

ANÁLISE DE UMA CURVA NA BR-163 NO CONTORNO OESTE DE CASCAVEL-PARANÁ

SILVA, Breno Henrique da.¹
BERNARDO, Luís Felipe Domingues²

RESUMO: O projeto geométrico de rodovias é essencial no planejamento e construção das estradas, envolvendo o dimensionamento de elementos como alinhamentos horizontais e verticais, largura das pistas, curvas, interseções e acessos. As curvas, em particular, exigem atenção especial, com a definição de raios adequados, aplicação de superelevação e transições suaves entre curvas e trechos retos, visando garantir a segurança e o conforto dos usuários. O presente estudo foi elaborado com o intuito de analisar a conformidade de uma curva na BR-163, próximo a Cascavel-PR, com as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. A pesquisa foi realizada com base na análise de cálculos de uma curva na BR-163, entre os km 201,24 e 202,42, próximo a Cascavel-PR. Foram calculados a superelevação, o raio mínimo, a velocidade diretriz, a superlargura e determinada a classe rodoviária do trecho. Após a coleta de dados, foi feita uma análise comparativa para verificar a conformidade entre os valores projetados e os resultados obtidos pelos pesquisadores. Os resultados mostraram que a sequência dos cálculos até os valores das estacas está em conformidade com o projeto. Além disso, observa-se que o projeto está correto, havendo apenas algumas alterações nos valores adotados, visando o aprimoramento do desenvolvimento da curva e oferecendo melhor dirigibilidade para os usuários da via. Dessa forma, conclui-se que a adaptação do raio e o consequente ajuste na superelevação foram decisões essenciais para a viabilidade do projeto, garantindo a compatibilidade com o traçado anterior, a segurança e o conforto dos usuários da via.

Palavras-chave: Curva. Contorno oeste. Raio mínimo. Superelevação. Superlargura.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura brasileira desempenha um papel crucial no crescimento do país, e, dentro desse contexto, o setor de transporte ocupa uma posição de destaque, dada sua influência direta no desenvolvimento socioeconômico nacional. As rodovias brasileiras, em particular, são fundamentais para garantir o acesso a bens de diversos tipos, além de promover a expansão de mercados e viabilizar o transporte de cargas e passageiros. A história das estradas no Brasil remonta ao período imperial, quando a coroa construiu a Calçada de Lorena — um caminho estreito e pavimentado que permitia a travessia de cavaleiros do litoral paulista até a capital, São Paulo (Contesini, 2024).

De acordo com o Anuário da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), a malha rodoviária do Brasil abrange mais de 1,7 milhão de quilômetros. Desses,

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR. E-mail: brenoh04@icloud.com

² Docente, Especialista, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR.

aproximadamente 61% apresentam algum tipo de problema, como deficiências na pavimentação, sinalização inadequada ou falhas geométricas. Entre as falhas geométricas mais críticas, destacam-se as relacionadas a curvas mal projetadas, que representam um risco significativo para a segurança viária, podendo ocasionar acidentes graves.

Além disso, a CNT (2023), divulgou que 67,5% das rodovias brasileiras são classificadas como regulares, ruins ou péssimas, enquanto apenas 32,5% apresentam condições consideradas ótimas ou boas. A Confederação também realizou um levantamento abrangendo mais de 111 mil quilômetros de rodovias pavimentadas, identificando diversos pontos críticos, como quedas de barreiras, pontes danificadas e erosões nas pistas. Como resultado, a avaliação aponta que 56,8% das rodovias apresentam condições regulares, ruins ou péssimas, enquanto 43,2% são classificadas como ótimas ou boas.

Sabe-se que, o projeto geométrico de rodovias é uma parte fundamental do processo de planejamento e projeto de rodovias. Ele abrange o dimensionamento e o *layout* de diversos elementos físicos da estrada, como alinhamentos horizontais e verticais, largura das pistas, curvas, interseções e acessos. Dentre esses elementos, as curvas são particularmente críticas, exigindo uma atenção especial na definição de raios de curvatura adequados, na aplicação de superelevação (ou inclinação lateral) nas curvas, e na criação de transições suaves entre as curvas e os trechos retos. Essas medidas são essenciais para garantir a segurança e o conforto dos usuários da via (JBR Engenharia LTDA, 2023).

Ademais, a geometria e a cinemática são alicerces fundamentais no desenvolvimento de tais projetos, garantindo que o condutor tenha rápido entendimento das interseções e que a sinalização determine a ordem de prioridades de tráfego (JBR Engenharia LTDA, 2023)

A partir dessas informações, a justificativa para a realização desta pesquisa está fundamentada na importância de um adequado dimensionamento geométrico das rodovias, essencial para garantir a segurança e a eficiência do sistema viário. As curvas, em particular, desempenham um papel crucial no projeto rodoviário e no resguardo das rodovias, influenciando diretamente na segurança dos usuários, no conforto dos passageiros e na estética da via. A geometria da estrada, que envolve aspectos como a largura das faixas, o raio das curvas, o tipo de pavimento e as interseções, é determinante para o desempenho da via. Curvas excessivamente fechadas ou subidas íngremes, se mal projetadas, podem representar sérios riscos. Portanto, a pesquisa buscou também propor soluções para otimizar o *design* das curvas, visando melhorar a experiência dos usuários e reduzir o risco de acidentes.

Assim, um dimensionamento adequado da curva pode promover uma integração mais eficiente entre os diferentes modos de transporte, como automóveis, ônibus e caminhões,

facilitando o acesso a áreas urbanas e industriais próximas à rodovia. Nesse sentido, a pesquisa não só contribui para o aprimoramento do projeto rodoviário, mas também favorece o desenvolvimento pessoal e a expansão do aprendizado, proporcionando novos conhecimentos e habilidades que impulsionam o crescimento intelectual e profissional.

Além dos aspectos de segurança e eficiência, a pesquisa também aborda a questão do tombamento. O tombamento de veículos em curvas, devido a inadequada geometria da via, é uma preocupação séria que pode resultar em acidentes graves e até fatais. A partir dessa análise, ao examinar as curvas da BR-163, os pesquisadores podem identificar potenciais pontos de vulnerabilidade onde o tombamento de veículos é mais provável de ocorrer. Com base nessa identificação, é possível desenvolver medidas de mitigação, como a correção do traçado da via e ajustes nas características da estrada no local, visando aumentar a segurança e reduzir os riscos de acidentes.

Para tanto, a pergunta a ser respondida com a realização dessa pesquisa foi: A curva que foi analisada encontra-se em conformidade com os parâmetros do projeto e com as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)?

Este estudo foi limitado à análise da curva localizada na BR-163, próxima à cidade de Cascavel, no Paraná. As análises foram realizadas com base no projeto da curva. Sendo assim, foram efetuados os cálculos para verificar se ela está em conformidade com as normas e os parâmetros de projeto.

Em suma, o objetivo geral deste trabalho foi analisar de forma detalhada a curva na BR-163, localizada entre os km 201,24 e 202,42, nas proximidades da cidade de Cascavel-PR.

Salienta-se que, para que este trabalho científico pudesse ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Levantar a superelevação e superelevação real da curva;
- b) Verificar o raio mínimo e o raio adotado (projeto);
- c) Dimensionar o cálculo da curva e comparar com o projeto existente da curva.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Rodovias

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999), afirma que o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (MPGRR) foi elaborado pela Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico (IPR), sob o patrocínio do contrato firmado entre a Associação

Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o próprio DNER. A Principal finalidade do manual é atualizar e consolidar as noções básicas para elaboração de um projeto geométrico de rodovia rural, tendo em vista as diversas inovações ocorridas no modal.

De acordo com a JBR Engenharia (2023), o projeto geométrico é uma das etapas fundamentais no desenvolvimento de rodovias seguras e eficientes. Ele é responsável por definir aspectos essenciais, como a capacidade da via, o traçado, e a determinação dos volumes de movimentação de terra, além das áreas de serviços que precisam ser executadas. Além disso, é fundamental que, para cada tipo de obra, sejam consideradas as características específicas da via, como o tipo de terreno, a demanda de tráfego e as restrições ambientais.

Segundo o Painel de Acidentes Rodoviários (CNT, 2022), em 2022 foram registrados nas rodovias federais do Paraná um total de 7.348 acidentes, dos quais aproximadamente 5.785 envolveram vítimas. Isso representa uma média de 15 acidentes com vítimas a cada 10 km de rodovia. Entre os tipos de acidentes, capotamentos e tombamentos ocuparam a terceira posição, correspondendo a 10,3% dos casos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Acidentes com vítimas e mortes por Tipo de acidente - 2022

Tipo de acidente	Acidentes	%	Mortes	%
Colisão	3.435	59,3%	324	56,7%
Saída de Pista	1.047	18,1%	83	14,6%
Capotamento/Tombamento	594	10,3%	38	6,7%
Atropelamento	404	7,0%	117	20,5%
Queda de Ocupante	285	4,9%	5	0,9%
Eventos atípicos	15	0,3%	2	0,4%
Incêndio	1	0,0%	0	0,0%
Derramamento de Carga	4	0,1%	1	1,0%
Total	5.785	100,0%	570	100,0%

Fonte: Painel CNT de Acidentes Rodoviários (2022).

Embora a maior parte dos acidentes em rodovias aconteça em trechos retos, são em curvas que ocorrem acidentes com maior severidade. Estudos que investigaram a influência de parâmetros geométricos na severidade de acidentes em rodovias de pista simples identificaram que o raio da curva tem um papel crucial na redução da gravidade dos acidentes (Andriola, Torres e Garcia, 2019).

2.2 Classes de projeto

Segundo informações do DNIT (2010), cada classe de projeto de rodovia tem seus próprios critérios de projeto e padrões de geometria, largura de pista, superelevação, raio de curvatura, distâncias de visibilidade, entre outros. Esses critérios são estabelecidos para garantir a segurança, a capacidade de tráfego e a eficiência operacional adequadas para cada tipo de rodovia, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2: Critérios de classificação de rodovias
Tabela 3 - Critérios de classificação de rodovias

CLASSE DE PROJETO (1)		CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA (2)	VELOCIDADE DE PROJETO POR REGIÃO (km/h)		
				Plana	Ondulada	Montanhosa
0		Via Expressa – controle total de acesso	Decisão administrativa	120	100	80
I	A	Pista dupla – Controle parcial de acesso	O volume de tráfego previsto reduzirá o nível de serviço em uma rodovia de pista simples abaixo do nível "C" ⁽⁴⁾	100	80	60
	B	Pista simples	Volume horário de projeto VHP > 200 Volume médio diário VMD > 1400			
II		Pista simples	Volume médio diário VMD 700 - 1400	100	70	50
III		Pista simples	Volume médio diário VMD 300 - 700	80	60	40
IV		Pista simples	Volume médio diário VMD < 300	80 - 60 (3)	60 - 40 (3)	40 - 30 (3)

Fonte: DNIT (2010).

2.3 Projeto rodoviário: superlargura, superelevação e raio mínimo

Para Viana (2019), a superlargura é o aumento da largura da pista em trechos de curva, com o objetivo de melhorar as condições de conforto e segurança, especialmente em vias que recebem veículos de grande porte, como caminhões. A superlargura é aplicada exclusivamente em curvas, pois veículos maiores ocupam fisicamente mais espaço lateral do que sua própria largura, e quanto maior o veículo, maior será o espaço ocupado por ele. Essa medida é dispensada em curvas com raios grandes, em relação à velocidade diretriz de projeto. Os valores mínimos de raio para que a superlargura seja necessária estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3: Valores dos raios acima dos quais é dispensável a superlargura

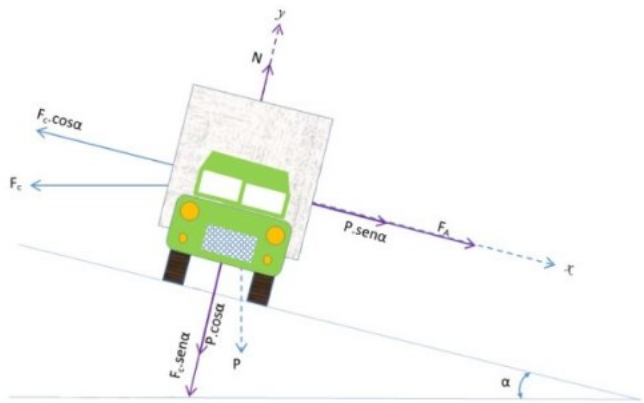
Largura básica da pista em tangente = 7,20 m									
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	Tipo de veículo
R (m)	130	160	190	220	260	310	360	420	CO
R (m)	270	300	340	380	430	480	540	600	SR

Largura básica da pista em tangente = 6,60 m									
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	–	–	Tipo de veículo
R (m)	340	430	550	680	840	1000	–	–	CO

Fonte: Viana (2019).

Ainda, Viana (2019), afirma que superelevação nada mais é do que a inclinação da seção transversal de uma pista de rolamento (em relação ao eixo da estrada), geralmente expressa em % ou m/m. Quando o veículo entra em uma trajetória curva, ele passa a sentir os efeitos da força centrífuga, que age no sentido de dentro para fora da curva, dificultando a realização do percurso. Dessa forma, a superelevação é utilizada para contrabalançar a força centrífuga e os esforços laterais, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Forças que atuam no veículo em curva



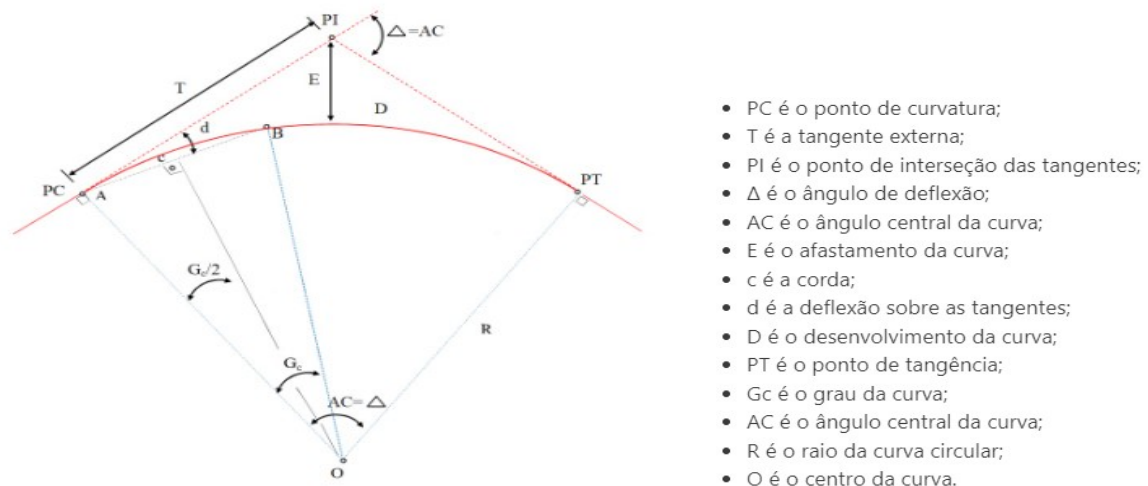
Fonte: Viana (2019).

2.4 Curva horizontal simples e curva horizontal de transição

Uma curva é considerada simples quando seu raio é constante, ou seja, quando é utilizada uma única curva circular para realizar a transição entre trechos retilíneos da estrada.

Esse tipo de curva é amplamente utilizado devido à sua simplicidade no projeto e na implantação (Viana, 2019). Na Figura 5, é possível observar os componentes da curva horizontal simples com as especificações de cada item.

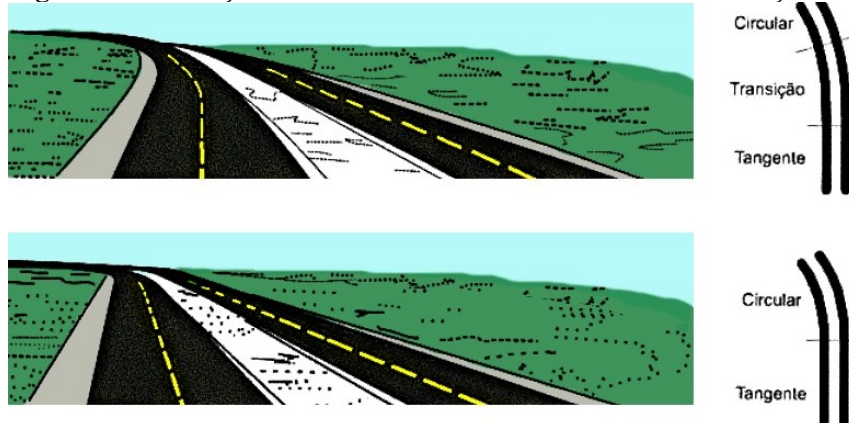
Figura 5: Forças que atuam no veículo em curva com as especificações de cada item



Fonte: Viana (2019).

Em contrapartida, as curvas de transição permitem uma mudança gradual de um trecho reto para uma curva circular, o que resulta em um aumento progressivo da aceleração centrífuga. Dessa forma, as curvas de transição contribuem para uma maior segurança dos usuários, ajudando a evitar acidentes graves. Na Figura 6, é possível observar as diferenças entre uma curva horizontal com transição e uma curva horizontal simples (Viana, 2019).

Figura 6: Diferença entre as curvas horizontais com e sem transição



Fonte: Viana (2019).

3. METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

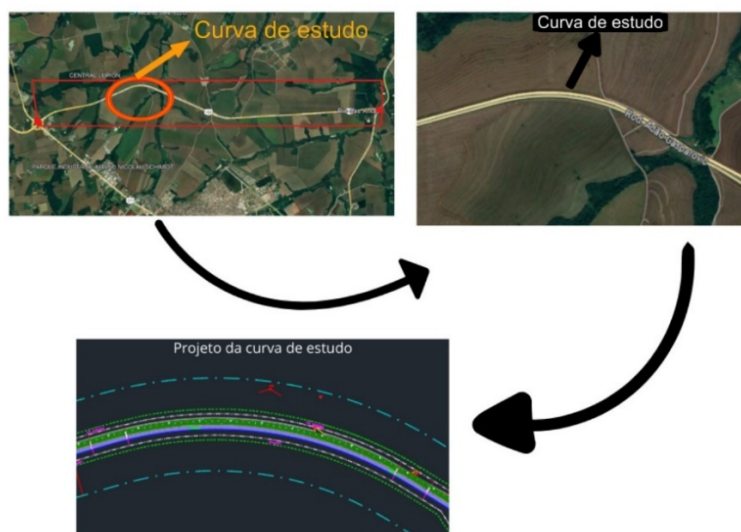
A pesquisa foi elaborada a partir da análise e de cálculos de uma curva localizada na BR-163, localizada entre os km 201,24 e 202,42, nas proximidades da cidade de Cascavel-PR.

O processo de análise foi inicialmente realizado por meio de cálculos baseados no projeto da curva em questão. Foram calculados a superelevação, o raio mínimo, a velocidade diretriz e a superlargura, além de ser determinada a classe rodoviária da BR-163 no trecho onde a curva está localizada. Após a coleta de dados, foi conduzida uma análise comparativa para verificar se os valores projetados estão de acordo com os resultados encontrados pelos pesquisadores.

3.2 Caracterização da amostra

O estudo analítico, de caráter quantitativo, foi realizado em uma curva da BR-163, localizada no contorno oeste de Cascavel-PR, ao longo de um trecho de 18 km. Essa curva faz parte da nova duplicação da rodovia, que conecta a BR-467 à BR-277, conforme ilustrado na Figura 8. A rodovia possui pista dupla nos dois sentidos e estabelece limites de velocidade de 110 km/h para veículos leves e 90 km/h para veículos pesados.

Figura 8: Figura representante da curva pelo projeto



Fonte: Autor (2024).

Sendo assim, foram extraídos os dados do projeto da curva, os quais foram empregados para realizar os cálculos necessários para a comparação dos valores utilizados no projeto. No quadro 1, pode-se observar os valores obtidos do projeto da curva.

Quadro 1: Dados de Cálculo Retirados do Projeto

Dados de Cálculo Retirados do Projeto			
Raio	1228m	400m	VALOR ADOTADO
Rmin	357,91m	357,91m	357,91m
Superelevação real	6%	6%	6%
μ	0,12	0,12	0,12
V(velocidade)	110km/h	110km/h	110km/h
Ângulo de deflexão	48,018°	48,018°	48,018°

Fonte: Autor (2024).

3.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi realizada com base no projeto fornecido pelo Professor Orientador, Especialista e Engenheiro Civil Luís Felipe Domingues Bernardo. Para isso, foram efetuados cálculos manuais, e os resultados obtidos foram comparados com os valores utilizados no projeto. A coleta de dados e os cálculos, realizados entre os meses de junho e julho de 2024, também serviram para a análise detalhada do projeto. Ainda, para a coleta de dados foram utilizadas as equações para cálculos do MPGRR (DNER, 1999), em conjunto com o material bibliográfico pertinente.

3.3.1 Cálculo de raio mínimo

O cálculo para obtenção do raio mínimo é realizado de acordo com a Equação 1 do MPGRR (DNER, 1999).

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 \times (\frac{E_{max}}{100} + \mu)} \quad (1)$$

Onde:

R: raio da curva (m);

V: velocidade de pista (km/h);

E_{max}: superelevação máxima (%).

3.3.2 Cálculo da Superelevação

A Superelevação corresponde à inclinação da seção transversal de uma pista de rolamento em relação ao eixo da estrada, e é geralmente expressa em porcentagem. É utilizada para contrabalancear a força centrífuga e os esforços laterais, de modo a auxiliar o veículo a realizar a curva de maneira mais confortável e segura. O cálculo para obtenção da taxa de superelevação é realizado de acordo com a Equação 2 do MPGRR (DNER, 1999).

$$e = \frac{E_{max}}{100} \times \left(\frac{2R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

R: raio da curva (m);

E_{max}: superelevação máxima (%);

e: superelevação (%);

R_{min}: raio mínimo circular (m).

3.3.3 Ângulo de deflexão

As Equações 3 e 4 são utilizadas para determinar os ângulos de deflexão e seus valores são encontrados na representação da curva (DNER, 1999).

$$Az_{1-2} = Az_{0-1} + I_1 \quad (3)$$

$$Az_{2-3} = Az_{1-2} + I_2 \quad (4)$$

3.3.4 Cálculo da curva de projeto

Para a realização do cálculo da curva, além do ângulo de deflexão e da superlargura, é necessário utilizar outras equações (Equações 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16), as quais serão apresentadas ao longo do texto (DNER, 1999).

3.3.4.1 Cálculo do comprimento da curva (Lc1)

O Lc1 representa o comprimento do trecho de transição (Pereira, 2010), é e determinado pela Equação 5.

$$Lc1 = 6 \times \sqrt{R1} \quad (5)$$

Onde:

R1= raio da curva (m).

3.3.4.2 Cálculo do ângulo da espiral (Sc1)

O Sc1 determina o ponto de transição da espiral para a curva circular (Pereira, 2010), e é obtido a partir da Equação 6.

$$Sc1 = \frac{Lc1}{2 \times R1} \quad (6)$$

Onde:

R1= raio da curva (m);

Lc1= comprimento da curva (m).

3.3.4.3 Cálculo das coordenadas cartesianas (X1, Y1)

As coordenadas X1 e Y1 correspondem ao ponto osculador ST1 (Pereira, 2010), conforme Equações 7 e 8.

$$X1 = Lc1 \times \left(1 - \frac{Sc1^2}{10} + \frac{Sc1^4}{216}\right) \quad (7)$$

$$Y1 = \frac{Lc1 \times Sc1}{3} \times \left(1 - \frac{Sc1^2}{14} + \frac{Sc1^4}{440}\right) \quad (8)$$

Onde:

Lc1= comprimento da curva (m);

Sc1= ângulo da espiral (m).

3.3.4.4 Cálculo dos elementos da tangente exterior e seu comprimento (TT)

$$K1 = XSc1 - R1 \times \sin Sc1 \quad (9)$$

$$p1 = YSc1 - R1 \times (1 - \cos Sc1) \quad (10)$$

$$TT = K1 + (R1 \times p1) \times \tan \frac{\Delta}{2} \quad (11)$$

3.3.4.5 Localização do ponto Sc1

O ponto onde termina o primeiro ramo da espiral e inicia o ramo circular é conhecido como ponto Sc1 (Pereira, 2010), e é determinado pela Equação 12.

$$Sc1 = Ts1 + Lc \quad (12)$$

3.3.4.6 Localização do ponto CS1

Para o cálculo de CS1, ponto onde termina o primeiro ramo circular da curva e começa o segundo ramo da espiral (Pereira, 2010), utiliza-se as Equações 13, 14 e 15.

$$AC1 = (2 \times Sc1) + ACc1 \quad (13)$$

$$DC1 = \frac{\pi \times R \times ACc1}{180} \quad (14)$$

$$CS1 = Sc1 + DC1 \quad (15)$$

3.3.4.7 Localização do ponto ST1

O ponto ST1 é o ponto de transição entre o segundo ramo da espiral da curva para a tangente (Pereira, 2010), e é obtido a partir da Equação 16.

$$ST1 = CS1 + Lc \quad (16)$$

3.3.5 Análise dos dados

Após a coleta de dados, realizou-se a análise comparativa com base na revisão bibliográfica e nos valores utilizados no projeto, verificando sua conformidade com as normas do DNIT. Os dados foram organizados em uma planilha no Excel e, em seguida, comparados por meio de um gráfico com os cálculos já existentes para a curva em questão.

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

Com relação ao raio mínimo, este sempre é utilizado com números inteiros, nesse caso, o valor obtido de 357,91 m calculados na Equação 1, no qual se encontra na página 10 deste artigo, juntamente com dados fornecidos no Quadro 1, página 9, foi arredondado para 400 m. No entanto, o raio adotado no projeto foi de 1.228 m, devido à condição topográfica favorável do local e, principalmente, por se tratar de uma duplicação, onde o traçado costuma manter-se paralelo à pista de rolamento original. Para os cálculos subsequentes, foram utilizadas as Equações apresentadas no Capítulo 3 deste artigo, juntamente com os dados extraídos, os quais estão dispostos no Quadro 1.

4.1 Cálculo de curva utilizando o raio de 1.228 m

4.1.1 Cálculo da superelevação.

Sabe-se que a superelevação é uma inclinação transversal criada para compensar a força centrífuga que atua sobre os veículos durante a curva (Pereira, 2010). Sendo assim, após realização dos cálculos, foi obtido o valor $e = 5\%$. Entretanto, o ângulo de deflexão foi obtido com base em dados provenientes de um projeto anterior, que indicaram o valor de $48,018^\circ$.

4.1.2 Cálculo do comprimento do trecho de transição.

Para o $Lc1$, após a realização do cálculo, obteve-se o valor de 210,256 m. Contudo, no projeto, o valor adotado foi de 120 m. Para garantir que os cálculos se mantenham dentro dos parâmetros estabelecidos, o valor de 120 m será mantido nos cálculos subsequentes.

4.1.3 Transição da espiral

Já, para o $Sc1$, foi encontrado um valor de 0,048 rad, o que é equivalente a $2,75^\circ$.

4.1.4 Coordenadas X, Y e valores $K1$, $P1$ e TT .

Com relação às coordenadas $X1$ e $Y1$, após os cálculos, obteve-se que $X1 = 120$ m e $Y1 = 1,92$ m. Quanto aos valores de $K1$, $P1$ e TT (tangente total), temos que $K1 = 61,08$ m, $P1 = 0,505$ m e $TT = 337,30$ m. No caso de TT , o valor adotado em projeto foi 506 m, e, para manter a consistência com o projeto, este valor será utilizado nos cálculos.

4.1.5 $TS1$ tangente-espiral

O ponto $TS1$ é considerado o ponto de curva, e é o ponto onde finda a tangente e tem início o primeiro ramo da espiral (Pereira, 2010). O valor deste foi obtido diretamente do projeto, onde constava o valor de estaca $176 + 18,64$ que, transformando para metros, totaliza 3.538,64 m.

4.1.6 $SC1$ espiral-circular.

Para o valor de $SC1$, obteve-se 3.658,64 m, que, ao ser convertido para estaca, corresponde a $E182 + 18,64$.

4.1.7 $CS1$ circular-espiral.

Para a obtenção do valor de $CS1$, calculou-se primeiramente o $AC1$ (ângulo-central) com resultado de $42,518^\circ$. Após isso, foi realizado o cálculo de $DC1$ (desenvolvimento do

trecho circular) com resultado de 911,27 m. Por fim, o cálculo de CS1 foi realizado e obteve-se o valor de 4.569,91 m, o qual, convertido para estaca, corresponde a E228 + 9,91.

4.1.8 ST1 espiral-tangente.

Por último, realizou-se o cálculo do ST1, a equação correspondente à soma do CS1 com o Lc, resultando no valor de 4.689,91 m, que, convertido para estaca, equivale a E234 + 9,91.

4.2 Cálculo da curva utilizando o raio de 400 m.

4.2.1 Cálculo da superelevação e comprimento do trecho de transição.

Realizando os cálculos da superelevação, obteve-se $e = 10\%$. O ângulo de deflexão não precisou ser recalculado, pois já constava no projeto com o valor de $48,018^\circ$. Ao calcular o Lc1, obteve-se o valor de 120 m. Ainda, para o ponto Sc1, o valor encontrado foi 0,15 rad, equivalente a $8,59^\circ$, e as coordenadas X1 e Y1 resultaram em $X1 = 120$ m e $Y1 = 6$ m.

4.2.2 Coordenadas X, Y e valores K1, P1 e TT.

Quanto aos valores de K1, P1 e TT, temos: $K1 = 60,25$ m, $P1 = 1,51$ m e $TT = 329,28$ m. No caso de TT, o valor adotado no projeto foi 506 m, sendo este mantido para garantir a consistência com o projeto.

4.2.3 TS1 tangente-espiral.

O valor do ponto TS1 foi retirado diretamente do projeto, onde constava valor de estaca 176 + 18,64, totalizando 3.538,64 m. Já, o valor do ponto SC1 encontrado foi 3.658,64 m, que, convertido para estaca, corresponde a E182 + 18,64 m.

4.2.4 CS1 circular-espiral.

Para a obtenção do ponto CS1, iniciou-se com o cálculo de AC1, que resultou em $30,838^\circ$. A partir disso, calculou-se o DC1, resultando em 215,29 m, chegando ao valor de CS1 igual a 3.873,93 m, que, convertido para estaca, corresponde a E193 + 13,93 m.

4.2.5 ST1 espiral-tangente.

Por fim, o ponto ST1, obtido pela soma de CS1 com Lc, resultou em 3.993,93 m, o que, convertido para estaca, equivale a E199 + 13,93 m.

4.3 Observações da superelevação.

Ao calcular o valor da superelevação, observa-se uma diferença entre os raios: para o raio de 400 m, a superelevação é de 10%, enquanto para o raio de 1.228 m, é de 5%. Assim, o projeto adotou uma superelevação de 6%, visando proporcionar maior conforto aos motoristas que utilizam essa via.

Quanto ao valor adotado de 120 m para o Lc, o projeto foi inicialmente calculado com o raio de 400 m. Posteriormente, o raio foi alterado para 1.228 m. No entanto, como o Lc para o raio de 1.228 m resultou em 210,256 m, um valor consideravelmente elevado, optou-se por manter o Lc calculado com o raio de 400 m, ou seja, os 120 m originalmente adotados.

Neste caso, acredita-se que o aumento do raio tenha sido uma estratégia para reduzir a alta porcentagem da superelevação. Dessa forma, o projetista optou por aumentar o raio, mantendo o Lc = 120 m, o que resultou em uma superelevação mais adequada, com o valor reduzido para 6%.

4.4 Resumo dos resultados obtidos.

Após a obtenção desses valores e utilizando os parâmetros adotados, a sequência dos cálculos até os valores das estacas está em conformidade com o projeto. Além disso, observa-se que o projeto está correto, havendo apenas algumas alterações nos valores adotados, visando o aprimoramento do desenvolvimento da curva e oferecendo melhor dirigibilidade

para os usuários da via. Em suma, o Quadro 2 apresenta todos os valores calculados, com os diferentes raios utilizados, bem como os valores adotados para o projeto final.

Quadro 2: valores encontrados a partir dos cálculos

VALORES ENCONTRADOS			
CALCULOS	400m	1228m	ADOTADO EM PROJETO
E% (superelevação)	10%	5%	6%
lc1	120m	210,256m	120m
Sc1	0,15rad ou 8,59°	0,048rad ou 2,75°	0,048rad ou 2,75°
X1	120m	120m	120m
Y1	6m	1,92m	1,92m
K1	60,25m	61,08m	61,08m
P1	1,51m	0,505m	0,505m
TT	329,28m	337,30m	506m
TS1	E176+18,64m	E176+18,64m	E176+18,64m
SC1	E182+18,64m	E182+18,64m	E182+18,64m
AC1	30,838°	42,518°	42,518°
DC1	215,29m	911,27m	911,27m
CS1	E193+13,93m	E228+9,91m	E228+7,79m
ST1	E199+13,93m	E234+9,91m	E234+7,79m

Fonte: Autor (2024).

Ao observarmos o quadro pode-se verificar um ganho de qualidade e conforto dos resultados obtidos com o raio de maior extensão, 1228 metros em comparação ao raio mínimo calculado, de 400 metros, nota-se um desenvolvimento de curva circular, DC1, mais extenso, com aumento de 423% o que gera mais suavidade na dirigibilidade mas mantendo o usuário atendo ao traçado, outro dado importante resultado dessa adoção é a diminuição da taxa de superelevação da pista de 10% para 6%, que além dos benefícios citados anteriormente também gera um ganho executivo durante o período de obras,.

Tratando-se ainda da taxa de superelevação e dos raios de 1228 metros, verificamos uma diferença entre os valores encontrados no cálculo (5%) e adotados no projeto (6%), acredita-se que essa adoção por parte do projetista parta da manutenção do segmento da curva em espiral (lc1), de 120 metros, contra os 210,256 metros calculados, necessitando de maior segurança ao usuário que pode ser proporcionada pela variação da taxa de superelevação, esse fator se estende por toda a curva e resulta no mesmo benefício.

Salienta-se que a curva em questão analisada é objeto de um projeto de duplicação de pista já existente o que nesse caso pode ter limitado o projetista à manutenção de traçado da

via paralela, podendo ser fruto de questões topográficas, de desapropriação de faixas de domínio, custos em fase executiva dentre outros parâmetros que podem interferir nessa decisão, e que muitas das soluções propostas por ele como por exemplo o aumento da tangente exterior da curva (TT), podem ter origem ou estarem atreladas a esse fator.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar o projeto de uma curva da BR-163 no contorno oeste de Cascavel-PR, considerando aspectos técnicos essenciais como o raio de curvatura, a superelevação e a compatibilidade com o traçado existente da pista simples. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a decisão de aumentar o raio da curva de 400 m para 1.228 m foi uma estratégia eficaz para atender às exigências do projeto. Essa alteração possibilitou o alinhamento da nova curva com o traçado original da pista simples, mantendo uma distância aproximada de 10 m entre as duas vias.

Além disso, a modificação no raio da curva permitiu a redução da superelevação de 10% para 6%, um ajuste fundamental para aprimorar as condições de segurança e conforto dos veículos que transitam pela via, além disso não se pode afirmar por qual motivo se foi adotado o valor de 6% e não 5% sendo que o valor de 5% seria mais confortável a utilização da via, Essa alteração se mostrou uma solução eficaz, proporcionando um equilíbrio entre o traçado da pista e os parâmetros geométricos necessários para o projeto.

Com base nos resultados observados, conclui-se que a adaptação do raio e o consequente ajuste na superelevação foram decisões essenciais para a viabilidade do projeto, garantindo não apenas a compatibilidade com o traçado anterior, mas também a segurança e o conforto dos usuários da via.

Este estudo destaca a importância de uma análise detalhada dos parâmetros geométricos e dos critérios de segurança no planejamento e execução de infraestruturas rodoviárias, oferecendo soluções que podem ser aplicadas em projetos semelhantes, com resultados satisfatórios tanto do ponto de vista técnico quanto operacional.

REFERÊNCIAS

ANDRIOLA, César Luís; TORRES, Tânia Batistela; GARCIA, Daniel Sergio Presta. **Influência dos parâmetros geométricos de rodovias na frequência e severidade de acidentes viários em curvas: o caso da BR 116**. Transportes, v. 27, n. 3, p. 1997, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/transportes.v27i3.1997>>. Acesso em: 16 mai. 24.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Anuário CNT do Transporte: Estatísticas Consolidadas**. Brasília-DF. 2021. Disponível em: <<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/File/PrincipaisDados.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 24.

CONTESINI, Leonardo. **Br qual? O que significam os números das rodovias brasileiras?** Flatout. 2024. Disponível em: <<https://flatout.com.br/br-qual-o-que-significam-os-numeros-das-rodovias-brasileiras/>>. Acesso em: 29 abr. 24.

_____. **Transporte Rodoviário: Os Pontos Críticos nas Rodovias Brasileiras**. Brasília-DF. 2021. Disponível em: <<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Relat%C3%B3rio%20Pontos%20Cr%C3%ADticos.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 24.

_____. **Painel CNT de consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários**. Brasília-DF. 2022. Disponível em: <<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dados%20Brasil,%20UF%20e%20Regi%C3%B5es%20-%202022.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 24.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro-RJ. 1999. Disponível em: <https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe_Goulart/Material_de_Apoio/Artigos%20Extras/Manual%20Projeto%20Geometrico%20-%20DNER.pdf>. Acesso em: 28 abr. 24.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. Rio de Janeiro-RJ. 2010.

PEREIRA, Djalma Martins *et al.* **Projeto Geométrico de Rodovias**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/10139/material/APOSTILA_ProjetoGeometrico_2010.pdf>. Acesso em: 28 set. 24.

JBR ENGENHARIA. **A importância do Projeto Geométrico para uma Rodovia bem-sucedida**. LinkedIn. 2023. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/import%C3%A2ncia-do-projeto-geom%C3%A9trico-para-uma-rodovia/>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

VIANA, Dandara. **Projetos rodoviários: superlargura**. Guia da Engenharia. 2019. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/projetos-rodoviarior-superlargura/>>. Acesso em: 13 ago. 2024.