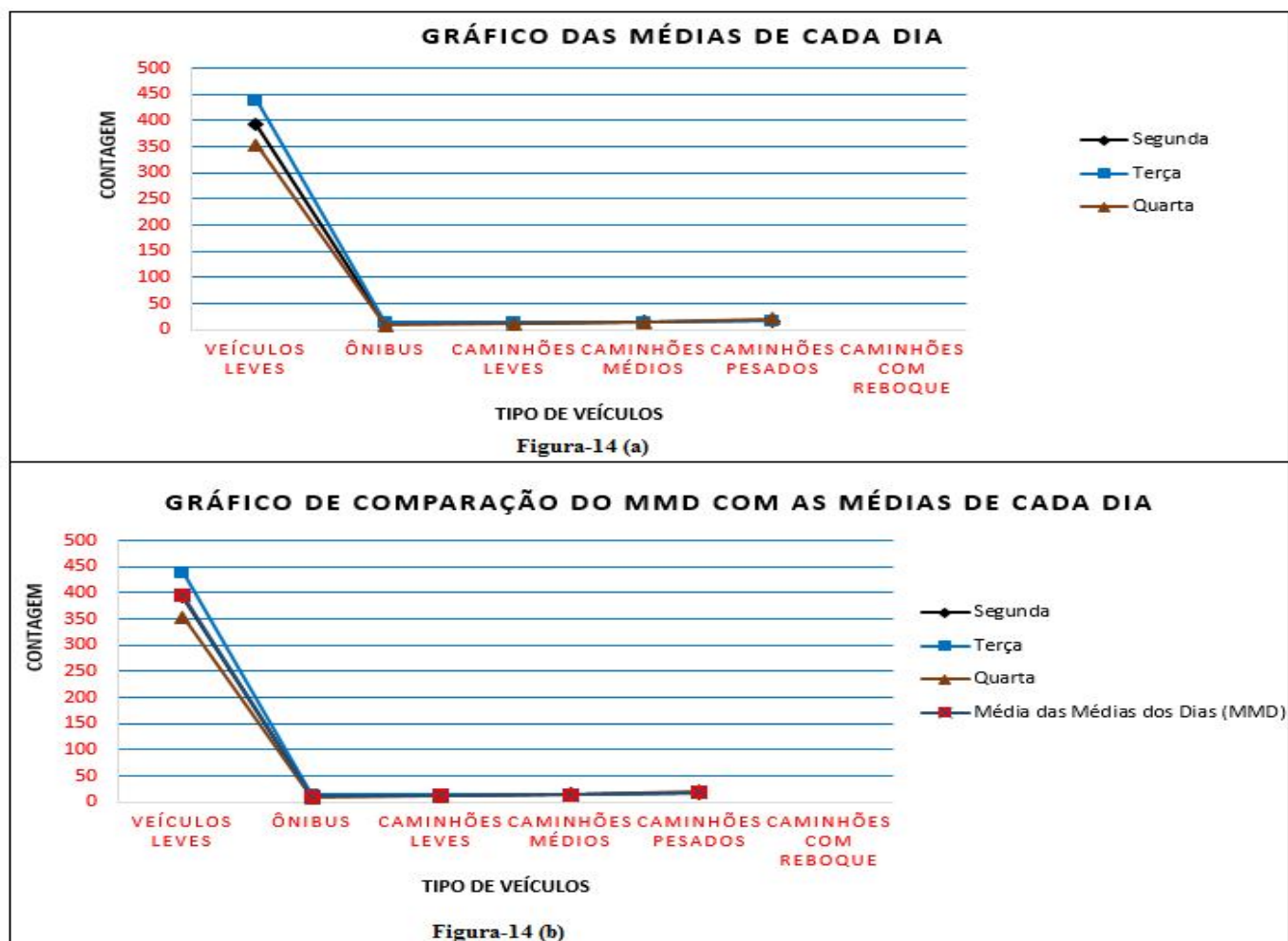


Figura 14 – Gráficos das médias da Contagem do Volume de Veículos.

4.1. Determinação das curvas representativas do Crescimento da frota de veículos das cidades de Caruaru e Toritama

Devido a esse grande crescimento populacional nos últimos anos das cidades de Caruaru e Toritama, houve também um crescimento na frota veicular das mesmas. Contudo, um motivo de preocupação é que Caruaru e Toritama segue uma tendência nacional, com taxa de crescimento da frota veicular superior a 100% nos últimos dez anos como mostra a Tabela-3 abaixo. Esse crescimento da frota de veículos é um fator preponderante para realização deste trabalho, pois é a partir desses dados, que pode-se estabelecer se a frota veicular possui um crescimento linear ou exponencial.

Com os dados da Tabela-7 foram gerados os gráficos de crescimento da frota veicular da cidade de Caruaru e Toritama, conforme ilustrado pela figura 15(a) e 15(b), respectivamente. Pode-se verificar uma tendência de crescimento exponencial em ambas as cidades estudadas, essa informação será de fundamental importância mais adiante, pois o cálculo do volume total de tráfego, leva em consideração o tipo de crescimento da frota veicular.

ANO	FROTA DE VEÍCULOS EM CARUARU	VARIAÇÃO (%)
2003	56617	-----
2004	60683	7,18
2005	65375	7,73
2006	69565	6,41
2007	76025	9,29
2008	83649	10,03
2009	92375	10,43
2010	103220	11,74
2011	114746	11,17
2012	125353	9,24
2013	135711	8,26
	VARIAÇÃO TOTAL	139,7
	VARIAÇÃO MÉDIA	9,27

Fonte: DETRAN – PE (2014)

ANO	FROTA DE VEÍCULOS EM TORITAMA	VARIAÇÃO (%)
2003	2723	-----
2004	3127	14,84
2005	3544	13,34
2006	3950	11,46
2007	4526	14,58
2008	5273	16,5
2009	6001	13,81
2010	7042	17,35
2011	8205	16,52
2012	9657	17,7
2013	11081	14,75
	VARIAÇÃO TOTAL	306,94
	VARIAÇÃO MÉDIA	14,79

Fonte: DETRAN – PE (2014)

Tabela 7 - Frota veicular e variação percentual em Caruaru e Toritama de 2003 a 2013.

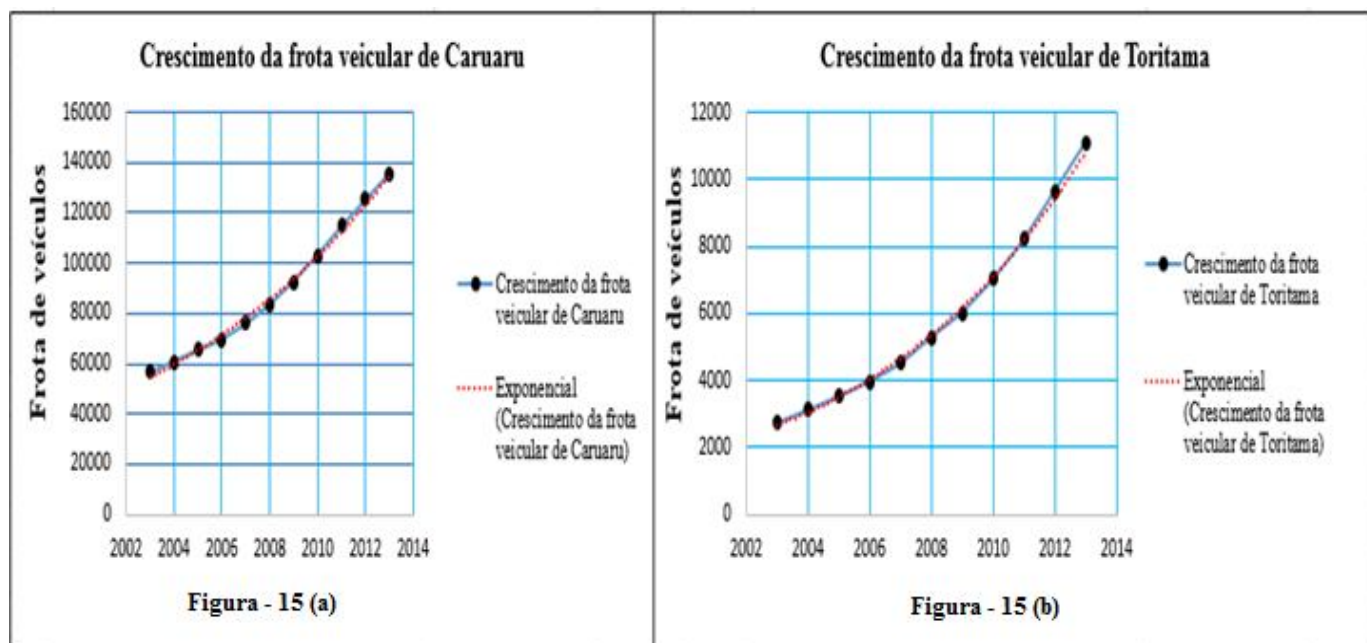


Figura 15 - (a) Crescimento da frota de veículos da Cidades de Caruaru (b) Crescimento da frota de veículos da Cidades de Toritama.

A partir desses dados já se pode encontrar os valores dos parâmetros:

- Volume Médio Diário em um Sentido (V_1)
- Volume Total de Tráfego (V_t)
- Fator de Eixo (FE)
- Fator de Carga (FC)
- Fator de Veículo (FV)
- Número N

4.2. Cálculo do Volume Médio Diário em um Sentido (V₁)

Para a determinação do Volume Médio Diário (V₁), realizou-se a multiplicação do MMD para cada tipo de veículo por 24, o qual pode ser observado na Tabela-8.

	Veículos Leves	Ônibus	Caminhões Leves	Caminhões Médios	Caminhões Pesados	Caminhões com Reboque				Volume Médio Diário (V ₁)
				2C	3C	2S2	2S3	3S2	3S3	
Média das Médias dos Dias (MMD)	395	11	13	15	18	4	2	1	3	
24 x (MMD)	9480	264	312	360	432	96	48	24	72	11088

Tabela 8 – Cálculo do Volume Médio Diário (V₁).

4.3. Cálculo do Volume Total de Tráfego (V_t)

Para o cálculo de V_t foi utilizado a Equação-4, pois é utilizada em casos onde a taxa de crescimento veicular possui uma tendência geométrica ou exponencial, encaixando assim nas áreas estudadas. Para a taxa de crescimento anual (t) e Período de projeto (P), adotou segundo recomendações do DNIT (2006) e DER (2005), os valores de 3% e 10 anos, respectivamente. De posse desses dados e do valor de V₁ = 11088, determinou-se V_t = 4,64 x 10⁷ como mostrado a seguir.

$$V_t = \frac{365 \cdot 11088 \cdot \left[\left(1 + \frac{3}{100} \right)^{10} - 1 \right]}{\frac{3}{100}} = 46395695 \text{ veículos} \approx 4,64 \cdot 10^7$$

Equação 10 - Cálculo do Valor do Volume Total de Tráfego (V_t).

4.4. Cálculo do Fator de Eixo (FE)

Para o cálculo do Fator de Eixo, deve ser analisado apenas o volume de tráfego comercial. Esse valor será obtido a partir da subtração do V_1 pela quantidade de veículos leves, correspondendo a 1608 veículos comerciais, além dessa informação, foi necessário saber a porcentagem de cada tipo de veículo comercial, o cálculo dessa porcentagem foi dado pela divisão entre o volume diário de cada tipo de veículo pelo volume total de veículos comerciais, como apresentado na Tabela-9.

	Veículos Leves	Ônibus	Caminhões Leves	Caminhões Médios	Caminhões Pesados	Caminhões com Reboque				Volume Médio Diário (V1)	Volume Total de Veículos Comerciais
				2C	3C	2S2	2S3	3S2	3S3		
Volume Diário	9480	264	312	360	432	96	48	24	72	11088	1608
Porcentagem das Categorias de Veículos Comerciais		16,42	19,40	22,39	26,87	5,97	2,99	1,49	4,48	Total (%)	
										100	

Tabela 9 – Volume de Tráfego comercial e porcentagem de cada categoria de veículos comerciais.

Com relação as porcentagens das categorias dos veículos comerciais, pode-se verificar que os caminhões médios e pesados apresentam os maiores valores (22,39% e 26,87%), correspondendo a quase 50% do total de veículos circulantes no trecho analisado (tabela 10).

Com os dados da Tabela-9 e os valores da quantidade do número de eixos de cada categoria de veículo (Figura-6), foi montada a Tabela-10 a seguir, para determinar o valor do Fator de Eixo, que é igual ao somatório dos FE.Individual para cada tipo de veículo, fator esse que é obtido pelo produto do número de eixos pela porcentagem do tráfego comercial, dividido por 100. Com isso foi encontrado o valor de $FE = 2,7$.

Cálculo do Fator de Eixo			
Veículos	Número de Eixos	% do Tráfego	FE. Individual
Ônibus	2	16,42	0,33
Caminhões Leves	2	19,40	0,39
Caminhões Médios	2	22,39	0,45
Caminhões Pesados	3	26,87	0,81
Caminhões com Reboque	-----	-----	-----
2S2	4	5,97	0,24
2S3	5	2,99	0,15
3S2	5	1,49	0,07
3S3	6	4,48	0,27
Total		100,0	2,70
		Fator de Eixo = $\sum \text{FE. Individual}$	2,70

Tabela 10 – Cálculo do Valor do Fator de Eixo (FE).

4.5. Cálculo do Fator de Carga (FC)

Para o cálculo do Fator de Carga, foi necessário conhecer a quantidade de cada tipo de veículo e quais tipos de eixo que compõem cada categoria de veículo, esses dados foram retirados da Figura-9 e Figura-10, a determinação dessa composição teve como finalidade analisar qual o valor das cargas que cada tipo de eixo solicita ao pavimento, como mostra a Figura-11, a partir desses dados foi montada a Tabela-11.

A partir dos dados da Tabela-11, pode ser feito o cálculo das porcentagens dos eixos em função de suas cargas, os valores dessas porcentagens foram obtidos através da divisão entre a quantidade de cada tipo de veículo, pelo produto do número de eixos e o volume total de veículos, com isso foi possível encontrar a porcentagem da amostra fazendo o somatório das porcentagens dos eixos de mesmo tipo que possuem cargas iguais.

Para achar o valor do Fator de Equivalência de Carga Individual (FEC_i), foi utilizado os gráficos da Tabela-5 que é função da carga por eixo e do tipo de eixo. O cálculo do Fator de Operação é dado pela multiplicação da porcentagem da amostra pelo FEC_i . Com o somatório do Fator de Operação obtêm-se o valor da Equivalência, apresentado na Tabela-12.

Cálculo do Fator de Carga								
Veículos	Quantidade	Número de Eixos	1º Eixo	Carga (tf)	2º Eixo	Carga (tf)	3º Eixo	Carga (tf)
Ônibus	264	2	Simples	4,0	Simples	7,5	-----	-----
Caminhões Leves	312	2	Simples	2,0	Simples	4,0	-----	-----
Caminhões Médios	360	2	Simples	4,0	Simples	10,0	-----	-----
Caminhões Pesados	432	3	Simples	6,0	Tandem Duplo	17,0	-----	-----
Caminhões com Reboque	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2S2	96	4	Simples	6,0	Simples	10,0	Tandem Duplo	17,0
2S3	48	5	Simples	6,0	Simples	10,0	Tandem Triplo	25,5
3S2	24	5	Simples	6,0	Tandem Duplo	15,0	Tandem Duplo	17,0
3S3	72	6	Simples	6,0	Tandem Duplo	15,0	Tandem Triplo	25,5
Total	1608							

Tabela 11 – Tipos de Eixos dos Veículos e suas respectivas Cargas para o cálculo do Fator de Carga.

Tabela para o Cálculo do Fator de Carga			
Eixo Simples (tf)	% da Amostra	FECi	Fator de Operação
<4	9,70	0,002	0,02
4	29,10	0,035	1,02
6	18,41	0,30	5,52
7,5	8,21	0,65	5,34
10	14,18	3,4	48,21
Eixo Tandem Duplo	-----	-----	-----
15	1,99	5,0	9,95
17	15,92	9,5	151,24
Eixo Tandem Triplo	-----	-----	-----
25,5	2,49	8,0	19,90
Total	100,00	Equivalência	241,20
Fator de Carga = Equivalência/100			2,41

Tabela 12 – Cálculo do fator de carga

De posse do valor da Equivalência = 241,20, utiliza-se a Equação-7 para calcular o valor do Fator de Carga. Após o cálculo, foi obtido um Fator de Carga de 2,41.

$$FC = \frac{241,20}{100} \approx 2,41$$

Equação 11 - Cálculo do Valor do Fator de Carga (FC).

4.6. Cálculo do Fator de Veículo (FV)

O cálculo do Fator de Veículo, é fornecido pelo produto entre os valores do Fator de Eixo (FE) e o Fator Carga (FC). Após o cálculo, foi obtido um Fator de Veículo de 6,5.

$$FV = FE . FC = 2,70 . 2,41 \approx 6,5$$

Equação 12 - Cálculo do Valor do Fator de Veículo.

4.7. Cálculo do Número N da BR-104 do Trecho Caruaru/Toritama

O cálculo do Número N, é fornecido pelo produto do Volume Total de Tráfego (V_t) pelo Fator de Veículo, é e dado pela Equação-5. Dessa forma temos:

$$N = V_t . FV = 6,5 . 4,64 . 10^7 = 301600000 \approx 3,0 . 10^8$$

Equação 13 - Cálculo do Valor do Número N.

O parâmetro de tráfego N deve ser cuidadosamente calculado, pois ele está relacionado com a espessura mínima de revestimento que será adotada para o pavimento, um simples erro nesse cálculo pode levar ao subdimensionamento do revestimento da estrutura acarretando a deterioração do mesmo, antes do término do período de serviço previsto. Para esse estudo foi encontrado um valor do número N de aproximadamente 3×10^8 . Provavelmente esse valor possa ser um pouco diferente, pois esse resultado foi caracterizado pela análise do tráfego em horários de picos o que gerou um maior volume de veículos, se a análise tivesse ocorrido durante 24 horas o volume de veículos poderia ser menor pois existem horários onde o fluxo de veículos é bem menor, como por exemplo o horário da madrugada. A partir da Tabela-3 no item 2.4, a qual trata das espessuras mínimas de revestimentos em função do número N, pode-se verificar que a espessura a ser adotada para esse caso é de 12,5 cm com a utilização de concreto betuminoso.

Para o concreto betuminoso a ser utilizado no revestimento da rodovia em estudo podemos adotar os seguintes tipos: CBUQ, SMA, CPA entre outros já adotados nas rodovias brasileiras e de outros países.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o cálculo do número N de acordo com a metodologia do manual do DNIT (2006), seguindo o método do DNER para dimensionamento de pavimentos flexíveis, aplicado em um trecho da BR-104 de 37 Km entre as cidades de Toritama e Caruaru.

A contagem volumétrica de tráfego foi determinada a partir de uma contagem manual feita em três dias da semana (Segunda-Feira, Terça-Feira e Quarta-Feira) em três horários fixos (8:00h as 7:00h, 13:00h as 14:00 e 18:00h as 19:00h), por possuírem um elevado fluxo de veículos.

Para este trabalho o volume médio diário de tráfego (VDM), foi determinado a partir da média dos valores obtidos, isso devido ao tempo insuficiente para se obter uma contagem volumétrica mais detalhada e a carência de informações para se gerar um fator de expansão que pudesse nos fornecer um volume médio diário anual de tráfego (VMD_a).

O Fator de Eixo (FE) e o Fator de Carga (FC), foram calculados levando-se em consideração apenas os caminhões e ônibus (veículos comerciais), devido ao fato de que os automóveis (veículos leves) apresentam um efeito muito pequeno sobre o pavimento em função do seu peso ser considerado baixo em relação aos veículos comerciais.

O valor encontrado do número N para este trabalho foi de aproximadamente 3×10^8 , que é um valor considerado alto, se comparado aos valores de número N especificados pelo DNIT na tabela de dimensionamento de espessura mínima para pavimentos, que chegam a valores de N apenas na ordem de 10^7 , outra justificativa para este valor ser alto e a composição do tráfego de veículos comercial possuir quase 50% de caminhões médios e pesados, onde esses geram solicitações consideráveis ao pavimento o que influencia diretamente no cálculo do número N, pois quanto maior as solicitações geradas ao pavimento maior será o valor de N.

Este trabalho mostrou-se importante porque pode ser determinado como se comporta o tráfego de veículos nos horários de maior fluxo da BR-104 trecho Toritama - Caruaru, além da determinação do valor do número N, onde esse dado pode ser utilizado para o gerenciamento do trecho é até mesmo como um ponto de partida para estudos mais detalhados da área estudada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2002). *Guide for design of pavement structures*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.

AKISHIRO, P. (2006). Apostila de Curso de Graduação em Engenharia Civil. Estudo de Tráfego. Curitiba: UFPR, 2006. p.10.

ANDRADE, M. H. F. (2011). Introdução à Pavimentação. Universidade Federal do Paraná. Disponível na Internet via < <http://www.dtt.ufpr.br> >. Acessado em 28 novembro de 2013.

BALBO, J. T. (2007). Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração. Editora Oficina de Textos, 2007. São Paulo –SP.

CERATTI, J. A. P. Curso de extensão: mecânica dos pavimentos rodoviários flexíveis. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, 1997. 87p.

DAER. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. A Influência do Tráfego de Composições de Veículos de Carga – CVC's sobre os pavimentos das Rodovias do Rio grande do Sul – volume1: relatório, 2003.

DENATRAN (2014). Frota Municipal – Levantamento de dezembro de 2013. Departamento Nacional de Transito. Disponível na Internet via < <http://www.denatran.gov.br/> >. Acessado em 07 de maio de 2014.

DER (2005) Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro – RJ.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. DNIT 005-TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Terminologia. Rio de Janeiro, 2003a.

DNIT (2006). Manual de Pavimentação. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006 274p. (IPR. Publ., 719).

DNIT/IPR (2006). Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro, 2006. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

FHWA (2001) Traffic Monitoring Guide. Federal Highway Administration (2001), U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., May 2001.

FREITAS, M. D. P. (2010). Estudo de tráfego. Universidade Federal da Bahia. Disponível na Internet via: < http://www.ufba.br/estudo_de_trafego.pdf > Acessado em 07 de maio de 2014.

GOMES, M. J. T. L. (2004). Volume Horário de Projeto para as Rodovias Estaduais do ceará - Análise e Contribuição. Dissertação (Mestrado) — Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. CE., 2004.

Hallin, J.P. (2000). *Guide for the design of new and rehabilitated pavments – Traffic input requirements*.

IBGE. População estimada 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <http://cod.ibge.gov.br/AP6> >. Acessado em: 03 de agosto de 2014.

IBGE. **Projeção da população brasileira (2014)**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acessado em: 03 de agosto de 2014.

INCT (2013). Evolução da frota de automóveis e motos no brasil 2001 – 2012 (relatório 2013). Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. Observatório das Metrópoles. Rio de Janeiro – RJ.

IPR/DNER (1996). Manual de Implantação Básica. Rio de Janeiro, 1996. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

LABTRANS (2007). Elaborar diretrizes técnicas e parâmetros operacionais para que o DNIT execute projetos de monitoramento de tráfego na Malha Rodoviária Federal. Laboratório de

Transportes – LabTrans e Núcleo de Estudos de Tráfego – NET. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

MORAES, J. A. (2006). VDM – Estudo e determinação. Trabalho de conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi. Disponível na Internet via: < <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-19.pdf> >. Acessado em 07 de maio de 2014.

NBR 14724:2011 – Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação.

PEREIRA, M. A.; LENDZION, E. (2013). Apostila de sistemas de transporte. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia, departamento de transportes. Disponível na Internet via < <http://www.dtt.ufpr.br> > Acessado em 07 de maio de 2014.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. (2010). Pavimentação rodoviária – conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Editora Ipb. Rio de Janeiro – RJ.

SANTANNA-GRECO, J. A. Apostila Cargas Rodoviárias e Tráfego. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível na Internet via < <http://etg.ufmg.br/~jisela/> >. Acessado em: 03 de agosto de 2014.

SUYEN, M. N. (2005). Estudo do desempenho de reforços de pavimentos asfálticos em via urbana sujeita a tráfego comercial pesado. Disponível na Internet via < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7655> >. Acessado em: 21 de fevereiro de 2014.

TURNBULL, W. J. FOSTER, C.R e AHLVIN, R. G. (1962). *Design of Flexible pavements considering mixed loads and traffic volume. Internacional conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Proceedings*. University of Michigan, Estados Unidos.

ANEXOS

Anexo – I

Resoluções N.º 12, de 06/02/98

O Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, usando da competência que lhe confere o inciso I, do art. 12, da Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro – CTB, estabeleceu, limites de dimensões e peso para veículos em trânsito livre. Transcreve-se a seguir o que se considerou de interesse para a elaboração de estudos de tráfego.

Art. 1º. As dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, são as seguintes:

I – largura máxima: 2,60m;

II – altura máxima: 4,40m;

III – comprimento total:

a) veículos simples: 14,00m;

b) veículos articulados: 18,15m;

c) veículos com reboques: 19,80m.

Os limites para o comprimento do balanço traseiro de veículos de transporte de passageiros e de cargas são os seguintes:

I – nos veículos simples de transporte de carga, até 60% (sessenta por cento) da distância entre os dois eixos, não podendo exceder a 3,50m (três metros e cinquenta centímetros);

II – nos veículos simples de transporte de passageiros:

a) com motor traseiro: até 62% (sessenta e dois por cento) da distância entre eixos;

b) com motor central: até 66% (sessenta e seis por cento) da distância entre eixos;

c) com motor dianteiro: até 71% (setenta e um por cento) da distância entre eixos.

A distância entre eixos, prevista no parágrafo anterior, será medida de centro a centro das rodas dos eixos dos extremos do veículo.

Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são os seguintes:

I – peso bruto total por unidade ou combinações de veículos: 45 t;

II – peso bruto por eixo isolado: 10 t;

III – peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas for superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40m: 17 t;

IV – peso bruto por conjunto de dois eixos não em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40 m; 15 t;

V – peso bruto por conjunto de três eixos em tandem, aplicável somente a semi-reboque, quando a distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40 m: 25 t;

VI – peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão esp especial, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for:

a) inferior ou igual a 1,20m: 9 t;

b) superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40m: 13,5 t.

Considerar-se-ão eixos em tandem dois ou mais eixos que constituam um conjunto integral de suspensão, podendo quaisquer deles ser ou não motriz.

Quando, em um conjunto de dois eixos, a distância entre os dois planos verticais paralelos, que contenham os centros das rodas, for superior a 2,40 m, cada eixo será considerado como se fosse isolado.

Em qualquer par de eixos ou conjunto de três eixos em tandem, com quatro pneumáticos em cada, com os respectivos limites legais de 17 t e 25,5 t, a diferença de peso bruto total entre os eixos mais próximos não deverá exceder a 1.700 kg.

As configurações de eixos duplos com distância dos dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, inferior a 1,20m, serão regulamentadas por este Conselho, especificando os tipos de planos e peso por eixo, após ouvir o órgão rodoviário específico do Ministério dos Transportes.

Os limites máximos de peso bruto por eixo e por conjunto de eixos, estabelecidos no artigo anterior, só prevalecem:

I – se todos os eixos forem dotados de, no mínimo, quatro pneumáticos cada um;

II – se todos os pneumáticos, de um mesmo conjunto de eixos, forem da mesma rodagem e calçarem rodas no mesmo diâmetro.

Nos eixos isolados, dotados de dois pneumáticos, o limite máximo de peso bruto por eixo será de seis toneladas, observada a capacidade e os limites de peso indicados pelo fabricante dos pneumáticos.

No conjunto de dois eixos, dotados de dois pneumáticos cada, desde que direcionais, o limite máximo de peso será de doze toneladas.

Anexo – II

Circulação de Combinações de Veículos de Carga (CVC)

As combinações de Veículos de Carga – CVC com mais de duas unidades, incluídas a unidade tratora, só deverão circular portando Autorização Especial de Trânsito – AET.

Ficam dispensadas da AET as Combinações de Veículos de Carga –CVC, com Peso Bruto Total Combinado – PBTC, superior a 45 toneladas e até 57 toneladas, desde que atendam aos seguintes requisitos:

- I. máximo de 7 (sete) eixos;
- II. comprimento máximo de 19,80 metros e mínimo de 17,50 metros;
- III. unidade tratora do tipo cavalo mecânico;
- IV. acoplamento com pino rei e quinta roda.

(Alteração introduzida pela Resolução 164/04).

Art. 2º. Para concessão de Autorização Especial de Trânsito – AET, o Órgão Executivo Rodoviário da União, dos Estados, dos Municípios ou do Distrito Federal, deverá observar os seguintes requisitos mínimos:

- I – a Combinação de Veículos de Carga – CVC não poderá possuir Peso Bruto Total Combinado – PBTC superior a 74 toneladas e seu comprimento não poderá ultrapassar a 30 metros, respeitados os tipos de Combinações previstos no Anexo I;
- II – os limites legais de Peso por Eixo previstos no Decreto 2.069/96 e na Resolução n.º 12/98 – CONTRAN;

§ 2º. Nas Combinações com Peso Bruto Total Combinado – PBTC de no máximo 57t, o cavalo mecânico poderá ser de tração simples e equipado com 3º eixo, respeitados os outros limites previstos no § 1º e, a Autorização Especial de Trânsito – AET expedida pelos Órgãos Executivos Rodoviários terá validade em todas as vias de suas respectivas circunscrições. (Alteração introduzida pela Resolução 76/98).

§ 4º. A critério do Órgão Executivo Rodoviário responsável pela concessão da Autorização Especial de Trânsito – AET, nas vias de duplo sentido de direção, poderá ser exigida a existência de faixa adicional para veículos lentos nos segmentos em rampa com aclive e comprimentos superiores a 5% e 500m, respectivamente.

Art. 3º. O trânsito de Combinações de Veículos de que trata esta Resolução será do amanhecer ao pôr do sol e sua velocidade máxima de 80 km/h.

§ 1º. Para Combinações cujo comprimento seja de no máximo 19,80 m, o trânsito será diuturno.

§ 2º. Nas vias com pista dupla e duplo sentido de circulação, dotadas de separadores físicos e que possuam duas ou mais faixas de circulação no mesmo sentido, poderá ser autorizado o trânsito noturno das Combinações que excedam o comprimento previsto no parágrafo anterior.

§ 3º. Em casos especiais, devidamente justificados, poderá ser autorizado o trânsito noturno de comprimento das Combinações que excedam 19,80 m, nas vias de pista simples com duplo sentido de circulação, observados os seguintes requisitos:

- I – volume de tráfego no horário noturno de no máximo 2.500 veículos;
- II – traçado de vias e suas condições de segurança, especialmente no que se refere à ultrapassagem dos demais veículos;
- III – distância a ser percorrida;
- IV – colocação de placas de sinalização em todo o trecho da via, advertindo os usuários sobre a presença de veículos longos;

Anexo – III

Resoluções relativas a cargas excepcionais

Nestas Instruções são apresentadas no Art. 4 as definições de carga indivisível e veículos especiais, bem como outras necessárias, as quais deverão ser observadas quando da aplicação dos limites de peso por eixo para veículos trafegando com Autorização Especial de Trânsito - AET.

I - Carga Indivisível: a carga unitária, representada por uma única peça estrutural ou por um conjunto de peças fixadas por rebiteagem, solda ou outro processo, para fins de utilização direta como peça acabada ou, ainda, como parte integrante de conjuntos estruturais de montagem ou de máquinas ou equipamentos, e que pela sua complexidade, só possa ser montada em instalações apropriadas;

II - Conjunto: a composição de veículo transportador mais carga;

III - Combinação de Veículos: a composição de 1 (um) ou 2 (dois) veículos tratores, com semi-reboque(s) e/ou reboque(s);

IV - Veículo Especial: aquele construído com características especiais e destinado ao transporte de carga indivisível e excedente em peso e/ou dimensão, incluindo-se entre esses os semi-reboques dotados de mais de 3 (três) eixos com suspensão mecânica, assim como aquele dotado de equipamentos para a prestação de serviços especializados, que se configurem como carga permanente;

V - Comboio: o grupo constituído de 2 (dois) ou mais veículos transportadores, independentes, realizando transporte simultâneo e no mesmo sentido, separados entre si por distância mínima de 30 m (trinta metros) e máxima de 100 m (cem metros);

Embora estudos específicos de tráfego tenham que considerar a realidade do país, em eventuais recomendações a serem feitas deverão sempre ser levadas em conta as limitações legais apresentadas. Cabe observar ainda, que a lei 7.408/85 determinou que fosse atribuída

uma tolerância de 5% ao limite de 45.000 kg para o PBT, passando o limite para a autuação para 47.250 kg.

Através da Resolução n.º 104 de 21/12/99, o CONTRAN alterou a tolerância para o excesso de peso por eixo de 5% para 7,5%.