

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE REFERÊNCIA EM FORMAÇÃO E EAD/CERFEAD
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PERÍCIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

CURVAS HORIZONTAIS E A INFLUÊNCIA PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO

Trabalho de Conclusão
MANOEL ANTUNES PEREIRA

Florianópolis/SC
2017

MANOEL ANTUNES PEREIRA

CURVAS HORIZONTAIS E A INFLUÊNCIA PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO

Trabalho de Conclusão apresentado ao Centro de Referência em Formação e Ead/CERFEAD do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) como requisito parcial para Certificação do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Perícia de Acidentes de Trânsito.

Orientador: Prof. Tiago Pirolla De Luca

Florianópolis/SC

2017

MANOEL ANTUNES PEREIRA

CURVAS HORIZONTAIS E A INFLUÊNCIA PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO

Este Trabalho de Conclusão foi julgado e aprovado para a obtenção do título de Especialista em Perícia de Acidentes de Trânsito do Centro de Referência em Formação e Ead do Instituto Federal de Santa Catarina - CERFEAD/IFSC.

Florianópolis, (dia) de (mês) de ano.

.....

Prof. Nilo Otani, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

.....

Prof. Tiago Pirolla De Luca, Esp. - Orientador

.....

Profª Nome Completo, Titulação

.....

Prof. Nome Completo, Titulação

O sucesso é uma consequência e não um objetivo.
Gustave Flaubert

RESUMO

PEREIRA, Manoel Antunes. **Curvas Horizontais e a Influência para Acidentes de Trânsito**. 2017. Trabalho de Conclusão (Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Perícia de Acidentes de Trânsito) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, ano.

Estudo sobre a influência da curva horizontal na ocorrência de acidentes de trânsito, motivado pela necessidade de conhecer os princípios físicos atuantes nos movimentos circulares de veículos em trânsito sobre essas curvas e assim munir com informações os agentes públicos na investigação das causas de acidentes que venham a ocorrer sobre tais curvas. Tendo por base levantamentos bibliográficos sobre construção de curvas horizontais, descrevendo os tipos existentes, bem como os elementos que compõe essas construções, conhecimentos de física aplicada ao movimento circular, no qual constata-se que o raio da curva, a configuração mecânica do veículo e a velocidade como as variáveis principais. No final se verifica que a velocidade é variável a ser analisada como determinante para que a influência da curva seja preponderante. Buscando assim estabelecer um limite na qual essa variável seja inócua tornando essa influência também inócua, ensejando em um trânsito com condição equilibrada para que não ocorra o acidente.

Palavras-chave: Curva Horizontal. Velocidade limite. Condição de Equilíbrio.

RÉSUMÉ

PEREIRA, Manoel Antunes. **Les courbes horizontales et influence accidents de la circulation**. 2017. Achèvement (large cours d'études supérieures dans le trafic Expertise sensu des accidents) - Institut fédéral de Santa Catarina, Florianópolis / SC, année.

Etude sur l'influence de la courbe horizontale dans la survenue d'accidents de la circulation, motivée par la nécessité de connaître les principes physiques agissant dans les mouvements circulaires de véhicules en transit sur ces courbes et bien équiper avec l'information des fonctionnaires pour enquêter sur les causes des accidents qui peuvent sur ces courbes se produire. D'après les relevés de la littérature sur les courbes horizontales de construction décrivant les types existants, ainsi que les éléments qui rendent ces constructions, la connaissance de la physique appliquée à mouvement circulaire, qui indique que le rayon de la courbe, la configuration mécanique du véhicule et vitesse que les principales variables. A la fin, il est évident que la vitesse est variable à considérer comme déterminante pour l'influence de la courbe est prédominante. Ainsi, en cherchant à fixer une limite dans laquelle cette variable rend également cette influence anodine anodine, donne lieu dans le trafic avec état d'équilibre pour qu'il y ait un accident.

Mots-clés: Courbe horizontale. Limite de vitesse. état d'équilibre.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho de uma curva simples	15
Figura 2. Desenho de uma curva composta com transição	16
Figura 3. Desenho de curva composta sem transição	17
Figura 4. Desenho de curva reversa	18
Figura 5. Desenho descrevendo os elementos de uma curva	18
Figura 6. Imagem representando o Ângulo de Deflexão.	20
Figura 7. Desenho mostrando o vetor Força centrípeta	22
Figura 8. Relação matemática entre força centrípeta, raio da curva e velocidade	23
Figura 9. Desenho mostrando a ação da força de atrito	24
Figura 10. Imagem mostrando a interação das forças	26
Figura 11. Desenvolvimento da equação matemática para a relação velocidade, raio da curva e coeficiente de atrito.....	27
Figura 12. Relação matemática entre velocidade, raio e coeficiente de atrito	28
Figura 13. Relação matemática entre força centrífuga, raio e velocidade.....	29
Figura 14. Desenho representando uma superelevação.....	30
Figura 15. Desenho mostrando a ação das forças sobre um veículo.....	31
Figura 16. Relação matemática entre Raio mínimo, velocidade, superelevação máxima e coeficiente de atrito máximo	32
Figura 17. Relação matemática entre Raio, velocidade, superelevação e coeficiente de atrito	32
Figura 18. Equação condição de equilíbrio em um ponto (P) qualquer da radióide ..	35
Figura 19. Condição de equilíbrio para radióides com variação senoidal, cossenoidal ou quadrática.....	36
Figura 20. Taxa de variação da aceleração radial (C)	36
Figura 21. Desenho representando a ocupação de espaço do veículo em curva	38
Figura 22. Desenho mostrando os elementos intervenientes no cálculo da superlargura	40
Figura 23. Como considerar a distância entre eixos no veículo articulado.....	41
Figura 24. Desenho de uma superlargura por acréscimo simétrico	44
Figura 25. : Desenho de superlargura por acréscimo assimétrico	44
Figura 26. Desenho de superlargura por acréscimo assimétrico em pista com canteiro central.....	45

Figura 27. Imagem placa R-19	46
Figura 28. Modelos de placas de advertência	47
Figura 29. Desenho mostrando os pontos de apoio do veículo com a estrada	50
Figura 30. Caminhão percorrendo uma curva à direita	51
Figura 31. Caminhão sendo tombado pela força centrífuga.....	51
Figura 32. Caminhão tombado para a esquerda	52
Figura 33. Vetores de forças no centro de gravidade do veículo, nas coordenadas cartesianas com PG (0,0).....	53
Figura 34. Relação matemática entre Largura Total, velocidade e raio.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Superelevação máxima em função da velocidade.....	33
Tabela 2. Valores máximos admissíveis de coeficiente de atrito	34
Tabela 3. dispensa de superelevação em função do raio da curva e velocidade diretriz	34
Tabela 4. Especificando Dimensões dos veículos.....	38
Tabela 5. GL x LB	42
Tabela 6. Valores de superlargura para pistas com mais de duas faixas	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema e Problema de Pesquisa	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 Procedimentos Metodológicos	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Curvas Horizontais.....	14
2.1.2 Elementos que Compõe as Curvas Horizontais	18
2.2 Forças Físicas que Atuam Sobre os Veículos Transitando nas Curvas Horizontais	21
2.2.1 Força Centrípeta.....	21
2.2.2 Força de Atrito na Curva.....	24
2.2.2.1 Relação Entre Velocidade do Veículo, Raio da Curva de Concordância e Coeficiente de Atrito.....	26
2.2.3 Força Centrífuga.....	28
2.3 Elementos Auxiliadores ao Movimento Circular dos Veículos em Curvas Horizontais	29
2.3.1 Superelevação	30
2.3.1.1 Condição de Equilíbrio nas Radióides (Curvas de Transição) Com Superelevação.....	35
2.3.2 Superlargura	37
2.3.2.1 Dimensionamento da Superlargura	39
2.3.2.2 Disposição da Superlargura	43
2.3.3 Sinalização	45
2.4 Condições para o Equilíbrio em Função da Configuração Mecânica do Veículo em Trânsito sobre Curva Horizontal.....	48
2.4.1 Força Centrípeta e o Veículo	49
2.4.2 Força Centrífuga e o Veículo	49
2.4.3 A Superlargura e o Veículo.....	56
3 RESULTADOS E ANÁLISES	57
4 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Como os outros países, o Brasil busca reduzir a quantidade de acidentes de trânsito, por diversos fatores: econômicos, sociais, segurança, etc. E um dos instrumentos utilizados, buscando essa redução, é o estudo das causas determinantes para ocorrência de acidentes com base nos diversos registros existentes. O registro correto dos acidentes, portanto, constitui um importante elemento no processo que busca a redução dos acidentes.

Com isso, o estudo a ser realizado para a finalização do curso de especialização em perícia de acidentes de trânsito buscará contribuir com subsídios científicos para que numa análise de um caso concreto, ou seja, um acidente de trânsito, o profissional consiga estabelecer uma relação de causa e efeito no registro desse acidente.

Assim, diante da necessidade de se entender a dinâmica do movimento de um veículo transitando sobre uma curva, será estudado, do ponto vista científico, os fenômenos físicos envolvendo todos os elementos nesse movimento circular.

A interação, dos veículos em movimento com a estrada, deve buscar um equilíbrio perfeito. Todos os elementos, inclusive o humano, devem contribuir para esse equilíbrio. Se essa interação ou um desses elementos falham, provocando o desequilíbrio, a consequência pode ser um acidente de trânsito.

As questões a serem estudadas, no movimento sobre curvas horizontais, são as circunstâncias que estabelecem o equilíbrio nessa interação para, na ausência delas, entender o que provocou o desequilíbrio e seus efeitos.

As curvas horizontais são trechos na via em que forças físicas atuam sobre os veículos interferindo em sua estabilidade de trânsito. Seja automóvel, motocicletas ou veículos de carga. Essa interferência física, altera a estabilidade do veículo em movimento, variando de acordo a configuração de cada veículo e cada curva.

Para compensar a perda da estabilidade, as construções dessas curvas são caracterizadas por elementos que busquem o equilíbrio do veículo em movimento sobre elas. Além desses elementos de construção, o trânsito sofre restrição quanto a sua velocidade, para buscar o mesmo efeito, qual seja o equilíbrio do veículo. No projeto das estradas, a curva é construída não para um tipo específico de veículo e sim para todos os tipos de veículos que naturalmente se comportarão de forma

diferente dada a suas peculiaridades.

Durante o curso de especialização em perícia de acidentes de trânsito, várias disciplinas abordaram a questão das curvas horizontais, justamente por elas provocarem certo desequilíbrio em relação ao deslocamento retilíneo.

Esse desequilíbrio por vezes tem sido a causa de acidentes de trânsito, seja por não ser “compensado” pela estrutura de construção, seja pelo comportamento do condutor induzido ao erro por ausência de sinalização ou errando por negligência, imprudência ou imperícia.

Assim, serão estudadas as curvas horizontais, suas características, os fenômenos que ocorrem sobre os veículos transitando nos trechos de curva, a influência da configuração do veículo no movimento circular, a influência e os limites das velocidades de tráfego sobre essas curvas.

1.1 Tema e Problema de Pesquisa

O tema (curvas horizontais e a influência para acidentes de trânsito) traz a necessidade de entender como ocorre a influência da curva no acidente de trânsito. Quais os princípios físicos atuantes no trânsito de veículos sobre curvas horizontais? Há diferença de estabilidade do veículo no movimento sobre essas curvas em relação ao movimento retilíneo? Quais os fatores que condicionam para que esse trânsito flua de forma equilibrada (com estabilidade) na interação do movimento com as curvas? Esse equilíbrio tem relação direta com a velocidade nas curvas? O desequilíbrio provoca acidentes?

1.2 Objetivos

Estudar sobre o trânsito de veículos nas curvas horizontais, e na influência da conjunção dos fatores “trânsito de veículos e curva horizontal” na ocorrência de acidentes de trânsito.

1.2.1 Objetivo Geral

Entender a vinculação entre a velocidade dos veículos transitando em curva e a ocorrência de acidentes de trânsito.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Conceituar as diversas formas de construção de curvas horizontais, detalhando: raio de curvatura; curva com transição; curva sem transição; necessidade de superlargura e superelevação.
- b) Estudar a necessidade de sinalização tanto da curva quanto da velocidade de trânsito para a curva, e se essa sinalização é adequada aos diversos tipos de veículos (motocicletas, veículos de carga, automóveis) em trânsito sobre essa curva.
- c) Verificar a condição de equilíbrio em curvas na qual se conjuga raio e superelevação da curva com velocidade crítica de trânsito dos veículos.
- d) Entender o vínculo entre velocidade excessiva e curva horizontal na ocorrência de determinados tipos de acidentes de trânsito

1.3 Procedimentos Metodológicos

O presente estudo será realizado através de pesquisa bibliográfica qualitativa, na qual buscará informações teóricas em levantamentos bibliográficos sobre os conceitos e definições dos elementos que compõe as curvas, as forças físicas que atuam no movimento circular e as condições de equilíbrio de tráfego de veículos sobre essas curvas.

A partir dessas informações, verificar os pontos de comunicação entre elas para entender a influência das curvas horizontais nos acidentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Curvas Horizontais

Em um projeto de estradas, Pontes Filho (1998) ensina que trechos retos são menos inconvenientes que trechos curvos. Trechos retos por ser a menor distância entre dois pontos. Como esse ideal é impossível por diversos fatores de ordem econômica, topográfica, política, etc, as estradas são construídas sofrendo deflexões no percurso para harmonizar o traçado com a topografia local. Contudo, as estradas são projetadas (do ponto de vista planimétrico) com o máximo de segmentos de retas possíveis (denominadas pela engenharia como tangentes) sendo esses segmentos ligados entre si por elementos denominados curvas horizontais.

Alinhamentos retos são trechos situados entre duas curvas de concordância. Por serem tangentes a essas mesmas curvas, são denominados simplesmente tangentes. Os demais alinhamentos retos são chamados de tangentes externas. (PONTES FILHO, 1998, p. 30)

Corroborando com a ideia anterior, Lee (2005, p. 95):

(...) o eixo de uma rodovia pode ser imaginado, para fins de projeto geométrico, como sendo constituído por uma poligonal aberta, orientada, cujos os alinhamentos são concordados nos vértices, por curvas horizontais. Assim, o eixo compreenderá trechos retos e curvos; na terminologia de projeto geométrico, os trechos retos do eixo são denominados *tangentes* (não sendo chamados “retas”).

Sendo assim é necessário frisar que existem outros elementos como curvas verticais, interseções e obras de arte que não serão objetos desse estudo.

Segundo Pontes Filho (1998, p. 36), “curvas de concordância horizontal são os

elementos utilizados para concordar os alinhamentos retos”.

O termo concordância se refere à ação de unir dois segmentos retos mesma estrada que podem ter ou não direções diferentes, dependendo ou não da ocorrência de deflexões. Isto porque uma curva tanto pode ser usada para unir dos alinhamentos com direções diferentes como pode ser usada para desviar a estrada de um obstáculo fixo.

Conforme Pontes Filho (1998), nos ensinamentos de seu livro Estrada de Rodagem: Projeto Geométrico, as curvas podem ser:

- 1) Simples: quando forem compostas por um único arco de círculo, conseqüentemente um único raio e um único centro.

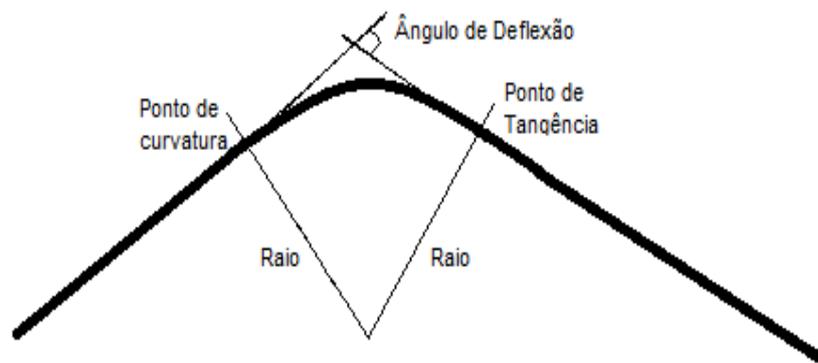


Figura 1. Desenho de uma curva simples

Fonte: Desenvolvido pelo autor

- 2) Compostas com transição: quando são empregadas as radióides nas concordâncias dos alinhamentos retos.

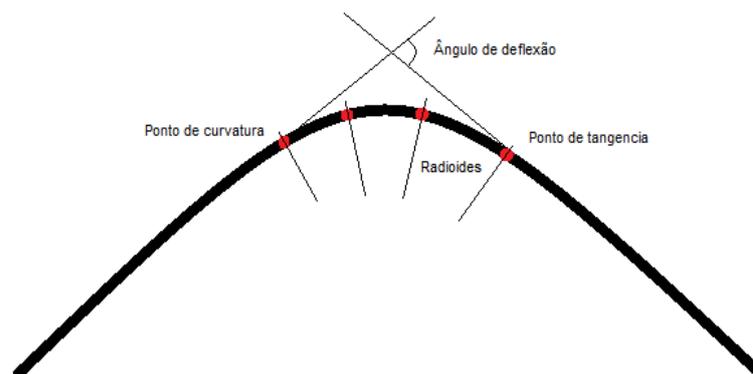


Figura 2. Desenho de uma curva composta com transição

Fonte: Desenvolvido pelo autor

O curso Noções de Topografia para Projetos Rodoviários, (MACEDO, 2017), traz uma melhor compreensão sobre os radióides e a sua função dentro da curva com transição.

O curso ensina em seu capítulo 11 que: “Quando um veículo passa de um alinhamento reto para um trecho curvo, surge uma força centrífuga atuando sobre o mesmo, que tende a desviá-lo da trajetória que normalmente deveria percorrer.” (MACEDO, 2017)

Com isso o projeto rodoviário deve permitir que as transições entre as tangentes devem ocorrer com o máximo de alinhamento possível aumentando o conforto e a segurança. Sendo uma das opções de transição para limitar a ação da força centrífuga sobre os veículos, a curva composta com transição.

Como foi conceituado por Pontes Filho (1998), a curva composta por transição é construída usando radióides.

Esses radióides são curvas intermediárias que intercalam entre a tangente e a curva circular.

Observa-se no texto do curso Noções de Topografia para Projetos Rodoviários:

Do ponto de vista teórico, o que se deseja é limitar a ação da força centrífuga sobre o veículo, para que sua intensidade não ultrapasse um determinado valor. Isso se consegue através da utilização de uma curva de transição intercalada entre o alinhamento reto (trecho em tangente) e a curva circular. Esta transição é realizada com o fim de distribuir gradativamente o incremento da aceleração centrífuga. Esta curva de transição tem o seu raio de curvatura

passando gradativamente do valor infinito (no ponto de contato com a tangente) ao valor do raio da curva circular. Este ponto de encontro das duas curvas, com o mesmo raio, é conhecido como ponto osculador. (MACEDO, 2017)

A curva circular, ou simples, é escolhida preferencialmente pela simplicidade para ser projetada: “pois mesmo quando se emprega uma curva de transição, a curva circular continua a ser utilizada na parte central da concordância”. (PONTES FILHO, 1998, p. 72).

- 3) Compostas sem transição: quando são utilizados dois ou mais arcos de círculo de raios diferentes.

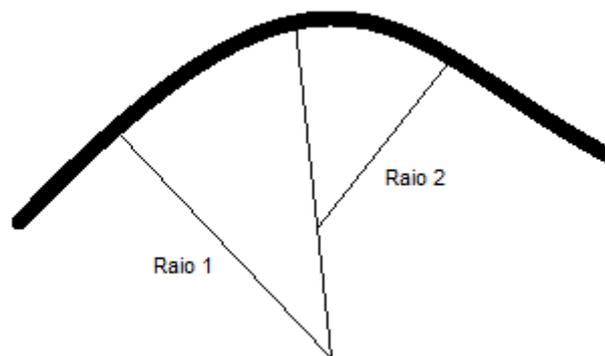


Figura 3. Desenho de curva composta sem transição

Fonte: Desenvolvido pelo autor

As curvas compostas são elementos importantes no traçado de uma estrada. Conforme Pontes Filho (1998, apud AAASHTO, p.39) citando a AAASHTO (*American Association of state Highway and Transportation Officials*), deve-se evitar o uso generalizado de curvas compostas, porém quando necessário o uso, a relação entre o raio maior e o raio menor não deverá ser superior a 1,5.

- 4) Reversas, quando ocorrer de duas curvas se cruzarem em sentidos opostos com o ponto de tangência em comum.

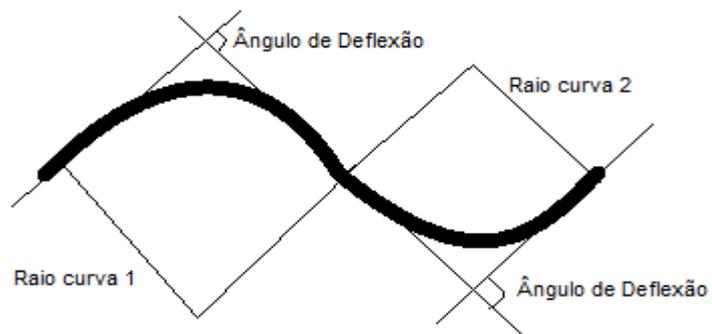


Figura 4. Desenho de curva reversa
 Fonte: Desenvolvido pelo autor

2.1.2 Elementos que Compõe as Curvas Horizontais

As curvas horizontais, em termos geométricos são compostos dos seguintes elementos conforme figura abaixo:

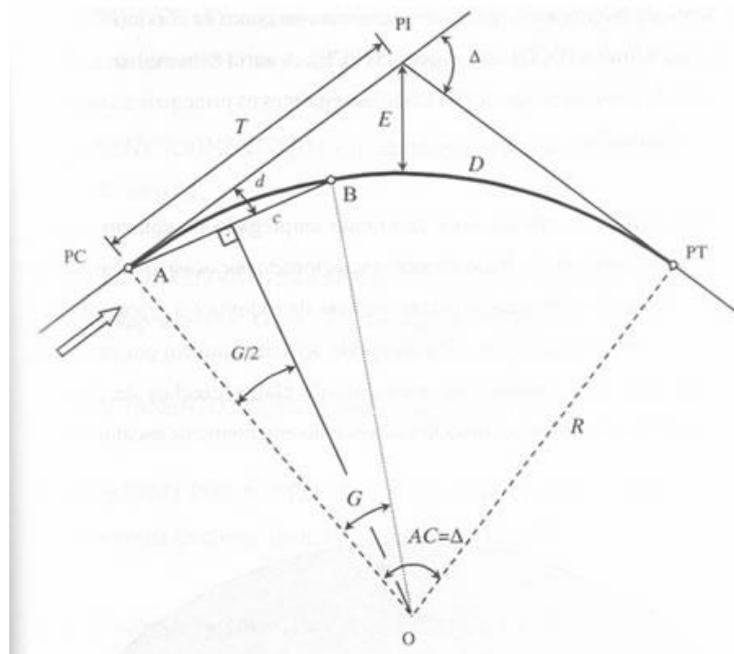


Figura 5. Desenho descrevendo os elementos de uma curva
 Fonte: PONTES FILHO (1998, p. 73).

PC = ponto da curva PT = ponto de tangência PI = ponto de interseção das tangentes D = desenvolvimento da curva Δ = ângulo de deflexão AC = ângulo central da curva R = raio da curva circular	T = tangente externa O = centro da curva E = afastamento G = grau da curva c = corda d = deflexão sobre a tangente
---	---

Dentre os elementos da curva, vamos destacar alguns que terão maior importância aos objetivos desse estudo com base nos ensinamentos de Pontes Filho (1998):

- Ponto da curva (PC): é o ponto onde se inicia a transição entre o trecho reto (tangente) e o trecho curvo (arco circular). A importância desse ponto está no fato de ser o ponto onde começa a atuar a força centrífuga sobre o veículo.
- Ponto de tangência (PT): é o ponto onde se inicia a transição entre o trecho curvo (arco circular) e o trecho reto (tangente). Aqui, nesse ponto cessa a ação da força centrífuga.
- Desenvolvimento: é o comprimento do arco circular (trecho curvo), que inicia em PC e termina em PT. Em todo o Desenvolvimento atua a força centrífuga.
- Corda: é distância mensurada em linha reta entre dois pontos do arco circular. Importante dado no trabalho de perícia por ser de fácil coleta no atendimento a acidente.
- Grau da curva: ângulo central que corresponde a uma corda de comprimento. O grau da curva é importante porque, uma vez mensurada a corda *in loco*, pode-se estabelecer a curva; “Uma curva pode ser estabelecida pelo raio ou pelo grau”. (PONTES FILHO, 1998, p. 78)
- Bissetriz de uma corda: Linha perpendicular à corda que divide o grau da curva em dois ângulos iguais. Esse conceito é necessário a alguns cálculos.
- Deflexão sobre a tangente: trata-se do ângulo formado entre a tangente e a corda. Esse ângulo é diretamente proporcional ao tamanho da corda, ou seja, quanto maior a corda maior a deflexão sobre a tangente. “Sendo a tangente perpendicular ao raio e a bissetriz perpendicular a corda, o ângulo de deflexão

resulta sempre numericamente igual à metade do ângulo central correspondente a corda. ” (LEE, 2005, p. 107)

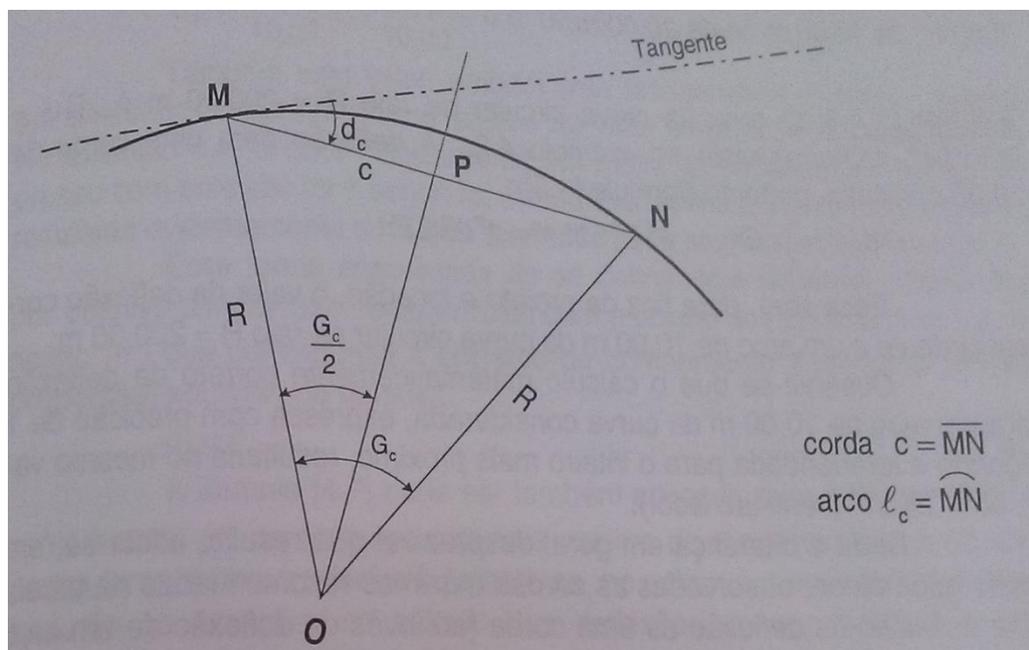


Figura 6. Imagem representando o Ângulo de Deflexão.

Fonte: LEE (2005, p. 107)

- Ângulo central: é a medida do ângulo de abertura entre os raios que passam pelo ponto da curva e pelo ponto de tangência. O ângulo central é igual ao ângulo de deflexão entre os alinhamentos retos unidos pela curva de concordância.
- Raio: é o raio do arco circular da concordância entre o Ponto de curva e o ponto de tangência;

É um elemento selecionado por ocasião do projeto, de acordo com as características técnicas da rodovia e a topografia da região. A escolha do valor do raio pode ser feita também por meio de gabaritos, que representam, na escala da planta, trechos de curvas circulares de diversos raios, de valores convenientemente escalonados. (PONTES FILHO, 1998, p. 74)

O raio é o elemento geométrico que participa de todos os cálculos referentes ao equilíbrio do movimento circular, e que, na prática das análises de casos concretos, tem valor fixo em cada curva. Ou seja, uma vez construída a curva, todo equilíbrio passa a ser vinculado a esse raio.

2.2 Forças Físicas que Atuam Sobre os Veículos Transitando nas Curvas

Horizontais

Existem forças que atuam apenas em decorrência do movimento sobre curvas horizontais, ocasionando um movimento circular ou sendo consequência desse movimento.

Considerando o eixo da rodovia, o veículo ao transitar por uma curva de concordância horizontal sofre a ação de forças que não ocorrem em trajetória retilínea.

Essas forças são: força centrípeta, força de atrito na curva e força centrífuga.

2.2.1 Força Centrípeta

Conforme Serway e Jewett Jr (2014), o que caracteriza um movimento circular é mudança de direção.

Em um movimento retilíneo, o vetor velocidade não varia sua direção em relação ao movimento do veículo.

Segundo Gonçalves e Toscano (2003), para que um veículo descreva um movimento circular, é necessário que atue sobre ele uma força que o faça mudar de direção. Essa força dar-se o nome de força centrípeta. Na ausência dessa força, o veículo em movimento entra em movimento retilíneo.

Numa trajetória circular, pelo menos a direção do vetor velocidade varia (...). De acordo com a segunda lei de Newton, a variação na direção da velocidade — portanto, na quantidade de movimento — está sendo causada pela ação de uma força, que recebe o nome de força centrípeta. (GONÇALVES e TOSCANO, 2003, p. 59)

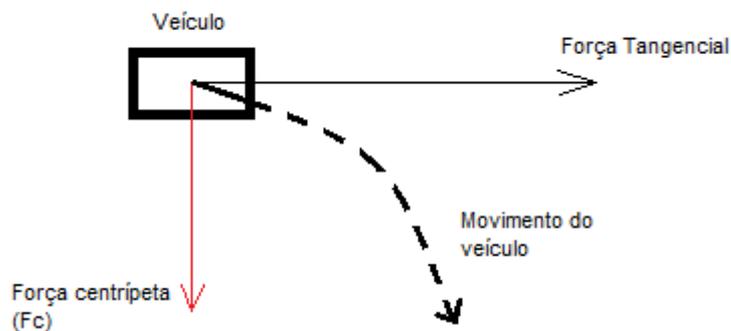


Figura 7. Desenho mostrando o vetor Força centrípeta

Fonte: Desenvolvido pelo autor

De acordo com a segunda lei de Newton, se ocorrer aceleração, esta tem de ser causada por uma força resultante. Como a aceleração é em direção ao centro do círculo, a força resultante deve ser direcionada para esse centro. Portanto, quando uma partícula viaja em uma trajetória circular, uma força deve estar agindo *para dentro dela*, provocando o movimento circular. (SERWAY e JEWETT Jr, 2014, p.136, grifo do autor)

Segundo Serway e Jewett Jr (2014, pág. 137) “se a força que atua sobre o corpo desaparece, ele não se moveria mais em trajetória circular; em vez disso, mover-se-ia ao longo de uma trajetória em linha reta tangente ao círculo”.

A força centrípeta é imprescindível para ocorrência do movimento curvo, sendo: sua direção coincidente com o raio da curva; seu sentido da tangente para o centro da curva; e seu módulo suficiente para provocar o movimento curvo sobre a pista de rolamento da curva de concordância horizontal.

Ou seja, para um veículo em movimento, ao transitar por uma rodovia, quando ele passar pelo ponto de curvatura de uma curva de concordância horizontal, acontecerá:

- Se a força centrípeta não existir o veículo não entrará em movimento curvilíneo e por consequência não percorrerá o trecho da curva horizontal;
- Se a força centrípeta existir e tiver módulo insuficiente, o veículo entrará em movimento curvilíneo, porém não coincidente com a curva horizontal, será um movimento curvo de afastamento menor e o veículo sairá da pista pelo lado externo da curva de concordância horizontal;

- Se a força centrípeta existir e tiver módulo superior ao necessário, o veículo entrará em movimento curvilíneo, e igualmente não coincidente com a curva horizontal, será um movimento curvo de afastamento maior e o veículo sairá da pista pelo lado interno da curva de concordância horizontal

Como foi visto, o valor do módulo da força centrípeta deve ser necessário para o equilíbrio do movimento curvo sobre a curva da estrada. Sendo assim, o cálculo desse módulo varia em função da própria curva de concordância horizontal.

Admitindo que a massa não varie, podemos escrever que a força centrípeta (F_c) resulta do produto entre a massa (m) e a aceleração, chamada de aceleração centrípeta (a_c).

O módulo da aceleração centrípeta (a_c) é calculado dividindo-se o valor do quadrado da velocidade instantânea pelo raio de curvatura da trajetória (R). Sua direção é normal (perpendicular) à trajetória em cada posição do objeto e seu sentido, orientado para o centro de curvatura.

A direção e o sentido da força centrípeta são os mesmos da aceleração centrípeta: o vetor aponta para o centro da curva em todos os pontos da trajetória circular. (GONÇALVES e TOSCANO, 2003, p. 59)

Observa-se então:

$$F_c = m \cdot a_c$$

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Figura 8. Relação matemática entre força centrípeta, raio da curva e velocidade

F_c = Força centrípeta

a_c = aceleração centrípeta

m = massa

v = velocidade

R = raio

Percebe-se que o raio é exatamente o raio da curva de concordância horizontal. Sendo a força centrípeta inversamente proporcional ao raio. Assim: quanto maior o raio, menor será a força centrípeta necessária. Por isso a construção da curva horizontal deve ter o maior raio possível.

Uma indagação que surge sobre a força centrípeta (que é necessária ao entendimento do movimento circular) é: o que gera essa força? A resposta no próximo tópico.

2.2.2 Força de Atrito na Curva

Conforme ensina Serway e Jewett Jr (2014, pág. 137) “as forças de atrito fazem os automóveis viajarem por estradas curvas”.

Segundo Rizzo (2017) o que gera a força centrípeta necessária ao movimento circular de um veículo é a força de atrito.

“No caso de um carro efetuando um movimento circular no asfalto, o esterçar das rodas fazem com que o atrito entre o pneu e o asfalto mude a trajetória do carro (resultando em uma aceleração centrípeta)”. (RIZZO, 2017).

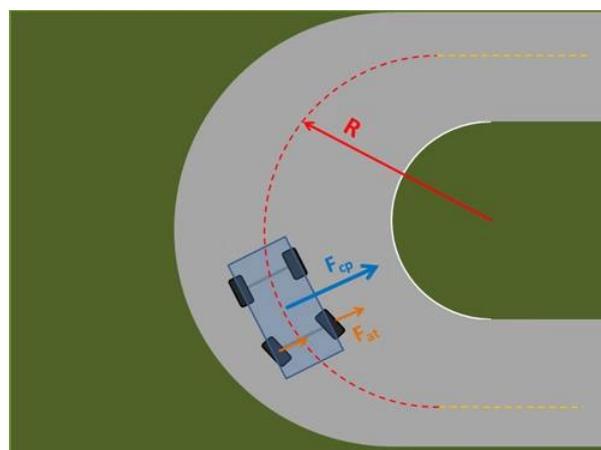


Figura 9. Desenho mostrando a ação da força de atrito

Fonte: < <https://rizzofisico.wordpress.com/tag/forca-centripeta/> Acesso em 04 de fev. 2017

Quando o veículo inicia o percurso sobre uma curva de concordância, os rodados (pneus) direcionais, por uma questão de dirigibilidade mecânica, tangenciam a curva, fazendo com que o veículo também faça o percurso da curva. O que impede o veículo sair do traçado da curva é justamente a força de atrito.

Uma força centrípeta deve estar agindo sobre o carro se ele estiver se movendo em uma trajetória circular; a força deve ser horizontal e dirigida para o centro do círculo. A única força horizontal agindo sobre o carro é a força de atrito que o pavimento exerce sobre os pneus. Portanto a força centrípeta necessária é a força de atrito. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2002, p. 105)

A força de atrito é a força de contato entre duas superfícies que atua na direção contrária do movimento entre elas: “ (...) Quando um corpo está em movimento sobre uma superfície, (...), há resistência ao movimento, pois o corpo interage com seu entorno. Chamamos tal resistência de **força de atrito**. ” (SERWAY e JEWETT Jr, 2014, pág. 131, grifo do autor)

Sendo assim, tal força depende do como ocorre esse contato.

“O atrito depende da natureza e do grau de polimento dos materiais que formam os objetos. Se as superfícies de contato forem polidas, a intensidade de contato nas uniões será menor, diminuindo a força de atrito” (GONÇALVES e TOSCANO, 2003, pág. 97).

Quando as superfícies são mesmas e nas mesmas condições, a relação de contato entre elas é uma constante que se obtém por métodos empíricos. Sendo mensurada numa constante que varia de 0 a 1, na qual recebe o nome de coeficiente de atrito. “O coeficiente de atrito é um número adimensional que mostra a relação entre as superfícies de dois corpos em contato, deslizando um em relação ao outro” (ARAUJO e MACHADO, 2016, pág. 25).

Assim, para cada interação de movimento entre duas superfícies tem-se uma força de atrito, e um coeficiente de atrito entre essas superfícies.

A razão entre atrito e a normal é **constante** e depende somente da natureza das superfícies de contato. Essa constante é chamada de coeficiente de atrito e usualmente é representada com a letra grega μ (alguns autores adotam outras constantes para coeficiente de atrito) (ARAUJO e MACHADO, 2016, p. 25, grifo do autor)

Sobre a força de atrito: “Em uma estrada com pavimento nivelado, essa força é igual ao produto do coeficiente de atrito dos pneus com a estrada “ μ ” e o peso “ $m.g$ ” do veículo”. (ARAUJO e MACHADO, 2016, pág. 28, grifo do autor).

Portanto, a equação da força de atrito é: $F_{at} = \mu . m . g$

2.2.2.1 Relação Entre Velocidade do Veículo, Raio da Curva de Concordância e Coeficiente de Atrito.

Para melhor compreensão, deve-se estudar a relação entre esses três dados contidos no movimento circular do veículo sobre uma curva de concordância horizontal.

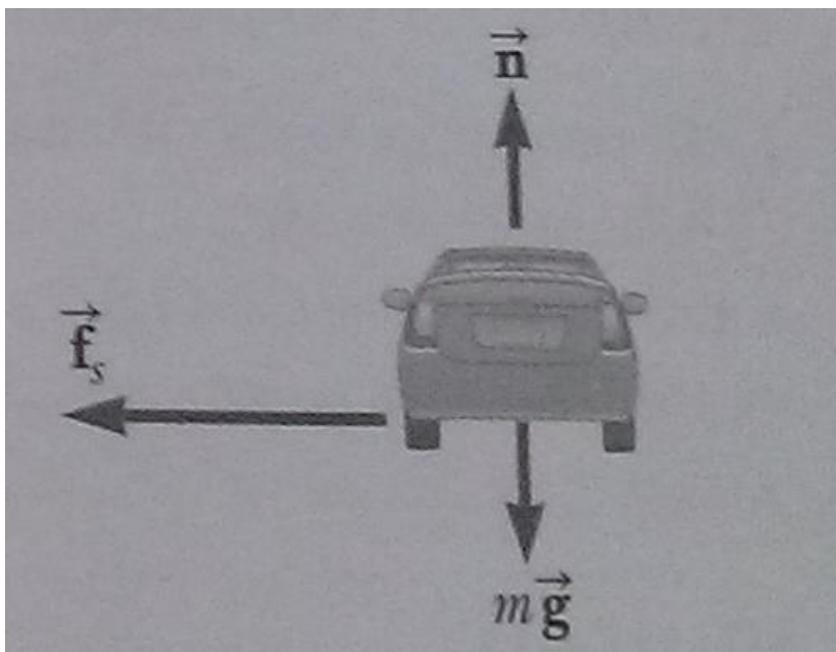


Figura 10. Imagem mostrando a interação das forças

Fonte: Serway e Jewett Jr (2014, pág.140)

A força que permite ao carro permanecer em sua trajetória circular é a de atrito estático. (É *estático* porque não ocorre nenhuma derrapagem no ponto de contato entre a pista e os pneus. Se essa força de atrito estático fosse zero — por exemplo, se o carro estivesse em uma rua coberta por gelo —, o carro continuaria em uma linha reta e derraparia para fora da pista curva.) A

velocidade máxima que o carro poderia ter ao fazer a curva é aquela com a qual ele está à beira de derrapar para fora da pista. Nesse ponto a força de atrito tem seu valor máximo (SERWAY e JEWETT Jr, 2014, p. 140)

Como a força de atrito deve ser igual a força centrípeta, para manter o equilíbrio do movimento circular do veículo sobre a pista de rolamento construída em curva de concordância horizontal, tem-se a relação entre coeficiente de atrito e raio da curva:

$$F_c = F_{at}$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = \mu \cdot m \cdot g \quad \Rightarrow \quad \frac{v^2}{R} = \mu \cdot g$$

Figura 11. Desenvolvimento da equação matemática para a relação velocidade, raio da curva e coeficiente de atrito

Observando a equação verifica-se que o coeficiente de atrito é proporcional ao quadrado da velocidade e inversamente proporcional ao raio da curva. Assim, corroborado por Araújo e Machado (2016, p. 51), a relação entre a velocidade máxima de um veículo, ao transitar por uma curva, o Raio da curva e o coeficiente de atrito existente é:

$$v = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R}$$

Figura 12. Relação matemática entre velocidade, raio e coeficiente de atrito

Com isso tem-se uma leitura matemática sobre as relações existentes entre velocidade, coeficiente de atrito nas curvas e o raio da curva de concordância horizontal, na condição de equilíbrio em função da força centrípeta.

Uma observação muito importante para análises futuras é que a velocidade máxima independe da massa do veículo para se transitar em uma curva de concordância.

2.2.3 Força Centrífuga

Quando um corpo se desloca em movimento retilíneo, ao passar para movimento curvilíneo a massa desse corpo (pela oposição ao estado do movimento (inércia), ou seja, resistência à mudança de direção) tende a permanecer em movimento retilíneo. Isso provoca uma sensação de que o corpo está sendo expulso para fora da curva. Ou seja, é um efeito da inércia do movimento retilíneo que o corpo sofre com a mudança de direção.

A expressão comum “força centrífuga” é descrita como uma força puxando *para fora* um corpo movendo-se em trajetória circular. Se você está experimentando uma “força centrífuga” em um carro giratório, qual é o outro corpo que você está interagindo? Você não consegue identificá-lo porque a força centrífuga é uma força fictícia. (SERWAY e JEWETT Jr, 2014, p. 137)

Conforme ensinamento de Serway e Jewett Jr (2014), a força centrífuga é uma sensação sofrida por um corpo em movimento circular. Assim, não sendo considerada

uma força no sentido da segunda lei de Newton. Portanto a força centrífuga não é uma reação à força centrípeta.

Entretanto, apesar do termo não ser técnico, será mantido nesse estudo o nome “força centrífuga” para esse fenômeno.

Em termos matemáticos, precisa-se fazer uma leitura dessa força atuando em veículos transitando em curva de concordância horizontal. Para tanto precisa-se da equação que representa essa força inercial.

Conforme ensina Nussenzveig (2013, p. 356, grifo do autor): “Esta força de inércia, (...) chama-se *força centrífuga*: ela é dirigida radialmente para fora e tem magnitude mv^2/r .”

Ou seja, a equação que representa essa “força” é:

$$FCf = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

FCf = força centrífuga

v = velocidade do veículo

m = massa do veículo

R = raio da curva

Figura 13. Relação matemática entre força centrífuga, raio e velocidade

Observa-se que diferente da força centrípeta que é causa do movimento circular, a força centrífuga é consequência desse movimento. Essa consequência será de grande importância ao entendimento de situações reais na elucidação de acidentes de trânsito em curva de concordância horizontal.

2.3 Elementos Auxiliadores ao Movimento Circular dos Veículos em Curvas Horizontais.

Como foi dito nos tópicos anteriores, o movimento circular requer condições próprias para ocorrer. No caso das rodovias, que são projetadas de forma a amenizar

os efeitos negativos desse movimento sobre os veículos, suas construções são dotadas de alguns elementos que auxiliam o trânsito de veículos sobre curvas de concordância horizontal. Ou seja, as curvas ao serem projetadas são dotadas de características adequadas: “Características geométricas inadequadas são causas de acidente de tráfego, baixa eficiência e obsolescência precoce das estradas. ” (PONTES FILHO, 1998, p. 51)

Dentre os elementos auxiliares destaca-se: Superelevação; Superlargura e Sinalização.

2.3.1 Superelevação

O veículo para iniciar o movimento circular sobre uma curva horizontal precisa da força centrípeta, e, ao iniciar esse movimento sofre a ação da chamada força centrífuga.

Uma das formas de amenizar a ação da força centrífuga, e concomitantemente auxiliar a força centrípeta é o usar a gravidade. Para isso, os construtores inclinam transversalmente o eixo da rodovia, elevando a parte externa do arco da curva, de forma que o peso do veículo seja um auxiliar do movimento circular.

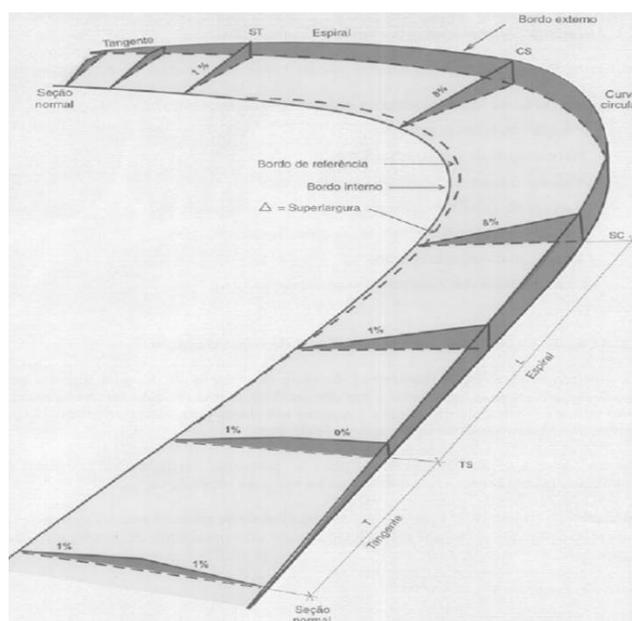


Figura 14. Desenho representando uma superelevação
 Fonte : Manual de Projeto Geométrico DNER (1999, p. 92)

Essa inclinação é chamada de superelevação. Conforme ensina Pontes Filho (1998, p. 171): “Superelevação é a inclinação transversal necessária nas curvas a fim de combater a força centrífuga desenvolvida nos veículos e dificultar a derrapagem.”

Matematicamente, conforme ensina Santos Filho e Araújo Junior (2015) a superelevação é a razão entre a altura da elevação da parte externa do arco da curva e a largura da pista. Ou seja, é a tangente do ângulo dessa inclinação.

Observem a ação das forças no movimento circular em curva com superelevação:

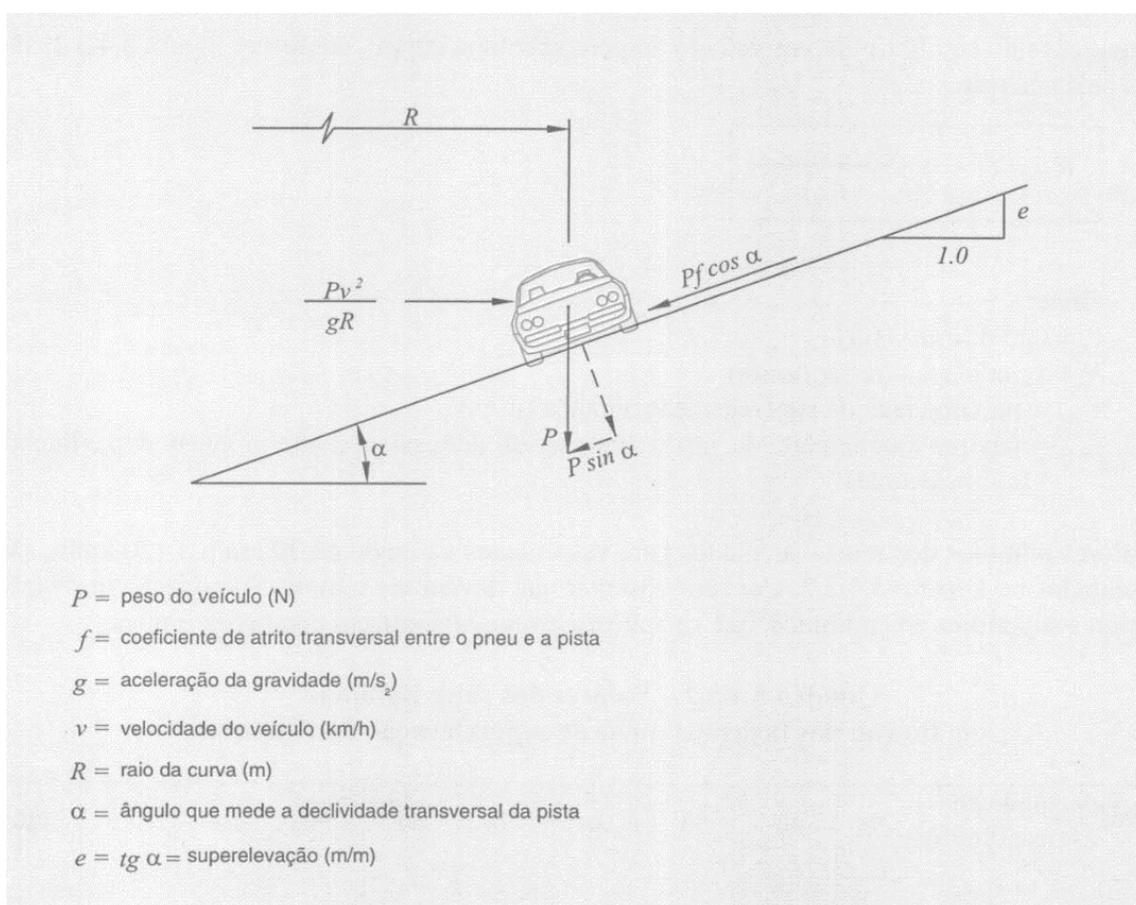


Figura 15. Desenho mostrando a ação das forças sobre um veículo

Fonte: Manual de Projeto Geométrico DNER (1999, p. 72)

Destaca-se a importância de saber a relação entre os fatores envolvidos na superelevação. Essa relação busca a condição de equilíbrio ideal para o trânsito de veículo sobre curva de concordância horizontal.

Segundo o Manual de Projeto Geométrico DNER (1999), as condições desse equilíbrio são dadas pela equação:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (e_{\max} + \mu_{\max})}$$

R_{\min} = Raio mínimo (m)

v = velocidade do veículo (km/h)

e_{\max} = superelevação máxima (m/m)

μ_{\max} = coeficiente de atrito
transversal máximo

Figura 16. Relação matemática entre Raio mínimo, velocidade, superelevação máxima e coeficiente de atrito máximo

Fonte: Manual de Projetos Geométrico DNER (1999, p. 71)

Essa equação mostra a relação de equilíbrio em situação limite, ou seja: raio de curvatura mínimo; superelevação máxima e coeficiente de atrito máximo.

Assim, as situações dentro do limite, em casos concretos (exemplo: numa análise de um acidente de trânsito) podem ser estabelecidas pela mesma equação (DNER, 1998), sendo:

$$R = \frac{v^2}{127 (e + \mu)}$$

R = raio da curva (m)

e = superelevação (m/m)

v = velocidade do veículo (km/h)

μ = coeficiente de atrito
transversal

Figura 17. Relação matemática entre Raio, velocidade, superelevação e coeficiente de atrito

Como o estudo busca uma aplicação prática do conhecimento, como essa equação auxilia em casos práticos? Normalmente o que se busca aferir numa análise de acidente de trânsito é a velocidade do veículo, ou o limite aceitável de velocidade de acordo cada curva. Nos casos concretos: o raio da curva com sua superelevação (já construída de acordo critérios da engenharia), são valores fixos, inalteráveis; O coeficiente de atrito varia conforme algumas circunstâncias como pista seca, molhada, com óleo, etc;

Com isso, e de posse de valores coletados no local, chega-se ao conhecimento da velocidade ou do limite de velocidade que deveria ser imprimido pelo veículo.

Mais uma vez observa-se aqui que, apesar da superelevação usar a gravidade como fundamento físico no auxílio do equilíbrio, a massa do veículo não faz parte do cálculo, fazendo a curva ser funcional para qualquer veículo. Será visto a frente que a estabilidade de cada veículo é diferente, porém são características dos veículos, não das curvas.

Apesar da equação ter aplicação a todas as curvas com superelevação, existem normas que obrigam determinadas características nas construções de curvas de concordância horizontal com superelevação.

Segundo o Manual de Projeto Geométrico DNER (1999), o órgão, para efeitos de construção estabelece limites de superelevação de acordo a velocidade, que varia de 30 km/h a 120 km/h.

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$e_{max}(\%)$										
4	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Tabela 1. Superelevação máxima em função da velocidade

Fonte: Manual de Projetos Geométrico DNER (1999, p. 71)

Essa tabela vincula superelevação a velocidade diretriz de cada trecho curvo na rodovia. O Manual também faz uma vinculação à velocidade diretriz e coeficiente de atrito que devem ser usados nas construções de curvas horizontais:

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coefficiente de atrito transversal f_{\max}	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Tabela 2. Valores máximos admissíveis de coeficiente de atrito

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (1999, p. 71)

Com as equações e as vinculações das tabelas, estabelecidas pelo DNER, tem-se importantes ferramentas na análise de acidentes de trânsito nas curvas de concordâncias horizontal.

Mesmo a superelevação sendo um elemento auxiliador do movimento circular, esse elemento, dependendo do raio da curva e da velocidade diretriz da rodovia, pode ser dispensado. O DNER (1999), também criou uma vinculação na qual dispensa a superelevação:

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥ 100
R (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Tabela 3. dispensa de superelevação em função do raio da curva e velocidade diretriz

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (1999, p. 97)

2.3.1.1 Condição de Equilíbrio nas Radióides (Curvas de Transição) Com Superelevação

Conforme Pontes Filho (1998), a curva composta com transição possui radióides (também chamada de: espiral de Conu ou Van Lamber; clotóide) interligando os arcos aos alinhamentos retos.

Como nas curvas, é preciso ter, também, uma condição de equilíbrio do movimento nesses radióides.

Segundo o DNER (1999), a equação da radióide (B) em um ponto (P) escolhido dentro dela é o produto do comprimento percorrido (l) (medido a partir do ponto de concordância da tangente com a curva de transição até ponto escolhido) pelo raio da curva de transição no ponto escolhido (r), sendo:

$$B = l \cdot r$$

E, a condição de equilíbrio em um ponto (P) qualquer da radióide sendo dada pela equação:

$$l \cdot r = \frac{v^2 \cdot l_c}{g \cdot t_g \alpha}$$

B = equação da radióide em um ponto

l = comprimento percorrido medido a partir do ponto de concordância da tangente com a curva de transição até ponto P (m)

r = raio da curva de transição no ponto P (m)

v = velocidade que é percorrida a curva de transição (m/s)

l_c = comprimento total da curva de transição (radióide) (m)

g = aceleração da gravidade (m / s²)

t_gα = superelevação máxima, a ser mantida no trecho circular

Observação: B = constante em cada caso , função de v, l_c, t_gα

Figura 18. Equação condição de equilíbrio em um ponto (P) qualquer da radióide

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (1999, p. 68)

Assim, essa equação constitui um importante instrumento para ser usado em uma análise, ou seja, em um ponto da radióide pode ser verificado se a condição de equilíbrio foi ou não estabelecida para o movimento circular em curva de transição com superelevação.

Ainda segundo o DNER (1999), existem outras formas de radióides com variação senoidal, cossenoidal ou quadrática, com usos diferentes de variação de superelevação. A condição de equilíbrio do movimento para esses casos é dada pela equação:

$$l_c = \frac{0,0214 \cdot V^3}{R \cdot C}$$

V = velocidade (km/h)
R = raio da curvatura (m)
**C = taxa de variação de
aceleração radial (m / s³)**

Figura 19. Condição de equilíbrio para radióides com variação senoidal, cossenoidal ou quadrática
 Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (1999, p. 70)

A taxa de variação da aceleração radial (C) é fixada em função da velocidade diretriz do projeto da rodovia, sendo:

$$C = - 0,009 \cdot V + 1,5$$

Figura 20. Taxa de variação da aceleração radial (C)
 Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (1999, p. 70)

O importante na análise é verificar, de acordo cada específico, se o veículo percorreu a curva de concordância em movimento curvilíneo equilibrado.

2.3.2 Superlargura

Outro elemento auxiliador nas curvas é o alargamento da faixa de trânsito nos trechos curvos. Esse alargamento, conforme DNER (1999), é chamado de superlargura.

Quando se está em curva, como o veículo é rígido e não pode acompanhar a curvatura da estrada, é necessário aumentar a largura da pista para que permaneça a distância mínima entre os veículos que existia no trecho tangente. Além disso, o motorista tem maior dificuldade de avaliar distâncias transversais em curva, o que exige algum aumento das distâncias de segurança consideradas em tangente.

A esse acréscimo de largura necessário em uma curva de uma rodovia para manter as condições de conforto e segurança dos trechos em tangente, dá-se o nome de superlargura. (DNER, 1999, p. 73)

Quanto maior o veículo (tanto em comprimento quanto em largura), maior a necessidade da superlargura. Isto porque, conforme ensina Pontes Filho (1998), a largura espacial ocupada por um veículo em curva é maior do que a largura espacial ocupada pelo mesmo veículo em linha reta, assim, quanto mais largo e mais comprido é um veículo, maior será a diferença entre o espaço que ele ocupa nas retas e o espaço que ele ocupa nas curvas.

Superlargura é o aumento de largura necessário nas curvas para a perfeita inscrição dos veículos. Quando um veículo percorre uma curva e o ângulo de ataque de suas rodas diretrizes é constante, a trajetória de cada ponto do veículo é circular. O anel circular formado pela trajetória dos diversos pontos do veículo é mais largo que o gabarito transversal do veículo em linha reta.

Para compensar esse aumento de largura à largura padrão da pista, é acrescentado o valor S (superlargura) nos trechos em curva. (PONTES FILHO, 1998, p. 195)

Como o estudo busca sempre o equilíbrio do movimento circular, o espaço ocupado pelo veículo nesse movimento também faz parte do equilíbrio para harmonia do trânsito. Cada veículo deve ocupar apenas a faixa de trânsito na qual ele transita, qualquer extrapolação desse espaço pode provocar acidentes de trânsito.

Na construção das estradas, o DNER (1999) descreveu a forma de cálculo da superlargura nas curvas em função dos veículos de projeto.

Observe:

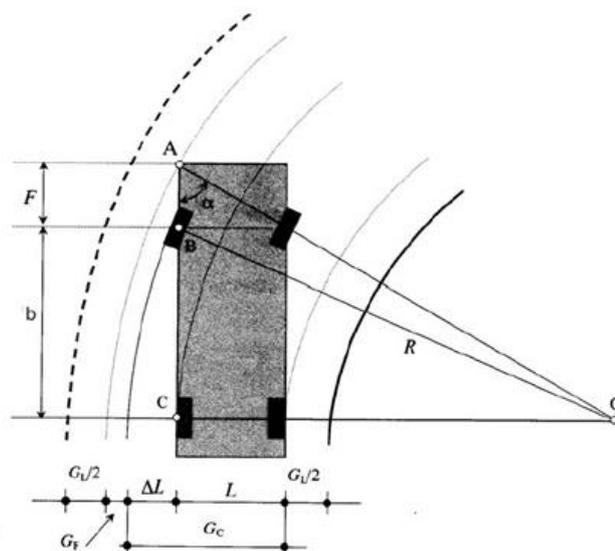


Figura 21. Desenho representando a ocupação de espaço do veículo em curva

Fonte: PONTES FILHO (1998, p. 197)

Como as dimensões do veículo são condicionantes ao projeto de construção da superlargura, o óbvio seria construir a estrada considerando os veículos maiores.

O DNER (1999) especifica as dimensões dos veículos a serem consideradas para efeito de construção de estradas.

Designação do veículo	Veículos leves (VP)	Caminhões e Ônibus convencionais (CO)	Caminhões e Ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0

Tabela 4. Especificando Dimensões dos veículos

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 47)

Além de especificar as dimensões, o DNER, traz o conceito do raio mínimo de giro para o veículo: “(...) ele é condicionado pela largura, distância entre eixos e comprimento total do veículo. Basicamente, é definido pelo raio da trajetória descrita pela roda externa dianteira (...)”. (DNER, 1999, p. 45).

Conforme observado, no Brasil, há normalmente uma considerável participação de veículos comerciais (ônibus e/ou caminhões convencionais), de modo que estes tendem a condicionar as características de projeto da via. Portanto, basicamente, o veículo de projeto normal deverá ser o veículo CO. (DNER, 1999, p. 51).

Os veículos são separados em quatro categorias, e o veículo escolhido para se projetar uma rodovia no Brasil é do tipo CO (caminhões e ônibus convencionais).

2.3.2.1 Dimensionamento da Superlargura

Entendido o objetivo da superlargura, passa-se a estudar como se processa o seu dimensionamento. A compreensão do tamanho da superlargura para cada curva e sua participação no equilíbrio de tráfego dos veículos é importante nas análises de casos concretos.

O DNER (1999), especifica como fazer o cálculo do dimensionamento da superlagura, tendo como base a pista simples de duas faixas de trânsito e mão dupla de direção.

Veja os elementos intervenientes no cálculo da superlagura:

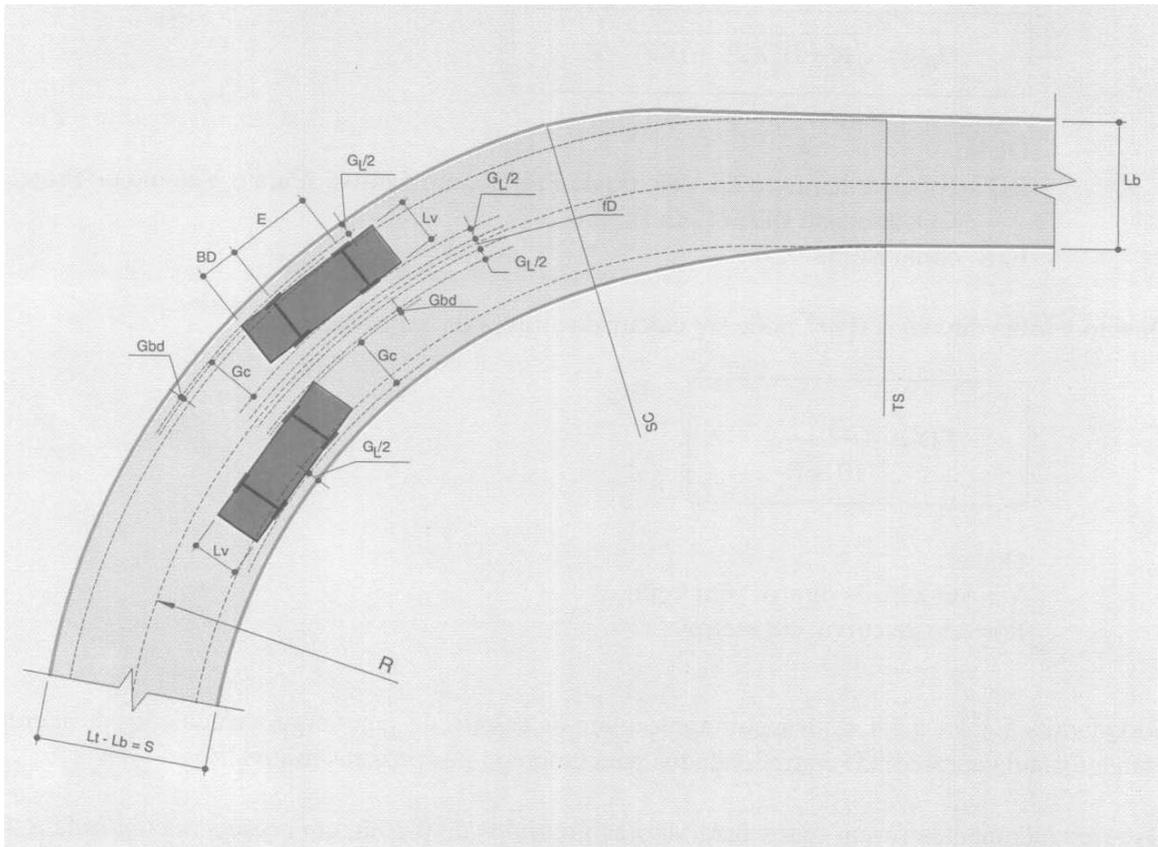


Figura 22. Desenho mostrando os elementos intervenientes no cálculo da superlargura

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 75)

Segundo o DNER (1999), os elementos são:

- S => superlargura total da pista
- L_T => largura total em curva da pista de 2 faixa de rolamento
- L_B => largura básica estabelecida para pista em tangente
- L_v => largura física do Veículo de Projeto (m)
- E => distância entre eixos do Veículo de Projeto (m)
- BD => balanço dianteiro do Veículo de Projeto (m)
- R => raio da curva (m)
- G_c => gabarito estático do Veículo de Projeto em curva
- G_L => gabarito (folga) lateral do Veículo de Projeto em movimento
- G_{BD} => gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do Veículo de Projeto em curva
- FD => folga dinâmica.

A folga dinâmica é a “folga transversal adicional para considerar a maior dificuldade em manter a trajetória de veículo em curvas, determinada de forma experimental e empírica.” (DNER, 1999, p. 74)

Conforme o DNER (1999), os cálculos obedecem às seguintes equações:

$$1) \quad S = L_T - L_B$$

$$2) \quad L_T = \{2 (G_C + G_L) + G_{BD}\} + FD$$

$$3) \quad G_C = L_V + (R - \sqrt{R^2 - E^2})$$

$$4) \quad G_C = L_V + \frac{E^2}{2R}$$

Observações:

- Para veículos de Projeto (CO) adota-se: $L_V = 2,60$ metros; $E = 6,10$ metros.
- Para veículos articulados:

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2$$

E_1 = distância entre o eixo dianteiro do veículo trator e o pivô de apoio do semirreboque

E_2 = distância entre o pivô de apoio do semirreboque e o eixo traseiro (ou o ponto médio entre os eixos trasieros)

Figura 23. Como considerar a distância entre eixos no veículo articulado
Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 74)

Os valores de GL são adotados em função de LB conforme tabela:

L_B (m)	6,00/6,40	6,60/6,80	7,00/7,20
G_L (m)	0,60	0,75	0,90

Tabela 5. GL x LB

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 76)

$$5) \quad G_{BD} = \sqrt{R^2 + BD(2E + BD)} - R$$

$$6) \quad FD = \frac{V}{10 \sqrt{R}}$$

O DNER (1999) ainda traz uma tabela de superlargura para os casos de pista com mais de duas faixas de trânsito:

Valores básicos Pistas de 2 Faixas	3,00	2,80	2,60	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40
Valores derivados Pistas de 3 Faixas	3,80	3,60	3,20	3,00	2,80	2,60	2,20	2,00	1,80	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60
Valores derivados Pistas de 4 Faixas	4,60	4,20	4,00	3,60	3,40	3,00	2,80	2,40	2,20	1,80	1,60	1,20	1,00	0,60

Tabela 6. Valores de superlargura para pistas com mais de duas faixas

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 82)

O objetivo do entender o dimensionamento não é formar construtores de estradas, é instrumentalizar-se com informações sobre as relações matemáticas dos elementos dimensionais da estrada e sua vinculação com a velocidade. Ou seja, em um trabalho pericial (de um caso concreto), a estrada já estará pronta, veículos envolvidos serão conhecidos e com dimensões definidas, e o perito de posse das informações matemáticas terá condições de realizar as devidas análises e tirar suas conclusões.

2.3.2.2 Disposição da Superlargura

O acréscimo na largura da faixa de trânsito, tanto pode ocorrer em apenas um dos bordos da pista ou nos dois bordos da pista.

“A superlargura adotada pode ser disposta metade para cada lado da pista (alargamento simétrico) ou integralmente de um lado só da pista (alargamento assimétrico)”. (DNER, 1999, p. 82).

O DNER (1999), estabelece dois tipos de disposição desse acréscimo. Entretanto, nas superlarguras assimétricas, o eixo da rodovia é deslocado lateralmente no sentido do bordo da pista onde ocorre o acréscimo, numa distância que proporcione um acréscimo lateral na largura de todas as faixas de trânsito.

Vejam as figuras 24, 25 e 26 a seguir:

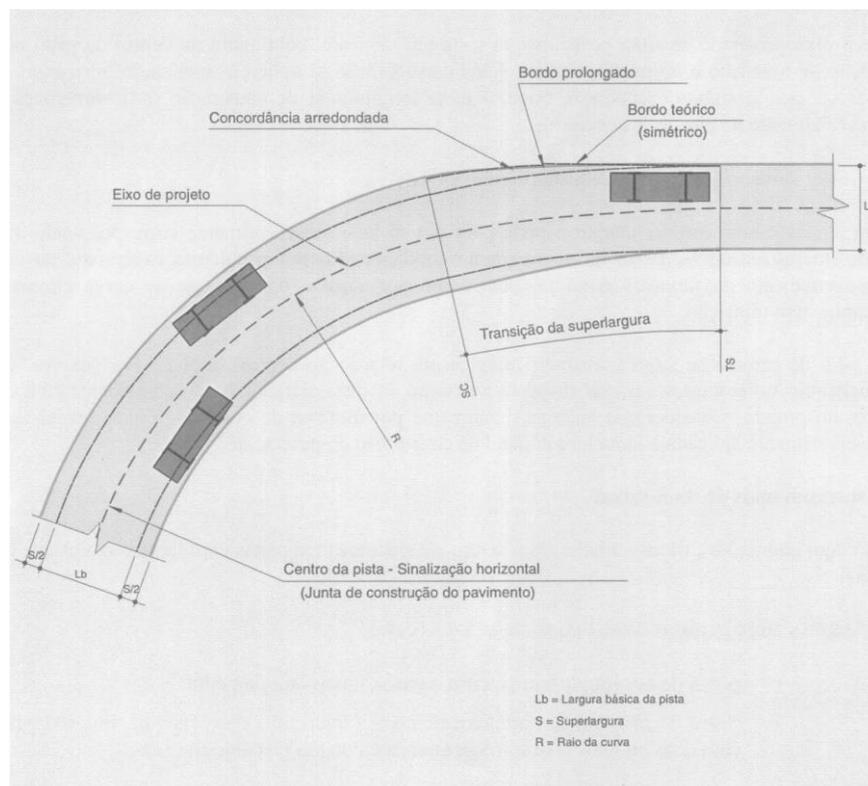


Figura 24. Desenho de uma superlargura por acréscimo simétrico
 Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 84)

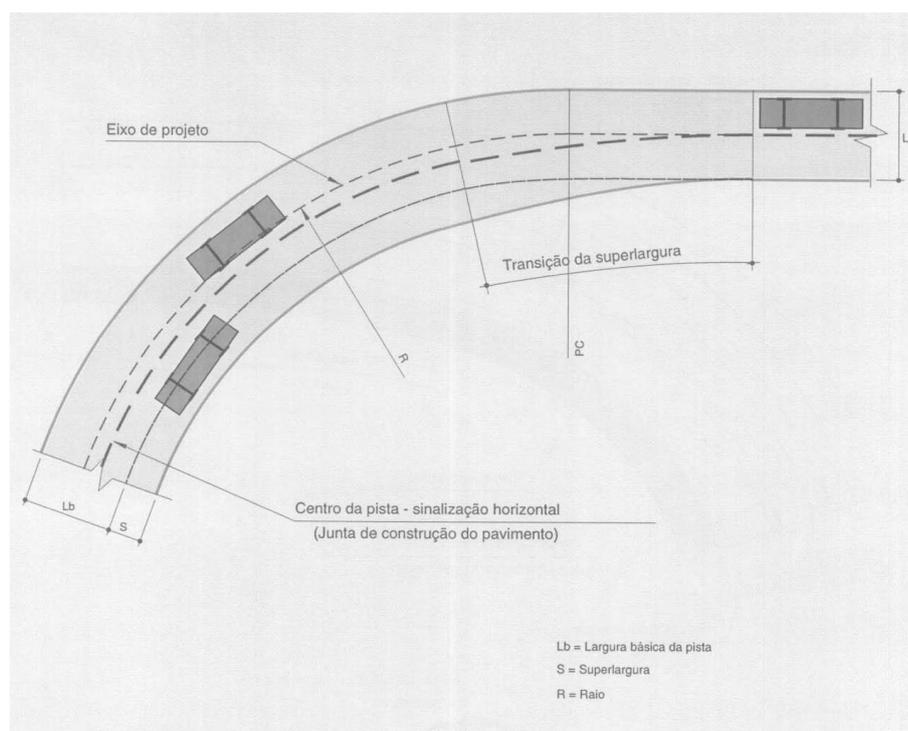


Figura 25. : Desenho de superlargura por acréscimo assimétrico
 Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 85)

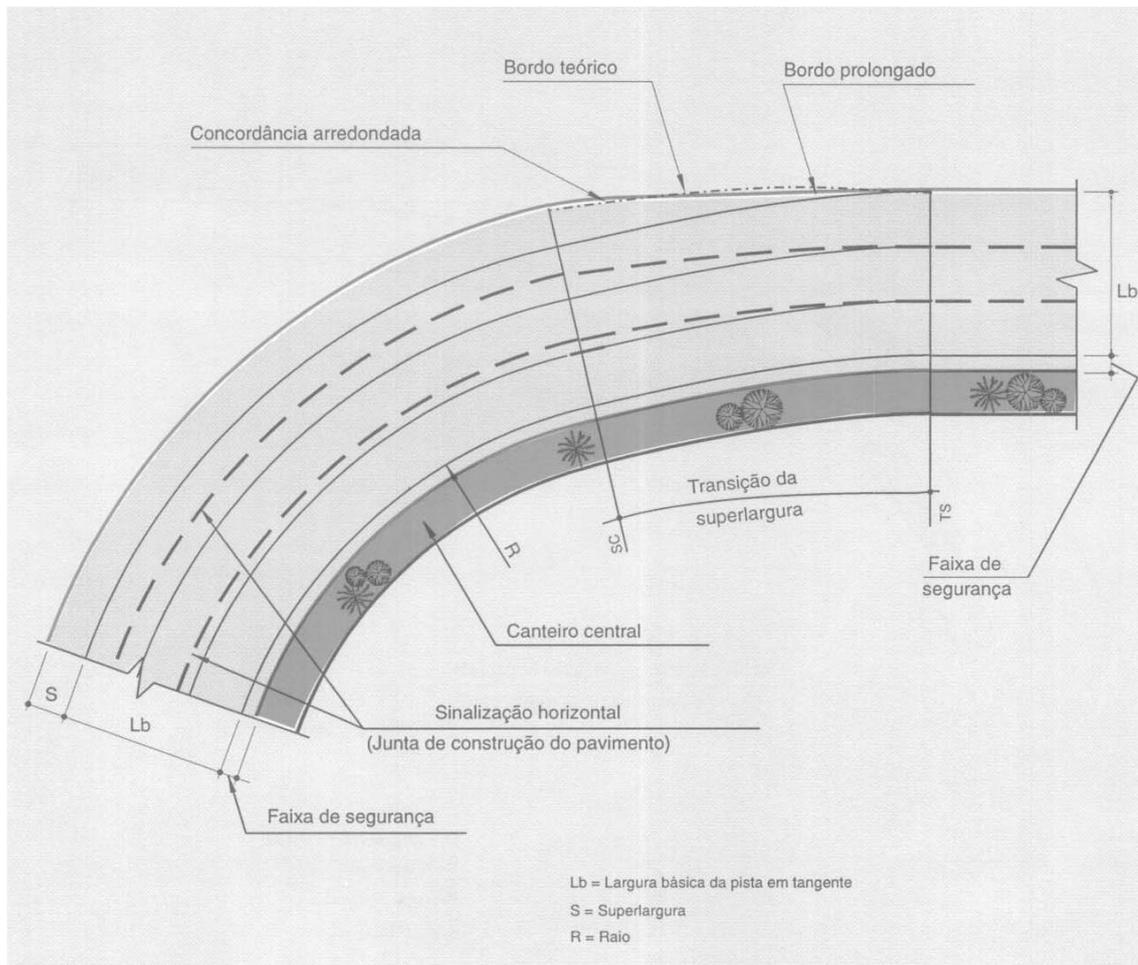


Figura 26. Desenho de superlargura por acréscimo assimétrico em pista com canteiro central
Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 86)

2.3.3 Sinalização

Diferente dos auxílios já estudados que atuam fisicamente sobre o equilíbrio de tráfego do veículo, a sinalização, segundo o CONTRAN (2007), é um instrumento que alerta e informa o condutor sobre uma curva de concordância horizontal que está à frente de sua trajetória para que ele entre no movimento circular com equilíbrio.

Como foi visto anteriormente, o veículo ao migrar do movimento retilíneo para o movimento curvo, sofre ação de forças próprias do movimento circular. Assim, se o condutor é surpreendido em sua trajetória retilínea por uma curva horizontal ou, mesmo sabendo da existência da curva, não conhecer a velocidade que deve

percorrê-la, perderá a estabilidade do veículo ao deparar com a curva, podendo sofrer um acidente de trânsito.

Para essa surpresa (ou falta de informação) não ocorrer, existe a sinalização. E a principal forma de sinalização é a vertical.

“A sinalização vertical tem a finalidade de fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotar comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança, ordenar os fluxos de tráfego e orientar os usuários da via. ” (CONTRAN, 2007, vol. I, p. 21).

Conforme o CONTRAN (2007) essas sinalizações ocorrem por meio de placas colocadas à direita da pista e são de dois tipos de acordo a função:

- Regulamentação: governam o uso da via regulamentando obrigação, limitação, proibição e restrição. No caso de uma curva de concordância, a placa usada é a R-19 que limita a velocidade a um máximo obrigatório (de acordo o informado na placa) para o veículo percorrer o movimento circular dessa curva com segurança. Exemplo:

R-19 – Velocidade máxima permitida



Figura 27. Imagem placa R-19

Fonte: Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. Vol. 1 pag. 182

- Advertência: adverte os condutores sobre condições na via com potencial de risco. No caso das curvas são as forças decorrentes do movimento circular. “Devem ser utilizados sempre que existir curva horizontal adiante, em vias onde as velocidades de aproximação acarretem manobra que possa comprometer a segurança dos usuários”. (CONTRAN, 2007, vol II, p. 37). Exemplos de Sinalização de advertência:



Figura 28. Modelos de placas de advertência

Fonte: Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. Vol. 2

As sinalizações, no caso das curvas, não se diferenciam de um veículo para o outro. A mesma sinalização vale para todos os veículos. Entretanto, apesar de estarem sob as mesmas condições físicas, cada veículo se comportará diferente dos outros.

Dependendo de sua configuração mecânica e velocidade, cada veículo terá sua estabilidade na curva variando de forma particular.

Será estudado no próximo tópico como ocorre essa particularidade.

2.4 Condições para o Equilíbrio em Função da Configuração Mecânica do Veículo em Trânsito sobre Curva Horizontal

Sobre as condições de equilíbrio do veículo (considerando sua particularidade, ou seja, sua configuração mecânica) nas curvas temos três situações a serem verificadas: A força centrípeta, a força centrífuga e a superlargura.

Duas observações são necessárias:

- A superelevação interfere tanto na força centrípeta quanto na força centrífuga, devendo o ângulo de inclinação ser incluído na análise de cada caso em concreto;
- As três situações a serem verificadas sofrem interferência direta da velocidade do veículo, sendo assim o fator velocidade terá enorme importância em qualquer verificação da condição de equilíbrio nas curvas.

Conforme estudado anteriormente, existe a força centrípeta que condiciona o movimento circular do veículo e a força centrífuga que atua sobre o veículo em movimento circular.

Verificou-se também que a força centrípeta é a força de atrito estático transversal que, sendo na medida certa, faz o veículo percorrer a curva de concordância. E que a força centrífuga é um efeito da inércia do movimento retilíneo que atua quando o veículo entra em movimento circular.

Sobre a atuação dessas duas forças, verificou-se que a força centrípeta ajuda o movimento circular, e a força centrífuga atrapalha. Isto porque: enquanto a força centrípeta mantém o veículo na curva, a força centrífuga tenta tirá-lo da curva.

Apesar da força centrífuga não ser uma reação à força centrípeta, não podemos considerar a força centrífuga na ausência da força centrípeta, uma vez que sem a força centrípeta não existe movimento circular, e sem movimento circular não existe força centrífuga. Ou seja, a força centrípeta é condição de existência para a força centrífuga.

Dito isto, no que tange aos veículos, passemos a estudar ação das duas forças, em função da configuração do veículo, separadamente.

2.4.1 Força Centrípeta e o Veículo

Pelos conceitos de força de atrito e força centrípeta do automóvel nas curvas (ambos apresentados no item 2.2.2.1 desse estudo), sendo a força centrípeta igual a força de atrito estático transversal, podemos dizer que (na prática) a força centrípeta impede o veículo de derrapar para fora da curva, provocando um equilíbrio no movimento circular.

Numa curva as variáveis do cálculo desse equilíbrio (veículo em movimento circular sem derrapar) são velocidade, raio da curva e coeficiente de atrito.

Assim, a configuração do veículo não faz parte do cálculo desse equilíbrio.

Como somente essas variáveis vão determinar a condição de equilíbrio para o veículo não derrapar quando em trânsito por uma curva de concordância horizontal, a força centrípeta independe da configuração mecânica do veículo.

Mesmo assim, a força centrípeta deve ser constatada primeiro para só depois proceder a análise da força centrífuga em face dessa só existir a partir daquela.

2.4.2 Força Centrífuga e o Veículo

A força centrífuga, sendo o efeito colateral do movimento circular, tende a expulsar a massa que percorre esse movimento.

Apesar da força centrípeta impedir a derrapagem do veículo, ela não impede de o veículo tombar ou capotar pela ação da força centrífuga.

O que impede esse tombamento ou o capotamento do veículo transitando em curva? Será visto que um dos fatores que impedem os veículos (nas mesmas circunstâncias) tombarem, ou não, nas curvas, é justamente sua configuração mecânica.

O tombamento (ou capotamento) que interessa (no caso das curvas) é o giro longitudinal sobre um dos eixos onde se encontra os apoios do veículo com a estrada, provocado pela ação da força centrífuga. Esse eixo de apoio ocorre sobre a linha de contato das rodas, com a estrada, mais distante do centro da curva, conforme a figura 29.

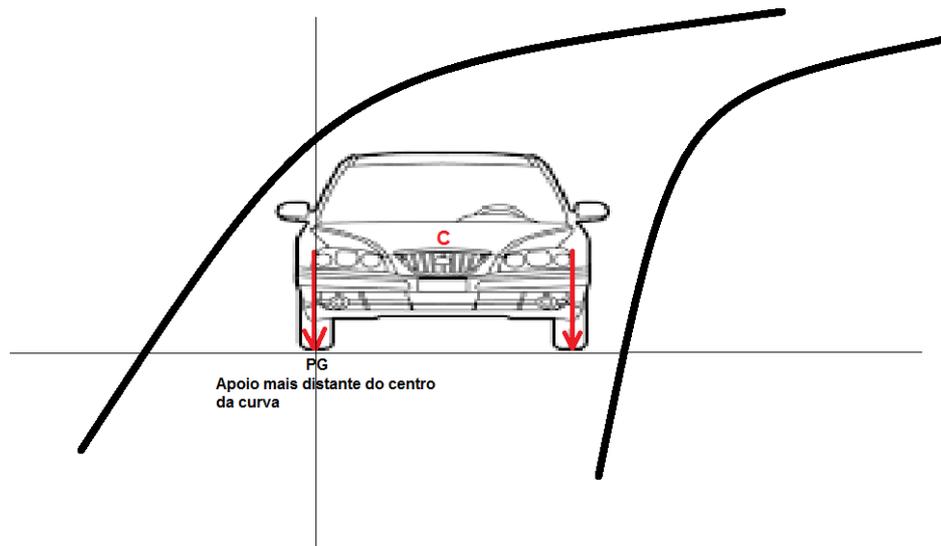


Figura 29. Desenho mostrando os pontos de apoio do veículo com a estrada

Fonte: Desenvolvido pelo autor

C = centro de gravidade

PG= Ponto de Giro

Ou seja: se curva é para direita, tombamento à esquerda: se a curva é para esquerda, o tombamento é para direita.

Veja as imagens a seguir:



Figura 30. Caminhão percorrendo uma curva à direita

Fonte: G1.globo.com. Acesso em 28/02/17



Figura 31. Caminhão sendo tombado pela força centrífuga

Fonte: G1.globo.com. Acesso em 28/02/17



Figura 32. Caminhão tombado para a esquerda

Fonte: G1.globo.com. Acesso em 28/02/17

O tombamento é resultado do momento de força resultante (que tem seu giro no sentido contrário à força centrípeta) e atua sobre o eixo citado acima.

Luz e Álvares trazem o conceito de momento de força e sua equação:

O momento M , ou torque de uma força F , que atua em um corpo, em relação a um eixo que passa pelo ponto O , é definido pela relação

$$M = F \cdot d$$

Onde d é a distância (perpendicular) de O à linha de ação de F . (LUZ e ÁLVARES, 1992, p. 215)

No tombamento, esse momento ocorre no ponto de giro (PG), sendo: a força concentrada no centro de massa; e a distância se referindo à distância perpendicular de PG à linha de ação da Força centrífuga.

Sobre centro de massa, observe: “O centro de massa de um sistema de partículas é o ponto que move como se (1) toda massa do sistema estivesse concentrada nesse ponto e (2) todas as forças externas estivessem aplicadas nesse ponto.” (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2002, p. 218)

Todo corpo (veículo) ou sistema de corpos (no caso veículo e carga) tem o seu centro de massa, e é localizado de acordo a configuração física do corpo (de como essa massa é distribuída pelo corpo).

Com isso esse momento resultante varia de veículo para veículo, em função de sua configuração mecânica. Isto acontece porque o centro de massa de cada um depende de como essa configuração distribui a massa do veículo.

Observe o desenho a seguir de um veículo em curva horizontal à esquerda:

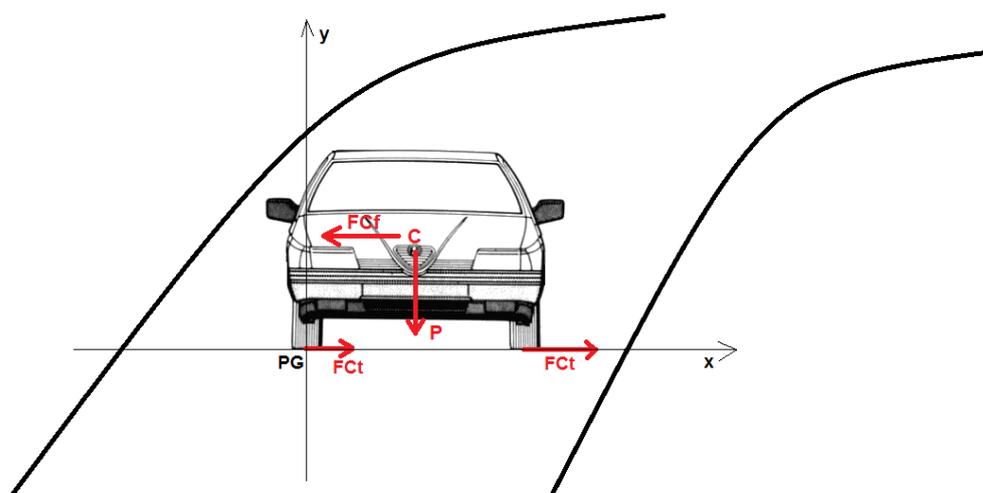


Figura 33. Vetores de forças no centro de gravidade do veículo, nas coordenadas cartesianas com PG (0,0)

Fonte: Desenvolvido pelo autor

C = centro de gravidade

Coordenada cartesiana de C = (Cx,Cy)

Cx = coordenada x de C = Distância perpendicular de Cx até PG (m)

Cy = coordenada y de C = Distância perpendicular de Cy até PG (m)

FCf = Força centrífuga

FCt = Força centrípeta

P = Peso do veículo

PG = Ponto de Giro de Tombamento (local onde o momento ocorre)

Coordenada cartesiana de PG = (0,0)

MFCf = Momento de força centrífuga

MP = Momento do Peso

Os momentos de força atuante no veículo em movimento circular, provém de forças concentradas no centro de massa. Sendo duas: a força centrífuga e o peso.

Representados nas equações:

$$\mathbf{MFCf = FCf \cdot Cy} \quad \text{e} \quad \mathbf{MP = P \cdot Cx}$$

O equilíbrio do movimento circular em relação à Força centrífuga (momento resultante igual a zero) depende da equação:

$$\mathbf{MFCf = MP}$$

$$\mathbf{FCf \cdot Cy = P \cdot Cx}$$

Como nosso estudo se baseia na condição de equilíbrio em função da velocidade do veículo em curva, é possível estabelecer a velocidade limite para o veículo não tombar, veja:

$$\mathbf{FCf = m \cdot \frac{v^2}{R}}$$

$$\mathbf{P = m \cdot g}$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot C_y = m \cdot g \cdot C_x$$

$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot \frac{C_x}{C_y}}$$

Observa-se com isso que a velocidade limite, para o veículo não tombar pela ação da força centrífuga, depende: do raio da curva; e da razão entre as distâncias do centro de gravidade em relação ao chão (C_y) e ao eixo da linha de rodas mais externa (C_x)

Observa-se também mais uma vez, como ocorreu na análise da força centrípeta, que: a massa do veículo não faz nenhuma diferença na análise da condição de equilíbrio em relação à força centrífuga.

Entretanto, como a posição do centro de gravidade varia de veículo para veículo, faz essa velocidade limite ser individualizada para cada veículo. Ou seja, diferente da força centrípeta que independe da configuração do veículo, o efeito da força centrífuga tem relação direta com o tipo de configuração do veículo.

Assim, dependendo da configuração e sua velocidade esse momento resultante no veículo tem seu giro nulo ou com o mesmo sentido da força centrípeta (voltado para o centro da curva) ou com sentido oposto. Se tem o sentido voltado para o centro da curva, o veículo não tomba; se tem sentido oposto, o veículo, mesmo não derrapando, tomba ao fazer o movimento circular.

Aqui surge uma imensa dificuldade em uma análise em um acidente de trânsito do tipo tombamento ou capotamento em curva de concordância, qual seja: localizar onde situa o centro de gravidade do veículo. Sem esse dado, não é possível analisar o efeito da força centrífuga em termos numéricos.

Destaca-se que no caso das motocicletas, que só possui uma linha longitudinal de rodas, o giro (para um lado ou para o outro) sempre ocorrerá no eixo onde situado

onde essa linha está em contato com a rodovia. Destaca-se também que as motocicletas, por terem um único eixo de apoio, tem a possibilidade de se inclinarem para um lado ou para o outro (no sentido contrário ao da força centrífuga) compensando o efeito da força centrífuga com seu próprio peso.

2.4.3 A Superlargura e o Veículo

A necessidade da superlargura por si só já demonstra a interferência da configuração mecânica (dimensões) do veículo nos cálculos que a define.

Foi visto no tópico 2.3.2.1 que a Largura Total (LT) e Folga Dinâmica (FD), ambos elementos da superlargura, tem relação direta com o tamanho do veículo e sua velocidade.

Reveja:

$$L_T = \{2 (G_C + G_L) + G_{BD}\} + FD$$

$$FD = \frac{V}{10 \sqrt{R}}$$

Assim, para a largura total da pista com superlargura, em função da configuração do veículo e sua velocidade, temos a equação:

$$L_T = \{2 (G_C + G_L) + G_{BD}\} + \frac{V}{10 \sqrt{R}}$$

Figura 34. Relação matemática entre Largura Total, velocidade e raio
Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999, p. 74)

A condição de equilíbrio espacial do veículo em movimento circular sobre uma curva de concordância é diretamente ligada às variáveis:

- G_C => gabarito estático do Veículo de Projeto em curva
- G_L => gabarito (folga) lateral do Veículo de Projeto em movimento
- G_{BD} => gabarito requerido pelo percurso do balanço dianteiro do Veículo de Projeto em curva
- R => raio da curva
- V => velocidade do veículo

Como ocorre com a força centrífuga, o equilíbrio na superlagura depende diretamente: da configuração mecânica (dimensões) do veículo (G_C , G_L e G_{BD}); do raio da curva e da velocidade do veículo.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

O estudo foi direcionado para os diversos tipos de curvas horizontais que possam ser construídas nas estradas, bem como para os princípios da física que incidem sobre os veículos ao transitarem em movimento circular sobre essas curvas.

Diante dos levantamentos bibliográficos, verificou-se: os conceitos e tipos de curvas horizontais, os elementos constitutivos dessas curvas que buscam a harmonia do trânsito de veículos sobre elas; a dinâmica do movimento circular, as forças necessárias para a sua ocorrência e as forças que se opõe a esse movimento; elementos na construção das curvas que auxiliam o movimento circular dos veículos; diversas equações matemáticas e tabelas que buscaram associar elementos tanto da dinâmica do movimento circular como velocidade do veículo e coeficiente de atrito, quanto da construção como raio da curva, inclinação e superlagura.

Destaca-se que um dos elementos estudados, a sinalização, não faz parte nem da construção física das curvas horizontais nem da dinâmica do movimento circular, porém é de grande importância uma vez que possibilita o veículo percorrer a curva dentro das condições para o qual foi projetada.

Durante a realização do estudo foi-se observando que o veículo por estar em uma curva e em movimento circular, e necessitar de forças específicas ao movimento, e sofrer a ação de forças também específicas, está sujeito a alguns acidentes. E assim, a influência da curva horizontal nos acidentes aparecia em diversos pontos com variáveis em comum, sempre determinando um tipo próprio de acidente.

Contudo, como o objeto do estudo era entender justamente essa influência da curva horizontal nos acidentes de trânsito, o cerne do levantamento bibliográfico teve como foco estudar como se processa o trânsito de veículos sobre curva horizontal de forma equilibrada sem que ocorra acidentes, ou seja, o estudo buscou as condições de equilíbrio para o trânsito do veículo em movimento circular em uma curva horizontal determinável ou determinada.

Assim, o estudo identificou três condições de equilíbrio obrigatórias à harmonia do trânsito. Todas elas envolvendo a associação entre a velocidade do veículo e o raio da curva. E duas delas envolvendo também a construção mecânica do veículo (dimensões e distribuição de massa).

Das três, uma é condição para que ocorra o movimento circular correto de acordo a curva horizontal. E duas são condições que evitam as consequências indesejáveis desse movimento.

Diante de três condições de equilíbrio e suas variáveis em comum foi necessário estabelecer qual variável vincularia as três condições, uma vez que, apesar de serem consideradas em conjunto, são calculadas em separado.

Partindo destas constatações, foi verificado que o raio da curva, por ser elemento fixo relativo à construção de cada curva, participa do cálculo de aferição das três condições, mas não varia em qualquer dos três casos. Sendo, portanto, em um caso concreto o mesmo nas três condições de equilíbrio. Assim, as variáveis ficariam restritas à velocidade do veículo e sua construção mecânica.

Considerando ainda que em um caso concreto, o veículo também é o mesmo nas três condições de equilíbrio a serem analisadas, como ocorre com o raio, a construção mecânica (apesar de ser elemento a ser considerado no cálculo de duas das três condições de equilíbrio) também não varia para a condição de equilíbrio geral de cada caso analisado em particular.

Com isso, para a análise de um caso concreto, a variável que estabelecerá a condição de equilíbrio geral é a velocidade do veículo, tanto que constitui o único elemento que pode ter qualquer valor para o mesmo veículo e na mesma curva.

Essa velocidade, após os cálculos individuais de cada uma das três condições de equilíbrio, terá um limite próprio em cada uma delas que condicionará a harmonia do movimento circular de um determinado veículo sobre uma determinada curva.

Como cada condição de equilíbrio, num caso concreto, apontará uma velocidade limite específica, será necessário estabelecer qual delas será a velocidade considerada ideal e que servirá para a condição de equilíbrio geral desse caso em concreto.

Nesse ponto há que considerar também na análise a velocidade regulamentar da curva em questão, que é fixa e normalmente aplicável a todos os veículos.

Assim o estudo indicou que temos quatro limites de velocidades aplicáveis a um caso concreto e que somente um impõe ao veículo a harmonia do trânsito sobre curva horizontal.

Obviamente, por uma questão jurídica, a exigível ao condutor é a velocidade regulamentar que pode ser (deve ser) ou não adequada a cada caso em particular.

Entretanto como o estudo pauta a influência da curva horizontal no acidente, a análise de um caso concreto deverá estabelecer fisicamente a velocidade limite. Assim, pelo que foi estudado, após os cálculos individualmente considerados das três condições de equilíbrio, em cada caso em particular, deve-se considerar a menor velocidade das três como a velocidade limite (como velocidade máxima de trânsito) para que o veículo transite em movimento circular sobre a curva horizontal em análise.

Observa-se que essa velocidade é a velocidade do cálculo tendo como base o veículo e a curva, não a velocidade que o veículo efetivamente realizou. Ou seja, é apenas a informação de qual seria a velocidade máxima em que um determinado veículo transitaria sobre uma determinada curva sem se acidentar.

Tal informação tem o condão apenas de auxiliar a análise de um caso concreto.

Outra informação identificada nos estudos, e que auxiliaria essa análise, seria a possibilidade de determinar qual das condições de equilíbrio não foi estabelecida a partir do tipo de acidente ocorrido. Isto porque cada uma dessas condições evita um tipo de acidente.

Veja:

- O estudo apontou que a saída de pista é evitada pela condição de equilíbrio para a existência da força centrípeta. Tal condição é necessária à existência do movimento circular, e ocorrendo de forma equilibrada o movimento curvo ocorre exatamente sobre o traçado da

curva. Assim ele não sai da pista e nem tampouco invade outra faixa de trânsito. Ou seja: inexistência da força centrípeta o veículo não faz a curva (“passa reto”) e sai da pista; se essa força for excessiva o veículo faz um movimento curvo com raio menor que o da curva horizontal e sai da pista para parte interna da curva; se a força for insuficiente o veículo faz o movimento curvo com raio maior que o da curva e sai da pista pelo lado externo.

- A derrapagem é evitada também pela mesma condição de equilíbrio acima, como a força centrípeta depende diretamente do atrito e o equilíbrio leva em consideração o limite desse atrito, o veículo transitando nessa condição de equilíbrio ele não derrapa ao fazer a curva.
- O tombamento é oriundo do não estabelecimento da condição de equilíbrio relativo à força centrífuga. O estudo mostrou que por ser um efeito resultante da transição entre o movimento retilíneo para o movimento circular, a força centrífuga “empurra” a massa em movimento para fora da curva, sendo necessária uma condição de equilíbrio específica para que esse “empurrão” não tombe o veículo. Assim se um veículo tomba ao fazer uma curva é porque ele estava acima da velocidade limite para manter o equilíbrio do movimento, considerando sua particularidade (distribuição de massa).
- A colisão lateral é provocada pelo não estabelecimento da condição de equilíbrio relativo a superlagura. Determinados veículos, pelo tamanho, ao percorrerem as curvas horizontais ocupam um espaço lateral maior que a largura real do veículo, fruto da dinâmica do movimento circular. O estudo mostrou que esse espaço lateral tem variáveis, principalmente a velocidade, que estabelecem uma condição de equilíbrio, na ausência dessa condição o veículo ultrapassa os limites laterais de sua faixa de trânsito, podendo provocar uma colisão lateral.

Assim, o estudo agrupou informações importantes que poderão ser usadas em futuras análises periciais ou estudos de casos.

4 CONCLUSÃO

O estudo mesmo ocorrendo exclusivamente no campo teórico, sempre buscou estabelecer um paralelo com casos reais no que se referia em como o conceito estudado seria aplicado na prática. Pode-se dizer que isso fora planejado ou induzido pelo curso de especialização em perícia de acidentes, o certo é que esse paralelo foi ganhando importância com os levantamentos bibliográficos.

Quando se iniciou o estudo do tema não se vislumbrava a dimensão da influência das curvas horizontais nos acidentes de trânsito, apesar de se ter uma ideia que essa influência existia.

Na medida em que o estudo avançava, juntamente com a importância de se entender essa influência, foi surgindo também a preocupação de agregar informações que pudessem ser usadas em futuras perícias em acidentes de trânsitos ocorridos em curvas horizontais. Assim surgiram informações e muitas dúvidas sobretudo em como aplicar essas informações em casos práticos.

Quanto ao objetivo geral em concentrar o estudo no excesso de velocidade como fator determinante dessa influência das curvas horizontais, tal objetivo foi alcançado com êxito uma vez que todos os cálculos têm essa velocidade como variável condicionante. Ressalta-se que o estudo apesar de ter sido concentrado, não foi direcionado a ter esse resultado. A velocidade é a variável condicionante dessa influência porque a física e a peculiaridade singular de cada caso real apontaram para essa variável.

Contudo, a velocidade, como demonstrado nos resultados, é a teórica, ou seja, é o limite dessa velocidade para que a influência das curvas horizontais não seja efetiva na ocorrência do acidente. E, em casos reais, o perito terá bastante dificuldades em encontra-la por não ter em mãos os dados precisos para o cálculo dessa velocidade.

Uma dessas dificuldades reside em como fazer a coleta dos dados das diversas variáveis. O cálculo a partir da teoria é fácil desde que se tenha os dados em um caso concreto, mas coletar esses dados se mostrou um, se não o maior, problema no caso de análises de casos reais.

Enfim, o estudo conseguiu boas informações sobre a influência das curvas horizontais nos acidentes de trânsito. Isto porque mesmo não calculando valores, o

entendimento das forças físicas que atuam no movimento circular de veículos em curvas horizontais traz melhor entendimento sobre a dinâmica dos acidentes nessas curvas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS FILHO., Liomário dos; ARAÚJO JUNIOR., Orlando Lima de; **Especialização Perícia de Acidentes de Trânsito – Segurança Viária**. Florianópolis. Instituto Federal de Santa Catarina, 2015.

ALMEIDA, L.L. de. **Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito**. Campinas: Millennium, 2011.

ARAUJO, X. A.; MACHADO, W. R. **Especialização Perícia de Acidentes de Trânsito – Física Aplicada à Perícia de Acidentes de Trânsito – Módulo I**. Florianópolis. Instituto Federal de Santa Catarina, 2016.

ARAUJO, X. A.; MACHADO, W. R. **Especialização Perícia de Acidentes de Trânsito – Física Aplicada à Perícia de Acidentes de Trânsito – Módulo II**. Florianópolis. Instituto Federal de Santa Catarina, 2016.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (Brasil) (DNER). **Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro. DNER, 1999.

Moodle EaD IFSC. **Categoria de Cursos**. Disponível em: <<http://moodle.ead.ifsc.edu.br/>>. Acesso em: 06 dez. 2016.

OTANI, Nilo; FIALHO, Francisco Antonio Pereira. **TCC: métodos e técnicas**. 2.ed. rev. atual. Florianópolis: Visual Books, 2011.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. São Carlos: G. Pontes Filho. 1998.

LEE, Shu Han. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 2.ed. ver. E ampli. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR, John W. **Princípios da Física**. Tradução EZ2 translate; revisão técnica Márcio Maia Vilela. São Paulo. Cengage Learning. 2014.

HALLIDAY, Davi; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física: Volume 1**. Tradução José Paulo Soares de Azevedo. Rio de Janeiro. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2002.

GONÇALVES F. Aurelio; TOSCANO, Carlos. **Física e Realidade**. São Paulo. Editora Scipione. 2003.

MACEDO, Edivaldo Lins. **Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários**.

<<http://www.topografiageral.com/Curso/capitulo%2005.php>> Acesso em 01 fev. 2017

Conselho Nacional de Trânsito (Brasil) (CONTRAN). **Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. Vol. 1.** 2 ed. Brasília. Contran. 2007.

Conselho Nacional de Trânsito (Brasil) (CONTRAN). **Sinalização vertical de regulamentação / Contran-Denatran. Vol. 2.** 2 ed. Brasília. Contran. 2007.

RIZZO, Guilherme. <<https://rizzofisico.wordpress.com/tag/forca-centripeta/>> Acesso em 04 fev. 2017.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica,1: mecânica.** 5. ed. São Paulo. Editora Blucher. 2013.

<<http://g1.globo.com/planeta-bizarro/noticia/2012/05/video-mostra-caminhao-tombando-em-curva-e-quase-esmagando-carro.html>> Acesso em 28 fev. 2017.