

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DE CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**DOUGLAS WENDEL CONSOLI OZELAME**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DAS DIMENSÕES DE VEÍCULOS ARTICULADOS  
BRASILEIROS NA DETERMINAÇÃO DOS RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA  
EM INTERSEÇÕES EM NÍVEL**

**CAXIAS DO SUL  
2019**

**DOUGLAS WENDEL CONSOLI OZELAME**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DAS DIMENSÕES DE VEÍCULOS ARTICULADOS  
BRASILEIROS NA DETERMINAÇÃO DOS RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA  
EM INTERSEÇÕES EM NÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade de Caxias do Sul como requisito  
parcial para obtenção do título de Engenheiro  
Civil.

Orientador: Prof. MSc. Matheus Lemos Nogueira

**CAXIAS DO SUL  
2019**

**DOUGLAS WENDEL CONSOLI OZELAME**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DAS DIMENSÕES DE VEÍCULOS ARTICULADOS  
BRASILEIROS NA DETERMINAÇÃO DOS RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA  
EM INTERSEÇÕES EM NÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade de Caxias do Sul como requisito  
parcial para obtenção do título de Engenheiro  
Civil.

**Aprovado em:**     /     /

**Banca examinadora**

---

Prof. MSc. Matheus Lemos Nogueira  
Universidade de Caxias do Sul

---

Profa. MSc. Jaqueline Bonatto  
Universidade de Caxias do Sul

---

Profa. MSc. Carolina Becker Pôrto Fransozi  
Universidade do Vale do Taquari

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar de que forma as dimensões de veículos articulados brasileiros influenciam na determinação dos raios mínimos de curvatura de interseções em nível. Utilizou-se para análise os seguintes veículos previstos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010): carreta (CA), bitrem de 7 eixos (BT7), cegonheiro (CG), bitrem de 9 eixos (BT9) e bitrem longo (BTL). Os mesmos veículos estão presentes na biblioteca do *software Vehicle Tracking 2018 – Student Version*, que foi utilizado para realizar as simulações de raios de giro. Foram testadas as curvas circulares simples, curvas compostas de três centros simétricas presentes nas normas de projeto geométrico de interseções do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005); curvas circulares com *taper*, do DNIT (2005); curvas compostas de três centros assimétricas sem proporção da AASHTO (2011) e com a proporção de 2:1:3 sugerida pelo antigo DER-SC (2000). Foram mantidos fixos os afastamentos das curvas compostas, os raios dos bordos externos das curvas e a velocidade em 15km/h. Analisou-se os ângulos de conversão entre 30° e 150° a cada 15° para faixas de rolamento de 3,50 e 4,00 metros de largura variando os raios dos bordos internos, além do ângulo de 180° onde também fora variada a largura do ponto médio da curva. Os resultados apontam que para os veículos CG, BT9 e BTL os raios mínimos dos DAER-RS (1991) e do DNIT (2005) não são adequados. Os veículos CA e BT7 são compatíveis com os raios mínimos do DNIT (2005), o veículo BT7 é compatível também com os raios do DAER-RS (1991) e o veículo CA só é atendido pelos raios do DAER-RS (1991) quando os ângulos de conversão forem baixos. Conclui-se que as curvas compostas de três centros assimétricas foram as que melhor se ajustaram aos veículos brasileiros. Foi possível perceber que o número de articulações dos veículos é mais influente na determinação dos raios mínimos que o próprio comprimento.

**Palavras-chave:** Projeto geométrico, interseções, simulação.

## ABSTRACT

The main objective of this study was to analyze how the dimensions of Brazilian articulated vehicles influence on determining the minimum radius of curvature of intersections at level. The following vehicles, specified by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010) were used for analysis: carreta (CA), bitrem de 7 eixos (BT7), cegonheiro (CG), bitrem de 9 eixos (BT9) and bitrem longo (BTL). The same vehicles are in the Vehicle Tracking 2018 - Student Version software library, which was used to perform the turning radius simulations. The simple circular curves, composed curves of three symmetric centers present in the standards of geometric design of intersections of DAER-RS (1991) and DNIT (2005) were tested; circular curves with taper, of DNIT (2005); curves composed of three asymmetric centers without proportion of AASHTO (2011) and with the proportion of 2:1:3 suggested by former DER-SC (2000). The deviations of the composed curves, the radius of the outer edges of the curves and the speed at 15km/h were kept fixed. Conversion angles were analyzed between 30° and 150° for each 15° for lanes of 3.50 and 4.00 meters wide, varying the radius of the internal borders, besides the angle of 180° where the width of the midpoint of the curve was also varied. The results indicate that for the CG, BT9 and the BTL vehicles the minimum radius of DAER-RS (1991) and DNIT (2005) are not adequate. The CA and the BT7 vehicles are compatible with the minimum radius of the DNIT (2005), the vehicle BT7 is also compatible with the DAER-RS (1991) radius and the CA vehicle is only served by the DAER-RS (1991) radius when the conversion angles are low. It was concluded that the asymmetric curves composed of three centers were the ones that best fit the Brazilian vehicles. It was possible to notice that the number of articulations of the vehicles influences more in determining the minimum radius than the length itself.

**Key-words:** Geometric design, intersections, simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Largura máxima do caminho de varredura .....	17
Figura 2 - Características influentes no raio de giro.....	18
Figura 3 - Veículos de projeto do DAER-RS (1991) .....	20
Figura 4 - Veículos de projeto rígidos do DNIT (2010).....	22
Figura 5 - Veículos de projeto articulados do DNIT (2010) .....	23
Figura 6 - Veículos de projeto biarticulados do DNIT (2010) .....	23
Figura 7 - Curva circular simples .....	27
Figura 8 - Curva composta de três centros com simetria .....	29
Figura 9 - Curva composta com três centros sem simetria.....	30
Figura 10 - Curva composta de três centros assimétrica .....	31
Figura 11 - Curva circular simples com taper .....	32
Figura 12 - Arraste negativo.....	33
Figura 13 - Carreta.....	37
Figura 14 - Bitrem de 7 eixos .....	38
Figura 15 - Cegonheiro.....	38
Figura 16 - Bitrem de 9 eixos .....	39
Figura 17 - Bitrem longo .....	40
Figura 18 - Biblioteca de veículos do DNIT (2010).....	40
Figura 19 - Pontos de entrada e saída da curva .....	42
Figura 20 - Simulação de conversão a 180° .....	43
Figura 21 - Situação onde é necessária alteração do raio intermediário .....	43
Figura 22 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares simples com L=3,50m....	51
Figura 23 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares simples com L=4,00m....	51
Figura 24 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas simétricas com L=3,50m .....	52
Figura 25 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas simétricas com L=4,00m .....	53
Figura 26 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares com taper com L=3,50m	54
Figura 27 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares com taper com L=4,00m	55
Figura 28 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com L=3,50m .....	56

Figura 29 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com $L=4,00\text{m}$ .....	56
Figura 30 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com proporção 2:1:3 com $L=3,50\text{m}$ .....	57
Figura 31 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com proporção 2:1:3 com $L=4,00\text{m}$ .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições homologadas pela Portaria N° 63 do DENATRAN (2009).....	16
Tabela 2 - Dimensões dos veículos de projeto do DAER-RS (1991) .....	20
Tabela 3 - Raios de giro mínimos DAER-RS (1991).....	21
Tabela 4 - Dimensões adotadas pelo DNIT (2010) .....	21
Tabela 5 - Raios de giro mínimos DNIT (2010) .....	24
Tabela 6 - Raios de giro mínimos do DNIT (2005) e DER-SP (2006) .....	24
Tabela 7 - Comparação de veículos de projeto nacionais e internacionais .....	25
Tabela 8 - Compatibilidade com curva circular simples para L=3,50m (DAER-RS, 1991)....	45
Tabela 9 - Compatibilidade com curva circular simples para L=4,00m (DAER-RS, 1991)....	46
Tabela 10 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=3,50m (DAER-RS, 1991) .....	46
Tabela 11 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=4,00m (DAER-RS, 1991) .....	47
Tabela 12 - Compatibilidade com curva circular simples para L=3,50m (DNIT, 2005) .....	47
Tabela 13 - Compatibilidade com curva circular simples para L=4,00m (DNIT, 2005) .....	48
Tabela 14 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=3,50m (DNIT, 2005)....	48
Tabela 15 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=4,00m (DNIT, 2005)....	49
Tabela 16 - Compatibilidade com curva circular com taper para L=3,50m (DNIT, 2005).....	49
Tabela 17 - Compatibilidade com curva circular com taper para L=4,00m (DNIT, 2005).....	50
Tabela 18 - Larguras para 180° nos diferentes tipos de curva para L=3,50m .....	58
Tabela 19 - Larguras para 180° nos diferentes tipos de curva para L=4,00m .....	59
Tabela 20 - Larguras para 180° em curvas assimétricas.....	59
Tabela 21 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta simétrica com L=3,50m .....	60
Tabela 22 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta simétrica com L=4,00m .....	61
Tabela 23 - Diferença de área entre curva circular simples e curva circular com taper com L=3,50m .....	61
Tabela 24 - Diferença de área entre curva circular simples e curva circular com taper com L=4,00m .....	62
Tabela 25 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica sem proporção com L=3,50m .....	62



Tabela 26 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica sem proporção com L=4,00m .....	63
Tabela 27 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=3,50m .....	63
Tabela 28 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=4,00m .....	64
Tabela 29 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva circular com taper com L=3,50m .....	64
Tabela 30 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva circular com taper com L=4,00m .....	65
Tabela 31 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica sem proporção com L=3,50m.....	65
Tabela 32 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica sem proporção com L=4,00m.....	66
Tabela 33 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica com proporção 2:1:3 com L=3,50m .....	66
Tabela 34 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica com proporção 2:1:3 com L=4,00m .....	67
Tabela 35 - Diferença de área entre curva circular com taper e curva compostas assimétrica sem proporção com L=3,50m.....	67
Tabela 36 - Diferença de área entre curva circular com taper e curva compostas assimétrica sem proporção com L=4,00m.....	68
Tabela 37 - Diferença de área entre curva circular com taper e curva compostas assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=3,50m .....	68
Tabela 38 - Diferença de área entre curva circular com taper e curva compostas assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=4,00m .....	69
Tabela 39 - Diferença de área entre curvas compostas assimétricas sem proporção e com proporção de 2:1:3 com L=3,50m .....	69
Tabela 40 - Diferença de área entre curvas compostas assimétricas sem proporção e com proporção de 2:1:3 com L=4,00m .....	70
Tabela 41 - Menores áreas de pavimento para L=3,50m .....	70
Tabela 42 - Menores áreas de pavimento para L=4,00m .....	71

## LISTA DE SIGLAS

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AET	Autorização Especial de Trânsito
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CODOT	<i>Department of Transportation of Colorado</i>
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CVC	Combinação de Veículos de Carga
DAER-RS	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER-SC	Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DGC	<i>Dirección General de Carreteras</i>
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FGSV	<i>Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen</i>
IOWADOT	<i>Department of Transportation of Iowa</i>
RED	Raio de giro do Eixo Dianteiro
SDDOT	<i>Department of Transportation of South Dakota</i>
TAC	<i>Transportation Association of Canada</i>
TANROADS	<i>Tanzania National Roads Agency</i>
WHI	<i>Western Highway Institute</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS.....	15
2.1.1	Informações gerais.....	15
2.1.2	Veículos de projeto do DAER-RS .....	19
2.1.3	Veículos de projeto do DNIT .....	21
2.1.4	Veículos de projeto internacionais .....	25
2.2	CURVAS HORIZONTAIS .....	26
2.2.1	Curva circular simples .....	26
2.2.2	Curvas compostas .....	28
2.2.3	Curva circular simples com <i>taper</i> .....	32
2.3	PARÂMETROS E SIMULAÇÃO .....	32
<b>3</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>36</b>
3.1	VEÍCULOS DE PROJETO .....	36
3.1.1	Carreta.....	36
3.1.2	Bitrem de 7 eixos .....	37
3.1.3	Cegonheiro.....	38
3.1.4	Bitrem de 9 eixos .....	39
3.1.5	Bitrem longo .....	39
3.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	40
3.2.1	Verificação de compatibilidade de normas nacionais com veículos atuais .....	41
3.2.2	Simulação com curvas compostas de três centros assimétricas.....	43
3.2.3	Utilização de proporção 2:1:3 nas curvas compostas assimétricas .....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>45</b>
4.1	VERIFICAÇÃO DE COMPATIBILIDADE .....	45
4.1.1	Compatibilidade com raios mínimos do DAER-RS (1991).....	45

4.1.2	Compatibilidade dos raios mínimos do DNIT (2005) .....	47
4.2	ÁREAS DE PAVIMENTO .....	50
4.2.1	Curvas circulares simples .....	50
4.2.2	Curvas compostas de três centros simétricas .....	52
4.2.3	Curvas circulares com <i>taper</i> .....	53
4.2.4	Curvas compostas de três centros assimétricas .....	55
4.2.5	Curvas compostas de três centros assimétricas (2:1:3) .....	57
4.3	LARGURAS DE PISTA PARA ÂNGULOS DE 180° .....	58
4.4	COMPARAÇÕES DE ÁREAS DE PAVIMENTO .....	60
5	CONCLUSÕES .....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
	APÊNDICE A – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS CIRCULARES SIMPLES .....	78
	APÊNDICE B – RAIOS PORPOSTOS: CURVAS COMPOSTAS SIMÉTRICAS .....	79
	APÊNDICE C – RAIOS PRPOSTOS: CURVAS CIRCULARES COM <i>TAPER</i> .....	80
	APÊNDICE D – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS COMPOSTAS ASSIMÉTRICAS... ..	81
	APÊNDICE F – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES: ANÁLISE DAER-RS (1991) .....	83
	APÊNDICE G – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES: ANÁLISE DNIT (2005) .....	84
	APÊNDICE H – ÁREAS DE CURVAS COMPOSTAS SIMÉTRICAS: ANÁLISE DAER- RS (1991) .....	85
	APÊNDICE I – ÁREAS DE CURVAS DE COMPOSTAS SIMÉTRICAS: ANÁLISE DNIT (2005) .....	88
	APÊNDICE J – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES COM <i>TAPER</i> : ANÁLISE DNIT (2005) .....	91

<b>APÊNDICE K – ÁREAS DE CURVAS COMPOSTAS ASSIMÉTRICAS: BASEADAS NA AASHTO (2011).....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO A – RAIOS MÍNIMOS PARA BORDOS INTERNOS (DAER-RS, 1991).....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO B – RAIOS MÍNIMOS PARA BORDOS INTERNOS (DNIT, 2005).....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO C – COMPOSIÇÕES DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS ASSIMÉTRICAS (AASHTO, 2011) .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO D – METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS SIMÉTRICAS (CODOT, 2018) .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO E – METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS ASSIMÉTRICAS (CODOT, 2018) .....</b>	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010), tem-se no Brasil um histórico de aumento das dimensões dos veículos, principalmente no que diz respeito aos ônibus urbanos e caminhões articulados. Isto implica, geralmente, em aumento dos raios de giro destes veículos. Este crescimento fica evidenciado pela evolução das dimensões máximas permitidas pela legislação: o Decreto N° 62.127/68 especificava um comprimento máximo de 18,00 metros para veículos de carga, já a Resolução N° 631/84 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) estabeleceu um limite de 19,80 metros, além de autorizar a circulação de veículos com até 30,00 metros mediante autorização especial.

A determinação dos raios mínimos de curvatura utiliza como parâmetro veículos de projeto e, em geral, cada normativa possui seu próprio critério para seleção e escolha destes. Atualmente, o maior veículo de projeto utilizado pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER-RS, 1991) possui 15,24 metros de comprimento. A principal hipótese é que com os veículos permitidos atualmente pela legislação, por serem mais longos, seja necessário maior espaço para conversões. Ainda no Brasil, o DNIT (2005) e o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP, 2006), trazem veículos mais recentes, entretanto, não contemplam os maiores de 19,80 metros.

Nas interseções rodoviárias, os raios de curvatura dos bordos internos e externos geralmente são baseados nos raios de giro dos veículos de projeto. O raio de giro externo é de fácil determinação segundo a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2011). Já os internos para veículos maiores requerem uma análise mais minuciosa, pois em veículos articulados a unidade tracionada não segue a mesma trajetória da unidade tratora, gerando um fenômeno chamado de arraste (COSTA, 1997).

Segundo Dragčević, Korlaet e Stančerić (2008), o avanço tecnológico permitiu a implementação de ferramentas computacionais de configuração rápida e interativa para simulação da trajetória de veículos. O método mais preciso para determinar esse comportamento é o teste prático, entretanto, devido ao alto custo destes, atualmente as simulações computacionais predominam neste tipo de análise.

De modo geral, para as interseções em nível o DAER-RS (1991) e o DNIT (2005) recomendam curvas compostas de três centros simétricas e/ou curvas circulares simples, o último traz ainda uma opção de curva circular simples com *taper*. A AASHTO (2011), além das opções citadas, propõe também que as curvas compostas de três centros podem ser assimétricas. O DER-SC (2000) sugere que as curvas compostas de três centros assimétricas

possuam uma proporção de 2:1:3. Já a Vägverket (2002) tem um foco na combinação de raios com transições espirais.

Sendo assim, este trabalho tem como principal objetivo analisar a relação entre as dimensões de veículos articulados brasileiros os raios mínimos de curvatura de interseções em nível. Para tanto, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar metodologias utilizadas por normativas nacionais e internacionais;
- b) verificar a compatibilidade dos veículos de projeto com os raios mínimos do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005), por meio de simulação computacional;
- c) propor adaptação de curvas compostas assimétricas utilizadas pela AASHTO (2011) para veículos brasileiros;
- d) estabelecer configurações de curvas compostas assimétricas com base na proporção do DER-SC (2000).

O trabalho ficará limitado à análise de manobras de conversão a baixas velocidades em interseções em nível. Este será estruturado conforme os itens descritos a seguir:

- a) capítulo 1: contextualização do tema e das diretrizes de pesquisa, evidenciando os objetivos a serem alcançados;
- b) capítulo 2: consulta de normas nacionais e internacionais relacionadas ao projeto geométrico de interseções e elaboração de fundamentação teórica;
- c) capítulo 3: discussão da metodologia empregada no estudo e parâmetros utilizados pelos *softwares* na simulação dos raios de giro;
- d) capítulo 4: análise crítica dos resultados e apresentação de alternativa aos raios mínimos de curvatura utilizados pelo DAER-RS e pelo DNIT;
- e) capítulo 5: considerações finais da pesquisa, ressaltando as principais conclusões obtidas e sugestões para trabalho futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS

#### 2.1.1 Informações gerais

As características dos veículos são critérios utilizados para melhorias ou otimizações dos projetos rodoviários. A AASHTO (2011) sugere que se estabeleçam classes entre todos os tipos de veículos considerando suas dimensões: os que possuem maior exigência de espaço para manobras dentro de sua classe são definidos como veículos de projeto. Um dos principais critérios utilizados para projeto geométrico de rodovias são as características físicas e operacionais dos veículos. O projetista deve levar em consideração a frequência com que cada um provavelmente utilizará a via ou suas características críticas como em raios de interseções (AASHTO, 2011).

Conforme a *Dirección General de Carreteras* (DGC, 2012), a escolha de um determinado veículo de projeto assegura que todos os de dimensões menores possam utilizar as interseções sem invadir ilhas ou outras faixas de tráfego. A definição do veículo de projeto condiciona-se, também, à análise das características da região. Em áreas industriais ou comerciais há uma proporção mais elevada de veículos de carga combinados.

De acordo com o DNIT (2005), os veículos com características dimensionais mais desfavoráveis que o veículo de projeto estabelecido poderão utilizar as interseções, porém sujeitando-se a situações mínimas de conforto e dirigibilidade. Outros fatores que intervêm na dirigibilidade dos veículos como suspensão, sensibilidade das rodas ao giro do volante, aceleração e desaceleração pertencem ao campo da engenharia mecânica e possuem difícil determinação.

O comprimento total máximo estabelecido pela Resolução Nº 210 do CONTRAN (2006a) para veículos com ou sem carga é de 14,00 metros para veículos não-articulados, 18,60 metros para os articulados com duas unidades e 19,80 metros para os articulados com mais de duas unidades ou composto por caminhão e reboque. A mesma Resolução prevê como largura máxima 2,60 metros ou 2,86 metros, mediante Autorização Específica, no caso de veículos licenciados até Novembro de 1996.

As Combinações de Veículos de Carga (CVC) com mais de duas unidades e comprimento total maior que 19,80 metros podem circular mediante porte de Autorização Especial de Trânsito (AET), conforme prevê a Resolução Nº 211 do CONTRAN (2006b). O



órgão limita o comprimento total em 30,00 metros para estas combinações, valor reafirmado pela Resolução N° 663 (CONTRAN, 2017).

A Portaria N° 63 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2009), que homologa as combinações de veículos de transporte de carga traz em seus Anexos I e II as composições permitidas, considerando peso bruto total, comprimento total e peso máximo por eixo. Na Tabela 1 são relacionados os principais grupos de combinações homologados e seus comprimentos máximos.

Tabela 1 - Composições homologadas pela Portaria N° 63 do DENATRAN (2009)

<b>Composição</b>	<b>Comprimento máximo (m)</b>	<b>Necessidade de AET</b>
Caminhão	14,00	Não
Caminhão trator + semirreboque	18,60	Não
Caminhão + reboque	19,80	Não
Caminhão trator + semirreboque + reboque	19,80	Não
Caminhão trator + 2 semirreboques	19,80	Não
Caminhão trator + semirreboque + reboque	30,00	Sim
Caminhão trator + 2 semirreboques	30,00	Sim
Caminhão + 2 reboques	30,00	Sim
Caminhão trator + 3 semirreboques	30,00	Sim

Fonte: Adaptado da Portaria N° 63 do DENATRAN (2009)

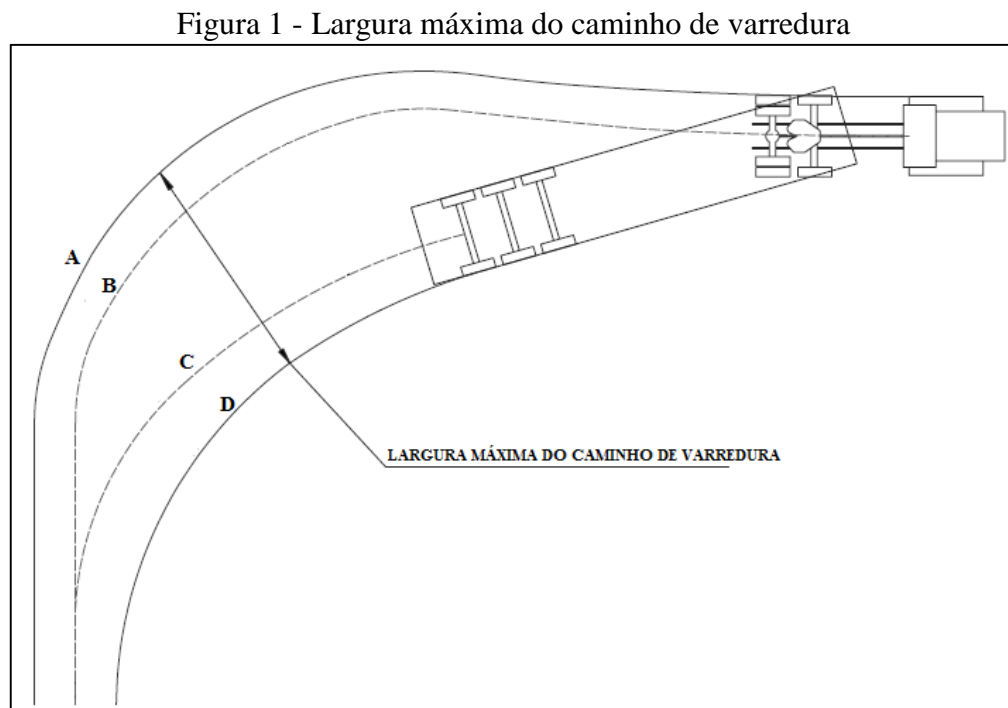
Além do comprimento e da largura dos veículos, a distância entre os eixos e o número de articulações são características que influenciam o espaço requerido para manobras. Em caminhões, o movimento das rodas traseiras não acompanha o movimento das dianteiras. Este fenômeno é conhecido como *offtracking* (COSTA, 1997), comumente chamado de arraste na literatura nacional.

Heald (1986) explica que o *offtracking* ocorre quando os eixos de um veículo tendem a se direcionar para o centro da curva e, ao atingir o estado estacionário da direção, alcança seu valor máximo. O autor ainda coloca que o arraste máximo ( $OT_{max}$ ) pode ser calculado pela fórmula do *Western Highway Institute* (WHI), Equação 1, que pode ser aplicada tanto para veículos simples quanto para combinados. Nessa equação R é o raio formado pelo centro do eixo dianteiro e L é a distância entre os componentes que afetam diretamente a rotação.

$$OT_{max} = R - \sqrt{R^2 - \sum L^2} \quad (1)$$

Conforme Russo (1995), o caminho de varredura (*Swept path*) é caracterizado pela trajetória interna da extremidade traseira do veículo, configurando a largura total ocupada para conversão. A AASHTO (2011) define esta trajetória como a soma da largura do veículo e do *offtracking*, sendo fortemente influenciada pela distância entre os eixos do reboque traseiro e o pino-rei da quinta roda<sup>1</sup>.

A largura máxima do caminho de varredura pode ser definida como a maior distância entre o trajeto da borda frontal externa e do caminho da extremidade traseira do veículo (MOON et al., 2009). A Figura 1 mostra um esboço destas trajetórias e indica a largura máxima do caminho de varredura.



Fonte: Adaptado de Pecchini e Giuliani (2013)

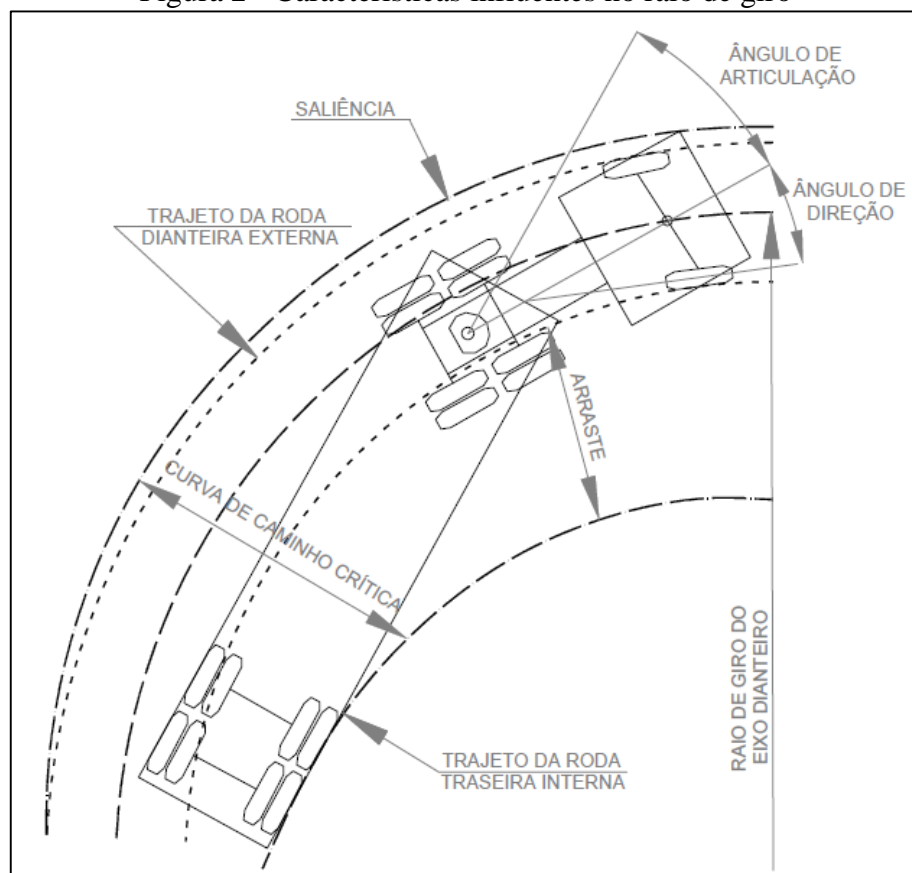
Os trajetos de A, B, C e D da Figura 1 são respectivamente: da roda externa dianteira, do centro do eixo dianteiro, do centro do eixo traseiro e da roda interna dianteira. A Figura 2 mostra com mais detalhes as principais características de movimento de uma combinação clássica de unidade tratora com um semirreboque. Além destes efeitos, a AASHTO (2011, p.63) utiliza as seguintes definições para caracterizar outros aspectos importantes considerados na determinação da trajetória dos veículos:

- a) raio de giro de meio-fio a meio-fio (*Curb-to-curb turning radius*): trajetória do pneu externo frontal formando um arco circular;

<sup>1</sup> “Mecanismo de apoio entre o semirreboque e o cavalo mecânico no ponto de articulação” (RUSSO, 1995).

- b) *saliência (Overhang)*: arco circular formado pela trajetória do balanço dianteiro;
- c) *raio de giro da linha central (Centerline turning radius)*: raio de giro da linha central do eixo dianteiro do veículo quando seu volante está em sua posição máxima;
- d) *ângulo de direção (Steering angle)*: ângulo em que as rodas são giradas pelo volante. Este ângulo, quando máximo, controla o raio de giro mínimo;
- e) *ângulo de articulação (Articulating angle)*: ângulo formado pela unidade tratora e suas unidades adjacentes.

Figura 2 - Características influentes no raio de giro



Fonte: Adaptado de AASHTO (2011)

Uma maior distância entre os eixos implica em um maior *offtracking*. Isto se torna mais evidente em semirreboques que possuem maior necessidade de espaço para manobras do que os reboques. Outro fator apontado é o levantamento do eixo dianteiro de semirreboques que deve ser levado em consideração, pois a distância entre os eixos aumenta e, conseqüentemente, ocorre uma maior ocupação do espaço interno da curva se comparado ao mesmo veículo com todos os eixos apoiados (FRIEDRICH et al., 2014).

Segundo a *Tanzania National Roads Agency (TANROADS, 2011)*, a roda externa dianteira segue um trajeto circular, enquanto a roda interna traseira segue um caminho

parabólico. O trajeto da parábola é influenciado pela distância entre os eixos e ocorre apenas em veículos articulados.

Conforme o DNIT (2010), é essencial o conhecimento do raio de giro do eixo dianteiro (RED), pois este define o percurso que o veículo seguirá e também sua relação com o deslocamento do pneu interno do eixo traseiro. Segundo a AASHTO (2011), o RED pode ser calculado pela Equação 2, onde DE é a distância efetiva entre os eixos da unidade tratora e  $AD_{\max}$  representa o máximo ângulo de direção.

$$RED = \frac{DE}{\text{sen}(AD_{\max})} \quad (2)$$

### 2.1.2 Veículos de projeto do DAER-RS

O DAER-RS (1991) adota os veículos de projeto recomendados pela AASHTO em seu livro *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, modificando somente sua designação. Na Tabela 2 são apresentados o comprimento e a largura dos veículos de projeto utilizados. Pode-se notar que tanto para caminhões rígidos como para combinados as dimensões são inferiores às máximas permitidas atualmente, citadas na Tabela 1.

Os tipos de veículos estabelecidos pelo DAER-RS (1991) e suas aplicações são os seguintes:

- a) veículos de passeio (P): caracterizado pelo transporte de passageiros e cargas relativamente pequenas, utilizado em interseções secundárias em regiões voltadas ao turismo;
- b) caminhões rígidos e ônibus (C): abrange todos veículos de carga rígidos e de transporte de passageiros. Deve ser empregado nas interseções de rodovias principais, especialmente naquelas com maior frequência de caminhões;
- c) caminhões combinados médios (C13): veículos compostos por um caminhão-trator articulado a um semirreboque destinados ao transporte de cargas. Utilizados onde ocorrem repetidas conversões deste tipo;
- d) caminhões combinados grandes (C15): emprega-se onde a frequência de conversões de veículos deste tipo é mais elevada.

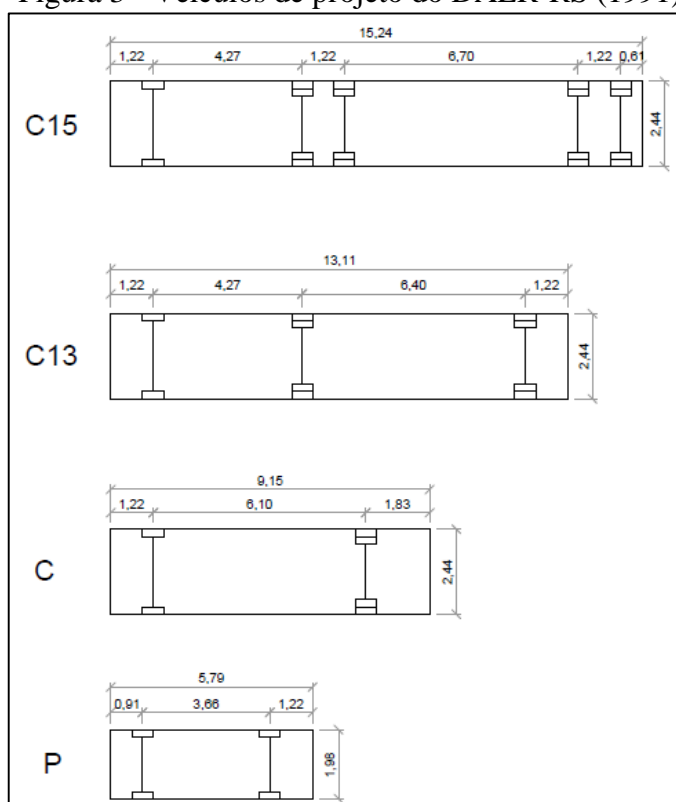
Tabela 2 - Dimensões dos veículos de projeto do DAER-RS (1991)

Veículo de projeto	Comprimento (m)	Largura (m)
P	5,79	1,98
C	9,15	2,44
C13	13,11	2,44
C15	15,24	2,44

Fonte: Adaptado de DAER-RS (1991)

O DAER-RS (1991) faz uma equivalência dos veículos utilizados com os da *American Association of State Highway Officials* (AASHO), onde o veículo do tipo P permanece igual e os veículos C, C13 e C15 são comparados, respectivamente, aos veículos SU, C43, C50. Supõe-se que o ano de publicação citada seja 1954 com base em um trabalho publicado por Leisch e Carrasco (2014), que trazem uma evolução dos veículos de projeto americanos e canadenses. Os autores citam o veículo C50 como presente na AASHO (1954)<sup>2</sup>. E que em uma atualização no ano de 1966 estes modelos de semirreboques foram substituídos por outros maiores, denominados WB. As distâncias entre os eixos e dos balanços dos veículos de projeto utilizados pelo DAER-RS (1991) estão esquematizados na Figura 3.

Figura 3 - Veículos de projeto do DAER-RS (1991)



Fonte: Adaptado de DAER-RS (1991, p.23)

<sup>2</sup> AASHO. A Policy on Geometric Design of Rural Highways, 1954.

Na Tabela 3 são apresentados os raios de giro mínimos da roda externa dianteira e da roda interna traseira definidos pelo DAER-RS (1991), a qual não apresenta os valores de raio de giro do eixo dianteiro.

Tabela 3 - Raios de giro mínimos DAER-RS (1991)

<b>Veículo de projeto</b>	<b>Raio mínimo da roda dianteira externa (m)</b>	<b>Raio mínimo da roda traseira interna (m)</b>
P	8,53	5,88
C	13,72	9,85
C13	12,19	6,03
C15	13,41	6,40

Fonte: DAER-RS (1991)

### 2.1.3 Veículos de projeto do DNIT

O DNIT (2010), evidencia o crescimento da frota de CVC's no Brasil e a sua importância no dimensionamento geométrico de rodovias, particularmente nos acessos e interseções. O órgão utiliza as dimensões padronizadas das composições homologadas pela Portaria N° 86 do DENATRAN (2006) e define nove classes de veículos de projeto, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões adotadas pelo DNIT (2010)

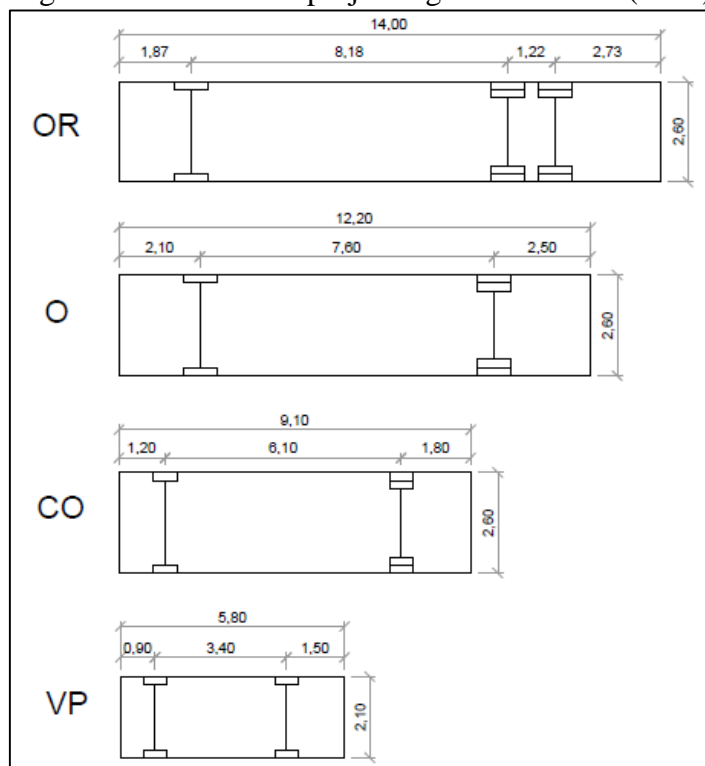
<b>Veículo de projeto</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>
Veículo leve (VP)	5,80	2,10
Caminhões/Ônibus convencionais (CO)	9,10	2,60
Ônibus urbano longo (O)	12,20	2,60
Ônibus rodoviário (OR)	14,00	2,60
Carreta (CA)	18,60	2,60
Bitrem de 7 eixos (BT7)	19,80	2,60
Cegonheiro (CG)	22,40	2,60
Bitrem de 9 eixos (BT9)	25,00	2,60
Bitrem longo/Rodotrem (BTL)	30,00	2,60

Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

A Figura 4 mostra os veículos não-articulados ou rígidos. Conforme o DNIT (2010), os veículos do tipo P são representados por veículos leves, abrangendo desde automóveis até utilitários. Os veículos da classe CO englobam caminhões e ônibus convencionais de dois eixos,

enquanto os veículos O representam os de três eixos. Já os veículos do tipo OR, ônibus rodoviários, são os que mais se aproximam do limite legal de veículos não-articulados.

Figura 4 - Veículos de projeto rígidos do DNIT (2010)



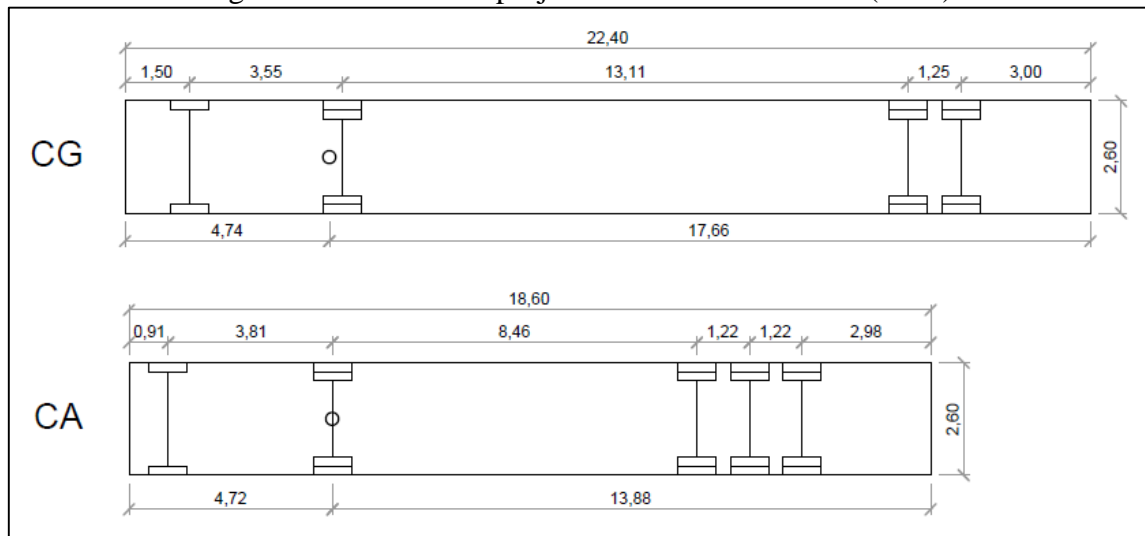
Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

A Figura 5 traz duas categorias de veículos de carga articulados: o CA, conhecido como carreta, que possui uma unidade tratora com dois eixos que traciona um semirreboque de três eixos, e o CG, cegonheiro, composto por uma unidade tratora e um semirreboque, ambos com dois eixos e é utilizado especialmente para transporte de veículos (DNIT, 2010).

Na Figura 6 são apresentados os veículos com duas articulações, sendo eles: o BT7, composto por dois semirreboques de dois eixos cada tracionados por uma unidade com três eixos; o BT9, de configuração igual ao anterior, diferindo apenas na quantidade de eixos de cada semirreboque (passa de dois para três) e o BTL que possui, assim como o BT9, uma unidade tratora e dois semirreboques com três eixos cada. Esta última categoria abrange ainda o veículo Rodotrem, que possui três articulações (DNIT, 2010).

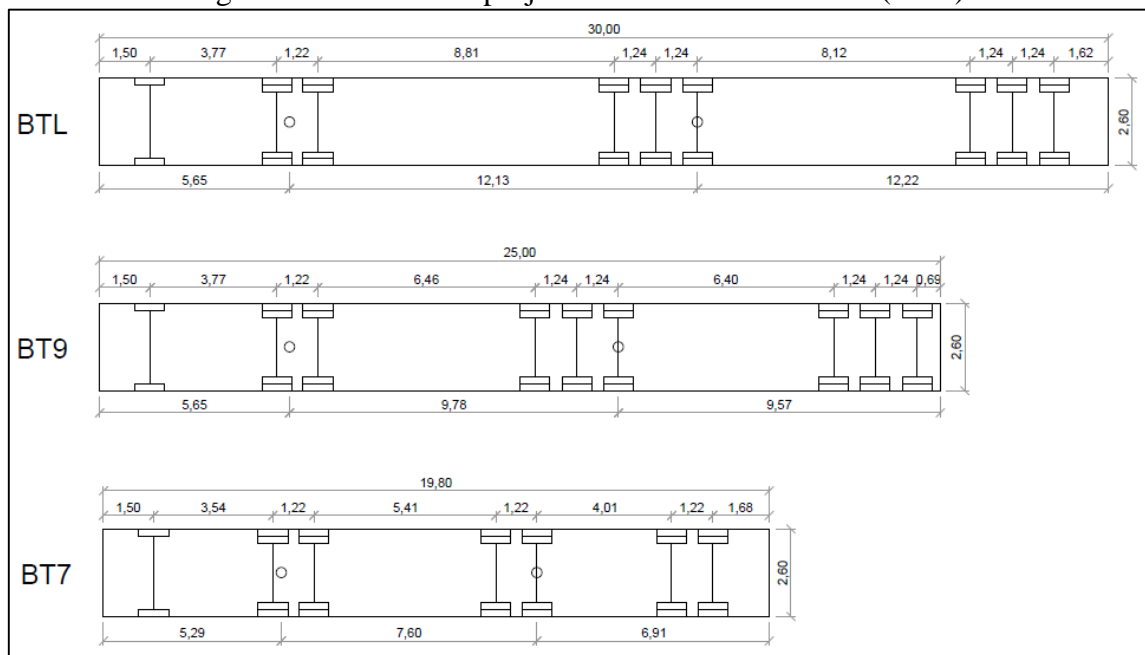
Os círculos nas Figuras 5 e 6 indicam a posição do pino-rei, local onde é acoplado o semirreboque ou reboque. A partir deste ponto é medido o ângulo de articulação. A informação da posição deste implemento não é contemplada pelo DAER-RS (1991).

Figura 5 - Veículos de projeto articulados do DNIT (2010)



Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

Figura 6 - Veículos de projeto biarticulados do DNIT (2010)



Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

As dimensões dos veículos de projeto utilizados no Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005) e pelo DER-SP (2006) se assemelham aos do DNIT (2010). A maior diferença se dá no comprimento do veículo SR dos primeiros órgãos, que possui 16,80 metros e pode ser comparado, em questões de operacionalidade, com o veículo CA do último, que possui 18,60 metros.

Na Tabela 5 são expostos os valores dos raios de giro estipulados pelo DNIT (2010). Pode-se perceber que os veículos P e C da Tabela 3 apresentam valores maiores para os raios



de giro do que os veículos VP e CO, respectivamente, da Tabela 5. Os demais veículos possuem comprimentos totais com maior diferença dificultando a comparação.

Tabela 5 - Raios de giro mínimos DNIT (2010)

<b>Veículo de projeto</b>	<b>Raio mínimo da roda dianteira externa (m)</b>	<b>Raio de giro do eixo dianteiro (m)</b>	<b>Raio mínimo da roda traseira interna (m)</b>
Veículo leve (VP)	7,30	6,40	4,70
Caminhões/Ônibus convencionais (CO)	12,80	11,50	8,70
Ônibus urbano longo (O)	12,80	11,50	7,10
Ônibus rodoviário (OR)	13,80	12,50	7,70
Carreta (CA)	13,70	12,50	6,10
Bitrem de 7 eixos (BT7)	13,70	12,50	6,80
Cegonheiro (CG)	13,70	12,50	1,60
Bitrem de 9 eixos (BT9)	14,80	13,60	4,50
Bitrem longo/Rodotrem (BTL)	16,60	15,40	3,90

Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

É possível verificar na Tabela 5 que os veículos CO, O, OR, CA, BT7 e CG possuem pequena variação entre si nos raios mínimos da roda dianteira externa e no raio de giro do eixo dianteiro. Estes valores são justificados pelo fato destes parâmetros serem influenciados apenas pelas características da unidade tratora (AASHTO, 2011; DNIT, 2010).

Na Tabela 6 são apresentados os veículos de projeto utilizados pelo DNIT (2005) e pelo DER-SP (2006), assim como seus comprimentos e informações referentes aos raios de giro. Quando comparados aos veículos da Tabela 5, nota-se que tanto o raio de giro da roda dianteira externa quanto o da roda traseira interna são iguais, exceto para os veículos do tipo semirreboque (CA e SR) e reboque (BT7 e RE), que possuem 0,10 metros de diferença.

Tabela 6 - Raios de giro mínimos do DNIT (2005) e DER-SP (2006)

<b>Veículo de projeto</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Raio mínimo da roda dianteira externa (m)</b>	<b>Raio mínimo da roda traseira interna (m)</b>
Veículo leve (VP)	5,80	7,30	4,70
Caminhões convencionais (CO)	9,10	12,80	8,70
Caminhões longos (O)	12,20	12,80	7,10
Semirreboque (SR)	16,80	13,70	6,00
Reboque (RE)	19,80	13,70	6,90

Fonte: Adaptado de DNIT (2005) e DER-SP (2006)

### 2.1.4 Veículos de projeto internacionais

Na Tabela 7 é apresentada uma comparação do comprimento entre os veículos de projeto especificados pelo DNIT (2010) e os similares utilizados em especificações de outros quatro países. Nota-se que para os veículos CO, O, OR e CG há pouca variação no comprimento. O veículo VP é menor em países europeus. Entretanto, vale salientar que as respectivas normas destes têm classificações intermediárias para *pick-ups* ou vans, ou seja, o comprimento deste tipo de veículo se atém a automóveis.

Tabela 7 - Comparação de veículos de projeto nacionais e internacionais

Brasil <sup>1</sup>		EUA <sup>2</sup>		Canadá <sup>3</sup>		Suécia <sup>4</sup>		Alemanha <sup>5</sup>	
Veíc.	L (m)	Veíc.	L (m)	Veíc.	L (m)	Veíc.	L (m)	Veíc.	L (m)
VP	5,80	P	5,79	P	5,60	P	4,90	PKW	4,74
CO	9,10	SU-30	9,14	MSU	10,00	Los	9,40	LKW	10,10
O	12,20	CITY-BUS	12,20	B-12	12,20	LBn	12,00	LBUS12	12,00
OR	14,00	BUS-45	13,87	I-BUS	14,00	Bb	15,00	LBUS15	14,95
CA	18,60	WB-62	21,03	WB-19	20,70	Lspec	19,00	SATTELZUG	16,50
CG	22,40	WB-67	22,40	WB-20	22,70	-	-	-	-
BT7	19,80	WB-67D	22,04	-	-	-	-	LASTZUG	18,71
BT9	25,00	WB-92D	29,81	BTD	25,00	Lmod	25,90	-	-
BTL	30,00	WB-109D	34,82	-	-	-	-	-	-

Nota: foram consultadas as seguintes normas: DNIT (2010), AASHTO (2011) e TRAFIKVERKET (2012). Os dados da FGSV (2001) e TAC (1999) foram obtidos na fonte citada.

Fonte: Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

(<sup>1</sup>) DNIT (2010)

(<sup>2</sup>) AASHTO (2011)

(<sup>3</sup>) TAC (1999)

(<sup>4</sup>) TRAFIKVERKET (2012)

(<sup>5</sup>) FGSV (2001)

De acordo com a Tabela 7, tomando como base o veículo CA, percebe-se que os equivalentes americano e o canadense são maiores que o brasileiro, o equivalente sueco é ligeiramente maior e na Alemanha esta configuração é menor do que no Brasil. Quando diz respeito aos veículos biarticulados, os americanos são consideravelmente maiores que os brasileiros em todas as classes. O BT7 é maior quando comparado ao *LASTZUG*, utilizado na Alemanha. Vale ressaltar que não foram encontradas configurações similares entre os veículos canadenses e suecos. Os veículos semelhantes ao BT9 utilizados no Canadá (*BTD*) e na Suécia (*Lmod*) possuem comprimentos aproximadamente iguais. Por fim, veículos maiores, como é o caso do BTL, não estão previstos nas normas europeias e canadense analisadas.

## 2.2 CURVAS HORIZONTAIS

Conforme Pimenta e Oliveira (2004), as curvas horizontais têm a função de concordância entre as retas, sendo que a topografia da região, as características geotécnicas e problemas de desapropriações são responsáveis pelas numerosas curvas. Pontes (1998) afirma que as curvas horizontais são utilizadas para desviar de obstáculos que não podem ser vencidos de forma reta economicamente. Segundo o DNIT (2005), em interseções as curvas horizontais mais comuns são as circulares simples ou compostas, além da curva de transição com espiral.

### 2.2.1 Curva circular simples

Curvas circulares simples são definidas como a concordância de trechos retos por arcos de circunferência que se ligam diretamente às tangentes, sendo que sua escolha se dá pela facilidade de locação e projeto (PONTES, 1998; PIMENTA E OLIVEIRA, 2004). Ainda, pode-se conceitualizar esse tipo de curva como lugar geométrico de um ponto que se desloca sobre um plano, definido por distância constante de um outro ponto, denominado centro do círculo. (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, 1997).

A Figura 7 mostra uma curva circular simples com seus elementos fundamentais e pontos notáveis. Com base no triângulo O-PC-PI, Pimenta e Oliveira (2004) deduzem equações para o cálculo da tangente (T) e do desenvolvimento (D), respectivamente, Equações 3 e 4. Para tanto é necessário conhecer o Raio (R) e o Ângulo central (Ac) ou a Deflexão<sup>3</sup> ( $\Delta$ ).

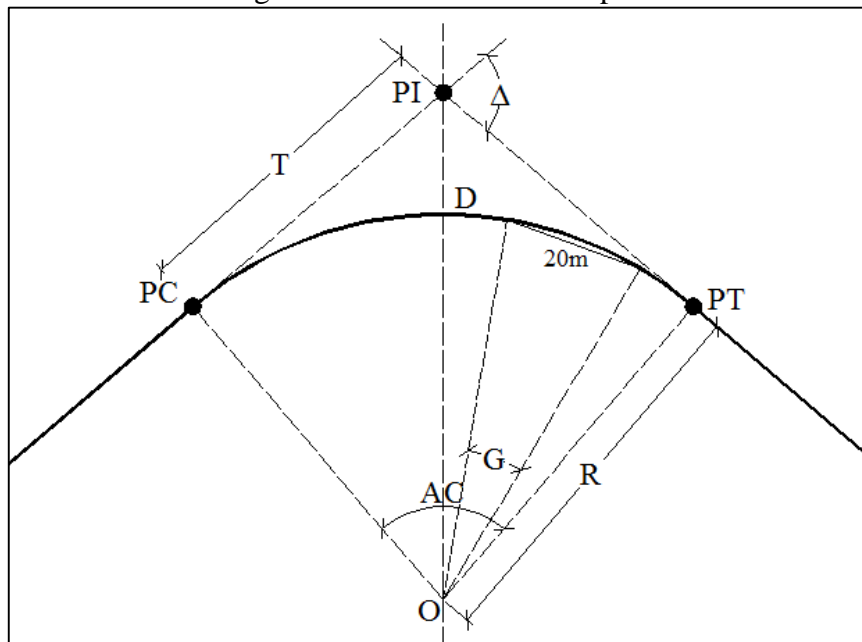
$$T = R \cdot tg \frac{Ac}{2} \quad (3)$$

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot Ac}{180^\circ} \quad (4)$$

---

<sup>3</sup> O ângulo central é numericamente igual à deflexão entre os alinhamentos.

Figura 7 - Curva circular simples



Fonte: Adaptado de Senço (2008)

Por meio das Equações 5 e 6, pode-se calcular as estacas do PC (ponto de início de curva) e do PT (ponto de término de curva), respectivamente. Sendo PI o ponto de interseção do prolongamento das tangentes. Segundo Pontes (1998), os valores de T e D devem ser considerados em notação de estaca.

$$E(PC) = E(PI) - T \quad (5)$$

$$E(PT) = E(PC) + D \quad (6)$$

Conforme Pimenta e Oliveira (2004), o Grau da curva (G) é um ângulo que normalmente calculado em função de uma corda (c) que pode ter diferentes comprimentos, sendo que quanto menor o seu valor, maior é a precisão da marcação. Segundo os autores, a corda corresponde, geralmente, a um arco com 20 metros e pode ser calculado pela Equação 7, que retorna um valor aproximado, porém de precisão suficiente para a maior parte dos casos. Mesmo que em algumas situações possa ainda ser encontrado, Banks (2004) considera obsoleto o uso desse parâmetro.

$$G = \frac{180^\circ \cdot c}{\pi \cdot R} \quad (7)$$

### 2.2.2 Curvas compostas

Curvas compostas são caracterizadas por duas ou mais curvas circulares em sequência com raios diferentes e do mesmo lado da reta tangente, devendo possuir obrigatoriamente um ponto em comum (EASA, 1993). Este tipo de curva deve ser utilizado preferencialmente em locais de relevo montanhoso para adequação do traçado (PONTES, 1998). Entretanto, tais curvas não são aconselhadas e seu uso deve ser considerado apenas em casos especiais, onde tenta-se acompanhar o máximo possível as curvas de nível (SENÇO, 2008).

A AASHTO (2011) afirma que, embora o caminho transitório é o que melhor descreve a trajetória dos veículos, em curvas fechadas em interseções as compostas de três centros são as que melhor se adequam, sendo estas recomendadas pela *Highways England* (1995) e pelo DNIT (2005). Conforme o DNIT (2005), o raio de entrada e o de saída da curva devem ter o mesmo comprimento e serem de duas a três vezes maior que o raio central.

As curvas compostas de três centros são formadas por um arco circular introdutório, um arco circular principal ao centro e um raio de saída: o introdutório deve ser o dobro e o de saída o triplo do raio central (LIPPOLD E SCHEMMEL, 2014; FGSV, 2013; DER-SC, 2000). Embora sejam experimentadas três diferentes forças centrífugas neste caso, estes efeitos podem ser desconsiderados devido à baixa velocidade de operação em interseções (AASHTO, 2011).

A Figura 8 esquematiza uma curva composta de três centros. Segundo Pontes (1998), este modelo é utilizado nos acessos-tipo do DERSA/SP. Os seus elementos podem ser calculados conhecendo o ângulo central ( $A_c$ ), os raios ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) e os afastamentos das tangentes ( $f$ ).

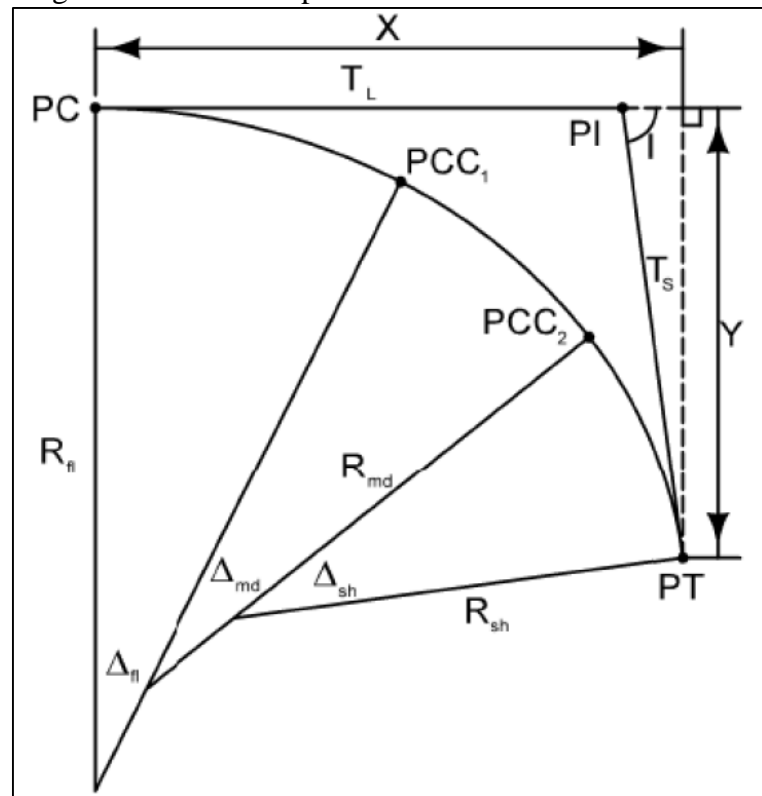


$$X = R_1 \cdot \text{sen}(\Delta_1) \quad (24)$$

$$Y = R_1 \cdot \text{sen}(\Delta_1) \cdot \text{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2}\right) \quad (25)$$

O *Department of Transportation of Iowa* (IOWADOT, 2014) considera três raios como um limite prático para curvas compostas, justificando a complexidade dos cálculos no caso de mais raios. A Figura 9 apresenta um modelo de curva composta com três centros utilizada pelo Departamento. Nota-se que em comparação à metodologia de Pontes (1998), esta prevê a possibilidade de raios diferentes na entrada e na saída.

Figura 9 - Curva composta com três centros sem simetria



Fonte: IOWADOT (2014)

O equacionamento proposto pelo IOWADOT (2014) segue as Equações 26 e 27 para calcular as coordenadas e as Equações 28 e 29 para determinar o comprimento das tangentes, utilizando as variáveis apresentadas na Figura 9, onde:

- $R_{fi}$ : Raio da curva mais fechada;
- $R_{md}$ : Raio da curva central;
- $R_{sh}$ : Raio da curva mais aberta;
- $\Delta_{fi}$ : Ângulo central da curva mais fechada;

- e)  $\Delta_{md}$ : Ângulo central da curva central;
- f)  $\Delta_{sh}$ : Ângulo central da curva mais aberta;
- g)  $T_L$ : Tangente longa;
- h)  $T_S$ : Tangente curta;
- i)  $I$ : Ângulo central total da curva composta;
- j) PCC: Ponto de Curva Composta.

$$X = (R_{fl} - R_{md}) \cdot \text{sen}(\Delta_{fl}) + (R_{md} - R_{sh}) \cdot \text{sen}(\Delta_{fl} + \Delta_{md}) + R_{sh} \cdot \text{sen}(I) \quad (26)$$

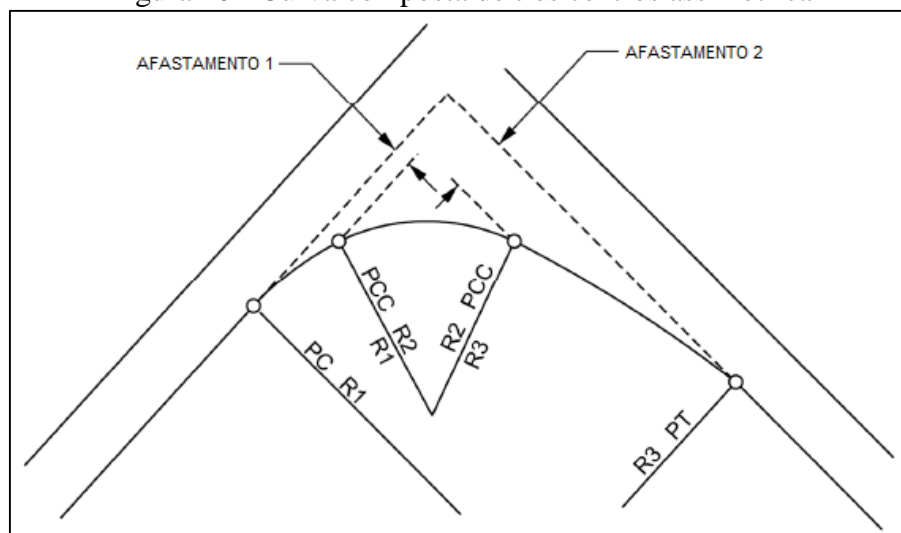
$$Y = R_{fl} - R_{sh} \cdot \text{cos}(I) - (R_{fl} - R_{md}) \cdot \text{cos}(\Delta_{fl}) - (R_{md} - R_{sh}) \cdot \text{cos}(\Delta_{fl} + \Delta_{md}) \quad (27)$$

$$T_L = \frac{[(R_{sh} - R_{fl}) \cdot \text{cos}(I) + (R_{fl} - R_{md}) \cdot \text{cos}(\Delta_{md} + \Delta_{sh}) + (R_{md} - R_{sh}) \cdot \text{cos}(\Delta_{sh})]}{\text{sen}(I)} \quad (28)$$

$$T_S = \frac{[R_{fl} - R_{sh} \cdot \text{cos}(I) - (R_{fl} - R_{md}) \cdot \text{cos}(\Delta_{fl}) - (R_{md} - R_{sh}) \cdot \text{cos}(\Delta_{fl} + \Delta_{md})]}{\text{sen}(I)} \quad (29)$$

O *Department of Transportation of South Dakota* (SDDOT, 2019) sugere a utilização de curvas circulares simples apenas para propriedades privadas onde o volume de tráfego é baixo. Para os demais casos é recomendada a utilização de curvas compostas de dois ou três centros simétricas ou assimétricas, no caso da segunda. A Figura 10 exemplifica a situação da curva composta assimétrica.

Figura 10 - Curva composta de três centros assimétrica



Fonte: SDDOT (2019)

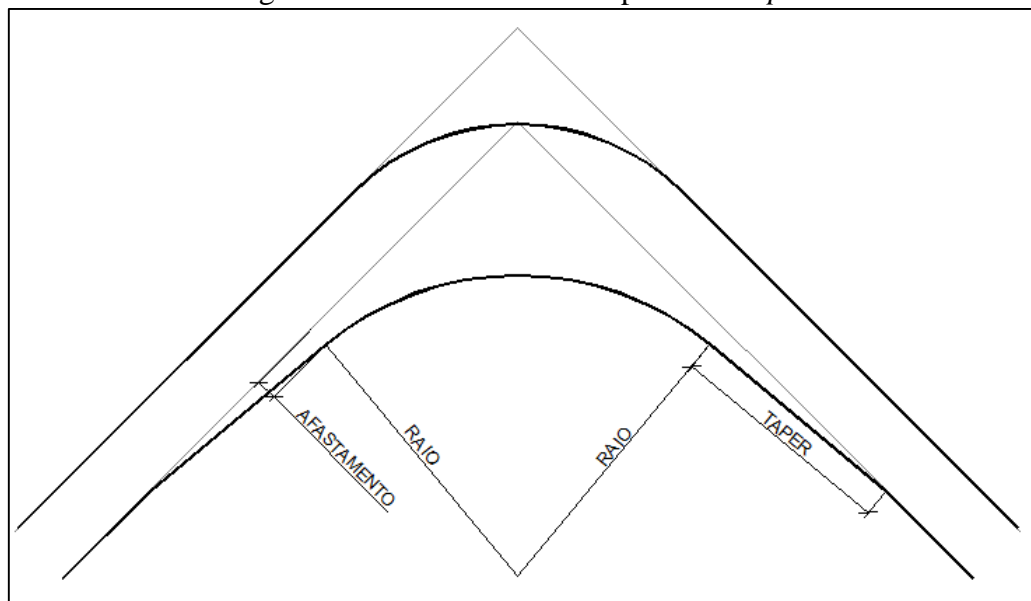


O cálculo de curvas compostas de três centros simétricas também pode ser feito de acordo com a metodologia do Anexo D do *Department of Transportation of Colorado* (CODOT, 2018). Já as curvas compostas de três centros assimétricas pode seguir o método do Anexo E do mesmo órgão.

### 2.2.3 Curva circular simples com *taper*

A metodologia de construção dessa curva é baseada na da curva circular simples (sem *taper*), onde são estabelecidos afastamentos para as tangentes do bordo interno, tal como na curva composta. Após serem definidos, é inserido o raio e o *taper* interno à curva (AASHTO, 2011). Segundo a mesma norma, a utilização deste tipo de curva é preferível em relação à circular simples, pois se ajusta melhor à trajetória dos veículos, sendo comparável às curvas compostas de três centros. A Figura 11 mostra um exemplo de curva circular com *taper* utilizada pela AASHTO (2011) e pelo DNIT (2005).

Figura 11 - Curva circular simples com *taper*



Fonte: Adaptado da AASHTO (2011)

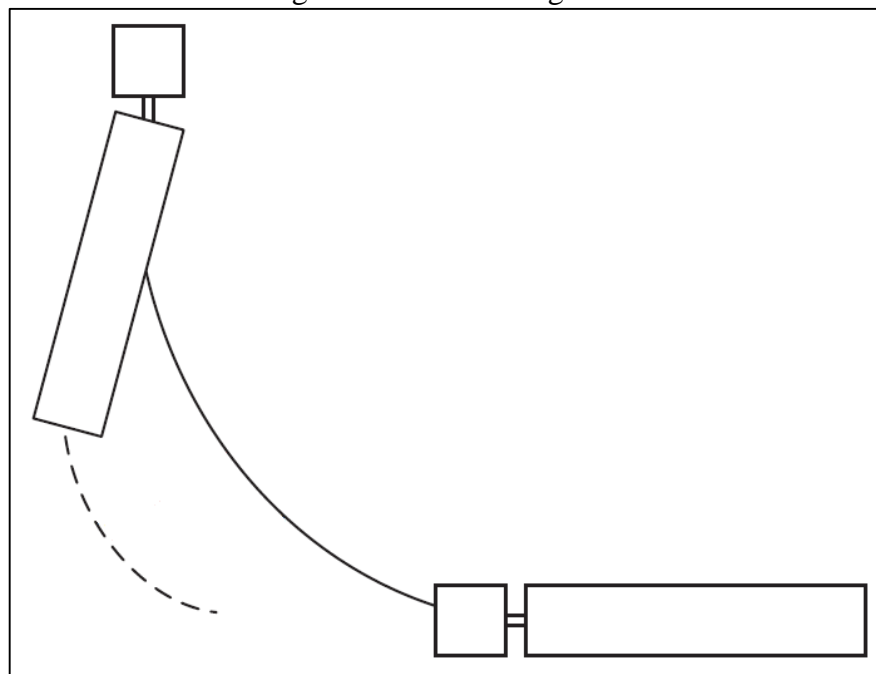
## 2.3 PARÂMETROS E SIMULAÇÃO

Velocidades superiores a 16km/h refletem em um efeito dinâmico no qual os eixos traseiros das composições se deslocam para o lado externo da curva. O fenômeno denominado “arraste negativo” surge com a aceleração lateral que ocorre nos pneus e depende de outros fatores além da velocidade: suspensão, aderência dos pneus, peso e dimensões do veículo e

geometria da via. O efeito é desconsiderado nas manobras em interseções, pois geralmente essas são feitas em velocidades mais baixas (RUSSO, 1995).

Pereira Neto (2007) define a tendência da extremidade traseira se mover para fora da trajetória do eixo dirigível como arraste negativo, ilustrado na Figura 12. Kati (2013) salienta que por conta deste efeito, podem ocorrer colisões com outros veículos ou objetos adjacentes. Conforme a Austroads (2017), há uma tendência de ocorrer tais deslocamentos em uma curva com raios pequenos combinadas a grandes ângulos de conversão, maiores que  $120^\circ$ , o que deve ser evitado. Jujnovich et al. (2008) mostram que a aceleração lateral dos pneus, uma das responsáveis por este efeito, pode começar a ocorrer a velocidades na faixa de 10km/h.

Figura 12 - Arraste negativo



Fonte: Kati (2013)

O DAER-RS (1991) utiliza como condição mínima de projeto os bordos internos da faixa de rolamento para velocidades operacionais de até 15 km/h. Define-se o veículo de projeto e o ângulo de conversão para obter o raio mínimo da curva circular simples ou raios e afastamentos no caso de curvas compostas. Para velocidades maiores, porém inferiores a 25 km/h, sugere-se o emprego de ilhas e aumento de largura da faixa de rolamento. Acima de 25 km/h, deve-se prever superelevações adequadas.

O DNIT (2005) preconiza que os raios dos bordos da faixa de rolamento deverão concordar com as trajetórias mínimas dos veículos de projeto selecionados e que, além de curvas circulares simples e compostas de três centros, podem ser empregadas curvas circulares

simples com *taper*<sup>4</sup>. Os valores de DNIT (2005) foram adaptados dos calculados pela AASHTO (2011), que em sua 6ª Edição considera uma variação assimétrica da curva composta de três centros.

Uma análise sobre a operação de veículos de projeto realizada pela AASHTO (2011) concluiu que para veículos rígidos a curva composta com três centros é praticamente equivalente à uma curva circular simples, entretanto é sugerida a utilização de *tapers* para melhor ajuste da segunda. Já para veículos combinados, a utilização de curvas simples não é recomendada, sendo que o melhor arranjo para estes é a curva de três centros simétrica. A norma ainda afirma que a variação assimétrica desta é a que melhor se adequa à trajetória dos veículos.

A Vägverket (2002) utiliza como padrão para as interseções combinações entre arcos circulares e espirais para as concordâncias horizontais. Neste caso, se justifica o uso de espirais pelo ajuste à trajetória dos veículos. Salienta-se que o tipo de espiral preconizada pela norma é a clotóide.

O único método preciso para determinar a trajetória exata de um veículo é o teste prático, em campo. Entretanto, devido à grande variabilidade de combinações necessárias e da exigência organizacional, estes testes tornam-se caros e extensos. Alternativamente, podem ser utilizados métodos como: modelos em menor escala, modelos matemáticos e simulações computacionais. O primeiro perdeu espaço perante aos demais por conta da evolução da tecnologia (DRAGČEVIĆ, KORLAET E STANČERIĆ, 2008).

Sobre os modelos matemáticos, Prince e Dubois (2008) afirmam que a trajetória das rodas traseiras pode ser relacionada com a das dianteiras por equações diferenciais simples de primeira ordem. Os autores ainda evidenciam que, quando desconsiderado o arraste lateral dos pneus, a trajetória traseira depende unicamente da dianteira.

Segundo Russo (1995), esta relação se dá por meio da curva *tractrix*, que é utilizada para resolução de problemas onde a distância entre as unidades se mantém constante e as condições do movimento se preservam. Porém, tal metodologia é válida apenas para baixas velocidades, pois não engloba totalmente as características cinemáticas do movimento.

O método da curva *tractrix* é aceito pelos órgãos rodoviários de vários países (DNIT, 2010). De acordo com Garlick, Kanga e Miller<sup>5</sup> (1993) apud Gottfried, Auerswald e Ostler (2012), este método descreve matematicamente como um ponto de massa é perseguido por outro sem a influência da aceleração.

---

<sup>4</sup> “Seção de transição de largura variada de uma pista ou faixa de aceleração ou desaceleração.” (DNER, 1997)

<sup>5</sup> Garlick, G.S., Kanga, D.N., Miller, G.G. Vehicle offtracking: a globally stable solution. ITE Journal. v.63, p.17-21, 1993.

Carrasco (1992) implementou computacionalmente o método gráfico da curva *tractrix* com o objetivo de desenvolver uma ferramenta interativa *Computer Aided Design* (CAD) para determinar o espaço requerido pelos veículos em movimento.

Conforme Friedrich et al. (2014), os projetos rodoviários são realizados quase exclusivamente em *softwares* CAD, que por vezes suportam módulos que permitem a simulação do arraste dos veículos. Segundo Dragčević, Korlaet e Stančerić (2008), devido às limitações dos *softwares*, deve-se ter conhecimento das características de movimentação dos veículos, sobretudo em casos onde a velocidade pode interferir. Em suma, estes *softwares* permitem que se possa analisar a trajetória das diferentes partes dos veículos de projeto e o espaço ocupado por eles para as manobras em curvaturas horizontais, evitando o desperdício de tempo com a busca de parâmetros em normativas.

### 3 MÉTODO

Os métodos descritos neste capítulo atendem aos objetivos específicos deste trabalho: verificar a compatibilidade dos veículos de projeto com os raios mínimos do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005), através de simulação computacional; propor adaptação de curvas compostas assimétricas utilizadas pela AASHTO (2011) para veículos brasileiros e estabelecer configurações de curvas compostas assimétricas com base na proporção do DER-SC (2000). A análise das principais normativas foi discutida na revisão bibliográfica.

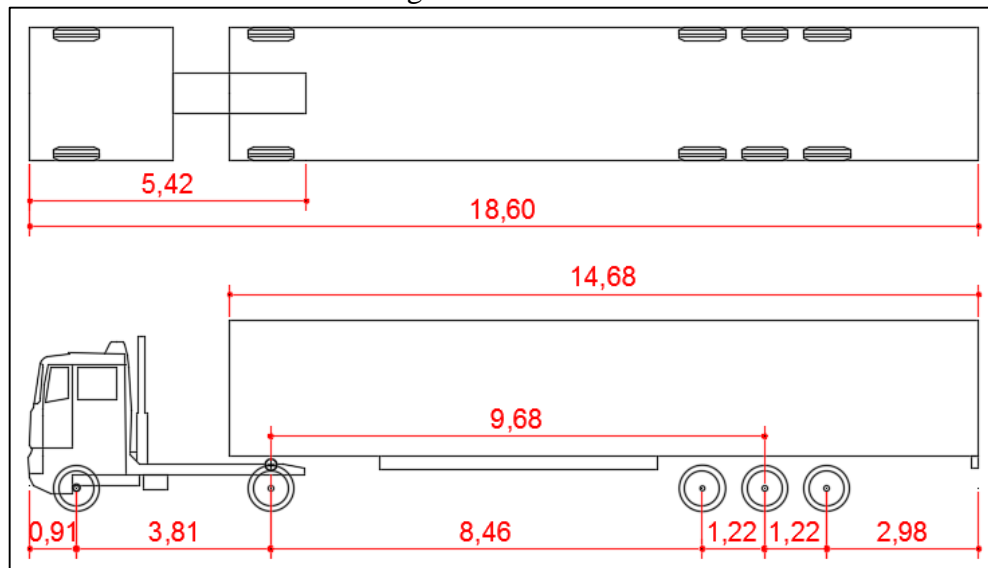
#### 3.1 VEÍCULOS DE PROJETO

Neste subcapítulo são apresentados os veículos de projeto selecionados pelo DNIT (2010), os quais estão presentes na biblioteca do *software Vehicle Tracking 2018 – Student Version*. Não serão considerados os veículos presentes na norma do DAER-RS (1991), em razão da obsolescência das suas dimensões. Os veículos adotados e suas características são apresentadas a seguir, não serão avaliados os veículos rígidos neste trabalho.

##### 3.1.1 Carreta

A Figura 13 mostra uma carreta, ou seja, combinação de um cavalo mecânico com dois eixos articulados a um semirreboque de três eixos. Seu comprimento total é de 18,60 metros, o balanço dianteiro é de 0,91 metro e a distância entre eixos do cavalo mecânico é de 3,81 metros, já a distância entre o ponto de articulação e o ponto médio dos eixos traseiros é de 9,68 metros. No caso da carreta, o ponto de articulação fica exatamente sobre o eixo traseiro do cavalo mecânico. O ângulo de direção é de 19,8° e o comprimento total do semirreboque é de 14,68 metros (DNIT, 2010).

Figura 13 - Carreta

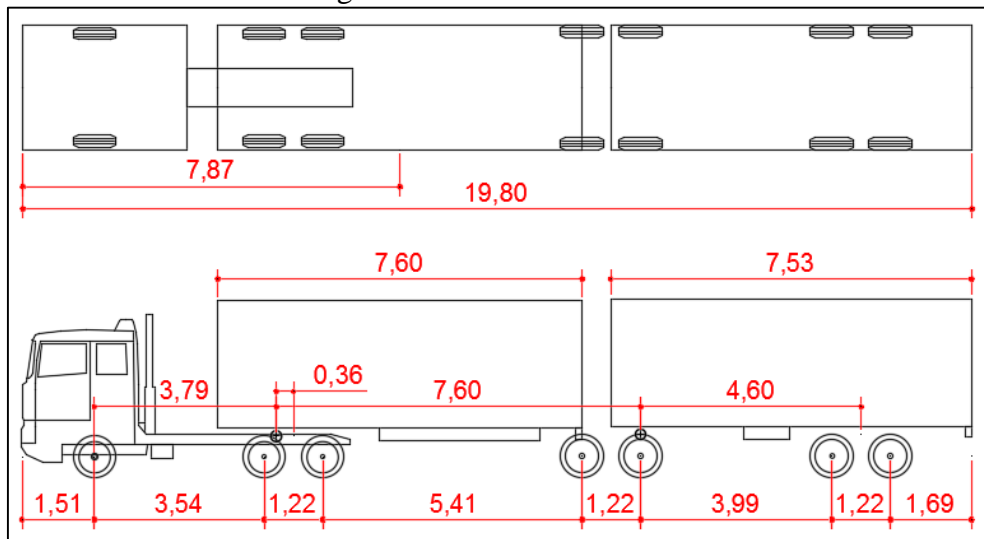


Fonte: Adaptado de Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

### 3.1.2 Bitrem de 7 eixos

O Bitrem de 7 eixos, mostrado na Figura 14, possui um comprimento total de 19,80 metros, comprimento limite para trafegar sem a necessidade de AET. A unidade tratora deste veículo é trucada, ou seja, possui dois eixos traseiros e a distância entre o ponto médio destes e o eixo dianteiro é de 4,15 metros. O balanço dianteiro do cavalo mecânico é de 1,51 metros e o ângulo de direção é de 21,5°. Cada um dos semirreboques possui dois eixos, sendo o comprimento do primeiro 7,60 metros e do segundo 7,53 metros. O ponto de articulação do primeiro semirreboque fica a 0,36 metro do ponto médio entre os eixos traseiros da unidade tratora e o ponto de articulação entre os semirreboques fica no início do segundo. Entre os dois pontos de articulação a distância é de 7,60 metros e entre o segundo ponto de articulação e o ponto médio entre os eixos do segundo semirreboque é de 4,60 metros (DNIT, 2010).

Figura 14 - Bitrem de 7 eixos

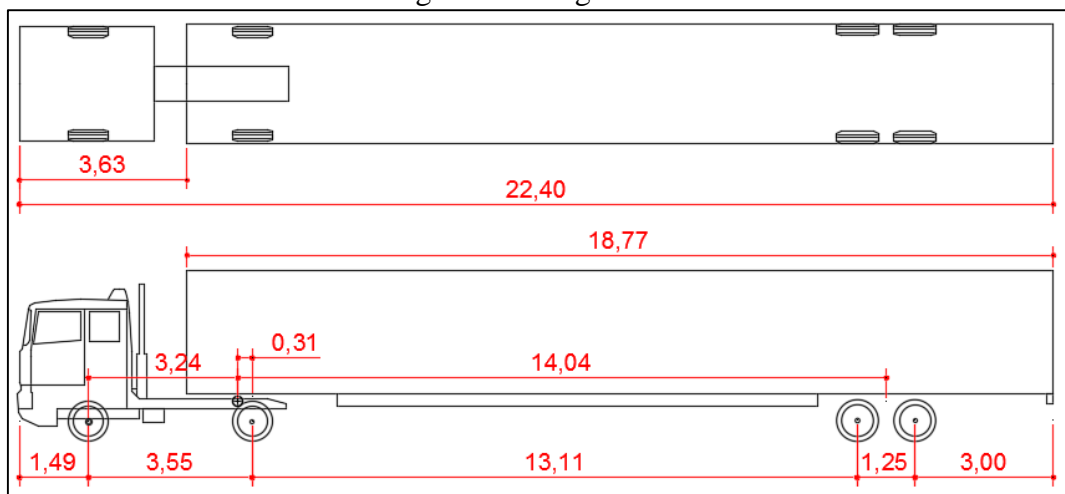


Fonte: Adaptado de Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

### 3.1.3 Cegonheiro

O veículo cegonheiro é utilizado para transporte de automóveis, vans, caminhões, entre outros. É composto por um cavalo mecânico com uma distância de 3,55 metros entre eixos, um balanço de 1,49 metros e um ângulo de direção de 18,3°. Seu comprimento total é de 22,40 metros, sendo 18,77 metros de semirreboque, a distância entre o ponto médio dos eixos traseiros do semirreboque e do ponto de articulação é de 14,04 metros. Este último está localizado à 0,31 metro do eixo traseiro da unidade tratora (DNIT, 2010). O veículo está representado na Figura 15.

Figura 15 - Cegonheiro

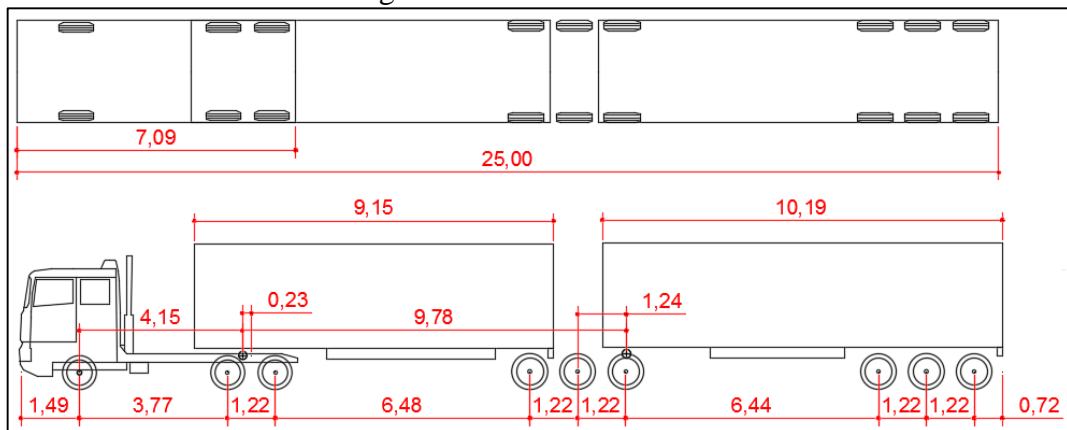


Fonte: Adaptado de Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

### 3.1.4 Bitrem de 9 eixos

A Figura 16 mostra um bitrem com uma unidade tratora trucada e dois semirreboques de três eixos cada, esta categoria também engloba o veículo Rodotrem que possui três articulações, respeitando um comprimento máximo de 25,00 metros. A distância entre o ponto médio dos eixos traseiros e o eixo dianteiro do cavalo mecânico é de 4,38 metros, seu balanço dianteiro mede 1,50 metro e o ângulo de direção é de 20,8°. O primeiro semirreboque tem 9,15 metros de comprimento e o segundo possui 10,19 metros. A primeira articulação está defasada 0,23 metro do ponto médio dos eixos traseiros da unidade tratora e a segunda a 1,24 metros do eixo central do primeiro semirreboque, a distância entre as articulações é de 9,78 metros. A contar da segunda articulação para o eixo central do segundo semirreboque a distância é de 7,64 metros (DNIT, 2010).

Figura 16 - Bitrem de 9 eixos



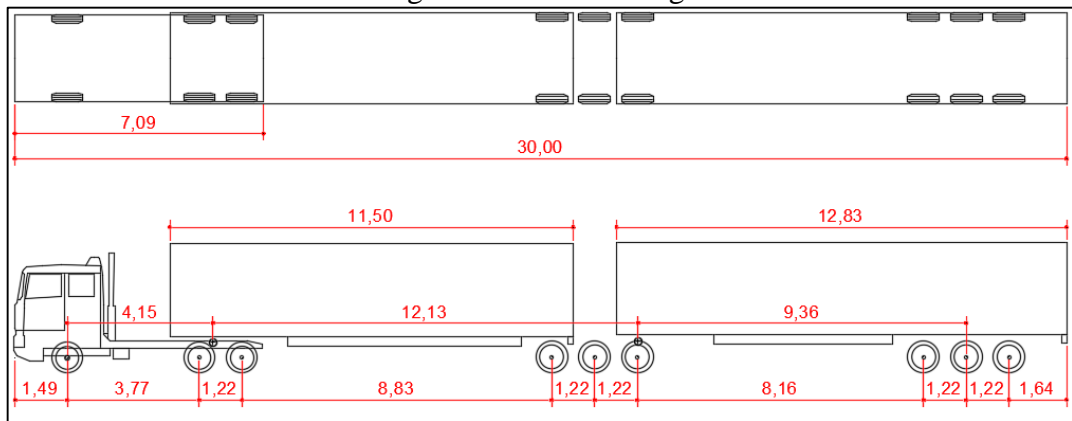
Fonte: Adaptado de Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

### 3.1.5 Bitrem longo

A configuração do bitrem longo, apresentado na Figura 17, no que diz respeito à posição das articulações e à distância entre os eixos do cavalo mecânico são as mesmas do bitrem de 9 eixos. Do mesmo modo, esta classe abrange também os Rodotrens, porém com comprimento limite de 30,00 metros. Este veículo se difere do anterior no comprimento dos semirreboques que são de 11,50 metros no primeiro e 12,83 metros no segundo; na distância entre as articulações, que é de 12,13 metros e na distância entre a segunda articulação e o eixo central do segundo semirreboque que mede 9,36 metros. Seu ângulo de direção é de 18,0°, sugerindo que o raio de giro externo deste seja maior que o do bitrem de 9 eixos (DNIT, 2010).



Figura 17 - Bitrem longo



Fonte: Adaptado de Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

### 3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O *software Vehicle Tracking 2018 – Student Version* foi utilizado para realizar as simulações computacionais de manobras dos veículos selecionados. O programa possui em sua base uma biblioteca de veículos de projeto utilizados nas principais normativas internacionais e nacionais. Há também a possibilidade de customizar veículos. No caso dos veículos adotados para este trabalho, não houve a necessidade de personalização. A Figura 18 mostra a biblioteca com os veículo de projeto do DNIT (2010), disponível no *software*. Pode-se notar algumas características de cada veículo, já implementadas no *software*, tais como: nome e tipo do veículo, comprimento (*Length*), largura (*Width*) e ângulo de direção (*Max Lock*).

Figura 18 - Biblioteca de veículos do DNIT (2010)

Vehicle Library Explorer (Dims: m, deg, sec, km/h)

File Edit Drive Settings Help

GROUP CAT CLASS TYPE

Type text and click Search Search

Name	Length	Width	Max.Lock
DNIT IPR-740 2010			
VP - Veículos Leves	5.800	2.100	31.501
CO - Caminhões e ônibus ...	9.100	2.600	31.549
O - Caminhões e ônibus lo...	12.200	2.600	40.281
OR - Ônibus Rodoviário	14.000	2.600	43.387
CA - Carreta de 5 Eix...	18.600	2.600	19.772
BT7 - Bitrem de 7 Eixos	19.786	2.600	21.507
CG - Cegonheiro	22.400	2.600	18.298
BT9 - Bitrem de 9 Eixos	25.001	2.600	20.809
BTL - Bitrem de 9 Eixos / ...	30.001	2.600	17.999

Fonte: Biblioteca *Vehicle Tracking* (2018)

A velocidade utilizada foi de 15km/h, para desconsiderar os efeitos dinâmicos. A simulação computacional foi dividida em três momentos: no primeiro foi verificada a compatibilidade dos veículos selecionados com os raios mínimos estabelecidos pelo DAER-RS (1991) e DNIT (2005). No segundo foi abordada uma metodologia com a utilização de curvas compostas de três centros assimétricas propostas pela AASHTO (2011). No terceiro foi utilizada a proporção de 2:1:3 para curvas compostas assimétricas, conforme sugerido pelo DER-SC (2000).

### **3.2.1 Verificação de compatibilidade de normas nacionais com veículos atuais**

A verificação da compatibilidade dos raios mínimos do DAER-RS (1991) se deu pela confrontação dos veículos de projeto selecionados com a tabela do Anexo A. Considerando a similaridade operacional dos veículos, para fins de equivalência, foram feitas as comparações da seguinte maneira:

- a) a verificação dos raios do veículo C15 foram feitas para os veículos CA e BT7;
- b) os veículos que necessitam de AET para circular (CG, BT9 e BTL) foram comparados com os maiores raios da tabela, ou seja, com os raios mínimos para o veículo C15.

A equivalência do veículo SR do Anexo B foi feita com o veículo CA do DNIT (2010). Os raios utilizados para o veículo SR foram também aplicados à análise dos veículos BT7, CG, BT9 e BTL.

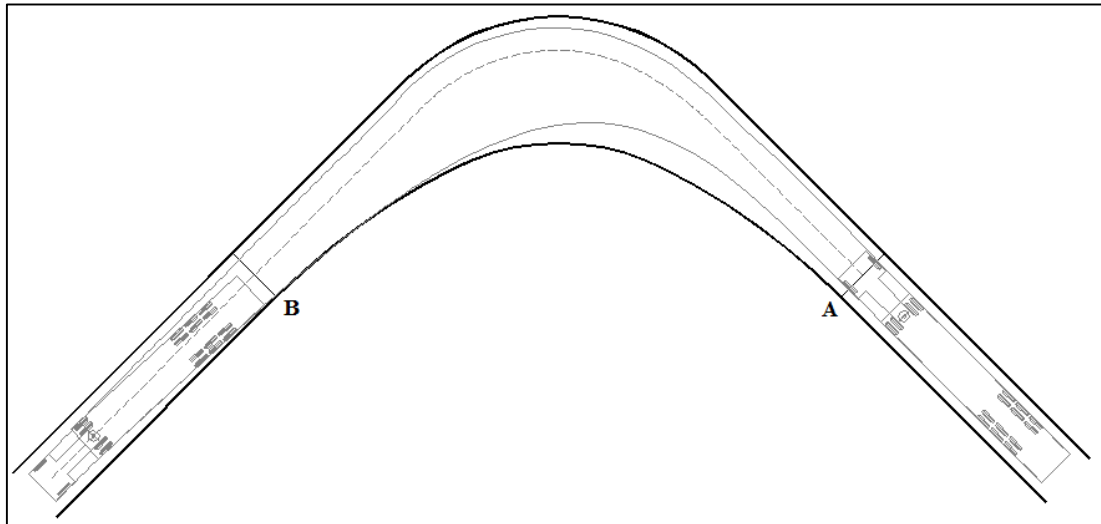
O ângulo central da curva foi variado de 30° a 150° ao passo de 15°, conforme o Anexo A. Para a avaliação dos raios do DAER-RS (1991), nos bordos internos foram testadas curvas circulares simples para os ângulos de 30° e 45° e curvas compostas com três centros a partir de 45°. Já os raios dos bordos externos foram utilizados de acordo com a Tabela 5 do item 2.1 e não foram alterados. Também não foram variados os afastamentos no caso das curvas compostas de três centros.

A análise dos raios mínimos do DNIT (2005) foram baseadas na Tabela do Anexo B e a variação dos ângulos centrais e tipos de curva se deu da mesma maneira que a do DAER-RS (1991), com exceção das curvas circulares simples que variaram de 30° a 60°. Além de verificar a compatibilidade das curvas circulares simples e compostas de três centros, foram verificadas as curvas circulares com *taper* a partir dos 45°.

Para a simulação, foi utilizada a largura de faixa de rolamento em tangente de 3,50 e 4,00 metros, pressupondo que os veículos estejam vindo desta faixa. Na entrada da curva (ponto A), o veículo esteve centralizado na faixa de rolamento em tangente. Na saída, além de

centralizado, o veículo deveria ultrapassar por completo o ponto B. Na Figura 19 são mostrados os pontos A e B em uma curva com ângulo de  $90^\circ$ , juntamente a um veículo do tipo CA.

Figura 19 - Pontos de entrada e saída da curva

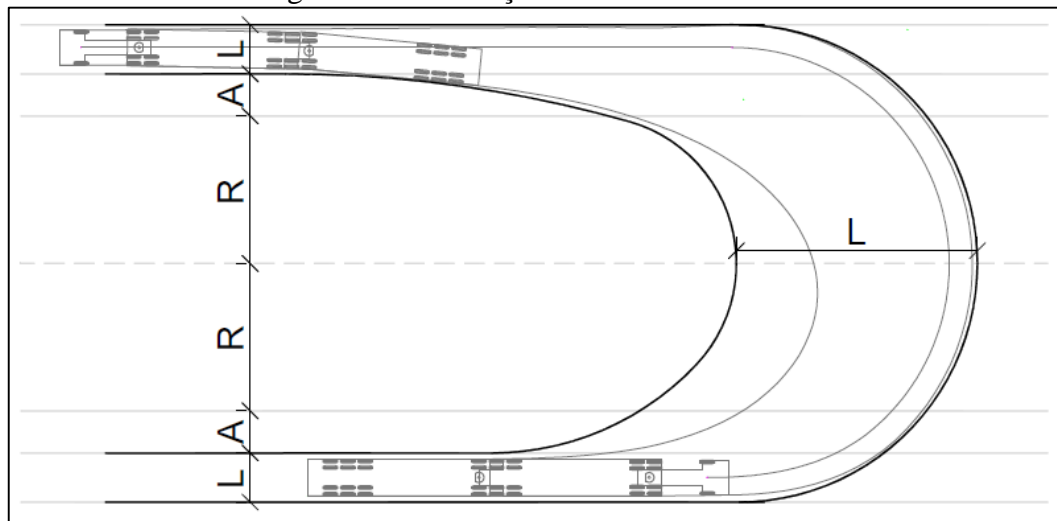


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 20 ilustra a conversão de um bitrem longo a um ângulo de  $180^\circ$ , já com largura e raios alterados. Para tais conversões, a elaboração das curvas se deu conforme as seguintes diretrizes:

- determinar a largura  $L$  da faixa de rolamento em tangente;
- estabelecer o afastamento  $A$ ;
- traçar linha base a uma distância  $R$  equivalente ao raio intermediário da curva;
- espelhar alinhamentos definidos nos itens a e b;
- simular o raio de giro de modo a garantir que na saída da curva o ângulo de direção seja igual a  $0^\circ$ ;
- compor os bordos internos com os raios dos Anexos A e B;
- no ponto onde o bordo interno cruza com a linha base, foi inserida uma largura igual à da faixa de rolamento em tangente.
- determinar o raio do bordo externo com base nos alinhamentos externos da faixa de rolamento em tangente e posicioná-lo conforme descrito no item g.

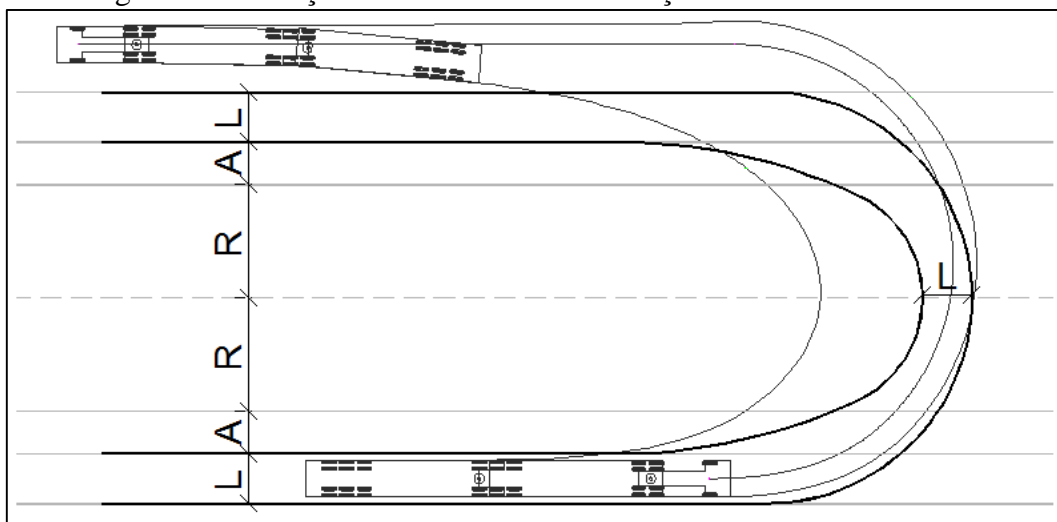
Figura 20 - Simulação de conversão a 180°



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando os bordos internos não atenderam aos veículos testados, foram variados os raios de entrada e saída da curva a cada 1,00 metro, além da largura (L) ao passo de 0,10 metro no ponto central da curva. O raio intermediário (R) foi variado de 1,00 em 1,00 metro somente quando necessário, conforme exemplificado na Figura 21. Os afastamentos (A) não foram modificados e o raio do bordo externo é consequência das demais variáveis.

Figura 21 - Situação onde é necessária alteração do raio intermediário



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.2 Simulação com curvas compostas de três centros assimétricas

As composições assimétricas de curvas de três centros da AASHTO (2011), Anexo C, foram comparadas com os veículos de projeto articulados e biarticulados selecionados para o

trabalho. Para fins de equivalência, foram aplicadas as configurações de curvas do veículo WB-62 para CA; WB-67 para BT7; WB-92D para BT9 e WB-109D para CG e BTL.

Quando as configurações de curvas compostas da AASHTO (2011) atenderam aos veículos brasileiros, foram utilizadas as mesmas para comparações. Quando do não atendimento, foram aumentados os raios ao passo de 1,00 metro e mantidos os afastamentos. No caso de áreas de curvas que atenderam aos veículos nacionais, porém, possuíram folga maior que 0,70 metro entre o bordo interno e a trajetória do veículo, foram propostas novas configurações variando para menos os raios e mantendo-se os afastamentos. Nesta situação foram utilizados os raios diminuídos para comparação.

Foi lançado primeiro o raio intermediário até que este esteja de acordo e em seguida o raio de saída, o raio de entrada foi lançado e variado por último de modo a não descaracterizar a curva composta de três centros. A mesma ordem foi mantida para o item 3.2.3.

Os resultados desta análise originaram novas configurações para as curvas compostas assimétricas, adequadas aos veículos de projeto nacionais selecionados. As áreas de pavimento compreendidas entre os pontos notáveis extremos dessas curvas foram comparadas às áreas obtidas na análise do item 3.2.1.

### **3.2.3 Utilização de proporção 2:1:3 nas curvas compostas assimétricas**

As curvas compostas assimétricas analisadas nesta etapa seguem a proporção sugerida pelo DER-SC (2000)<sup>6</sup> de 2:1:3. O raio intermediário da curva iniciou em 1,00 metro e foi acrescido de 1,00 metro até atender ao espaço ocupado pelo veículo na simulação, os raios de entrada e de saída são consequências do intermediário.

Para fins de comparação com os resultados obtidos na análise anterior, os afastamentos da curva seguiram os previstos pela AASHTO (2011) tal como no item 3.2.2. Os resultados estão expressos em termos de área de pavimento dentro dos pontos notáveis extremos das curvas.

---

<sup>6</sup> “Esta Publicação é tradução da publicação de origem alemã intitulada Richtlinien für die Anlage von Strassen (RAS) , Teil : Knotenpunkte (RAS - K), Abschnitt 1 : Plangleiche Knotenpunkte (RAS - K - 1) Ausgabe 1988.” (DER-SC, 2000, p.5)

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são abordados os resultados da verificação de compatibilidade dos veículos, das áreas de pavimento para cada tipo de curva e as larguras necessárias para conversão a 180°. Os raios mínimos propostos para curvas circulares simples são apresentados no Apêndice A, para as curvas compostas simétricas no Apêndice B e para as curvas circulares com *taper* no Apêndice C. Já nos Apêndices D e E podem ser observados os raios mínimos propostos para curvas compostas assimétricas sem e com proporção, respectivamente.

### 4.1 VERIFICAÇÃO DE COMPATIBILIDADE

A compatibilidade foi testada para os raios mínimos das normas do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005) nos diferentes tipos de curvas abordados nos Anexos A e B. Os resultados são expressos de maneira binária (atende ou não atende). As células das tabelas que estiverem marcadas com “X” representam o não atendimento, já as em branco mostram que os raios mínimos são adequados. Os campos hachurados significam que as normas não possuem raios mínimos para aqueles ângulos.

#### 4.1.1 Compatibilidade com raios mínimos do DAER-RS (1991)

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentadas as verificações para as curvas circulares simples, com 3,50 metros e 4,00 metros, respectivamente. Nota-se que em ambas os veículos CG, BT9 e BTL não se adequam aos raios mínimos existentes.

Os raios mínimos também não atendem ao veículo CA para o ângulo de 45° e largura de 3,50 metros, porém com largura de 4,00 metros estão de acordo. Já o veículo BT7, nas duas situações, possui espaço suficiente para conversão.

Tabela 8 - Compatibilidade com curva circular simples para L=3,50m (DAER-RS, 1991)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°			X	X	X
45°	X		X	X	X
60°					
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 - Compatibilidade com curva circular simples para L=4,00m (DAER-RS, 1991)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°			X	X	X
45°			X	X	X
60°					
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 10 e 11 são expostos os resultados das análises de compatibilidade feita com as curvas compostas simétricas, com 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Observa-se que, assim como nas curvas circulares simples, os veículos CG, BT9 e BTL não possuem espaço suficiente para manobras em nenhuma situação.

Nos ângulos de 45° e 60° os raios mínimos atendem ao veículo CA, entretanto para ângulos de conversão maiores os espaços não são suficientes. Nas duas ocasiões os raios mínimos atendem ao veículo BT7.

Tabela 10 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=3,50m (DAER-RS, 1991)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°	X		X	X	X
90°	X		X	X	X
105°	X		X	X	X
120°	X		X	X	X
135°	X		X	X	X
150°	X		X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=4,00m (DAER-RS, 1991)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°	X		X	X	X
90°	X		X	X	X
105°	X		X	X	X
120°	X		X	X	X
135°	X		X	X	X
150°	X		X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.2 Compatibilidade dos raios mínimos do DNIT (2005)

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os resultados das curvas circulares simples com 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Os raios mínimos do DNIT (2005) atendem aos veículos CA e BT7 em ambas ocasiões. Para os veículos CG, BT9 e BTL os raios não são adequados quando na largura de 3,50 metros, porém para a largura de 4,00 metros e ângulos de 45° e 60° o veículo BT9 possui espaço suficiente para conversão.

Tabela 12 - Compatibilidade com curva circular simples para L=3,50m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°			X	X	X
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor



Tabela 13 - Compatibilidade com curva circular simples para L=4,00m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°			X	X	X
45°			X		X
60°			X		X
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 14 e 15 podem ser observados os resultados da verificação dos raios mínimos das curvas compostas simétricas para as larguras de 3,50 metros e 4,00 metros. Em nenhuma situação os veículos CG, BT9 e BTL possuem espaço suficiente, ao contrário dos veículos CA e BT7, onde os raios mínimos são suficientes.

Tabela 14 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=3,50m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°			X	X	X
90°			X	X	X
105°			X	X	X
120°			X	X	X
135°			X	X	X
150°			X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 - Compatibilidade com curva composta simétrica para L=4,00m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°			X	X	X
90°			X	X	X
105°			X	X	X
120°			X	X	X
135°			X	X	X
150°			X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 16 e 17 são apresentadas as compatibilidades das curvas circulares com *taper* para as larguras de 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Nos dois casos, os veículos CG, BT9 e BTL não são atendidos pelos raios mínimos. Ao contrário dos veículos CA e BT7, que são compatíveis com os raios mínimos do DNIT (2005), com exceção do ângulo de conversão 180°, que será tratado em outro tópico.

Tabela 16 - Compatibilidade com curva circular com *taper* para L=3,50m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°			X	X	X
90°			X	X	X
105°			X	X	X
120°			X	X	X
135°			X	X	X
150°			X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17 - Compatibilidade com curva circular com taper para L=4,00m (DNIT, 2005)

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°			X	X	X
60°			X	X	X
75°			X	X	X
90°			X	X	X
105°			X	X	X
120°			X	X	X
135°			X	X	X
150°			X	X	X
180° <sup>(1)</sup>	X	X	X	X	X

(1) Para este ângulo de conversão foi utilizado método diferente.

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 ÁREAS DE PAVIMENTO

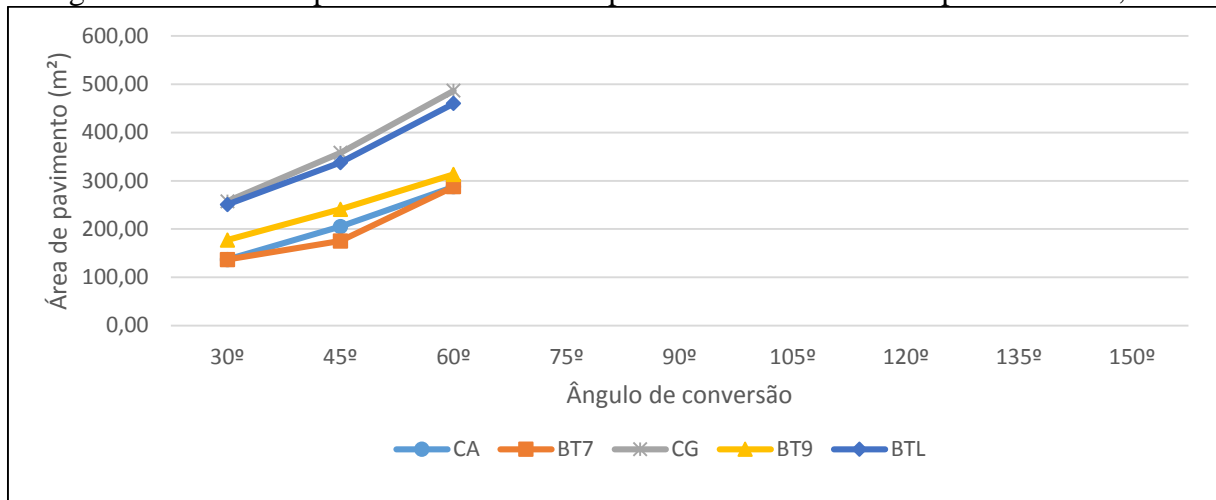
Neste subcapítulo são analisadas as áreas de pavimento dos tipos de curvas testados em função do ângulo de conversão. Foram considerados os resultados para as larguras de 3,50 e 4,00 metros para os veículos de projeto utilizados.

As comparações de áreas antes e depois das alterações de raios das curvas circulares simples do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005) são apresentadas nos Apêndices F e G, respectivamente. No Apêndice H são apresentadas as comparações de áreas de curvas compostas simétricas do DAER-RS (1991), já no Apêndice I estão as comparações das mesmas curvas do DNIT (2005). As comparações de áreas de curvas circulares com *taper* do DNIT (2005) estão dispostas no Apêndice J. No Apêndice K encontram-se as áreas da análise das curvas compostas de três centros assimétricas baseadas na AASHTO (2011)

### 4.2.1 Curvas circulares simples

O gráfico da Figura 22 mostra as áreas de pavimento necessárias para os veículos analisados em cada situação em curvas circulares simples com largura de 3,50 metros. O veículo CG é o que necessita de maiores áreas, seguido pelo veículo BTL. Em relação ao aumento do ângulo de conversão, se verifica que há um aumento da diferença de área entre estes veículos. É verificado também que o veículo BT7 é o que necessita de menor área para manobras, seguido pelos veículos CA e BT9.

Figura 22 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares simples com L=3,50m

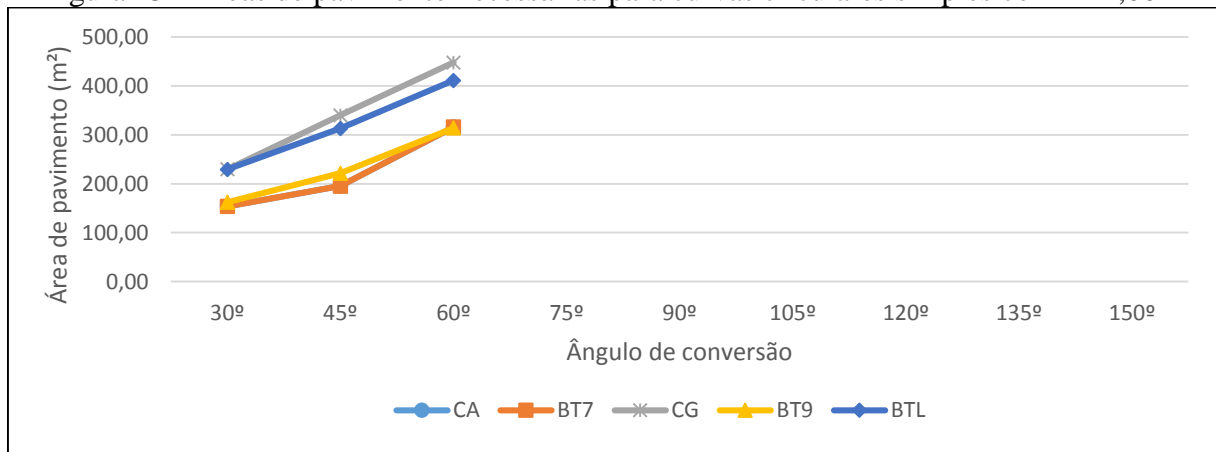


Observação: não há configuração de curvas circulares simples para ângulos de conversão de 75° a 150°.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 23 é apresentado o mesmo gráfico com a largura de 4,00 metros. Pode se observar que os veículos CA e BT7 possuem o mesmo raio, portanto têm a mesma área de pavimento necessária, já o veículo BT9 necessita de uma área ligeiramente maior. Os veículos CG e BTL precisam de uma área maior em relação aos demais, sendo que o veículo CG é o que mais necessita espaço para manobra.

Figura 23 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares simples com L=4,00m



Observação: não há configuração de curvas circulares simples para ângulos de conversão de 75° a 150°.

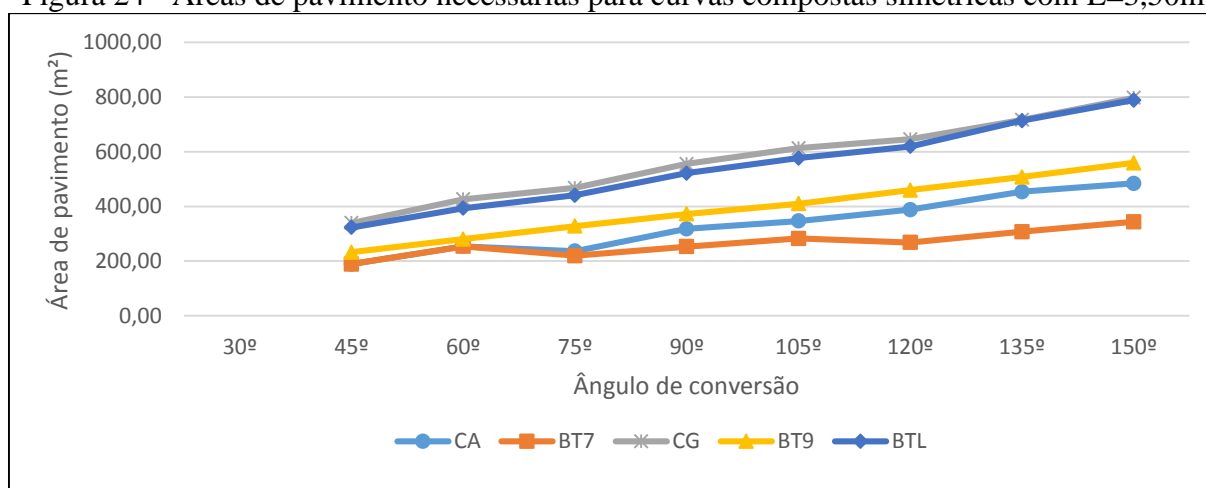
Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que pela tendência do aumento de áreas conforme o aumento do ângulo de conversão, não são indicadas curvas circulares simples para ângulos maiores. Pode se observar nos dados dos Apêndices F e G que o percentual de aumento de área na análise com 4,00 metros de largura é menor do que com 3,50 metros.

#### 4.2.2 Curvas compostas de três centros simétricas

Na análise das curvas compostas de três centros simétricas, foram utilizadas as menores áreas entre a análise do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005), tanto para 3,50 metros quanto para 4,00 metros. O gráfico da Figura 24 mostra as áreas de pavimento necessárias de curvas compostas de três centros simétricas para os veículos de projeto analisados. Percebe-se que os veículos CG e BTL precisam de mais espaço que os demais, sendo que o CG necessita um pouco a mais de área.

Figura 24 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas simétricas com L=3,50m



Observação: não há configuração de curvas compostas simétricas para o ângulo de conversão de 30°.

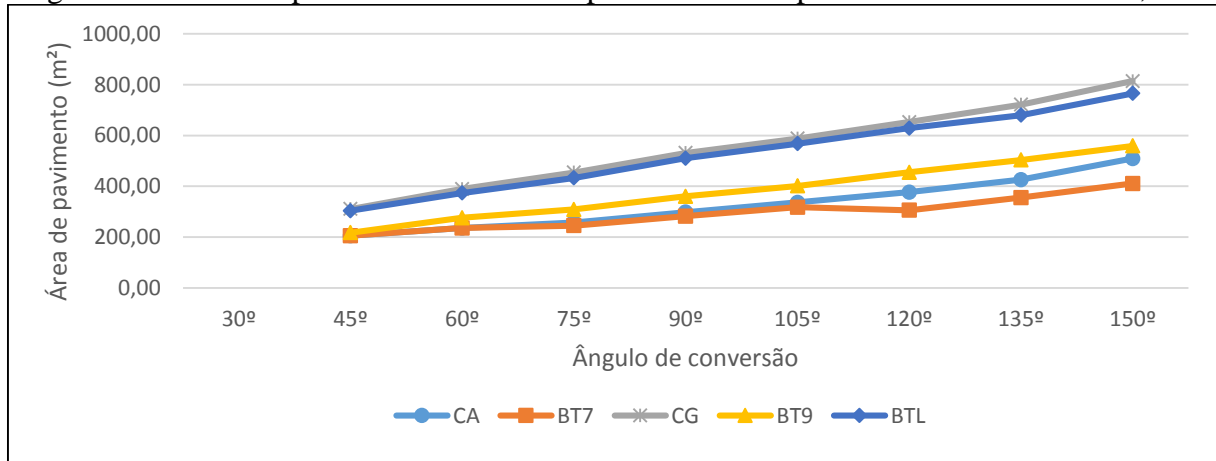
Fonte: Elaborado pelo autor

O veículo BT9 necessita de menos área que os anteriores, porém mais do que os veículos CA e BT7. Destes últimos, o BT7, assim como nas curvas circulares simples, é o que necessita de menos área. Pode-se notar no gráfico que nos veículos CA e BT7 a um ângulo de conversão de 60° formam um suave pico, há a possibilidade deste ocorrer devido ao afastamento utilizado. No ângulo de 45° os afastamentos são de 1,00 metro, em 60° os afastamentos são de 1,70 metros e a 75° os afastamentos são de 1,70 e 2,00 metros. Supõe-se que se os afastamentos a 60° estivessem abaixo de 1,70 metros este efeito não ocorreria.

Na Figura 25 pode se observar o gráfico da mesma situação anterior, porém com largura de 4,00 metros. É possível observar que os veículos CG e BTL possuem um comportamento similar, entretanto o CG necessita uma área ligeiramente maior, diferença que pode ser vista melhor em ângulos maiores.

Assim como nos citados anteriormente, os veículos CA e BT7 se comportam da mesma maneira, entretanto em ângulos maiores nota-se a maior diferença de área requerida entre si. O veículo BT9 requer uma área menor que BTL e maior que CA, porém mais próxima do último.

Figura 25 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas simétricas com L=4,00m



Observação: não há configuração de curvas compostas simétricas para o ângulo de conversão de 30°.

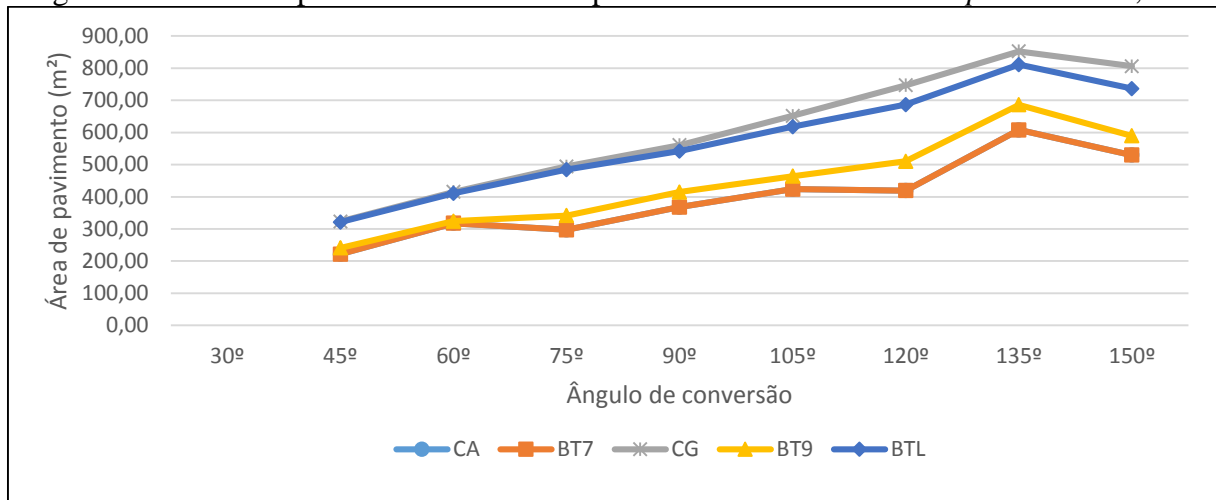
Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que o crescimento da área com o ângulo é menor em relação às curvas circulares simples. Nos Apêndices H e I pode ser notado que o percentual de aumento de área é maior na análise com largura 3,50 metros do que com 4,00 metros, tal como nas curvas circulares simples.

#### 4.2.3 Curvas circulares com *taper*

Na Figura 26 é apresentado o gráfico de áreas de pavimento necessárias de curvas circulares com *taper* para os veículos analisados com a largura de 3,50 metros. Foram utilizados os mesmo raios e *tapers* para os veículos CA e BT7, por isso da mesma área entre os dois. O veículo BT9 possui área ligeiramente maior.

Figura 26 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares com *taper* com  $L=3,50m$



Observação: não há configuração de curvas com *taper* para o ângulo de conversão de 30°.

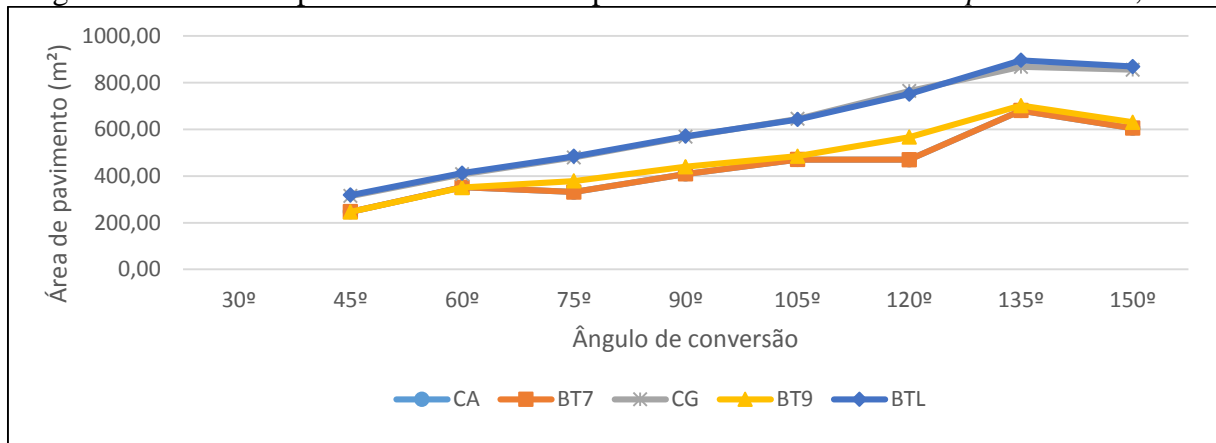
Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como nas curvas compostas de três centros simétricas, os veículos CG e BTL possuem necessidade de áreas semelhantes, onde CG precisa de maior espaço para manobras. Sendo que a diferença fica mais evidente em ângulos maiores.

Nota-se que o mesmo efeito de pico suave a 60° para veículos CA e BT7 que ocorrera nas curvas compostas simétricas acontece neste caso. A 135° há um pico mais evidente em todos veículos e acredita-se que também seja motivado pelos afastamentos. A 120° os afastamentos são de 1,20 metros, em 135° são de 2,00 metros e a 150° os afastamentos são de 2,10 metros, portanto supõe-se que se os afastamentos de 135° ficassem entre 1,20 e 2,00 metros este efeito seria atenuado.

O gráfico da Figura 27 apresenta a mesma situação anterior, porém com largura de 4,00 metros. Os veículos CG e BTL, presentes nesta análise, têm uma necessidade de área muito similar entre si e o veículo BT9 precisa de áreas semelhantes às dos veículos CA e BT7, porém maior. A 60° e a 135° se observam os picos, assim como na análise anterior, que se devem, provavelmente ao mesmo motivo.

Figura 27 - Áreas de pavimento necessárias para curvas circulares com *taper* com  $L=4,00m$



Observação: não há configuração de curvas com *taper* para o ângulo de conversão de 30°.

Fonte: Elaborado pelo autor

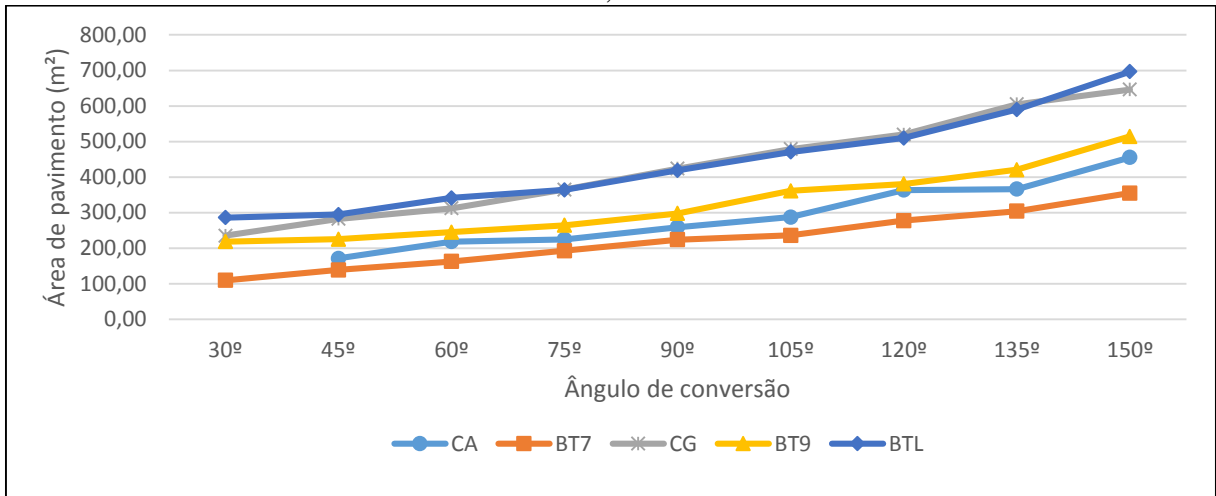
Pode se notar que a tendência de crescimento de área com o ângulo se assemelha mais com as curvas compostas de três centros simétricas do que com as circulares simples. E, assim como nos itens 4.2.1 e 4.2.2, o aumento do percentual de área é maior em 3,50 metros do que em 4,00 metros, como pode ser visto no Apêndice J.

#### 4.2.4 Curvas compostas de três centros assimétricas

A Figura 28 traz o gráfico para a análise com largura de 3,50 metros das curvas compostas de três centros assimétricas. É possível notar que os veículos CG e BTL precisam de áreas maiores para manobrar, sendo que o BTL necessita mais espaço neste caso. O veículo BT9 sucede na demanda de área, seguido pelo CA e por fim o BT7. Nota-se no gráfico que há picos suaves nos ângulo 60° e 120° para o veículo CA. Novamente estes podem ser atribuídos aos afastamentos, a 60° os afastamentos são de 3,0-3,7 metros e a 120° de 5,2-7,3 metros, enquanto os afastamentos dos ângulos próximos à estes são relativamente menores, o que pode ser observado no Anexo C.



Figura 28 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com  $L=3,50m$

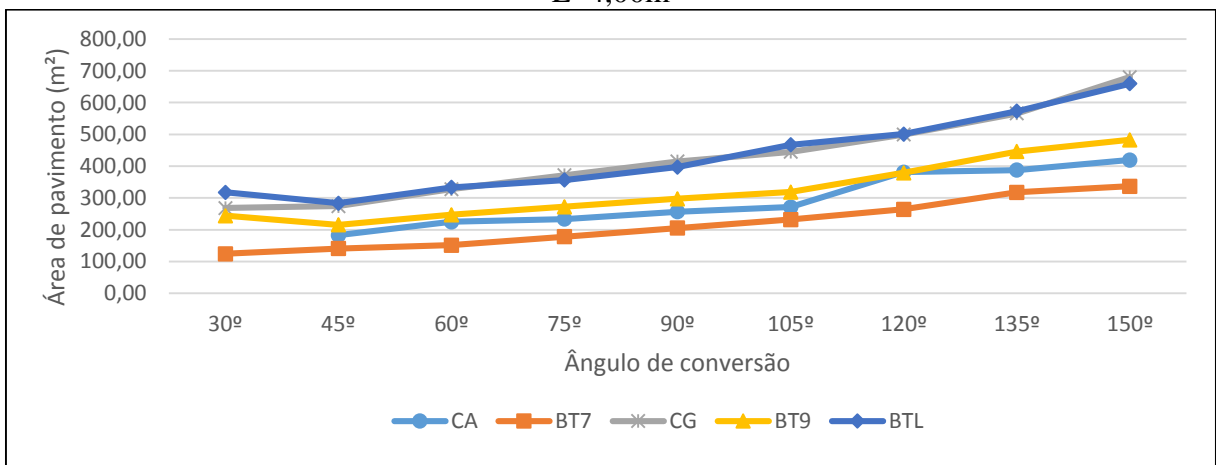


Observação: não há configuração de curvas compostas assimétricas para o veículo CA com um ângulo de conversão de 30°.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 29 é apresentado o gráfico para a mesma situação diferindo apenas a largura para 4,00 metros. A ordem de área requerida pelos veículos permanece da seguinte forma: CG, BTL (que precisam de praticamente a mesma área), BT9, CA e BT7. Quanto aos picos no gráfico, fica mais acentuado no ângulo de 120° para o veículo CA.

Figura 29 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com  $L=4,00m$



Observação: não há configuração de curvas compostas assimétricas para o veículo CA com um ângulo de conversão de 30°.

Fonte: Elaborado pelo autor

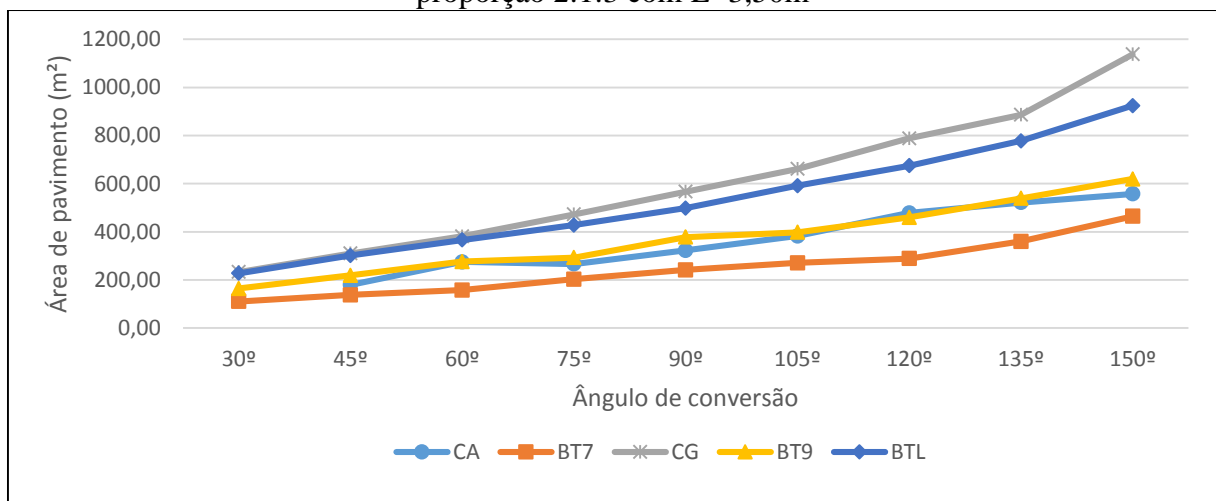
É possível perceber nas curvas compostas de três centros assimétricas um comportamento mais próximo ao das curvas compostas simétricas do que com as circulares simples. No Apêndice K pode ser observado que as configurações de curvas da AASHTO (2011) são suficientes para os veículos brasileiros, com exceção do ângulo de 180°. Entretanto,

houve a necessidade de redução de áreas (ou seja, de raios) para melhor adequação. Observa-se também que a redução foi maior nos testes com largura de 4,00 metros na maioria dos casos.

#### 4.2.5 Curvas compostas de três centros assimétricas (2:1:3)

O gráfico da Figura 30 mostra as áreas de pavimento necessárias para os veículos de projeto analisados em curvas compostas de três centros assimétricas com proporção 2:1:3 para largura de 3,50 metros. O veículo CG é o que requer maior área, seguido pelo BTL. Conforme aumenta o ângulo de conversão, maior é a diferença de área entre os mesmos. O veículo BT7 é o que requer menos área, os veículos BT9 e CA têm uma ligeira diferença entre si, sendo CA o que demanda menor área. Devido aos afastamentos utilizados serem os mesmos que os da análise do item 4.2.4, os picos nos gráficos se mostram presentes nos mesmos ângulos de conversão.

Figura 30 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com proporção 2:1:3 com L=3,50m

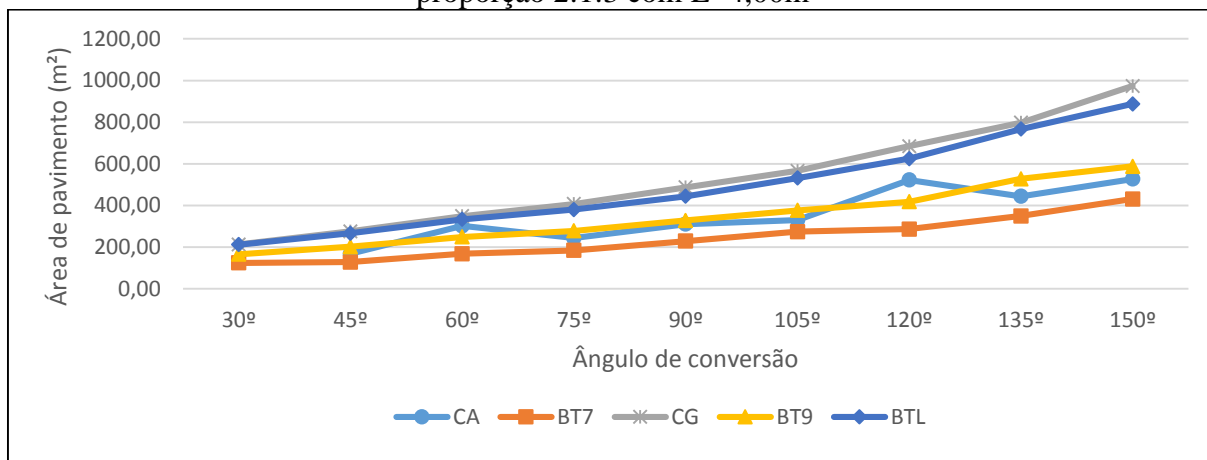


Observação: não há configuração de curvas compostas assimétricas para o veículo CA com um ângulo de conversão de 30°.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 31 é apresentado o gráfico com áreas necessárias para o mesmo tipo de curva, porém para a análise de faixa de rolamento com 4,00 metros. Fica mais evidente nesta avaliação os picos nos ângulo de 60° e 120°, ademais a sequência de veículos que precisa de maior área segue a mesma: CG, BTL, BT9, CA e BT7.

Figura 31 - Áreas de pavimento necessárias para curvas compostas assimétricas com proporção 2:1:3 com L=4,00m



Observação: não há configuração de curvas compostas assimétricas para o veículo CA com um ângulo de conversão de 30°.

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3 LARGURAS DE PISTA PARA ÂNGULOS DE 180°

O ângulo de conversão de 180° foi analisado à parte, pois foram testados os raios das referidas normas com a mesma largura que a faixa de rolamento em tangente, ou seja 3,50 e 4,00 metros, sendo que estas não estariam de acordo com o espaço requerido pelos veículos. O método aplicado foi utilizar o aumento de largura no trecho em curva e o aumento dos raios apenas quando necessário.

As Tabelas 18 e 19 podem ser observadas as larguras obtidas no ponto médio do raio de curvatura para o ângulo de conversão de 180° em faixas de rolamento com largura de 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Importa salientar que os afastamentos utilizados foram de 3,00 metros para as curvas do DNIT (2005) e de 3,30 metros para as do DAER-RS (1991), conforme os Anexos A e B.

Tabela 18 - Larguras para 180° nos diferentes tipos de curva para L=3,50m

Veículo	DAER-RS (1991)	DNIT (2005)	DNIT (2005)
	Curva composta simétrica (m)	Curva composta simétrica (m)	Curva circular com <i>taper</i> (m)
CA	9,30	10,40	9,60
BT7	7,80	8,20	7,80
CG	19,50	21,50	20,40
BT9	12,20	13,30	12,50
BTL	16,60	17,30	16,80

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 - Larguras para 180° nos diferentes tipos de curva para L=4,00m

Veículo	DAER-RS (1991)	DNIT (2005)	DNIT (2005)
	Curva composta simétrica (m)	Curva composta simétrica (m)	Curva circular com <i>taper</i> (m)
CA	9,00	10,00	8,70
BT7	7,30	8,20	8,00
CG	18,50	19,00	18,30
BT9	11,50	12,60	12,00
BTL	16,30	16,70	16,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que quando comparadas as curvas compostas simétricas do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005), as larguras das do segundo órgão citado são maiores. Visto que o tipo de curva é o mesmo, a provável explicação para isto são os afastamentos: curvas com afastamentos maiores implicam larguras ligeiramente menores. Também pode ser observado que as curvas compostas simétricas do DNIT (2005) são maiores que as circulares com *taper* do mesmo órgão. Como os afastamentos são os mesmos, é possível que o tipo de curva seja a explicação para esta diferença. Percebe-se também que o veículo CG requer mais largura para conversão seguido pelo BTL, BT9, CA e BT7. Em todas as situações este padrão se repete, ficando evidente que o veículo CG é o que demanda maior largura e o BT7 a menor.

Na Tabela 20 são apresentadas as larguras medidas a partir do ponto médio do raio externo das curvas compostas de três centros assimétricas. Pode se observar que nos dois casos a largura requerida para faixa de rolamento com 4,00 metros é menor que as com 3,50 metros. Nas curvas assimétricas sem proporção o veículo BTL é o que requer maior espaço para manobras seguido pelo CG. Já nas com proporção 2:1:3 ocorre o inverso, onde o CG é o que demanda maior largura. Em ambas as situações o veículo CA é o que precisa de menor largura para a conversão, seguido pelo BT7 e BT9.

Tabela 20 - Larguras para 180° em curvas assimétricas

Veículo	Assimétricas (m)		Assimétricas (2:1:3) (m)	
	L=3,50m	L=4,00m	L=3,50m	L=4,00m
CA	5,70	5,30	6,10	5,60
BT7	6,60	5,60	6,70	5,90
CG	8,40	7,70	17,30	12,30
BT9	7,30	6,70	8,40	6,90
BTL	9,40	8,50	14,80	10,60

Fonte: Elaborado pelo autor

Conclui-se que em comparação às larguras das curvas compostas simétricas e circulares com *taper* das Tabelas 18 e 19, as curvas compostas assimétricas, tanto com proporção quanto sem, resultam em larguras menores. Nota-se ainda que as curvas assimétricas sem proporção definida requerem menos largura para manobra dos veículos do que as com proporção 2:1:3.

#### 4.4 COMPARAÇÕES DE ÁREAS DE PAVIMENTO

Neste subcapítulo é feita uma comparação entre áreas de pavimento dos diferentes tipos de curva analisados. Também é abordado o melhor tipo de curva para cada situação, ou seja, a menor área.

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentadas as comparações entre as curvas circulares simples e as curvas compostas de três centros simétricas, para larguras de 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Os valores negativos indicam que as curvas circulares simples se ajustam melhor à situação (possuem menor área), pode se observar que com largura de 3,50 metros apenas o veículo BT7 a 45° tem uma diferença de área negativa e a 4,00 metros os veículos CA e BT, também a 45°. As células em branco não foram comparadas pois não há configurações de curvas circulares simples acima de 60° e não há curvas compostas simétricas com 30°.

Tabela 21 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta simétrica com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	8%	-7%	5%	4%	4%
60°	13%	13%	14%	12%	17%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 22 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta simétrica com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	-5%	-5%	9%	2%	3%
60°	34%	34%	15%	14%	10%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 23 e 24 é apresentada a diferença de áreas entre as curvas circulares simples e curvas circulares com *taper*, onde os valores negativos indicam que a menor área é a da curva circular simples. As células em branco não foram comparadas pelo mesmo motivo da análise anterior. É possível observar que para largura com 3,50 metros as curvas circulares simples possuem menor área em relação às com *taper*, entretanto, para os veículos CG e BTL as menores áreas se dão com as curvas circulares com *taper*. Com larguras de 4,00 metros a situação se repete, diferindo apenas o veículos BTL que se ajusta melhor à curva circular simples. Observa-se também que a diferença de área fica mais acentuada com largura de 4,00 metros.

Tabela 23 - Diferença de área entre curva circular simples e curva circular com *taper* com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	-7%	-21%	11%	0%	5%
60°	-9%	-9%	17%	-3%	12%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 24 - Diferença de área entre curva circular simples e curva circular com *taper* com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	-21%	-21%	8%	-10%	-2%
60°	-10%	-10%	10%	-10%	0%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 25 e 26 são apresentadas as diferenças de áreas entre curvas circulares simples e curvas compostas de três centros assimétricas sem proporção. Como não há curvas circulares simples acima de 60° e a curva composta assimétrica não possui configuração para o veículo CA a 30°, as células relativas a estas comparações ficam em branco. Nota-se que as curvas compostas assimétricas possuem menor área (diferença positiva) tanto na largura de 3,50 quanto na de 4,00 metros. As exceções são os veículos BT9 e BTL com ângulo de conversão de 30° a 3,50 metros e a 4,00 metros. Além destes, o veículo CG se ajustam melhor às curvas circulares simples.

Tabela 25 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica sem proporção com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°		25%	9%	-19%	-12%
45°	19%	26%	27%	7%	15%
60°	31%	76%	56%	28%	35%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 26 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica sem proporção com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°		24%	-14%	-33%	-28%
45°	7%	39%	24%	3%	11%
60°	40%	109%	37%	27%	23%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 27 e 28 são expostas as comparações entre curvas circulares simples e curvas compostas de três centros assimétricas com proporção de 2:1:3. As células em branco se devem ao mesmo motivo citado na análise anterior. Pode se observar que, com exceção do veículo BT9 a 30° e com largura de 4,00 metros, todos os valores são positivos, ou seja, as menores áreas são as das curvas compostas assimétricas com proporção 2:1:3.

Tabela 27 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°		24%	11%	8%	10%
45°	14%	27%	15%	10%	12%
60°	5%	82%	28%	13%	26%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor



Tabela 28 - Diferença de área entre curva circular simples e curva composta assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°		23%	8%	-2%	8%
45°	16%	52%	23%	9%	17%
60°	4%	88%	28%	26%	23%
75°					
90°					
105°					
120°					
135°					
150°					
180°					

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 29 e 30 são expostas as diferenças de áreas entre curvas compostas de três centros simétricas e curvas circulares com *taper*. As células em branco se devem ao fato de não haver configurações em nenhum dos tipos de curvas para o ângulo de conversão de 30°. É possível notar que em 88,9% dos casos da Tabela 29 os valores são negativos, mostrando que as áreas das curvas compostas de três centros simétricas são menores que as das curvas circulares com *taper*. O mesmo acontece para a largura de 4,00 metros, na Tabela 30, onde 91,1% dos valores são negativos.

Tabela 29 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva circular com *taper* com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	-15%	-15%	5%	-4%	1%
60°	-20%	-20%	3%	-14%	-4%
75°	-21%	-26%	-5%	-4%	-9%
90°	-14%	-31%	-1%	-10%	-4%
105°	-18%	-33%	-6%	-12%	-7%
120°	-7%	-36%	-14%	-10%	-10%
135°	-25%	-49%	-16%	-26%	-12%
150°	-9%	-35%	-1%	-5%	7%
180°	-5%	-13%	-1%	-4%	2%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 30 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva circular com *taper* com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	-17%	-17%	-1%	-12%	-5%
60°	-33%	-33%	-4%	-21%	-9%
75°	-22%	-26%	-5%	-18%	-11%
90°	-27%	-31%	-6%	-18%	-11%
105°	-28%	-33%	-9%	-17%	-12%
120°	-20%	-35%	-15%	-20%	-16%
135°	-37%	-48%	-17%	-28%	-24%
150°	-16%	-32%	-5%	-11%	-12%
180°	2%	-7%	2%	1%	1%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 31 e 32 são apresentadas os dados de diferença de área entre curvas compostas de três centros simétricas e assimétricas sem proporção, com larguras e 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Devido a não haver configurações de curvas compostas simétricas para o ângulo de 30° as células permanecem em branco. Nota-se que em 84,4% dos casos da Tabela 31 e em 86,7% das situações da Tabela 32 os valores são positivos, ou seja as áreas das curvas compostas assimétricas são menores que as compostas simétricas. Pode se perceber também que com um ângulo de 180°, em todas as situações, as curvas compostas simétricas possuem áreas mais adequadas (menores).

Tabela 31 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica sem proporção com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	10%	36%	20%	3%	10%
60°	16%	56%	36%	14%	15%
75°	5%	14%	28%	24%	21%
90°	23%	13%	31%	25%	25%
105°	20%	20%	28%	13%	23%
120°	7%	-3%	24%	21%	21%
135°	24%	1%	18%	21%	21%
150°	6%	-3%	23%	9%	13%
180°	-29%	-34%	-3%	-11%	-3%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 32 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica sem proporção com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	12%	46%	13%	1%	7%
60°	5%	56%	19%	12%	12%
75°	10%	38%	22%	14%	22%
90°	16%	38%	28%	21%	29%
105°	24%	37%	32%	26%	21%
120°	-1%	16%	31%	20%	26%
135°	10%	12%	28%	13%	19%
150°	22%	22%	20%	16%	16%
180°	-31%	-27%	-3%	-9%	-7%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 33 e 34 são comparadas as áreas entre curvas compostas simétricas e curvas compostas assimétricas com proporção de 2:1:3. As células em branco se devem ao mesmo motivo da análise anterior e os valores negativos se referem à curvas compostas simétricas com área menor. É possível notar que na Tabela 33, largura de 3,50 metros, que em 64,4% das situações a curva composta simétrica se mostra mais adequada, ou seja, com menor área do que a assimétrica com proporção. Com uma largura de 4,00 metros, Tabela 34, isto acontece em 37,8% dos casos. Nota-se também que há uma tendência de que as curvas compostas simétricas sejam mais adequadas a ângulos de conversão maiores e a veículos com uma só articulação.

Tabela 33 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica com proporção 2:1:3 com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	5%	37%	9%	6%	7%
60°	-8%	61%	12%	1%	8%
75°	-11%	8%	-1%	12%	3%
90°	-2%	5%	-2%	-1%	5%
105°	-9%	5%	-7%	3%	-2%
120°	-19%	-7%	-18%	0%	-8%
135°	-13%	-15%	-19%	-6%	-8%
150°	-13%	-26%	-30%	-10%	-15%
180°	-12%	-30%	-28%	-9%	-15%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 34 - Diferença de área entre curva composta simétrica e curva compostas assimétrica com proporção 2:1:3 com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	22%	60%	13%	7%	14%
60°	-22%	40%	12%	11%	12%
75°	6%	33%	11%	11%	14%
90°	-4%	23%	9%	10%	15%
105°	2%	15%	4%	7%	7%
120°	-28%	7%	-5%	9%	1%
135°	-4%	2%	-10%	-5%	-11%
150°	-3%	-5%	-16%	-5%	-14%
180°	-12%	-18%	-11%	2%	0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 35 e 36 é possível observar a diferença de áreas entre curvas circulares com *taper* e curvas compostas assimétricas sem proporção, para 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Os valores positivos nas tabelas indicam que a curva composta assimétrica possui menor área do que a circular com *taper*. Nota-se que em todas as situações as curvas compostas assimétricas possuem área menor, exceto nos ângulo de conversão de 180°.

Tabela 35 - Diferença de área entre curva circular com *taper* e curva compostas assimétrica sem proporção com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	29%	59%	14%	7%	9%
60°	45%	95%	33%	32%	20%
75°	32%	54%	35%	29%	33%
90°	42%	64%	32%	39%	29%
105°	47%	79%	36%	28%	31%
120°	15%	51%	44%	34%	35%
135°	66%	100%	41%	63%	38%
150°	16%	49%	25%	15%	6%
180°	-26%	-24%	-2%	-7%	-5%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 36 - Diferença de área entre curva circular com *taper* e curva compostas assimétrica sem proporção com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	35%	76%	15%	14%	13%
60°	57%	133%	24%	42%	24%
75°	42%	86%	29%	39%	36%
90°	59%	99%	37%	48%	44%
105°	73%	103%	45%	52%	37%
120°	23%	78%	53%	49%	50%
135°	75%	114%	53%	57%	56%
150°	44%	80%	26%	31%	32%
180°	-32%	-22%	-5%	-10%	-7%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 37 e 38 são expostas as comparações entre as áreas das curvas circulares com *taper* e das curvas compostas assimétricas com proporção de 2:1:3. Assim como na última análise as células permanecem em branco no ângulo de conversão de 30° por não haver configuração para curva circular com *taper*. Observa-se que para a largura de 3,50 metros, em apenas 31,1% dos casos os valores são negativos, ou seja, as áreas das curvas circulares com *taper* são menores. Já para a largura de 4,00 metros, este valor cai para 15,7% das situações.

Tabela 37 - Diferença de área entre curva circular com *taper* e curva compostas assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	23%	60%	4%	10%	7%
60°	15%	101%	9%	17%	12%
75°	12%	46%	5%	17%	13%
90°	14%	52%	-1%	10%	9%
105°	11%	57%	-1%	17%	4%
120°	-12%	45%	-5%	11%	2%
135°	17%	69%	-4%	27%	4%
150°	-5%	14%	-29%	-5%	-20%
180°	-8%	-19%	-28%	-5%	-17%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 38 - Diferença de área entre curva circular com *taper* e curva compostas assimétrica com proporção de 2:1:3 com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	47%	92%	14%	22%	19%
60°	16%	109%	17%	41%	24%
75°	36%	80%	18%	36%	27%
90°	32%	79%	17%	34%	29%
105°	43%	71%	14%	29%	21%
120°	-10%	64%	12%	35%	20%
135°	53%	95%	9%	33%	17%
150°	15%	40%	-12%	7%	-2%
180°	-13%	-12%	-12%	0%	-1%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 39 e 40 são apresentadas as diferenças de áreas entre as curvas compostas de três centros assimétricas sem proporção e com proporção de 2:1:3, para as largura de 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. Quando as curvas assimétricas sem proporção possuírem áreas menores, os valores serão negativos. Observa-se que em 81,6% das situações da Tabela 39, as curvas assimétricas sem proporção possuem uma área menor, já na Tabela 40, isto ocorre em 77,6% dos casos. Pode se notar em ambas as tabelas que as curvas assimétricas com proporção tendem a ser mais adequadas para ângulo de conversão de 60° ou menos e nos ângulos de 180°.

Tabela 39 - Diferença de área entre curvas compostas assimétricas sem proporção e com proporção de 2:1:3 com L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°		-1%	1%	33%	26%
45°	-5%	1%	-9%	3%	-2%
60°	-20%	3%	-18%	-11%	-7%
75°	-15%	-5%	-23%	-10%	-15%
90°	-20%	-7%	-25%	-21%	-16%
105°	-25%	-13%	-28%	-9%	-20%
120°	-24%	-4%	-34%	-17%	-24%
135°	-30%	-16%	-32%	-22%	-24%
150°	-18%	-24%	-43%	-17%	-25%
180°	25%	7%	-26%	2%	-12%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 40 - Diferença de área entre curvas compostas assimétricas sem proporção e com proporção de 2:1:3 com L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°					
45°	8%	9%	-1%	7%	6%
60°	-26%	-10%	-6%	-1%	0%
75°	-4%	-3%	-9%	-2%	-6%
90°	-17%	-10%	-15%	-9%	-11%
105°	-18%	-16%	-21%	-15%	-12%
120°	-27%	-8%	-27%	-9%	-20%
135°	-13%	-9%	-29%	-16%	-25%
150°	-20%	-22%	-30%	-18%	-26%
180°	28%	12%	-8%	11%	7%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Tabelas 41 e 42 podem ser observadas as menores áreas de pavimento obtidas em cada caso, para 3,50 e 4,00 metros, respectivamente. As áreas são resultado da análise com curvas compostas de três centros assimétricas sem proporção, com exceção das indicadas. Pode se observar que para ângulos de 60° ou menos, em alguns casos a curva composta assimétrica com proporção de 2:1:3 é a que possui menor área. A 180° as curvas que melhor se adequam alternam-se entre compostas simétricas e circulares com *taper*.

Tabela 41 - Menores áreas de pavimento para L=3,50m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	136,81 <sup>(1)</sup>	109,80	232,76 <sup>(2)</sup>	164,70 <sup>(2)</sup>	227,99 <sup>(2)</sup>
45°	171,59	138,11 <sup>(2)</sup>	282,72	218,97 <sup>(2)</sup>	294,78
60°	218,94	158,20 <sup>(2)</sup>	312,30	245,49	341,45
75°	225,17	192,94	365,15	264,44	364,06
90°	259,10	224,18	423,87	297,89	418,91
105°	287,52	236,30	478,91	361,35	470,88
120°	363,71	268,30 <sup>(3)</sup>	519,64	380,90	509,94
135°	366,21	304,30	605,00	420,89	589,88
150°	455,46	343,64 <sup>(3)</sup>	646,23	514,33	696,67
180°	474,89 <sup>(3)</sup>	387,49 <sup>(3)</sup>	833,84 <sup>(3)</sup>	588,49 <sup>(3)</sup>	861,49 <sup>(4)</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor

- (1) Área de curva circular simples
- (2) Área de curva composta assimétrica com proporção 2:1:3
- (3) Área de curva composta simétrica
- (4) Área de curva circular com *taper*

Tabela 42 - Menores áreas de pavimento para L=4,00m

	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	153,89 <sup>(1)</sup>	124,06	213,06 <sup>(2)</sup>	162,40 <sup>(1)</sup>	212,52 <sup>(2)</sup>
45°	168,58 <sup>(2)</sup>	128,56 <sup>(2)</sup>	274,36	202,30 <sup>(2)</sup>	267,06 <sup>(2)</sup>
60°	224,83	151,34	327,92	247,33	333,02
75°	233,34	178,56	371,49	272,07	356,35
90°	256,51	205,28	414,87	297,38	396,99
105°	271,32	232,10	445,16	318,37	467,31
120°	376,99	264,19	499,40	379,23	501,13
135°	387,79	317,62	565,82	445,85	572,68
150°	419,15	336,60	680,21	482,88	659,39
180°	468,90 <sup>(4)</sup>	416,62 <sup>(3)</sup>	822,90 <sup>(4)</sup>	599,89 <sup>(4)</sup>	840,87 <sup>(4)</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor

(1) Área de curva circular simples

(2) Área de curva composta assimétrica com proporção 2:1:3

(3) Área de curva composta simétrica

(4) Área de curva circular com *taper*

O veículo CA a 30° tem como menor área a da curva circular simples, em vista que apenas este tipo de curva aborda esta situação. Observando as Tabela 28 e 42, é possível perceber que mesmo que a curva circular simples seja a melhor opção para o veículos BT9 a 30° a diferença entre esta e a curva composta assimétrica com proporção é pequena.

Pode-se ver ao comparar os dados das Tabelas 31 e 41 que o veículo BT7 aos ângulos de 120° e 150° possui a curva composta simétrica como melhor opção para esta situação, entretanto pode-se perceber que a diferença entre essa e a curva compostas assimétrica sem proporção é pequena. É possível concluir com isto que este tipo de curva também é adequado nestes casos.

Assim como na análise realizada pela AASHTO (2011) com veículos americanos, para os veículos articulados brasileiros a curva mais adequada é a composta de três centros assimétrica. Ao passo que esta é a que melhor contorna os raios de giro mínimos dos veículos estudados, implicando em menores áreas de pavimento.



## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se com este trabalho que as dimensões dos veículos não são as únicas responsáveis pela determinação dos raios mínimos. Observando os resultados, foi possível notar que o veículo BT7, que possui 19,80 metros de comprimento, ocupa menos espaço para conversão que o veículo CA, que tem 18,60 metros e, conseqüentemente, possui menores raios mínimos. O mesmo ocorre quando comparam-se os veículos BTL (30,00 metros), BT9 (25,00 metros) e CG (22,40 metros): embora os dois primeiros possuam maiores comprimentos, o veículo CG é o que tende a demandar mais área para manobra. É possível concluir que o número de articulações do veículo é mais impactante do que as próprias dimensões.

Analisando as normativas do DAER-RS (1991) e do DNIT (2005), nota-se que o foco dos raios mínimos para bordos internos se dá em curvas circulares simples para ângulos de conversão mais baixos e para os maiores curvas compostas de três centros simétricas e curvas circulares com *taper*. A AASHTO (2011) traz, além das citadas, uma proposta de utilização de curvas compostas de três centros assimétricas assim como o DER-SC (2000), tradução da publicação alemã RAS-K, sendo que este sugere uma proporção para este tipo de curva de 2:1:3. Já Vägverket (2002) combina uma sequência de raios com espirais.

Pode-se inferir que mesmo que o maior veículo de projeto do DAER-RS (1991) tenha 15,24 metros, os raios mínimos desta norma são compatíveis com o veículo BT7 na maioria dos casos e são adequados para o veículo CA apenas em ângulos de conversão mais baixos. Quanto ao DNIT (2005), os veículos CA e BT7 se adequam aos raios mínimos previstos. Em ambas as normas e em quase todas as situações para os veículos CG, BT9 e BTL os raios mínimos não são suficientes, o que já era esperado em função dos seus maiores comprimentos, quando comparados aos maiores veículos de projeto de cada norma.

Os raios mínimos nas curvas compostas de três centros assimétricas presentes na AASHTO (2011) atendem aos veículos nacionais, porém as folgas entre o bordo interno da curva e o raio de giro do veículo são demasiadamente grandes, sendo necessária uma redução de raios. Na comparação entre os tipos de curva, pode-se concluir que esta, já com raios alterados, é a que possui menor área de pavimento na maior parte das situações.

As curvas compostas de três centros assimétricas com proporção de 2:1:3 se mostraram as mais adequadas em termos de área de pavimento para ângulos de conversão menores. Porém, a diferença de área entre essas e a curva composta de três centros assimétrica sem proporção é pequena nesses casos.

Com um ângulo de conversão de  $180^\circ$ , chega-se à conclusão que as curvas compostas de três centros assimétricas, tanto com e sem proporção, possuem menor largura no ponto médio quando comparadas às circulares com *taper* e compostas simétricas. Entretanto, as duas últimas são mais adequadas aos veículos de projeto analisados em termos de área de pavimento.

Conclui-se que o aumento de área de pavimento nos testes com largura de 4,00 metros é menor do que todas as situações com largura de 3,50 metros para as curvas circulares simples, curvas compostas de três centros simétricas e curvas circulares com *taper*. Nas curvas compostas de três centros assimétricas a redução de área foi maior nas análises com 4,00 metros na maior parte dos casos.

Pode-se concluir, também, que os afastamentos das curvas compostas em geral podem influenciar na determinação dos raios mínimos, uma vez que maiores afastamentos implicam em maiores áreas de pavimento. Esta condição fica evidenciada nas análises das curvas compostas assimétricas do veículo CA a  $120^\circ$ , onde os afastamentos são maiores.

Com isto, sugere-se que em novas pesquisas sejam analisados ou variados os afastamentos das curvas compostas, tanto simétricas como assimétricas. É sugerido, também, a análise para outros tipos de curvas como as compostas de dois centros e as com transição e também para veículos de projeto rígidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. 6ª Ed. Washington, D.C., 2011.

AUSTROADS. **Guide to Road Design Part 4: Intersections and Crossings – General**. Sydney, NSW, 2017.

BANKS, J. H. **Introduction to transportation engineering**. 2ª Ed. Boston, McGraw-Hill, 2004.

BRASIL. Decreto Nº 62.127, de 16 de Janeiro de 1968. **Aprova o Regulamento do Código Nacional de Trânsito**. Brasília, DF, 1968. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-62127-16-janeiro-1968-403515-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 07 de Novembro de 2018.

CARRASCO, M. S. E. **Computerized Vehicle-Turning Simulation: An Interactive Application**. M. E. Thesis. University of Calgary. Alberta, 1992.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Altera a Resolução CONTRAN nº 211, de 13 de novembro de 2006, que estabelece requisitos necessários para circulação de Combinações de Veículos de Carga (CVC). **Resolução Nº 663 de 19 de abril de 2017**. Ministério das Cidades, Brasília, 2017.

\_\_\_\_\_. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. **Resolução Nº 210 de 13 de novembro de 2006**. Ministério das Cidades, Brasília, 2006a.

\_\_\_\_\_. Estabelece os requisitos de segurança à circulação de combinações de veículos. **Resolução Nº 631 de 01 de junho de 1984**. Diário Oficial da União, Brasília, 1984.

\_\_\_\_\_. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC, a que se referem os arts. 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro-CTB. **Resolução Nº 211 de 13 de novembro de 2006**. Ministério das Cidades, Brasília, 2006b.

COSTA, E. E. S. **Análise da compatibilidade do gabarito de caminhões com a geometria das interseções urbanas numa cidade de médio porte**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER-RS). **Normas de Projeto Rodoviários: Projeto Geométrico de Interseções**. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER-SP). **Notas Técnicas de Projeto Geométrico**. Secretaria dos Transportes. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER-SC). **Diretrizes Para a Concepção de Estradas: Interseções de Nível Único**. Florianópolis, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto de interseções**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Homologa os veículos e as combinações de veículos de transporte de carga e de passageiros, com seus respectivos limites de comprimento, Peso Bruto Total - PBT e Peso Bruto Total Combinado - PBTC. **Portaria Nº 63 de 31 de março de 2009**. Brasília, 2009.

\_\_\_\_\_. Homologar os veículos e as combinações de veículos de transporte de carga constantes do anexo desta Portaria, com seus respectivos limites de comprimento, peso bruto total – PBT e peso bruto total combinado – PBTC. **Portaria Nº 86 de 20 de dezembro de 2006**. Brasília, 2006.

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION OF COLORADO (CODOT). **Road Design Guide**. 2018. Disponível em: <[https://www.codot.gov/business/designsupport/bulletins\\_manuals/cdot-roadway-design-guide-2018/dg18-ch09](https://www.codot.gov/business/designsupport/bulletins_manuals/cdot-roadway-design-guide-2018/dg18-ch09)>. Acesso em: 08 de Março de 2019.

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION OF IOWA (IOWADOT). **Office of Design: Design Manual**, 2014. Disponível em: <<https://iowadot.gov/design/dmanual/02a-01.pdf>>. Acesso em: 05 de Outubro de 2018.

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION OF SOUTH DAKOTA (SDDOT). **Road Design Manual**. Disponível em: <<http://sddot.com/business/design/docs/rd/rdmch12.pdf>>. Acesso em: 07 de Março de 2019.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. **Guía de Nudos Viários**. Ministerio de Fomento. Madrid, 2012.

DRAGČEVIĆ, V.; KORLAET, Z.; STANČERIĆ, I. Methods For Setting Road Vehicle Movement Trajectories. **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**. v.3, p.57-64, 2008.

EASA, S. M. Lateral Clearance Needs on Compound Horizontal Curves. **Journal of Transportation Engineering**. v.119, p.111-123, 1993.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV). **Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)**; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Verlag. Köln, 2013.

FRIEDRICH, B. et al. **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**: im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bau und

Stadtentwicklung. Forschungsprojekt, FE 77.0501/2010. Technische Universität Braunschweig. Bremen, 2014.

GOTTFRIED, T.; AUERSWALD, K.; OSTLER, U. **Kinematic correction for a spatial offset between sensor and position data in on-the-go sensor applications.** Technische Universität München, Lehrstuhl für Grünlandlehre, Alte Akademie. Freising, 2012.

HEALD, K. L. **Use of the WHI offtracking formula.** Transportation Research Board. Transportation Research Record 1052, 1986.

HIGHWAYS ENGLAND. **Design Manual for Roads and Bridges (DMRB):** Volume 6 – Road Geometry. TD 42/95: Geometric Design of Major/Minor Priority Junctions. Guildford, 1995. Disponível em: <http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmr/vol6/section2/td4295.pdf>. Acesso em: 02 de Outubro de 2018.

JUJNOVICH, B. et al. Implementation of active rear steering of a tractor- semi-trailer. In: **Proceedings of the 10th International Symposium on Heavy Vehicle Transportation Technology.** Paris, John Wiley & Sons, Inc., 2008. p. 358–367.

KATI, M. S. **Definitions of Performance Based Characteristics for Long Heavy Vehicle Combinations.** Chalmers University of Technology, Tech. Rep. Göteborg, 2013.

LEISCH, J. P.; CARRASCO, M. S. E. Design Vehicles: From Turning Templates to Smart Systems. In: **Transportation Association of Canada Conference.** Montreal, QC, 2014.

LIPPOLD, C.; SCHEMMEL, A. **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw.** Technische Universität Dresden. Fakultät Verkehrswissenschaften. Dresden, 2014.

MOON, K. -H. et al. Method For Control Of Steering Angles For Articulated Vehicles Using Virtual Rigid Axles. **International Journal of Automotive Technology.** v.10, No.4, p.441-449, 2009.

PECCHINI, D.; GIULIANI, F. Experimental Test of an Articulated Lorry Swept Path. **Journal of Transportation Engineering,** v.139, No.12, p.1174-1183, 2013.

PEREIRA NETO, W. A. **Análise de Fatores Intervenientes nas Características Dimensionais de Segmentos Rodoviários sob a Ótica da Compatibilidade Veículo-Via.** 190p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias.** 2ª Ed. São Carlos, RiMa Editora, 2004.

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

PRINCE, G. E.; DUBOIS, S. P. **Mathematical models for motion of the rear ends of vehicles.** Department of Mathematics and Statistics, La Trobe University. Bundoora, 2008.

RUSSO, M. R. A. **O impacto de manobras de veículos combinados sobre a geometria horizontal de interseções rodoviárias.** 162 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de projetos rodoviários.** São Paulo, PINI, 2008.

TANZANIA NATIONAL ROADS AGENCY (TANROADS). **Road Geometric Design Manual.** Ministry of Works. Dar-es-Salaam, 2011.

TRANSOFT SOLUTIONS. **The Swept Path Analysis Software Trusted Most By Design Professionals.** 2018. Disponível em: <<https://www.transoftsolutions.com/vehicle-swept-path/autoturn-select/autoturn/>>. Acesso em: 25/10/2018.

VÄGVERKET. **Vägutformning 94: Del 7 – Korsningar.** Version S-2. Technical Report, Swedish National Road Administration. Borlänge, 2002.

**APÊNDICE A – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS CIRCULARES SIMPLES**

Ângulo de Conversão	Largura = 3,50m					Largura = 4,00m				
	CA	BT7	CG	BT9	BTL	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	60	60	102	75	100	60	60	85	63	85
45°	51	45	78	58	75	45	45	70	50	66
60°	45	45	65	48	63	45	45	58	45	55
75°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE B – RAIOS PORPOSTOS: CURVAS COMPOSTAS SIMÉTRICAS

Ângulo de Conversão	Largura = 3,50m					Largura = 4,00m				
	CA	BT7	CG	BT9	BTL	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45°	60	60	175	95	128	60	60	98	64	100
	30	30	48	35	50	30	30	45	32	42
	60	60	175	95	128	60	60	98	64	100
	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00
60°	60	60	110	85	115	60	60	120	65	100
	23	23	45	30	34	23	23	28	28	29
	60	60	110	85	115	60	60	120	65	100
	1,70	1,70	1,00	1,00	1,70	1,00	1,00	1,70	1,00	1,70
75°	45	45	127	75	107	53	45	120	55	86
	15	15	29	22	29	15	15	23	18	27
	45	45	127	75	107	53	45	120	55	86
	2,00	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	2,00	2,00	1,70
90°	75	45	114	69	96	56	45	110	58	90
	17	15	28	21	28	15	15	22	19	23
	75	45	114	69	96	56	45	110	58	90
	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	2,00	1,50	2,00
105°	77	45	138	80	105	57	45	115	60	80
	13	12	21	16	20	12	12	17	15	19
	77	45	138	80	105	57	45	115	60	80
	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50	2,00	2,00	2,50	2,00	2,50
120°	75	36	100	62	58	58	36	92	52	55
	12	10	18	15	20	11	10	17	14	19
	75	36	100	62	58	58	36	92	52	55
	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
135°	48	36	81	49	90	45	36	82	47	44
	11	9	15	13	16	10	9	14	12	16
	48	36	81	49	90	45	36	82	47	44
	2,70	2,50	2,50	2,50	2,70	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
150°	72	36	90	45	77	40	36	120	57	75
	10	9	13	12	15	10	9	12	11	14
	72	36	90	45	77	40	36	120	57	75
	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
180°	58	37	96	57	108	50	38	96	44	65
	8	8	8	9	11	8	8	8	8	10
	58	37	96	57	108	50	38	96	44	65
	3,30	3,30	3,30	3,30	3,00	3,30	3,30	3,00	3,30	3,30

Nota: a sequência é formada por: raio de entrada, raio intermediário, raio de saída e afastamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor



**APÊNDICE C – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS CIRCULARES COM *TAPER***

Ângulo de Conversão	Largura = 3,50m					Largura = 4,00m				
	CA	BT7	CG	BT9	BTL	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45°	36 15:1 0,60	36 15:1 0,60	55 15:1 0,60	40 15:1 0,60	55 15:1 0,60	36 15:1 0,60	36 15:1 0,60	48 15:1 0,60	36 15:1 0,60	49 15:1 0,60
60°	29 15:1 1,00	29 15:1 1,00	40 15:1 1,00	30 15:1 1,00	40 15:1 1,00	29 15:1 1,00	29 15:1 1,00	35 15:1 1,00	29 15:1 1,00	36 15:1 1,00
75°	20 15:1 1,00	20 15:1 1,00	35 15:1 1,00	24 15:1 1,00	35 15:1 1,00	20 15:1 1,00	20 15:1 1,00	31 15:1 1,00	24 15:1 1,00	32 15:1 1,00
90°	18 15:1 1,20	18 15:1 1,20	28 15:1 1,20	21 15:1 1,20	28 15:1 1,20	18 15:1 1,20	18 15:1 1,20	26 15:1 1,20	20 15:1 1,20	27 15:1 1,20
105°	17 15:1 1,20	17 15:1 1,20	25 15:1 1,20	19 15:1 1,20	25 15:1 1,20	17 15:1 1,20	17 15:1 1,20	23 15:1 1,20	18 15:1 1,20	24 15:1 1,20
120°	14 15:1 1,20	14 15:1 1,20	22 15:1 1,20	17 15:1 1,20	22 15:1 1,20	14 15:1 1,20	14 15:1 1,20	21 15:1 1,20	17 15:1 1,20	22 15:1 1,20
135°	12 15:1 2,00	12 15:1 2,00	16 15:1 2,00	14 15:1 2,00	17 15:1 2,00	12 15:1 2,00	12 15:1 2,00	15 15:1 2,00	13 15:1 2,00	17 15:1 2,00
150°	11 6:1 2,10	11 6:1 2,10	13 10:1 2,10	12 8:1 2,10	15 6:1 2,10	11 6:1 2,10	11 6:1 2,10	13 8:1 2,10	12 6:1 2,10	15 8:1 2,10
180°	8 6:1 3,00	8 6:1 3,00	8 7:1 3,00	9 6:1 3,00	11 7:1 3,00	8 5:1 3,00	8 5:1 3,00	8 7:1 3,00	9 5:1 3,00	11 6:1 3,00

Nota: a sequência é formada por: raio central, *tapers* e afastamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE D – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS COMPOSTAS ASSIMÉTRICAS**

Ângulo de Conversão	Largura = 3,50m					Largura = 4,00m				
	CA	BT7	CG	BT9	BTL	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	-	45	75	61	76	-	45	75	61	76
	-	20	52	46	61	-	20	52	46	61
	-	55	125	150	198	-	55	140	150	198
	-	0,6-1,4	0,5-2,1	0,6-1,8	0,5-2,1	-	0,6-1,4	0,5-2,1	0,6-1,8	0,5-2,1
45°	33	30	48	52	54	29	28	46	44	51
	18	20	40	38	46	17	19	38	33	42
	64	58	135	67	105	62	45	90	57	78
	1,0-2,6	0,3-1,8	0,5-2,1	0,5-1,8	0,5-2,1	1,0-2,6	0,3-1,8	0,5-2,1	0,5-1,8	0,5-2,1
60°	28	20	32	33	40	26	20	36	29	37
	10	17	30	20	35	8	16	30	20	33
	55	70	150	95	106	52	37	95	68	78
	3,0-3,7	0,3-1,8	0,5-2,4	0,9-2,7	0,5-2,4	3,0-3,7	0,3-1,8	0,5-2,4	0,9-2,7	0,5-2,4
75°	18	18	24	29	27	19	17	24	23	26
	11	15	22	20	24	11	15	22	20	23
	70	42	135	85	108	52	30	96	63	75
	0,3-3,0	0,3-2,4	2,0-3,0	0,5-3,5	2,0-3,0	0,3-3,0	0,3-2,4	2,0-3,0	0,5-3,5	2,0-3,0
90°	18	16	23	20	26	17	14	22	19	22
	12	14	20	18	22	12	12	19	17	20
	68	35	132	71	95	40	27	92	54	75
	2,0-3,0	0,3-3,4	0,6-3,5	0,5-2,6	0,6-3,5	2,0-3,0	0,3-3,4	0,6-3,5	0,5-2,6	0,6-3,5
105°	18	15	18	20	20	14	13	16	16	20
	12	12	16	17	18	11	11	14	14	17
	60	34	115	55	83	42	28	90	53	65
	1,2-3,2	0,3-3,4	0,9-4,6	0,6-3,0	0,9-4,6	1,2-3,2	0,3-3,4	0,9-4,6	0,6-3,0	0,9-4,6
120°	13	15	15	16	17	15	12	14	16	17
	5	11	12	14	14	5	10	11	13	13
	40	30	115	62	85	28	24	85	52	67
	5,2-7,3	0,6-3,8	2,0-5,3	0,9-3,2	2,0-5,3	5,2-7,3	0,6-3,8	2,0-5,3	0,9-3,2	2,0-5,3
135°	14	15	16	14	17	14	13	12	14	16
	9	10	11	11	13	9	10	10	11	12
	54	33	100	57	75	35	20	79	37	64
	2,1-4,3	0,6-3,8	2,1-5,6	2,1-4,1	2,1-5,6	2,1-4,3	0,6-3,8	2,1-5,6	2,1-4,1	2,1-5,6
150°	13	11	12	14	15	11	12	12	12	14
	10	8	9	11	12	9	7	9	10	11
	47	25	112	46	66	43	24	71	45	58
	2,4-3,0	2,0-5,0	2,7-5,6	1,8-4,0	2,7-5,6	2,4-3,0	2,0-5,0	2,7-5,6	1,8-4,0	2,7-5,6
180°	30	30	61	37	61	30	30	61	37	61
	17	17	18	18	18	17	17	18	18	18
	275	122	152	122	152	275	122	152	122	152
	4,5-4,5	1,8-4,6	3,0-6,4	2,7-4,4	3,0-6,4	4,5-4,5	1,8-4,6	3,0-6,4	2,7-4,4	3,0-6,4

Nota: a sequência é formada por: raio de entrada, raio intermediário, raio de saída e afastamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE E – RAIOS PROPOSTOS: CURVAS COMPOSTAS ASSIMÉTRICAS  
(2:1:3)**

Ângulo de Conversão	Largura = 3,50m					Largura = 4,00m				
	CA	BT7	CG	BT9	BTL	CA	BT7	CG	BT9	BTL
30°	-	40	92	62	90	-	40	72	54	72
	-	20	46	31	45	-	20	36	27	36
	-	60	138	93	135	-	60	108	81	108
	-	0,6-1,4	0,5-2,1	0,6-1,8	0,5-2,1	-	0,6-1,4	0,5-2,1	0,6-1,8	0,5-2,1
45°	40	38	86	62	84	32	30	68	50	66
	20	19	43	31	42	16	15	34	25	33
	60	57	129	93	126	48	45	102	75	99
	1,0-2,6	0,3-1,8	0,5-2,1	0,5-1,8	0,5-2,1	1,0-2,6	0,3-1,8	0,5-2,1	0,5-1,8	0,5-2,1
60°	36	34	74	50	72	36	32	62	40	60
	18	17	37	25	36	18	16	31	20	30
	54	51	111	75	108	54	48	93	60	90
	3,0-3,7	0,3-1,8	0,5-2,4	0,9-2,7	0,5-2,4	3,0-3,7	0,3-1,8	0,5-2,4	0,9-2,7	0,5-2,4
75°	32	30	62	46	58	26	24	50	40	48
	16	15	31	23	29	13	12	25	20	24
	48	45	93	69	87	39	36	75	60	72
	0,3-3,0	0,3-2,4	2,0-3,0	0,5-3,5	2,0-3,0	0,3-3,0	0,3-2,4	2,0-3,0	0,5-3,5	2,0-3,0
90°	32	28	56	44	52	28	24	46	36	44
	16	14	28	22	26	14	12	23	18	22
	48	42	84	66	78	42	36	69	54	66
	2,0-3,0	0,3-3,4	0,6-3,5	0,5-2,6	0,6-3,5	2,0-3,0	0,3-3,4	0,6-3,5	0,5-2,6	0,6-3,5
105°	32	26	46	36	44	26	24	38	32	38
	16	13	23	18	22	13	12	19	16	19
	48	39	69	54	66	39	36	57	48	57
	1,2-3,2	0,3-3,4	0,9-4,6	0,6-3,0	0,9-4,6	1,2-3,2	0,3-3,4	0,9-4,6	0,6-3,0	0,9-4,6
120°	18	22	38	32	36	18	20	32	28	32
	9	11	19	16	18	9	10	16	14	16
	27	33	57	48	54	27	30	48	42	48
	5,2-7,3	0,6-3,8	2,0-5,3	0,9-3,2	2,0-5,3	5,2-7,3	0,6-3,8	2,0-5,3	0,9-3,2	2,0-5,3
135°	24	22	32	26	32	20	20	28	24	30
	12	11	16	13	16	10	10	14	12	15
	36	33	48	39	48	30	30	42	36	45
	2,1-4,3	0,6-3,8	2,1-5,6	2,1-4,1	2,1-5,6	2,1-4,3	0,6-3,8	2,1-5,6	2,1-4,1	2,1-5,6
150°	22	18	28	24	28	20	16	24	22	26
	11	9	14	12	14	10	8	12	11	13
	33	27	42	36	42	30	24	36	33	39
	2,4-3,0	2,0-5,0	2,7-5,6	1,8-4,0	2,7-5,6	2,4-3,0	2,0-5,0	2,7-5,6	1,8-4,0	2,7-5,6
180°	34	34	36	36	36	34	34	36	36	36
	17	17	18	18	18	17	17	18	18	18
	51	51	54	54	54	51	51	54	54	54
	4,5-4,5	1,8-4,6	3,0-6,4	2,7-4,4	3,0-6,4	4,5-4,5	1,8-4,6	3,0-6,4	2,7-4,4	3,0-6,4

Nota: a sequência é formada por: raio de entrada, raio intermediário, raio de saída e afastamentos.

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE F – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES: ANÁLISE DAER-RS (1991)**

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 30°									
C15	CA	136,81	SIM	-	-	153,89	SIM	-	-
C15	BT7	136,81	SIM	-	-	153,89	SIM	-	-
C15	CG	136,81	NÃO	257,43	88,17%	153,89	NÃO	229,77	49,31%
C15	BT9	136,61	NÃO	177,20	29,71%	153,70	NÃO	162,40	5,66%
C15	BTL	136,27	NÃO	250,65	83,94%	153,35	NÃO	229,23	49,48%
Ângulo de conversão = 45°									
C15	CA	175,08	NÃO	204,87	17,02%	195,27	SIM	-	-
C15	BT7	175,08	SIM	-	-	195,27	SIM	-	-
C15	CG	175,08	NÃO	358,09	104,53%	195,27	NÃO	339,97	74,10%
C15	BT9	174,41	NÃO	240,91	38,13%	194,60	NÃO	221,39	13,77%
C15	BTL	173,19	NÃO	337,63	94,95%	193,38	NÃO	313,12	61,92%
Ângulo de conversão = 60°									
C15	CA	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	BT7	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	CG	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	BT9	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	BTL	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE G – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES SIMPLES: ANÁLISE DNIT (2005)**

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 30°									
SR	CA	136,81	SIM	-	-	153,89	SIM	-	-
SR	BT7	136,81	SIM	-	-	153,89	SIM	-	-
SR	CG	136,81	NÃO	257,43	88,17%	153,89	NÃO	229,77	49,31%
SR	BT9	136,61	NÃO	177,20	29,71%	153,70	NÃO	162,40	5,66%
SR	BTL	136,27	NÃO	250,65	83,94%	153,35	NÃO	229,23	49,48%
Ângulo de conversão = 45°									
SR	CA	215,14	SIM	-	-	238,65	SIM	-	-
SR	BT7	215,14	SIM	-	-	238,65	SIM	-	-
SR	CG	215,14	NÃO	358,09	66,45%	238,65	NÃO	339,97	42,46%
SR	BT9	214,47	NÃO	240,91	12,33%	237,98	SIM	-	-
SR	BTL	213,25	NÃO	337,63	58,33%	236,76	NÃO	313,12	32,25%
Ângulo de conversão = 60°									
SR	CA	287,70	SIM	-	-	315,84	SIM	-	-
SR	BT7	287,70	SIM	-	-	315,84	SIM	-	-
SR	CG	287,70	NÃO	486,78	69,20%	315,84	NÃO	447,86	41,80%
SR	BT9	286,01	NÃO	313,13	9,48%	314,16	SIM	-	-
SR	BTL	282,97	NÃO	460,21	62,64%	311,12	NÃO	411,21	32,17%

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE H – ÁREAS DE CURVAS COMPOSTAS SIMÉTRICAS: ANÁLISE DAER-RS (1991)**

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 45°									
C15	CA	183,67	SIM	-	-	205,31	SIM	-	-
C15	BT7	183,67	SIM	-	-	205,31	SIM	-	-
C15	CG	183,67	NÃO	339,77	84,99%	205,31	NÃO	310,78	51,37%
C15	BT9	182,99	NÃO	232,26	26,92%	204,64	NÃO	217,37	6,22%
C15	BTL	181,78	NÃO	323,34	77,87%	203,42	NÃO	314,58	54,65%
Ângulo de conversão = 60°									
C15	CA	211,44	SIM	-	-	236,01	SIM	-	-
C15	BT7	211,44	SIM	-	-	236,01	SIM	-	-
C15	CG	211,44	NÃO	426,06	101,50%	236,01	NÃO	394,51	67,16%
C15	BT9	209,76	NÃO	280,37	33,66%	234,32	NÃO	276,12	17,84%
C15	BTL	206,72	NÃO	394,18	90,68%	231,28	NÃO	375,99	62,57%
Ângulo de conversão = 75°									
C15	CA	219,73	NÃO	273,29	24,38%	245,38	NÃO	257,76	5,05%
C15	BT7	219,73	SIM	-	-	245,38	SIM	-	-
C15	CG	219,73	NÃO	467,50	112,76%	245,38	NÃO	455,00	85,43%
C15	BT9	216,19	NÃO	328,07	51,75%	241,84	NÃO	311,65	28,87%
C15	BTL	209,81	NÃO	440,73	110,06%	235,46	NÃO	433,23	83,99%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 90°									
C15	CA	253,07	NÃO	317,63	25,51%	282,69	NÃO	297,99	5,41%
C15	BT7	253,07	SIM	-	-	282,69	SIM	-	-
C15	CG	253,07	NÃO	555,61	119,55%	282,69	NÃO	532,96	88,53%
C15	BT9	246,34	NÃO	372,53	51,23%	275,96	NÃO	360,74	30,72%
C15	BTL	234,21	NÃO	521,78	122,78%	263,83	NÃO	516,27	95,68%
Ângulo de conversão = 105°									
C15	CA	283,01	NÃO	346,35	22,38%	317,46	NÃO	336,53	6,01%
C15	BT7	283,01	SIM	-	-	317,46	SIM	-	-
C15	CG	283,01	NÃO	612,70	116,49%	317,46	NÃO	593,84	87,06%
C15	BT9	270,88	NÃO	409,89	51,32%	305,33	NÃO	401,46	31,48%
C15	BTL	249,02	NÃO	577,72	132,00%	283,46	NÃO	572,74	102,05%
Ângulo de conversão = 120°									
C15	CA	268,30	NÃO	388,17	44,68%	305,99	NÃO	376,99	23,20%
C15	BT7	268,30	SIM	-	-	305,99	SIM	-	-
C15	CG	268,30	NÃO	645,88	140,73%	305,99	NÃO	652,93	113,38%
C15	BT9	246,83	NÃO	459,58	86,19%	284,52	NÃO	454,84	59,86%
C15	BTL	208,13	NÃO	619,44	197,62%	245,82	NÃO	628,97	155,87%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 135°									
C15	CA	307,19	NÃO	447,93	45,82%	355,36	NÃO	426,34	19,97%
C15	BT7	307,19	SIM	-	-	355,36	SIM	-	-
C15	CG	307,19	NÃO	716,38	133,20%	355,36	NÃO	721,67	103,08%
C15	BT9	268,44	NÃO	507,44	89,03%	316,60	NÃO	503,47	59,02%
C15	BTL	198,58	NÃO	726,41	265,80%	246,74	NÃO	679,99	175,59%
Ângulo de conversão = 150°									
C15	CA	343,64	NÃO	484,36	40,95%	410,71	NÃO	509,36	24,02%
C15	BT7	343,64	SIM	-	-	410,71	SIM	-	-
C15	CG	343,64	NÃO	797,38	132,04%	410,71	NÃO	813,95	98,18%
C15	BT9	267,68	NÃO	559,30	108,94%	334,75	NÃO	559,16	67,04%
C15	BTL	130,73	NÃO	788,69	503,30%	197,80	NÃO	765,74	287,13%
Ângulo de conversão = 180°									
C15	CA	257,76	NÃO	474,89	84,24%	291,29	NÃO	478,01	64,10%
C15	BT7	257,76	NÃO	387,49	50,33%	291,29	NÃO	397,61	36,50%
C15	CG	257,76	NÃO	833,84	223,49%	291,29	NÃO	853,84	193,12%
C15	BT9	257,76	NÃO	588,49	128,31%	291,29	NÃO	541,00	85,73%
C15	BTL	257,76	NÃO	895,05	247,24%	291,29	NÃO	807,64	177,26%

Fonte: Elaborado pelo autor



**APÊNDICE I – ÁREAS DE CURVAS DE COMPOSTAS SIMÉTRICAS: ANÁLISE DNIT (2005)**

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 45°									
SR	CA	189,21	SIM	-	-	211,29	SIM	-	-
SR	BT7	189,21	SIM	-	-	211,29	SIM	-	-
SR	CG	189,21	NÃO	340,35	79,88%	211,29	NÃO	311,46	47,41%
SR	BT9	188,54	NÃO	236,06	25,20%	210,62	NÃO	224,79	6,73%
SR	BTL	187,32	NÃO	330,75	76,57%	209,40	NÃO	304,05	45,20%
Ângulo de conversão = 60°									
SR	CA	254,16	SIM	-	-	281,67	SIM	-	-
SR	BT7	254,16	SIM	-	-	281,67	SIM	-	-
SR	CG	254,16	NÃO	428,61	68,64%	281,67	NÃO	389,69	38,35%
SR	BT9	252,47	NÃO	286,46	13,46%	279,98	NÃO	287,26	2,60%
SR	BTL	249,43	NÃO	393,35	57,70%	276,94	NÃO	373,77	34,96%
Ângulo de conversão = 75°									
SR	CA	236,21	SIM	-	-	262,90	SIM	-	-
SR	BT7	236,21	SIM	-	-	262,90	SIM	-	-
SR	CG	236,21	NÃO	473,24	100,35%	262,90	NÃO	454,46	72,86%
SR	BT9	232,67	NÃO	344,38	48,01%	259,36	NÃO	309,08	19,17%
SR	BTL	226,29	NÃO	448,39	98,15%	252,99	NÃO	438,14	73,18%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 90°									
SR	CA	349,37	SIM	-	-	385,12	SIM	-	-
SR	BT7	349,37	SIM	-	-	385,12	SIM	-	-
SR	CG	349,37	NÃO	558,13	59,75%	385,12	NÃO	531,31	37,96%
SR	BT9	342,64	NÃO	391,47	14,25%	378,39	NÃO	386,42	2,12%
SR	BTL	330,51	NÃO	546,54	65,36%	366,26	NÃO	510,38	39,35%
Ângulo de conversão = 105°									
SR	CA	382,74	SIM	-	-	423,22	SIM	-	-
SR	BT7	382,74	SIM	-	-	423,22	SIM	-	-
SR	CG	382,74	NÃO	626,75	63,75%	423,22	NÃO	588,27	39,00%
SR	BT9	370,61	NÃO	449,29	21,23%	411,09	NÃO	419,90	2,14%
SR	BTL	348,74	NÃO	576,87	65,42%	389,23	NÃO	567,74	45,86%
Ângulo de conversão = 120°									
SR	CA	409,09	SIM	-	-	455,60	SIM	-	-
SR	BT7	409,09	SIM	-	-	455,60	SIM	-	-
SR	CG	409,09	NÃO	687,05	67,95%	455,60	NÃO	676,30	48,44%
SR	BT9	387,62	NÃO	476,80	23,01%	434,12	NÃO	471,67	8,65%
SR	BTL	348,91	NÃO	648,76	85,94%	395,42	NÃO	638,89	61,57%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 135°									
SR	CA	453,74	SIM	-	-	509,74	SIM	-	-
SR	BT7	453,74	SIM	-	-	509,74	SIM	-	-
SR	CG	453,74	NÃO	767,91	69,24%	509,74	NÃO	734,41	44,08%
SR	BT9	414,99	NÃO	513,19	23,66%	470,99	NÃO	533,09	13,18%
SR	BTL	345,12	NÃO	713,82	106,83%	401,12	NÃO	697,09	73,79%
Ângulo de conversão = 150°									
SR	CA	513,02	SIM	-	-	588,19	SIM	-	-
SR	BT7	513,02	SIM	-	-	588,19	SIM	-	-
SR	CG	513,02	NÃO	885,87	72,68%	588,19	NÃO	859,94	46,20%
SR	BT9	347,05	NÃO	573,31	65,20%	512,23	NÃO	611,31	19,34%
SR	BTL	300,10	NÃO	844,09	181,27%	375,28	NÃO	812,50	116,51%
Ângulo de conversão = 180°									
SR	CA	256,92	NÃO	513,24	99,77%	290,62	NÃO	509,28	75,24%
SR	BT7	256,92	NÃO	393,22	53,05%	290,62	NÃO	416,62	43,36%
SR	CG	256,92	NÃO	887,07	245,27%	290,62	NÃO	836,20	187,73%
SR	BT9	256,92	NÃO	644,49	150,85%	290,62	NÃO	608,56	109,40%
SR	BTL	256,92	NÃO	878,63	241,99%	290,62	NÃO	846,36	191,23%

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE J – ÁREAS DE CURVAS CIRCULARES COM TAPER: ANÁLISE DNIT (2005)**

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 45°									
SR	CA	221,48	SIM	-	-	247,20	SIM	-	-
SR	BT7	221,48	SIM	-	-	247,20	SIM	-	-
SR	CG	221,48	NÃO	323,22	45,94%	247,20	NÃO	314,61	27,27%
SR	BT9	220,81	NÃO	240,94	9,12%	246,52	SIM	-	-
SR	BTL	219,59	NÃO	321,33	46,33%	245,31	NÃO	318,62	29,88%
Ângulo de conversão = 60°									
SR	CA	317,49	SIM	-	-	351,98	SIM	-	-
SR	BT7	317,49	SIM	-	-	351,98	SIM	-	-
SR	CG	317,49	NÃO	415,45	30,85%	351,98	NÃO	407,26	15,71%
SR	BT9	315,81	NÃO	324,18	2,65%	350,30	SIM	-	-
SR	BTL	312,77	NÃO	410,73	31,32%	347,26	NÃO	412,13	18,68%
Ângulo de conversão = 75°									
SR	CA	297,20	SIM	-	-	331,60	SIM	-	-
SR	BT7	297,20	SIM	-	-	331,60	SIM	-	-
SR	CG	297,20	NÃO	494,28	66,31%	331,60	NÃO	479,31	44,54%
SR	BT9	293,67	NÃO	341,56	16,31%	328,07	NÃO	378,62	15,41%
SR	BTL	287,29	NÃO	484,37	68,60%	321,69	NÃO	484,17	50,51%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 90°									
SR	CA	368,14	SIM	-	-	409,09	SIM	-	-
SR	BT7	368,14	SIM	-	-	409,09	SIM	-	-
SR	CG	368,14	NÃO	560,86	52,35%	409,09	NÃO	567,83	38,80%
SR	BT9	361,41	NÃO	414,72	14,75%	402,36	NÃO	439,47	9,22%
SR	BTL	349,29	NÃO	542,00	55,17%	390,24	NÃO	570,75	46,26%
Ângulo de conversão = 105°									
SR	CA	423,84	SIM	-	-	470,45	SIM	-	-
SR	BT7	423,84	SIM	-	-	470,45	SIM	-	-
SR	CG	423,84	NÃO	651,85	53,80%	470,45	NÃO	644,63	37,02%
SR	BT9	411,71	NÃO	464,07	12,72%	458,32	NÃO	485,41	5,91%
SR	BTL	389,84	NÃO	617,85	58,49%	436,45	NÃO	642,37	47,18%
Ângulo de conversão = 120°									
SR	CA	419,49	SIM	-	-	470,31	SIM	-	-
SR	BT7	419,49	SIM	-	-	470,31	SIM	-	-
SR	CG	419,49	NÃO	746,98	78,07%	470,31	NÃO	764,19	62,49%
SR	BT9	389,02	NÃO	510,56	31,24%	448,84	NÃO	566,57	26,23%
SR	BTL	359,31	NÃO	686,80	91,14%	410,13	NÃO	751,48	83,23%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DAER-RS (1991)	Veículo de projeto relacionado ao DNIT (2010)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raio (m <sup>2</sup> )	Aumento de área
Ângulo de conversão = 135°									
SR	CA	607,70	SIM	-	-	680,55	SIM	-	-
SR	BT7	607,70	SIM	-	-	680,55	SIM	-	-
SR	CG	607,70	NÃO	852,37	40,26%	680,55	NÃO	867,59	27,48%
SR	BT9	568,95	NÃO	686,34	20,63%	641,80	NÃO	701,67	9,33%
SR	BTL	499,08	NÃO	811,10	62,52%	571,94	NÃO	896,02	56,66%
Ângulo de conversão = 150°									
SR	CA	529,89	SIM	-	-	605,38	SIM	-	-
SR	BT7	529,89	SIM	-	-	605,38	SIM	-	-
SR	CG	529,89	NÃO	806,24	52,15%	605,38	NÃO	855,67	41,34%
SR	BT9	453,93	NÃO	589,68	29,91%	529,41	NÃO	630,68	19,13%
SR	BTL	316,98	NÃO	736,17	132,24%	392,46	NÃO	869,01	121,43%
Ângulo de conversão = 180°									
SR	CA	292,73	NÃO	499,63	70,68%	327,90	NÃO	468,90	43,00%
SR	BT7	292,73	NÃO	447,43	52,85%	327,90	NÃO	447,90	36,60%
SR	CG	292,73	NÃO	842,83	187,92%	327,90	NÃO	822,90	150,96%
SR	BT9	292,73	NÃO	616,15	110,48%	327,90	NÃO	599,89	82,95%
SR	BTL	292,73	NÃO	861,49	194,30%	327,90	NÃO	840,87	156,44%

Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE K – ÁREAS DE CURVAS COMPOSTAS ASSIMÉTRICAS: BASEADAS NA AASHTO (2011)**

Veículo de projeto DNIT (2010)	Veículo de projeto relacionado a AASHTO (2011)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área
<b>Ângulo de conversão = 30°</b>									
CA	WB-62	-	-	-	-	-	-	-	-
BT7	WB-67	238,83	SIM	109,80	54,03%	266,61	SIM	124,06	53,47%
CG	WB-109D	286,68	SIM	235,45	17,87%	318,25	SIM	268,14	15,75%
BT9	WB-92D	225,84	SIM	218,82	3,11%	252,03	SIM	244,20	3,11%
BTL	WB-109D	286,14	SIM	286,14	0,00%	317,71	SIM	317,71	0,00%
<b>Ângulo de conversão = 45°</b>									
CA	WB-62	223,22	SIM	171,59	23,13%	300,49	SIM	182,82	39,16%
BT7	WB-67	283,91	SIM	139,03	51,03%	315,41	SIM	140,73	55,38%
CG	WB-109D	374,23	SIM	282,72	24,45%	411,68	SIM	274,36	33,36%
BT9	WB-92D	298,54	SIM	225,61	24,43%	330,35	SIM	215,57	34,74%
BTL	WB-109D	372,34	SIM	294,78	20,83%	409,79	SIM	283,20	30,89%
<b>Ângulo de conversão = 60°</b>									
CA	WB-62	294,91	SIM	218,90	25,77%	354,36	SIM	224,83	36,55%
BT7	WB-67	384,58	SIM	163,09	57,59%	423,06	SIM	151,34	64,23%
CG	WB-109D	465,94	SIM	312,30	32,97%	508,78	SIM	327,92	35,55%
BT9	WB-92D	390,32	SIM	245,49	37,11%	427,99	SIM	247,33	42,21%
BTL	WB-109D	461,22	SIM	341,45	25,97%	504,06	SIM	333,02	33,93%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DNIT (2010)	Veículo de projeto relacionado a AASHTO (2011)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área
Ângulo de conversão = 75°									
CA	WB-62	593,40	SIM	225,17	62,05%	585,77	SIM	233,34	60,17%
BT7	WB-67	401,63	SIM	192,94	51,96%	524,50	SIM	178,36	65,99%
CG	WB-109D	560,13	SIM	365,15	34,81%	548,04	SIM	371,49	32,21%
BT9	WB-92D	425,95	SIM	264,44	37,92%	386,91	SIM	272,07	29,68%
BTL	WB-109D	550,22	SIM	364,06	33,83%	538,12	SIM	356,35	33,78%
Ângulo de conversão = 90°									
CA	WB-62	476,52	SIM	259,10	45,63%	520,33	SIM	256,51	50,70%
BT7	WB-67	470,55	SIM	224,18	52,36%	516,10	SIM	205,28	60,22%
CG	WB-109D	623,97	SIM	423,87	32,07%	674,72	SIM	414,87	38,51%
BT9	WB-92D	527,24	SIM	297,89	43,50%	574,39	SIM	297,38	48,23%
BTL	WB-109D	605,11	SIM	418,91	30,77%	655,86	SIM	396,99	39,47%
Ângulo de conversão = 105°									
CA	WB-62	708,87	SIM	287,52	59,44%	769,77	SIM	271,32	64,75%
BT7	WB-67	562,72	SIM	236,30	58,01%	615,12	SIM	232,10	62,27%
CG	WB-109D	771,94	SIM	478,91	37,96%	831,81	SIM	445,16	46,48%
BT9	WB-92D	641,54	SIM	361,35	43,67%	696,38	SIM	318,37	54,28%
BTL	WB-109D	737,94	SIM	470,88	36,19%	797,81	SIM	467,31	41,43%

(continua)



(continuação)

Veículo de projeto DNIT (2010)	Veículo de projeto relacionado a AASHTO (2011)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área
Ângulo de conversão = 120°									
CA	WB-62	1052,58	SIM	363,71	65,45%	1125,28	SIM	380,99	66,14%
BT7	WB-67	692,15	SIM	277,49	59,91%	754,81	SIM	264,19	65,00%
CG	WB-109D	998,75	SIM	519,64	47,97%	1071,28	SIM	499,40	53,38%
BT9	WB-92D	750,01	SIM	380,90	49,21%	813,28	SIM	379,23	53,37%
BTL	WB-109D	938,57	SIM	509,94	45,67%	1011,10	SIM	501,13	50,44%
Ângulo de conversão = 135°									
CA	WB-62	1064,64	SIM	366,21	65,60%	1147,66	SIM	387,79	66,21%
BT7	WB-67	929,85	SIM	304,30	67,27%	1008,86	SIM	317,62	68,52%
CG	WB-109D	1331,14	SIM	605,00	54,55%	1421,91	SIM	565,82	60,21%
BT9	WB-92D	1144,81	SIM	420,89	63,23%	1230,10	SIM	445,85	63,75%
BTL	WB-109D	1222,52	SIM	589,88	51,75%	1313,29	SIM	572,68	56,39%
Ângulo de conversão = 150°									
CA	WB-62	1477,62	SIM	455,46	69,18%	1589,24	SIM	419,15	73,63%
BT7	WB-67	1703,71	SIM	355,21	79,15%	1685,89	SIM	336,60	80,03%
CG	WB-109D	2124,49	SIM	646,23	69,58%	2254,95	SIM	680,21	69,83%
BT9	WB-92D	1711,23	SIM	514,33	69,94%	1829,67	SIM	482,88	73,61%
BTL	WB-109D	1911,57	SIM	696,67	63,56%	2024,03	SIM	659,39	67,42%

(continua)

(continuação)

Veículo de projeto DNIT (2010)	Veículo de projeto relacionado a AASHTO (2011)	Largura = 3,50m				Largura = 4,00m			
		Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área	Área total de curva (m <sup>2</sup> )	Espaço suficiente	Área total de curva com alteração de raios (m <sup>2</sup> )	Redução de área
Ângulo de conversão = 180°									
CA	WB-62	563,19	NÃO	673,19	-19,53%	627,26	NÃO	693,56	-10,57%
BT7	WB-67	441,91	NÃO	588,85	-33,25%	494,94	NÃO	572,38	-15,65%
CG	WB-109D	600,51	NÃO	857,27	-42,76%	665,62	NÃO	863,20	-29,68%
BT9	WB-92D	472,29	NÃO	662,67	-40,31%	528,31	NÃO	666,28	-26,12%
BTL	WB-109D	600,51	NÃO	909,67	-51,48%	665,62	NÃO	905,92	-36,10%

Fonte: Elaborado pelo autor

**ANEXO A – RAIOS MÍNIMOS PARA BORDOS INTERNOS (DAER-RS, 1991)**

VEÍCULO DE PROJETO	ÂNGULO DE CONVERSÃO	CURVA CIRCULAR SIMPLES RAIO (m)	CURVA CIRCULAR COMPOSTA	
			RAIO (m)	AFASTAMENTO (m)
P C C 13 C 15	30°	18 30 45 60	- - - -	- - - -
P C C 13 C 15	45°	15 23 36 45	- - - 60-30-60	- - - 0.90
P C C 13 C 15	60°	12 18 30 -	- - - 60-23-60	- - - 1.00
P C C 13 C 15	75°	10 17 23 -	30-8-30 36-14-36 36-14-36 45-15-45	0.60 0.60 1.20 1.70
P C C 13 C 15	90°	9 15 - -	30-6-30 36-12-36 36-12-36 45-15-45	0.80 0.60 1.50 1.50
P C C 13 C 15	105°		30-6-30 30-10-30 30-10-30 45-12-45	0.80 0.90 1.50 2.00
P C C 13 C 15	120°		30-6-30 30-9-30 30-9-30 36-10-36	0.60 1.50 1.70 2.10
P C C 13 C 15	135°		30-6-30 30-9-30 30-9-30 36-9-36	0.50 1.50 1.50 2.50
P C C 13 C 15	150°		23-6-23 30-9-30 30-9-30 36-9-36	0.60 1.50 1.50 2.30
P C C 13 C 15	180°		15-5-15 30-9-30 30-6-30 36-8-36	1.50 1.50 3.00 3.30

Fonte: DAER-RS (1991)

**ANEXO B – RAIOS MÍNIMOS PARA BORDOS INTERNOS (DNIT, 2005)**

Ângulo de conversão	Veículo de projeto	Curva circular simples raio (m)	Curva composta de três centros		Curva circular simples com taper		
			Raios (m)	Afastam. (m)	Raio (m)	Afastamento (m)	Taper (m)
30°	VP	18	-	-	-	-	-
	CO	30	-	-	-	-	-
	SR	60	-	-	-	-	-
45°	VP	15	-	-	-	-	-
	CO	23	-	-	-	-	-
	SR	53	60-30-60	1,0	36	0,6	15:1
60°	VP	12	-	-	-	-	-
	CO	18	-	-	-	-	-
	SR	45	60-23-60	1,7	29	1,0	15:1
75°	VP	11	30-8-30	0,6	8	0,6	10:1
	CO	17	36-14-36	0,6	14	0,6	10:1
	SR	-	45-15-45	2,0	20	1,0	15:1
90°	VP	9	30-6-30	0,8	6	0,8	10:1
	CO	15	36-12-36	0,6	12	0,6	10:1
	SR	-	55-18-55	2,0	18	1,2	15:1
105°	VP	-	30-6-30	0,8	6	0,8	8:1
	CO	-	30-11-30	1,0	11	1,0	10:1
	SR	-	55-14-55	2,5	17	1,2	15:1
120°	VP	-	30-6-30	0,6	6	0,6	10:1
	CO	-	30-9-30	1,0	9	1,0	10:1
	SR	-	55-12-55	2,6	14	1,2	15:1
135°	VP	-	30-6-30	0,5	6	0,5	10:1
	CO	-	30-9-30	1,2	9	1,2	10:1
	SR	-	48-11-48	2,7	12	2,0	15:1
150°	VP	-	23-6-23	0,6	6	0,6	10:1
	CO	-	30-9-30	1,2	9	1,2	8:1
	SR	-	48-11-48	2,1	11	2,1	6:1
180°	VP	-	15-5-15	0,2	5	0,2	20:1
	CO	-	30-9-30	0,5	9	0,5	10:1
	SR	-	40-8-40	3,0	8	3,0	5:1

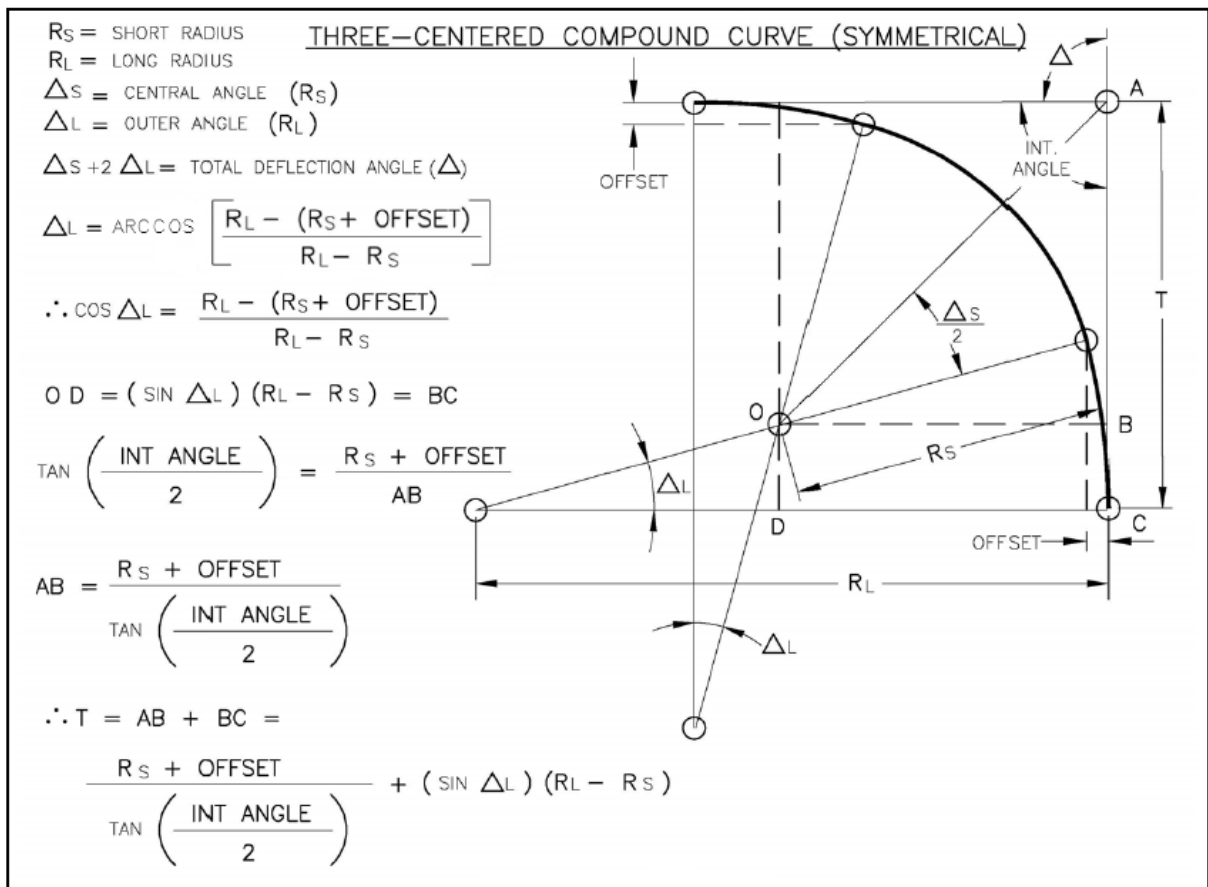
Fonte: DNIT (2005)

**ANEXO C – COMPOSIÇÕES DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS  
ASSIMÉTRICAS (AASHTO, 2011)**

Ângulo de curva	Veículo de projeto	Raios de curva (m)	Afastamentos assimétricos (m)
30°	WB-62	-	-
	WB-67	91-53-168	0,6-1,4
	WB-92D	61-46-168	0,6-1,8
	WB-109D	76-61-198	0,5-2,1
45°	WB-62	36-43-150	1,0-2,6
	WB-67	76-38-183	0,3-1,8
	WB-92D	61-43-152	0,5-1,8
	WB-109D	61-52-198	0,5-2,1
60°	WB-62	34-30-67	3,0-3,7
	WB-67	76-38-183	0,3-1,8
	WB-92D	46-34-152	0,9-2,7
	WB-109D	61-43-183	0,5-2,4
75°	WB-62	43-30-165	1,5-3,6
	WB-67	61-24-183	0,3-3,0
	WB-92D	46-30-152	0,3-2,4
	WB-109D	46-34-168	0,5-3,5
90°	WB-62	48-21-110	2,0-3,0
	WB-67	61-21-183	0,3-3,4
	WB-92D	46-27-152	0,5-2,6
	WB-109D	30-29-168	0,6-3,5
105°	WB-62	110-23-180	1,2-3,2
	WB-67	61-20-183	0,3-3,4
	WB-92D	46-24-152	0,6-3,0
	WB-109D	46-24-152	0,9-4,6
120°	WB-62	24-17-160	5,2-7,3
	WB-67	61-18-183	0,6-3,8
	WB-92D	46-21-137	0,9-3,2
	WB-109D	46-21-152	2,0-5,3
135°	WB-62	30-18-195	2,1-4,3
	WB-67	61-18-183	0,6-3,8
	WB-92D	46-20-137	2,1-4,1
	WB-109D	46-20-152	2,1-5,6
150°	WB-62	43-18-170	2,4-3,0
	WB-67	61-17-183	2,0-5,0
	WB-92D	37-20-137	1,8-4,0
	WB-109D	61-20-152	2,7-5,6
180°	WB-62	30-17-275	4,5-4,5
	WB-67	30-17-122	1,8-4,6
	WB-92D	37-18-122	2,7-4,4
	WB-109D	61-18-152	3,0-6,4

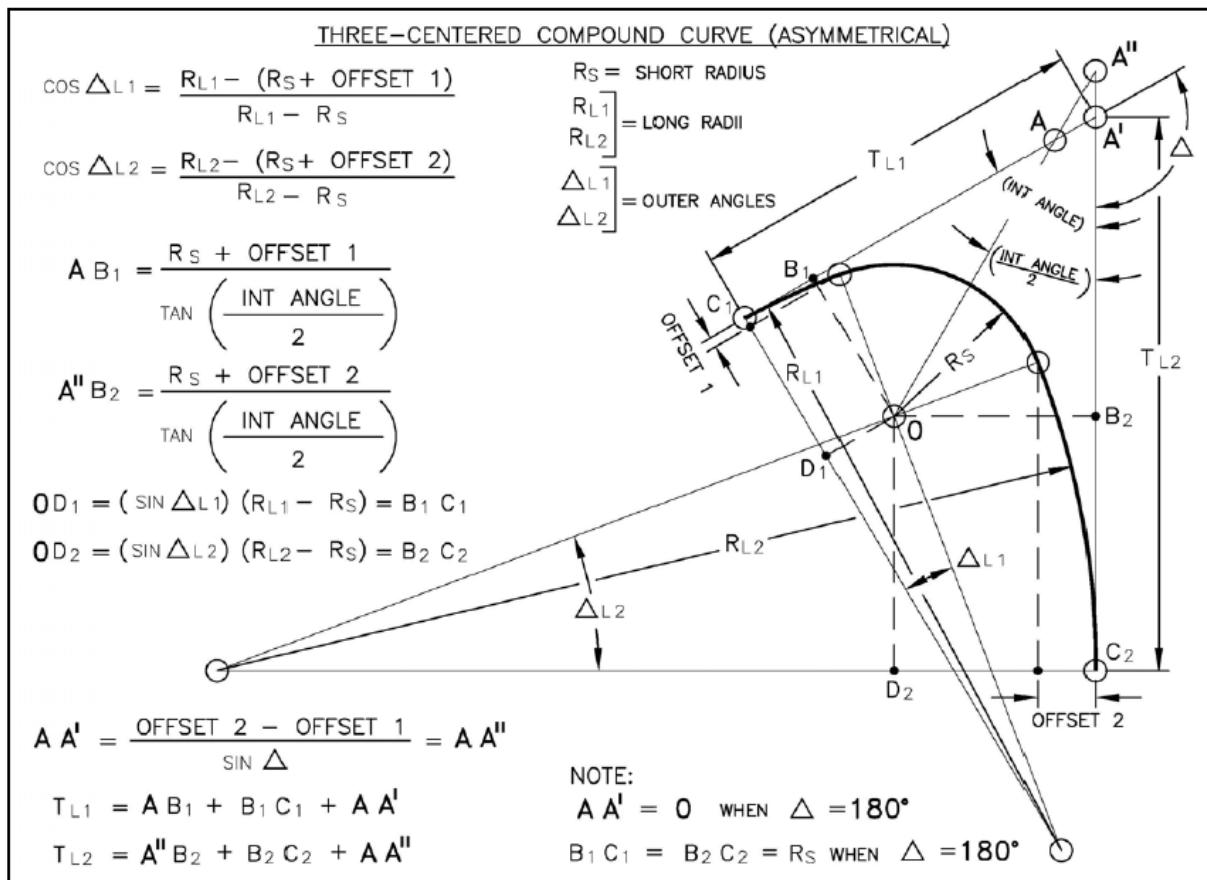
Fonte: Adaptado da AASHTO (2011)

**ANEXO D – METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS SIMÉTRICAS (CODOT, 2018)**



Fonte: CODOT (2018)

**ANEXO E – METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CURVAS COMPOSTAS DE TRÊS CENTROS ASSIMÉTRICAS (CODOT, 2018)**



Fonte: CODOT (2018)