

RAMPA DE ESCAPE**ESCAPE RAMP**Erick dos Santos Rodrigues¹Fernando de Souza Pena²Jefferson de Oliveira Melo³Diego de Jesus Queiroz Rosa⁴*Recebido em: 05.05.2023**Aprovado em: 12.07.2023*

Resumo: A infraestrutura dos sistemas de transporte no Brasil cada vez mais tem sido demandada em função do crescimento econômico e necessidade de escoamento dos produtos para exportação. Nesse contexto a malha rodoviária tem expandido sua capacidade, sendo que para isso são criadas novas estradas com níveis de serviços melhores permitindo maior fluidez e interligação como os demais modais de transportes, como ferrovias e portos. Embora existam regras no código de trânsito brasileiro e que geralmente são seguidos à risca pelos profissionais do transporte de cargas, os acidentes em decorrência de falhas mecânicas têm gerado graves acidentes nas rodovias e vitimado muitos usuários. Para mitigar esse grave problema

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia de Minas Gerais; Coordenador de Geometria (atualmente, início em 2016); Engenheiro Agrimensor (2001-2004); Formação Acadêmica: Graduação em Engenharia de Agrimensura - conclusão em 12/2004; E-mail: ericksantos@gmail.com.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia de Minas Gerais; Coordenador de Geoprocessamento (atualmente, início em 2018); Engenheiro Agrimensor (2011-2017); Formação Acadêmica: Graduação em Engenharia de Agrimensura - conclusão em 12/2010; E-mail: fernando.pena@strata.com.br.

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia de Minas Gerais; Engenheiro/Coordenador de Infraestrutura rododiferroviária Geometria e Terraplenagem (atualmente, início em 2010); Formação Acadêmica: Graduação em Engenharia de Agrimensura - conclusão em 12/2010; E-mail: soumjom@yahoo.com.br.

⁴ Revisor. Mestre em Processos Construtivos na Área de Concentração de Materiais de Construção Civil pela Universidade FUMEC, Graduado em Engenharia Civil pela Universidade FUMEC.

de segurança nas estradas, que ocorre principalmente em longos trechos de declives, é de suma importância que sejam criadas rampas de escape, para veículos desgovernados, que por falhas mecânicas possam criar risco de segurança aos usuários da via, trazendo prejuízos imateriais como a perda de vidas e, materiais com perdas de cargas e obstruções da via por longos períodos.

Palavras-chave: rampa; escape.

Abstract: The infrastructure of transport systems in Brazil has been increasingly demanded due to economic growth and the need to sell products for export. In this context, the road network has expanded its capacity, and for this purpose new roads are created with better service levels, allowing for greater fluidity and interconnection with other modes of transport, such as railways and ports. Although there are rules in the Brazilian traffic code and which are generally followed strictly by cargo transport professionals, accidents due to mechanical failures have generated serious accidents on the highways and victimized many users. To mitigate this serious road safety problem, which occurs mainly on long stretches of slopes, it is extremely important that escape ramps be created for uncontrolled vehicles, which due to mechanical failures can create a safety risk for road users, causing damage materials such as loss of life and, materials with loss of cargo and obstructions of the track for long periods.

Keywords: escape; ramp.

1 INTRODUÇÃO

Os projetos rodoviários têm como objetivo principal considerar as características técnicas e operacionais da região onde as estradas devem ser implantadas. Nesse sentido, o relevo desempenha um papel crucial e demanda cautela, uma vez que afeta diretamente os parâmetros de segurança viária. É comum que veículos com falhas mecânicas, que comprometem sua capacidade de frenagem, sejam surpreendidos por situações críticas ao percorrer trechos em declive das rodovias. A ausência de meios adequados para solucionar esse problema simultaneamente ao seu surgimento resulta em acidentes que podem ocasionar perdas humanas irreparáveis, além de prejuízos incalculáveis.

Com o intuito de mitigar esse problema e melhorar a segurança do sistema viário, uma solução amplamente utilizada é a implantação de rampas de escape para veículos desgovernados. Essas rampas são estrategicamente localizadas em pontos apropriados, contando com sinalização clara e compreensível para que os motoristas possam adentrá-las facilmente. Dessa forma, eles têm a oportunidade de frear adequadamente e preservar suas vidas, bem como a de terceiros, evitando danos significativos aos veículos envolvidos.

As rampas de escape são especialmente relevantes para veículos de grande porte, como caminhões que transportam cargas pesadas. Esses veículos exercem uma demanda maior no sistema de freio, o que pode levá-lo ao colapso em determinadas situações, impossibilitando seu funcionamento adequado.

Além disso, as rampas de escape também são aplicáveis em acessos internos, particularmente em minas, onde o transporte de cargas é intenso e o relevo geralmente apresenta rampas acentuadas. Nessas situações, o pavimento, geralmente revestido de material primário, oferece baixa aderência às rodas dos veículos, dificultando ainda mais a frenagem.

Considerando as condições locais, incluindo o espaço disponível para a implantação das rampas de escape, busca-se alternativas viáveis tecnicamente. Nesse contexto, uma opção que tem se mostrado eficiente é o uso de caixas de retenção com o emprego de argila expandida, proporcionando um meio adequado para desacelerar veículos desgovernados.

Este artigo científico tem como objetivo analisar a implantação de rampas de escape como medida de segurança em projetos rodoviários. Será abordada a importância dessas estruturas, suas aplicações em diferentes contextos e as alternativas técnicas para viabilizar sua implementação, com destaque para o uso de caixas de retenção com argila expandida. Através dessa pesquisa, espera-se contribuir para o aprimoramento dos projetos rodoviários, promovendo a segurança viária e a preservação de vidas.

2 JUSTIFICATIVA

Este artigo aborda a expansão urbana e o aumento da frota de veículos nas rodovias, levando os engenheiros a buscar alternativas para melhorar a capacidade e a fluidez das vias, com foco especial na segurança viária. Além disso, destaca-se a importância do escoamento da produção por meio da interligação entre diferentes modais, como portos, aeroportos e ferrovias, ressaltando os impactos do transporte ferroviário no sistema rodoviário.

No contexto específico do transporte de minério, carretas carregadas de minério de ferro percorrem longos trechos de rodovias até chegar às áreas de carregamento em pátios ferroviários. Essas rodovias apresentam uma frota heterogênea de veículos, incluindo veículos leves, carros, motos, ônibus e caminhões de carga pesada, com dimensões que muitas vezes ultrapassam as regulamentadas.

As características operacionais são fundamentais na definição do projeto rodoviário, com a necessidade de equilibrar padrões mínimos aceitáveis e flexibilidade. Em áreas urbanas, é necessário considerar restrições econômicas e físicas, adaptando os valores mínimos das características técnicas às condições de implantação.

Devido à topografia acidentada, como o caso de Belo Horizonte, as rodovias adotam parâmetros mais conservadores, o que torna intervenções mesmo pequenas desafiadoras. Nesse contexto, a implantação de rampas de escape em locais com histórico de acidentes é a solução mais adequada para lidar com carretas desgovernadas.

Apesar das normativas brasileiras abrangerem diversos temas, incluindo o setor rodoviário, ainda é necessário atualizá-las para descrever os critérios de implantação

de rampas de escape, levando em consideração as condições topográficas, climáticas e econômicas do Brasil, bem como as especificidades de cada estado.

Além disso, a hierarquia dos órgãos competentes pode apresentar desafios, mas quando há iniciativa pública, a resolução do problema se torna prioridade, como ocorreu na construção da rampa de escape entre a BR-040 e o bairro Betânia.

Para determinar a rampa de escape adequada, devem ser considerados fatores como volume de tráfego, volume de caminhões, alinhamento horizontal, velocidade, histórico de acidentes no trecho e o desenvolvimento das áreas laterais na região mais baixa.

As rampas de escape, também conhecidas como áreas de escape, devem ser compatíveis com a topografia e condições locais, e o tipo mais comumente utilizado é o de greide ascendente, que oferece vantagens em termos de comprimento necessário para reduzir a velocidade do veículo e parar com segurança. Os revestimentos mais utilizados são areia e pedregulhos soltos.

em trechos longos de rodovias expressas sem acostamento à direita, recomenda-se a implantação de baias de emergência em conjunto com atenuadores de impacto para absorver a energia cinética dos veículos desgovernados, garantindo a integridade física dos condutores.

3 METODOLOGIA

O aumento da demanda de transporte tem sobrecarregado o sistema viário, especialmente em regiões montanhosas, exigindo a ampliação e melhoria das estradas. No entanto, quando os veículos apresentam falhas mecânicas no sistema de frenagem, é necessário tomar medidas para garantir a segurança dos motoristas. Uma solução é a implantação de rampas de escape, que permitem que os veículos desgovernados possam desacelerar e parar com segurança. Para a implantação dessas rampas, é necessário considerar as características técnicas e operacionais da via, a presença de veículos pesados, o local adequado, os tipos de rampas de escape e os métodos de dimensionamento. A implementação bem-sucedida das rampas de escape é essencial para garantir a segurança dos motoristas em situações de emergência.

Essa pesquisa aborda a necessidade de soluções eficientes para rampas de escape em rodovias, a fim de lidar com veículos desgovernados. As soluções comumente aplicadas, como acostamentos laterais e dispositivos de contenção veicular, mostraram-se ineficazes em lidar com colisões causadas por veículos pesados sem capacidade de frenagem.

Nosso trabalho propõe o uso do método hipotético-dedutivo, que busca confirmar hipóteses por meio de parâmetros empíricos e normas específicas. Usamos técnicas de análise e revisão bibliográfica para compilar normas aplicáveis e informações relevantes sobre a implantação de rampas de escape, baseado em informações técnicas de normas nacionais e internacionais, visando fornecer uma visão ampla do problema e sua mitigação.

Correlacionamos os dados obtidos com exemplos práticos implantados no Brasil que evidenciam a eficiência das rampas de escape. O trabalho não prevê a execução das rampas de escape devido aos altos custos e exigência de projetos específicos, que devem ser realizados por empresas contratadas por departamentos de infraestrutura rodoviária.

A viabilidade de implantação das rampas de escape é discutida, considerando o aumento da frota de veículos pesados em rodovias e acidentes fatais em trechos de declive. A pesquisa utiliza normas nacionais e estrangeiras para compilar dados sobre as rampas de escape e seu emprego em situações de veículos desgovernados.

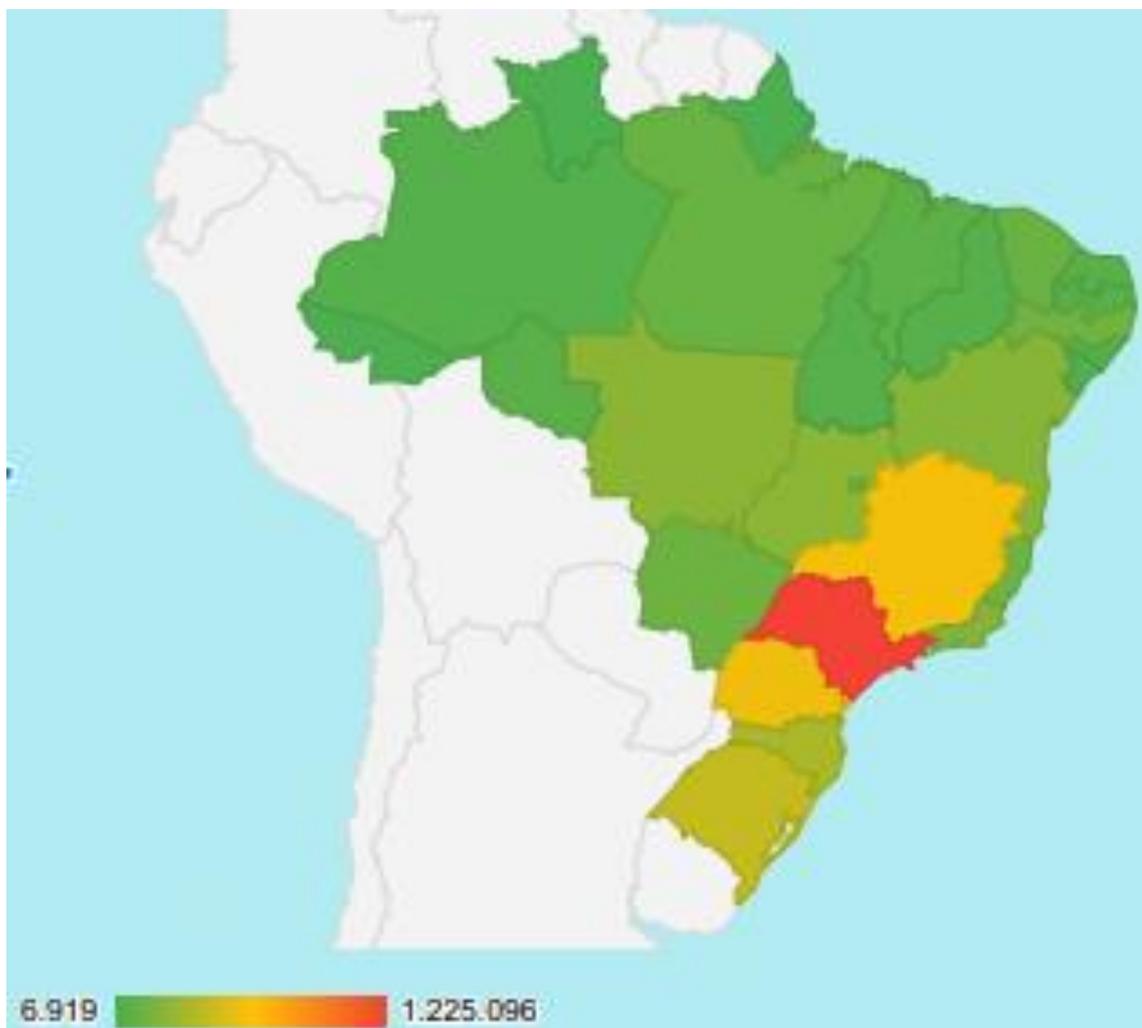
O trabalho aborda os elementos básicos do projeto de infraestrutura rodoviária, como alinhamento horizontal, alinhamento vertical e seção transversal. As curvas e rampas são definidas como elementos geométricos para concordâncias no alinhamento horizontal e vertical. O projeto visa estabelecer critérios para seções transversais, considerando o abaulamento máximo e a velocidade de projeto. São discutidas as características técnicas e operacionais da via, levando em conta as forças atuantes nos veículos e a necessidade de equilíbrio para garantir a segurança operacional.

Salientamos a importância dos estudos sobre a circulação de veículos pesados nas estradas, devido às mudanças na frota e ao crescimento demográfico. São apresentados dados obtidos por órgãos técnicos sobre a composição do tráfego em

rodovias rurais em 1996 e a evolução da frota de caminhões no período de 1985 a 2002.

É importante mencionar as estatísticas da frota de veículos disponibilizadas pelo governo federal entre 2000 e 2022, com a classificação de veículos leves, ônibus, caminhões e outros. O crescimento da frota de veículos tem impacto direto nas estradas, causando congestionamentos e redução da velocidade.

Figura 1 - Frota de veículos do tipo caminhões para Grandes Regiões e Unidades da Federação em 2022



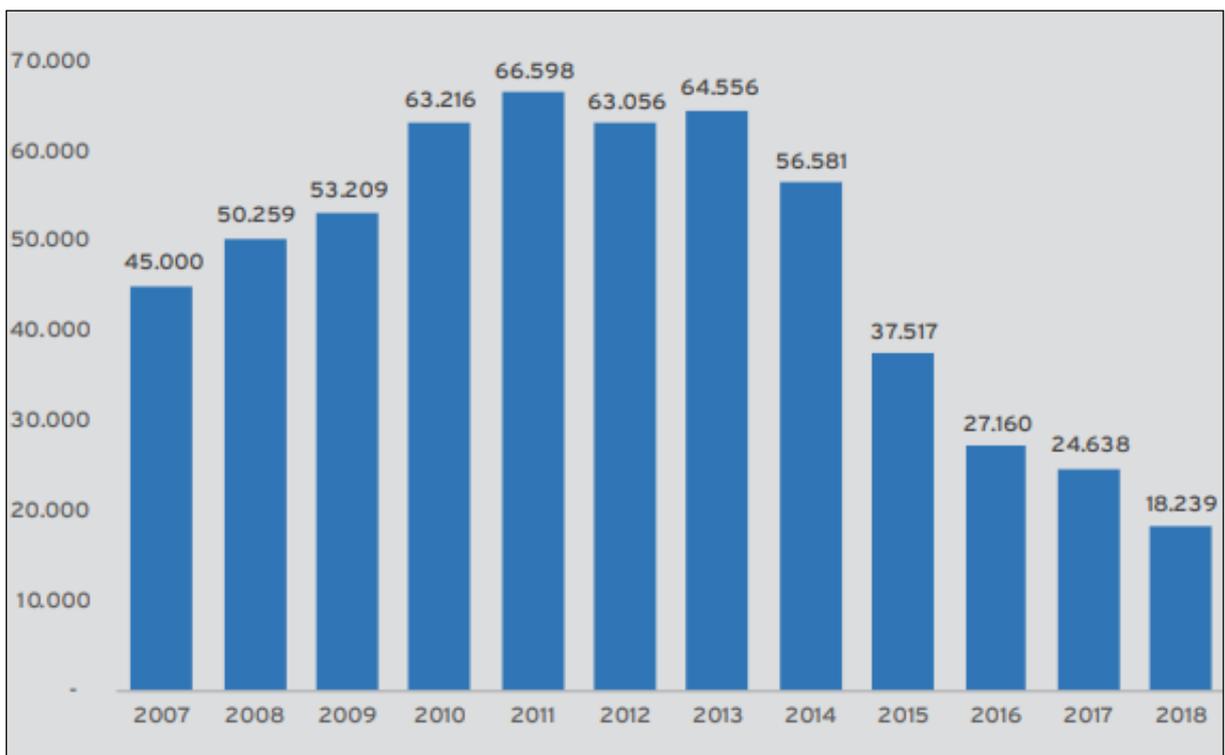
Fonte: Os autores, extraído de: Estatísticas - Frota de Veículos - SENATRAN. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>.

O texto destaca que é necessário prever novas obras e melhorias para garantir a fluidez e segurança viária diante do aumento da frota de veículos. São apresentados gráficos e tabelas que mostram o crescimento da frota de veículos leves, ônibus, caminhões e outros tipos de veículos ao longo dos anos.

Além disso, são discutidos parâmetros para a implantação de rampas de escape, tanto de forma preventiva quanto corretiva. Os parâmetros consideram fatores como classe de projeto, relevo, velocidade máxima e extensões de rampas. A implantação de rampas de escape é importante para evitar acidentes em descidas de serra, que geram grandes esforços nos freios dos veículos.

Apresentamos dados históricos de ocorrências de acidentes nas rodovias brasileiras e destaca a importância de conhecer esses dados para compreender o problema. São apresentadas estatísticas de acidentes envolvendo caminhões entre 2007 e 2018, ressaltando que esses veículos representam 33,1% de todos os acidentes nesse período.

Figura 2 - Acidentes registrados nas rodovias federais brasileiras envolvendo caminhão - Brasil 2007 - 2018

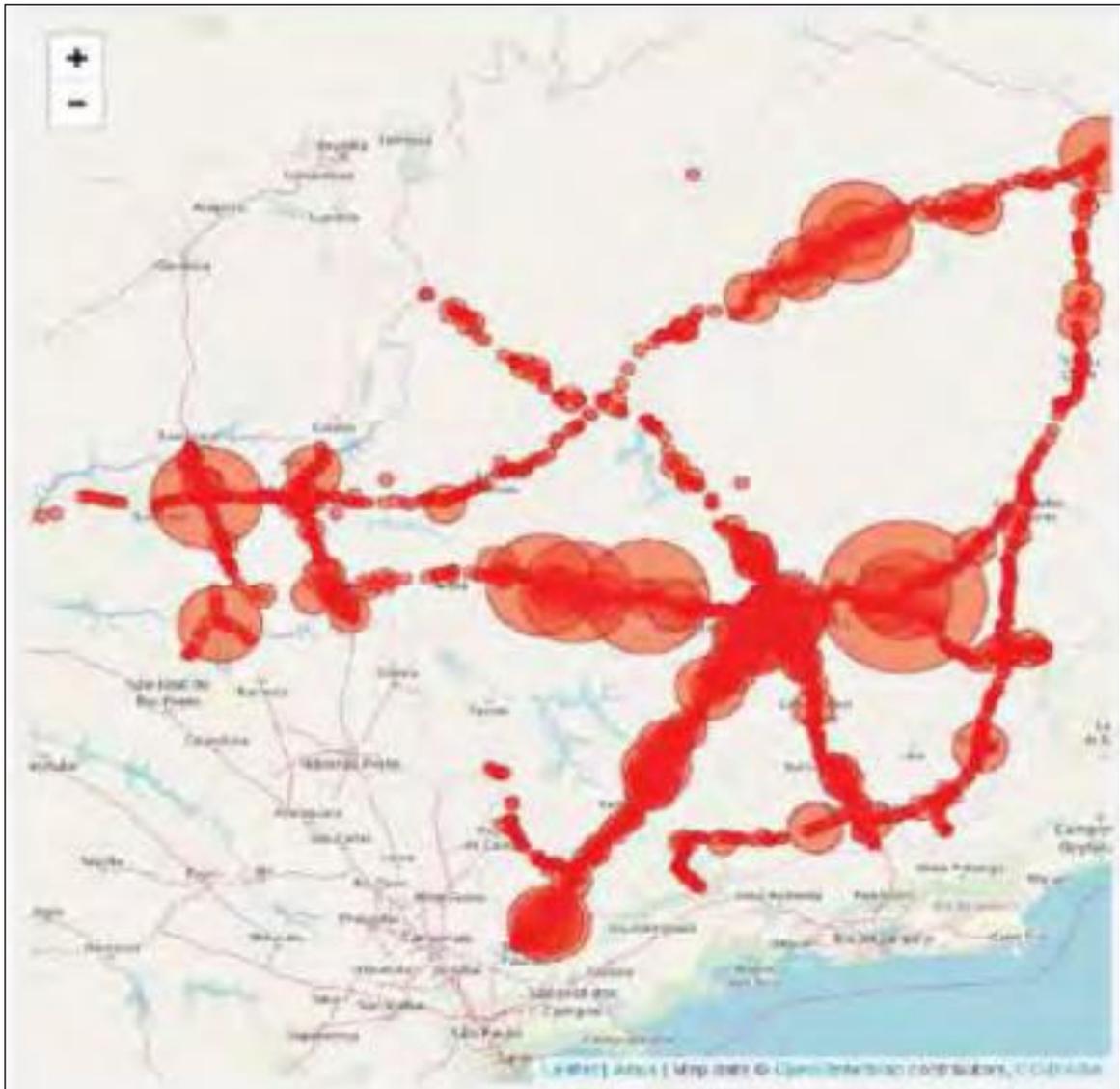


Fonte: Acidentes Rodoviários Estatísticas Envolvendo Caminhões, CNT, p.38, 2019.

O trabalho aborda a importância de estudar a circulação de veículos pesados nas estradas, apresenta dados sobre a composição da frota de veículos ao longo dos anos e discute parâmetros para a implantação de rampas de escape, tanto preventiva quanto corretiva, visando garantir a segurança viária

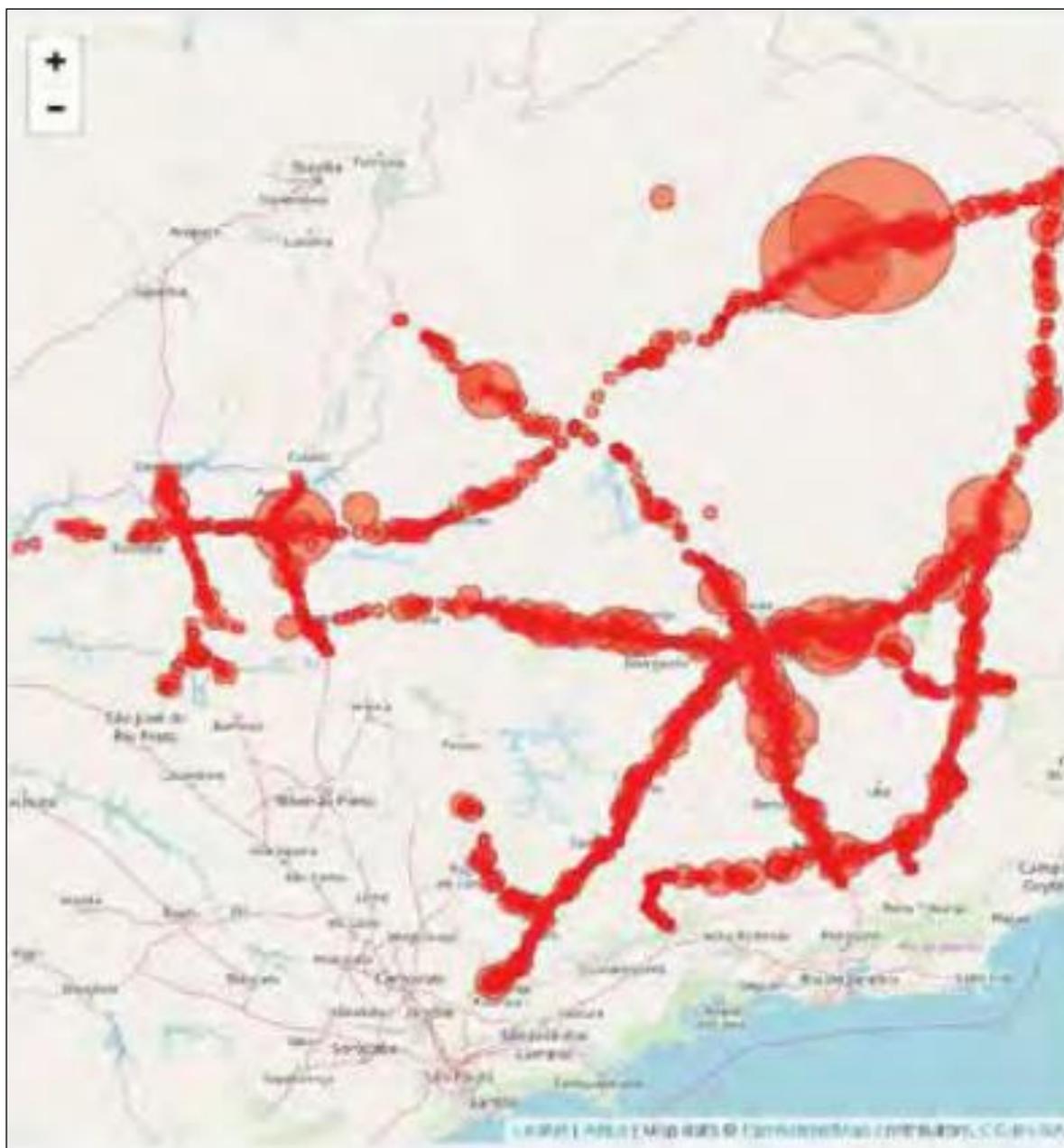
Este artigo apresenta uma análise dos acidentes rodoviários ocorridos em Minas Gerais no ano de 2018, com foco nas rodovias federais e seus respectivos custos. Os dados utilizados foram obtidos a partir do relatório "Acidentes Rodoviários Estatísticas Envolvendo Caminhões" publicado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2019.

Figura 3 - Minas Gerais - Mapa de Acidentes com Vítimas - Ano 2018



Fonte: Acidentes Rodoviários Estatísticas Envolvendo Caminhões, CNT, p.168, 2019.

Figura 4 - Minas Gerais - Mapa das Mortes - Ano 2018

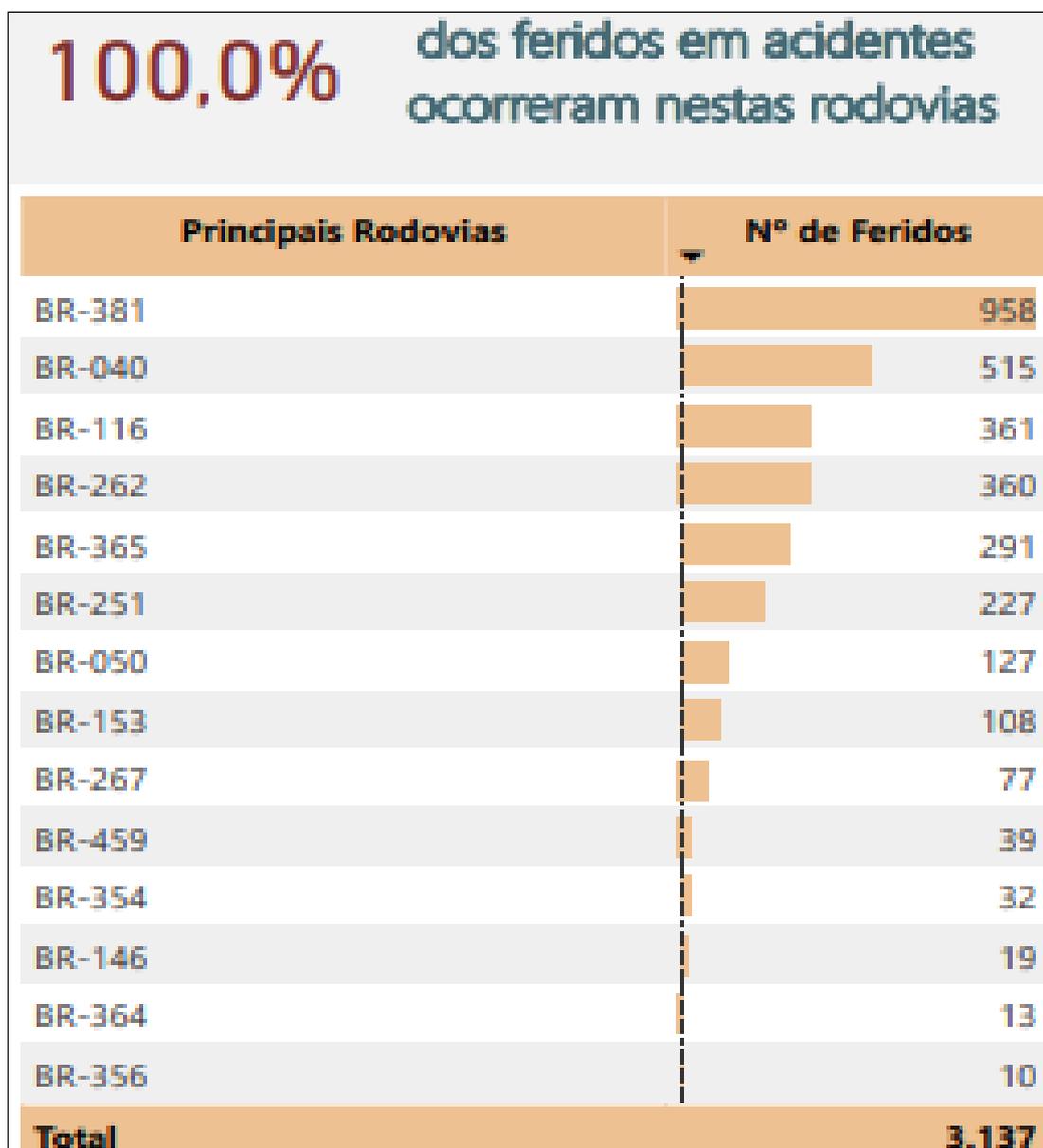


Fonte: Acidentes Rodoviários Estatísticas Envolvendo Caminhões, CNT, p.168, 2019.

A partir da análise dos acidentes com mortes, constatou-se que as rodovias BR-381, BR-040 e BR-116 foram as que registraram o maior número de óbitos, com 103, 63 e 49 mortes, respectivamente. No que diz respeito aos acidentes com feridos, os dados

indicaram que as mesmas rodovias tiveram o maior número de ocorrências, com 958 feridos na BR-381, 515 feridos na BR-040 e 361 feridos na BR-116.

Figura 5 - Minas Gerais - Vítimas de acidentes nas principais rodovias federais - 2018
- dos feridos em acidentes ocorreram nestas rodovias



Fonte: Acidentes Rodoviários Estatísticas Envolvendo Caminhões, CNT, p.167, 2019.

O artigo também aborda os custos dos acidentes de trânsito nas rodovias. Através do estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), foi possível quantificar monetariamente os impactos desses acidentes, levando em consideração custos relacionados a danos pessoais, danos materiais e custos diretos decorrentes dos acidentes. O IPR desenvolveu uma metodologia de cálculo e um programa específico para estimar esses custos.

Os acidentes de trânsito são considerados um problema de saúde pública que afeta principalmente pessoas na faixa etária de 5 a 44 anos, correspondendo a cerca de 10% das causas de morte prematura. Enquanto os países desenvolvidos conseguiram controlar os índices de acidentes, os países em desenvolvimento, como o Brasil, ainda enfrentam dificuldades nessa redução.

O estudo realizado pelo IPR também revela dados sobre o perfil das vítimas de acidentes de trânsito em Minas Gerais. Os resultados mostram que a maioria dos acidentes envolve condutores e passageiros do sexo masculino, com maior incidência na faixa etária de 20 a 30 anos.

Este estudo evidencia a importância de análises detalhadas dos acidentes de trânsito e seus custos, fornecendo subsídios para a implementação de medidas preventivas e corretivas nas rodovias. A redução desses índices não apenas preserva vidas, mas também impacta positivamente a economia e a sociedade como um todo. Portanto, é fundamental que o poder público utilize essas informações para o desenvolvimento de políticas e investimentos direcionados à segurança viária.

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias realizou uma pesquisa sobre os custos de acidentes com base em critérios como classe de rodovia, tipo e gravidade do acidente e região geográfica. Um programa foi desenvolvido para calcular os custos em cada situação. Os valores consideraram dados nacionais de estudos realizados em 2000 e projeções para 2004.

Foram coletadas informações da malha rodoviária federal de todo o Brasil, incluindo variações regionais. Dados complementares foram obtidos por meio de boletins de ocorrência e da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD) do IBGE.

Um modelo matemático foi desenvolvido para estimar o tempo de retenção de veículos, levando em consideração o congestionamento e a poluição ambiental. Os resultados indicaram que os custos totais anuais dos acidentes rodoviários chegaram a cerca de R\$ 4,85 bilhões, com os custos médicos hospitalares e a perda de rendimentos futuros sendo os mais significativos.

Tabela 1 - Custos por gravidade do acidente - Brasil ano 2004

CUSTO POR GRAVIDADE DO ACIDENTE	BRASIL			(Ano 2004)(estimativa atualizada pelo ano base)				
	ACIDENTES			CUSTO TOTAL ANUAL				
	Com mortos (R\$)	Com feridos (R\$)	Sem vítimas (R\$)	(R\$)				
Perda de Rendimentos Futuros	944.724.273	205.695.272		1.150.419.545				
Danos aos Veículos	63.327.842	235.418.813	185.483.491	484.231.146				
Custos Médico-Hospitalares	67.874.169	1.836.137.787		1.904.011.955				
Administração de Seguros	15.209.557	9.566.242	4.769.035	29.544.833				
Operação de Sistemas de Atendimento	12.851.093	71.314.823	124.068.464	208.234.381				
Danos ao Patrimônio do DNIT	4867	32.347	87.732	124945,9052				
Despesas de Funerais	9.198.678			9.198.678				
Custos Administrativo de Processos Judiciais	28.782.211			28.782.211				
Custos de Congestionamento	22.386.989	312.106.772	45.202.295	379.696.056				
Subtotal	1.164.359.680	2.670.272.055	359.611.018	4.194.242.753				
Custo Subjetivos de Pesar, Dor e Sofrimento	442.456.678	213.621.764		656.078.443				
Valor Total(R\$/US\$)	1.606.816.358	528558013	2.883.893.820	948649282,8	359.611.018	118293098	4.850.321.196	1595500393
Número de Acidentes(estimado)	4.287		31.768		58.111		94.166	
Custo por Acidente(R\$/US\$)	374.811	123293	90.780	123293	6.188	2035	51508	16943

Fonte: IPR-733, p.29, 2004.

A classe da rodovia também foi relacionada ao número de acidentes, com estradas de pista simples apresentando mais ocorrências fatais. Os custos por classe de rodovia foram apresentados, destacando a classe 1B ou inferior rural como a de maior custo.

Tabela 2 - Custo por classe de rodovia na região sul ano 2004

CLASSE	CUSTO POR CLASSE (R\$)	CUSTO POR ACIDENTE (R\$)
IA ou superior	249.814.967	43.658
Urbano		
1B ou inferior	231.822.624	42.575
Urbano		
IA ou superior	207.056.995	46.405
Rural		
1B ou inferior	472.402.311	47.641
Rural		

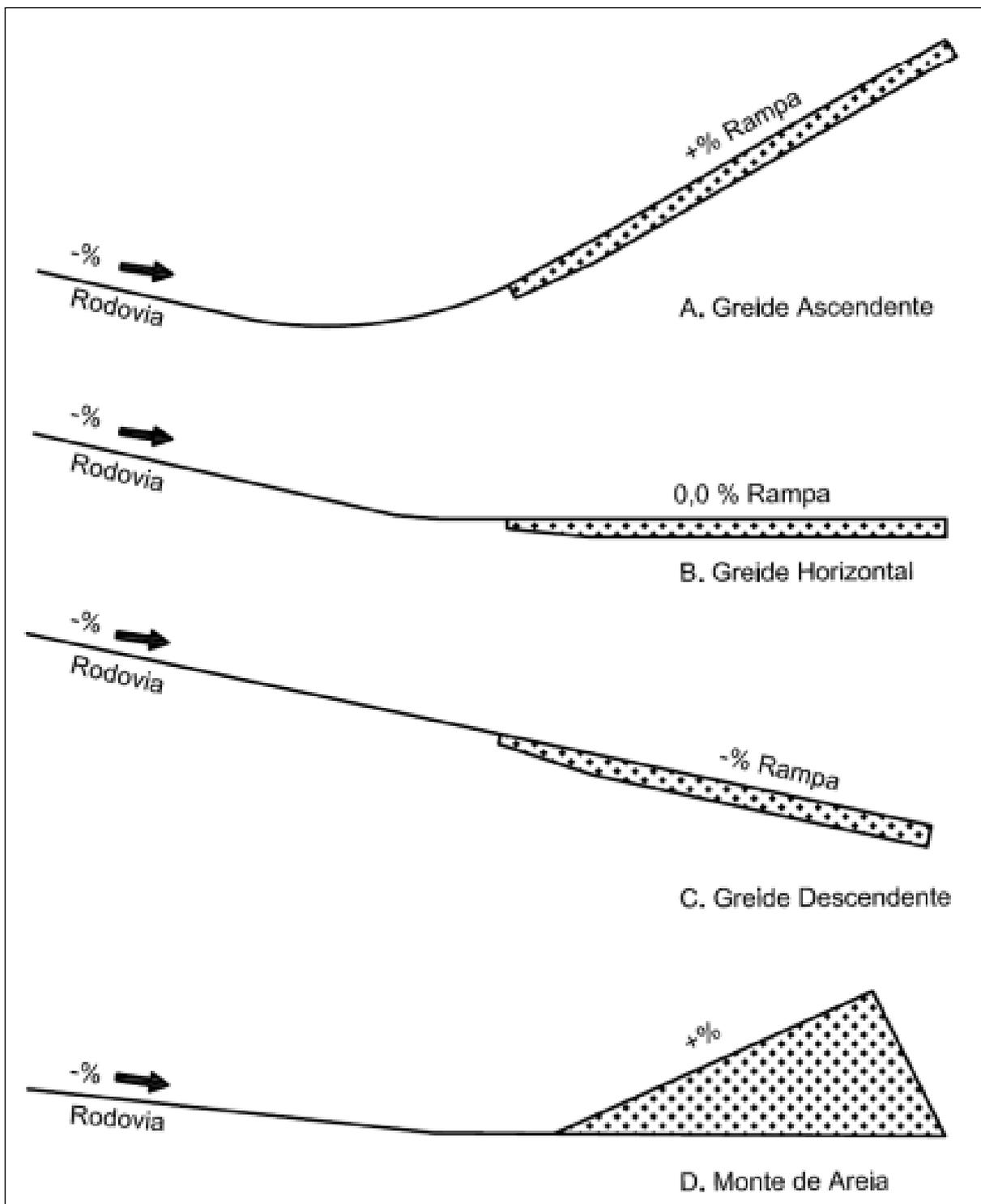
Fonte: IPR-733, p.30, 2004.

Os custos por tipo de acidente foram analisados, com colisão traseira e saída de pista sendo os tipos mais caros. O artigo destacou a importância de medidas para reduzir acidentes e custos, como obras corretivas, fiscalização, conscientização da população e melhorias na engenharia das rodovias.

A pesquisa também mostrou os locais críticos de acidentes na rodovia BR-040 nos anos de 2021 e 2022, com a identificação dos quilômetros correspondentes. Foram tomadas medidas emergenciais e definitivas, incluindo remanejamento de sinalização e fiscalização.

As rampas de escape para rodovias foram apresentadas como uma medida importante para frear veículos desgovernados e evitar acidentes graves. Foram classificadas em rampas de gravidade, monte de areia e leito de arraste, considerando a inclinação do terreno. A rampa de gravidade foi apontada como a mais comum, exigindo menor comprimento de implantação.

Figura 6 - Tipos Básicos de Rampas de Escape.



Fonte: IPR-741, p.65, 2010.

O estudo concluiu que a redução de acidentes rodoviários e seus custos envolve ações integradas, como melhorias nas rodovias, fiscalização, conscientização e adoção de medidas de segurança, como as rampas de escape.

O projeto e dimensionamento adequados das rampas de escape em estradas de mina são essenciais para garantir a segurança dos veículos desgovernados. Seguir as diretrizes e referências teóricas fornecidas no *Design of Surface Mine Haulage Roads* (1977) auxilia os engenheiros a criar rampas de escape eficientes e adequadas às necessidades locais.

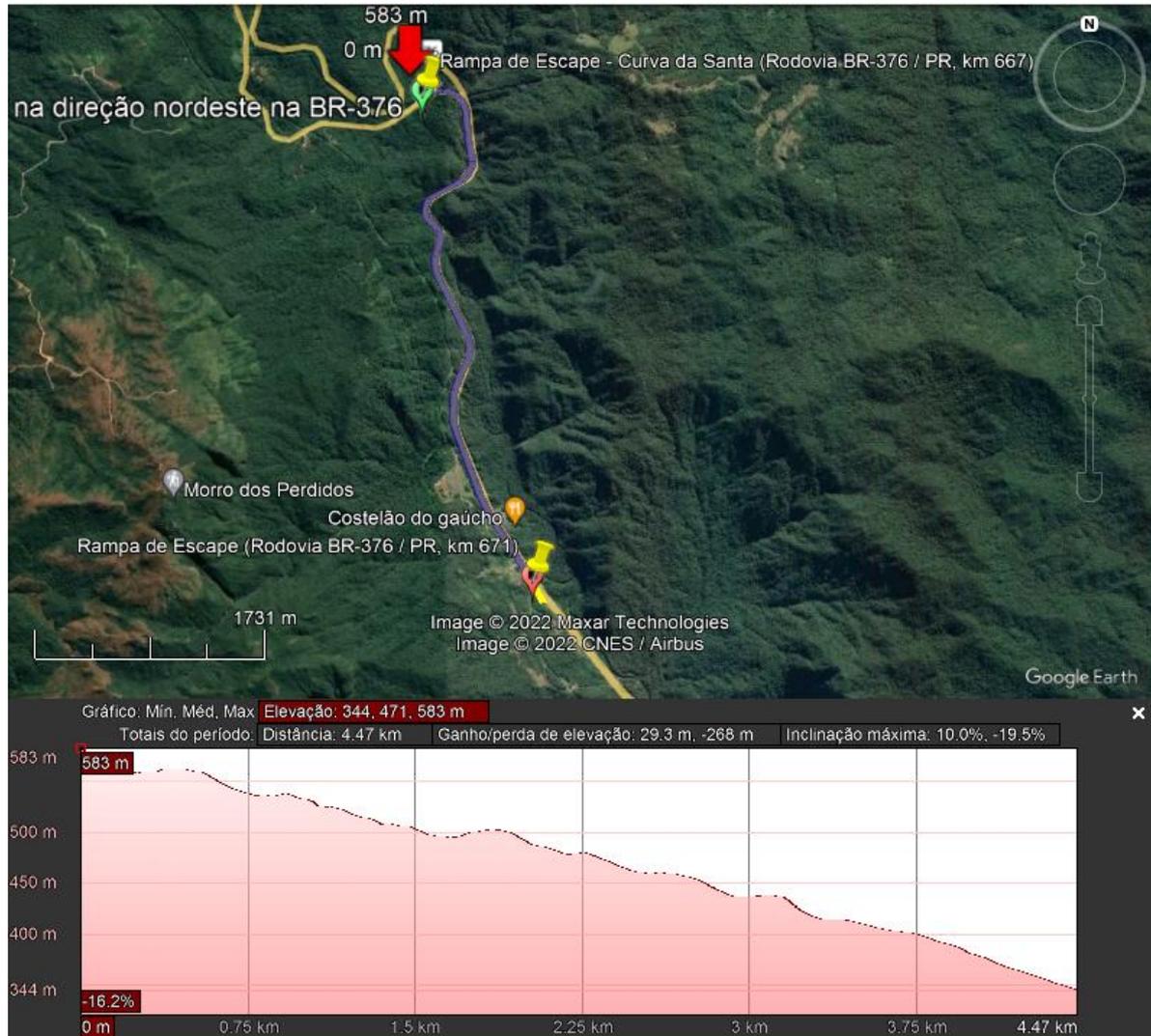
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Exemplos de Implantação de Rampas de Escape no Brasil

São apresentados dois casos nacionais de rampas de escape localizadas na rodovia BR-376/PR, próximas aos km 667 e km 671, e um caso em Belo Horizonte, no Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 5046.

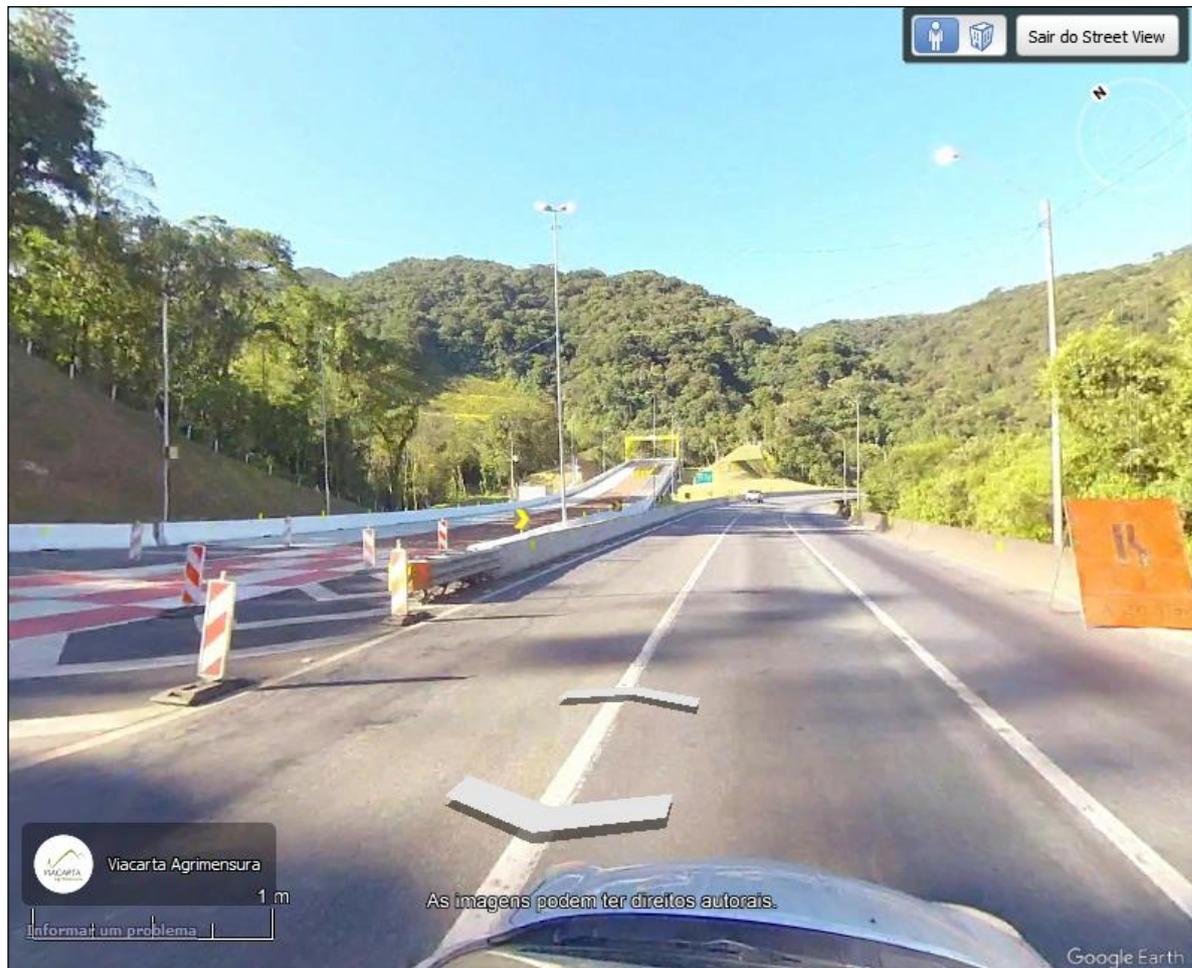
O primeiro caso é caracterizado por um desnível de aproximadamente 238,529m ao longo de 4,47km, o que gera condições propícias para sobrecarga do sistema de freios. Foi constatada uma redução na quantidade de acidentes em toda a extensão correspondente às áreas de implantação das rampas, evidenciando a efetividade desse dispositivo na segurança dos motoristas e na preservação dos veículos. A rampa de escape no km 667+300 foi considerada eficiente, mas com necessidade de melhorias na logística devido à localização desfavorável do depósito de cinzas. A utilização de pórticos mostrou-se benéfica em relação ao tradicional caminhão guincho. A segunda rampa, localizada no km 671, possui uma extensão de aproximadamente 176m e não possui pórtico, contando com tambores cheios de água como dispositivos auxiliares de contenção veicular.

Figura 7 - Rampa de Escape - Mapa de Localização e Perfil Longitudinal - Brasil
Paraná - (BR-376/PR, km667 e km671)



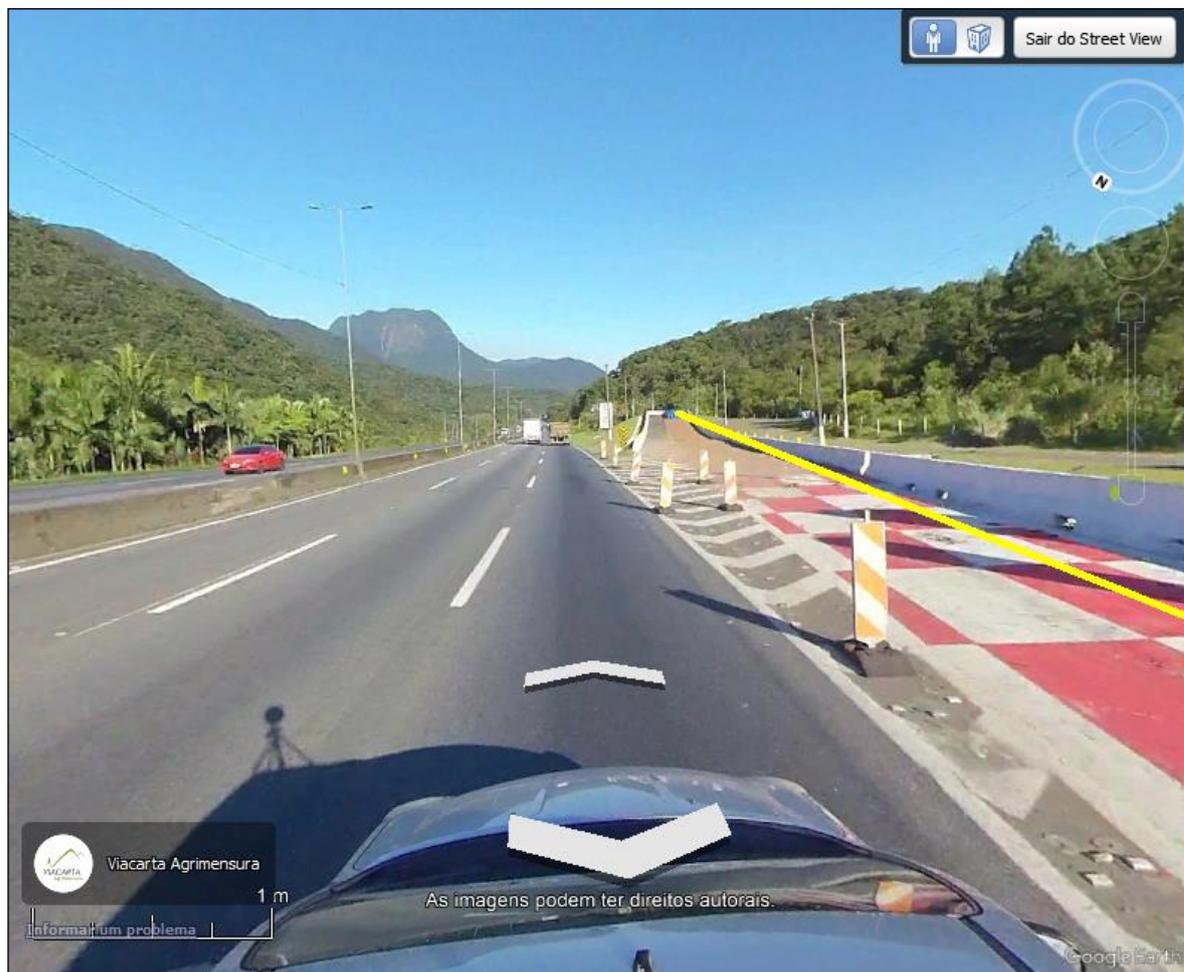
Fonte: Os autores, obtido através do software Google Earth Pro.

Figura 8 - Rampa de Escape - Greide Descendente - Brasil Paraná - (BR-376/PR, km667), Latitude: 25°51'50.11"S, Longitude: 48°56'14.87"O



Fonte: Os autores, obtido através do software Google Earth Pro.

Figura 9 - Rampa de Escape - Mapa de Localização - Greide Descendente - Brasil Paraná - (BR-376/PR, km671), Latitude: 25°53'49.29"S, Longitude: 48°55'45.01"O



Fonte: Os autores, obtido através do software Google Earth Pro.

O caso de Belo Horizonte apresenta uma rampa de escape de greide ascendente, implantada no Anel Rodoviário, e sua extensão é de cerca de 120m, com defensas metálicas nas laterais. Apesar de os dados do software Google Earth Pro estarem desatualizados, é possível verificar a localização geográfica e as características geométricas das rampas. No caso de Belo Horizonte, foi registrado o uso da rampa em cinco ocasiões, destacando sua eficácia na solução de problemas decorrentes de acidentes. Esses estudos de caso reforçam a importância das rampas de escape como dispositivos de segurança nas estradas brasileiras, proporcionando maior proteção aos motoristas e veículos em situações de emergência.

Figura 10 - Rampa de Escape - Greide Ascendente - Brasil Minas Gerais - Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 5046 - Olhos D'Água Belo Horizonte - MG - (BR-040/MG, km541), Latitude: 19°59'19.20"S, Longitude: 43°58'18.28"O



Fonte: Os autores, obtido através do software Google Earth Pro.

Figura 11 - Rampa de Escape - Carreta Utilizou a Rampa de Escape no dia 10/04/2023 - Brasil Minas Gerais - Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, 5046 - Olhos D'Água Belo Horizonte - MG - (BR-040/MG, km541), Latitude: 19°59'19.20"S, Longitude: 43°58'18.28"O



Fonte: Jornal Itatiaia. Disponível em: <https://www.itatiaia.com.br/editorias/cidades/2023/04/10/carreta-utiliza-area-de-escape-no-anel-rodoviario-de-belo-horizonte>. Acesso em: 17 abr. 2023.

4.2 Posicionamento Geométrico em Planta e Seção Típica

Rampas de escape são dispositivos de segurança essenciais nas estradas para ajudar os motoristas em situações de emergência. Para garantir o acesso fácil e rápido, as rampas devem ser posicionadas nos bordos das pistas, preferencialmente antes de curvas horizontais, em tangentes ou, em alguns casos específicos, em curvas. É importante dimensionar uma superlargura adequada à velocidade do trecho para as rampas em curvas.

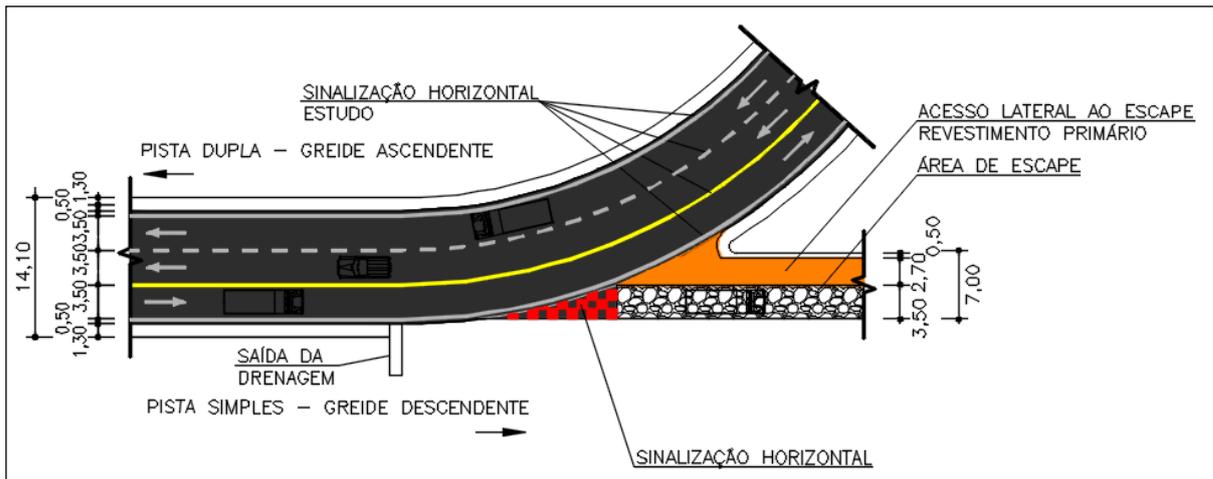
Recomenda-se que as rampas possuam acesso lateral para manutenção e permitam a entrada de veículos de socorro e guincho. Além disso, é necessário verificar regularmente os dispositivos de drenagem, pois eles afetam diretamente a eficiência das rampas e o escoamento adequado.

A sinalização adequada é crucial para evitar confusões e garantir que os motoristas não entrem na rampa por engano. Isso deve ser feito de forma chamativa e clara, utilizando sinalização vertical e pinturas no pavimento.

O posicionamento geométrico das rampas de escape pode ser observado em exemplos ilustrados nas figuras apresentadas no artigo. Em curvas horizontais,

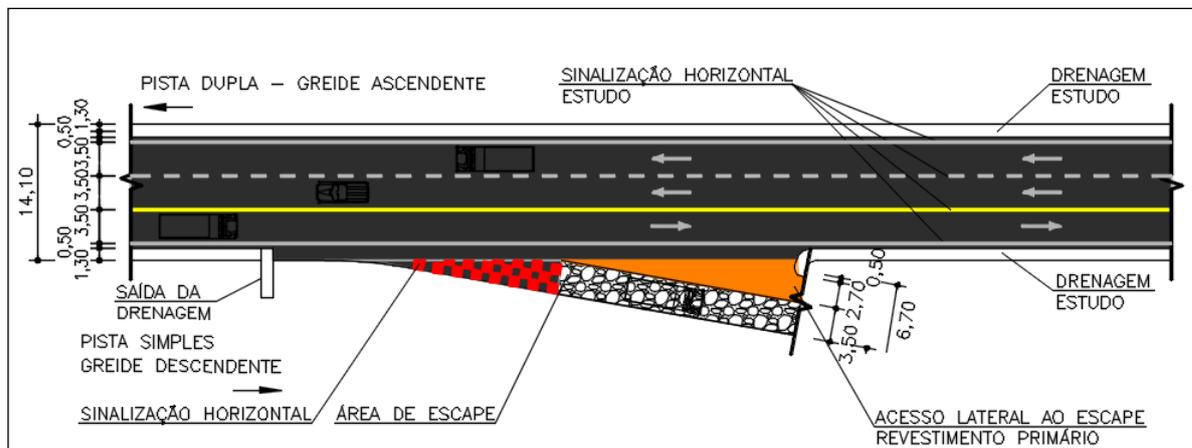
recomenda-se implantar a rampa na continuidade da tangente, evitando que veículos desgovernados entrem na curva. Em tangentes horizontais, é necessário estudar como integrar as rampas à geometria existente da estrada e garantir uma sinalização clara.

Figura 12 - Rampa de Escape - Plataforma Final - Área de Escape em Curva



Fonte: Os autores, acervo técnico.

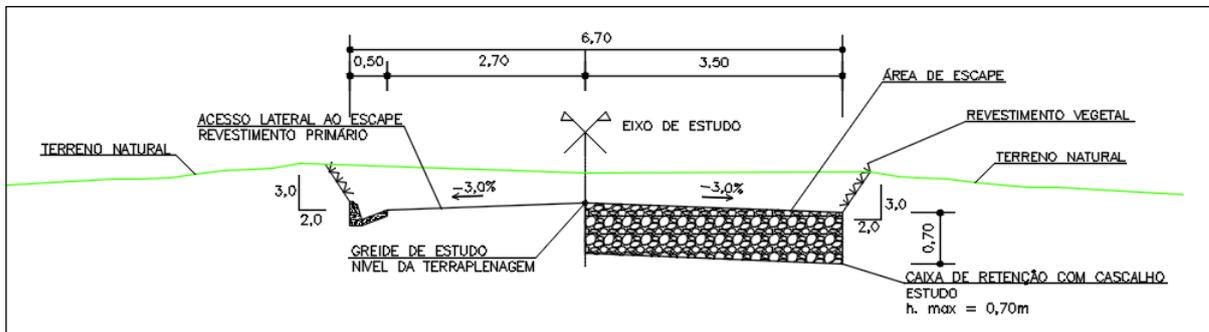
Figura 13 - Rampa de Escape - Plataforma Final - Área de Escape em Tangente.



Fonte: Os autores, acervo técnico.

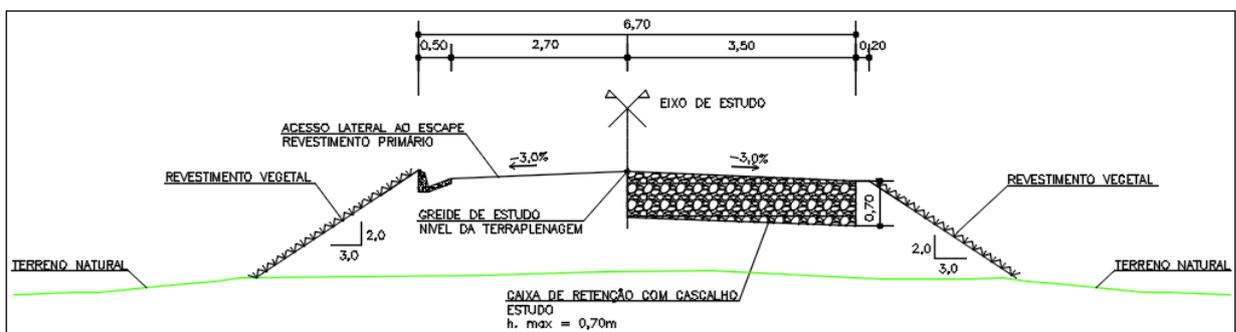
Quando a topografia local apresenta cortes ou aterros, as rampas podem ser implantadas com atenção especial à drenagem e aos dispositivos de segurança viária. Em cortes, é necessário dimensionar uma caixa de retenção na área de escape e considerar o acesso lateral. Já em aterros, deve-se prever o acesso lateral para retirada dos veículos, além de dispositivos de segurança, como defensas, para evitar que os veículos desgovernados ultrapassem os limites da caixa de retenção. O dimensionamento da área de escape deve ser adequado para reter o veículo dentro da caixa de retenção.

Figura 14 - Rampa de Escape - Seção Transversal Tipo em Corte



Fonte: Os autores, acervo técnico.

Figura 15 - Rampa de Escape - Seção Transversal Tipo em Aterro



Fonte: Os autores, acervo técnico.

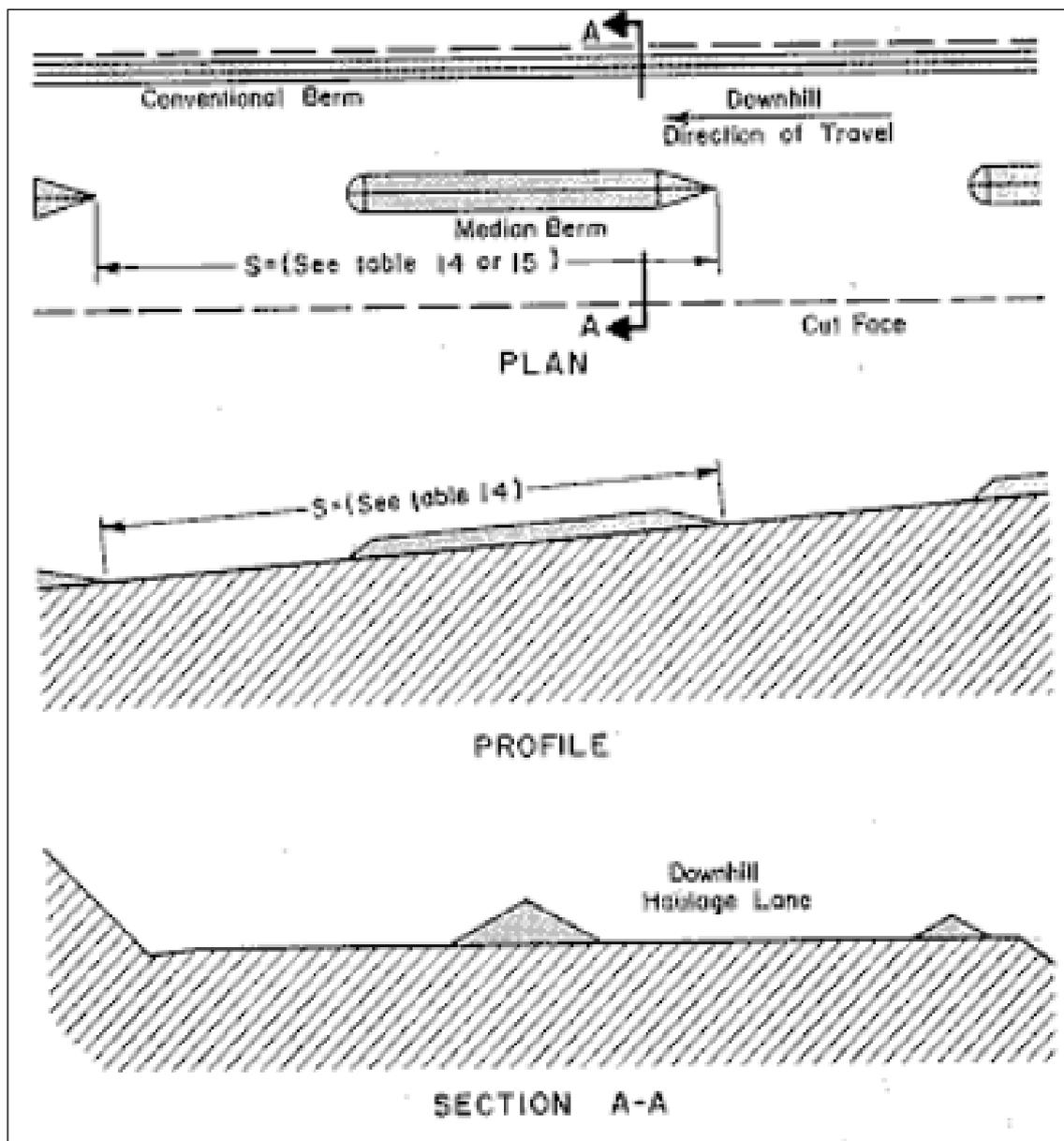
4. 3 Bermas para Veículos Desgovernados e métodos de dimensionamento

Nesse tópico é abordado aspectos relacionados às rodovias, com ênfase nos dispositivos utilizados em acessos e estradas de mina, que possuem princípios semelhantes aos das rampas de escape. A pesquisa destaca as bermas como uma solução inovadora para desacelerar caminhões desgovernados nas minas da Austrália, com eficácia comprovada na resolução do problema de segurança. As bermas são projetadas para receber a colisão dos veículos e absorver o impacto, utilizando materiais soltos que gradualmente retêm os veículos até que eles parem por completo. O alinhamento correto entre o veículo e a berma é crucial para evitar capotamentos, e o espaçamento adequado deve ser mantido para permitir que o motorista posicione o veículo alinhado com a berma.

O dimensionamento das bermas leva em consideração a altura do material em relação ao veículo utilizado na mina. Quando veículos de tamanhos diferentes compartilham a mesma estrada, a berma deve ser dimensionada com base no veículo maior, pois os veículos menores tendem a parar na rampa de entrada da berma. O artigo apresenta

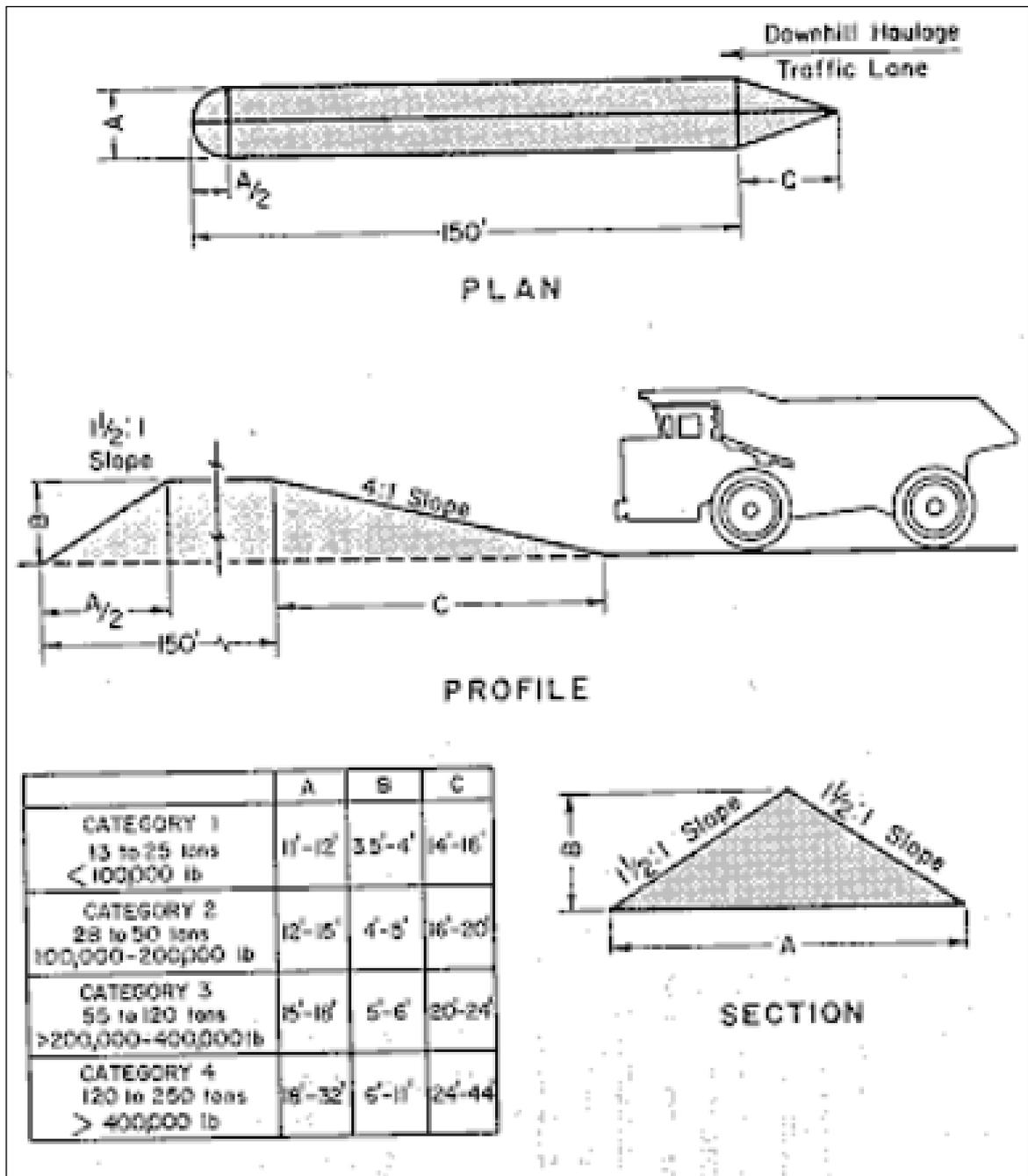
vistas em planta, perfil e seção das bermas, destacando os dimensionamentos básicos de implantação.

Figura 16 - Bermas para Veículos Desgovernados (Fora de Estrada) Vistas: Planta, Perfil e Seção



Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads, p.43, 1977.

Figura 17 - Bermas para Veículos Desgovernados (Fora de Estrada) Detalhes

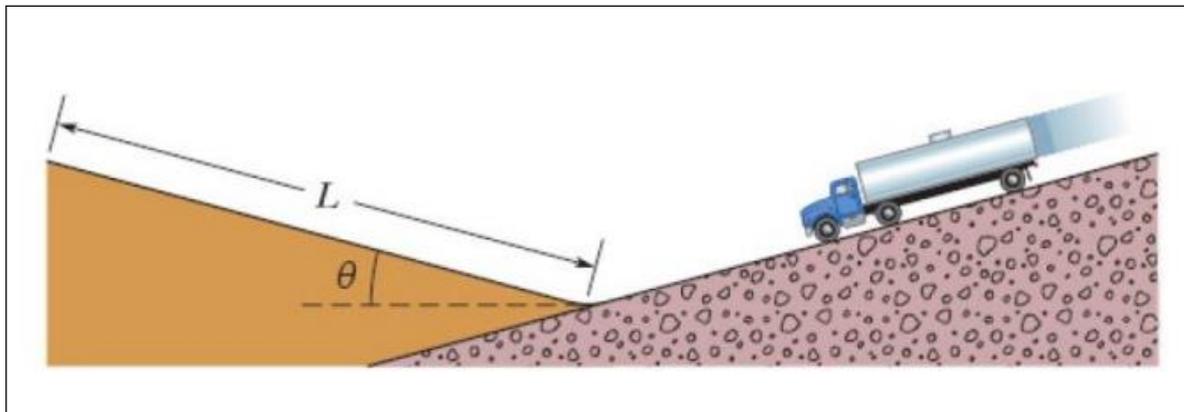


Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads, p.43, 1977.

Além disso, são discutidos métodos para dimensionar as rampas de escape. Esses métodos envolvem conceitos básicos da física, como energia potencial e conservação de energia, que são fundamentais para o cálculo da energia mecânica inicial e final. Um exemplo de aplicação desses conceitos é apresentado, onde é realizado um pré-dimensionamento de uma rampa de escape utilizando a energia potencial gravitacional e a conservação de energia. Nesse exemplo, considera-se a velocidade

do veículo desgovernado, sua massa, inclinação da rampa e não se leva em conta o atrito.

Figura 18 - Rampa de Escape - Método - Conceitos Básicos da Física



Fonte: Doug Física, Rampa de Emergência, Exercício Resolvido (Exercício 15 Capítulo 8). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ISzrt8GwMzl>. Acesso em: 02 jan. 2023.

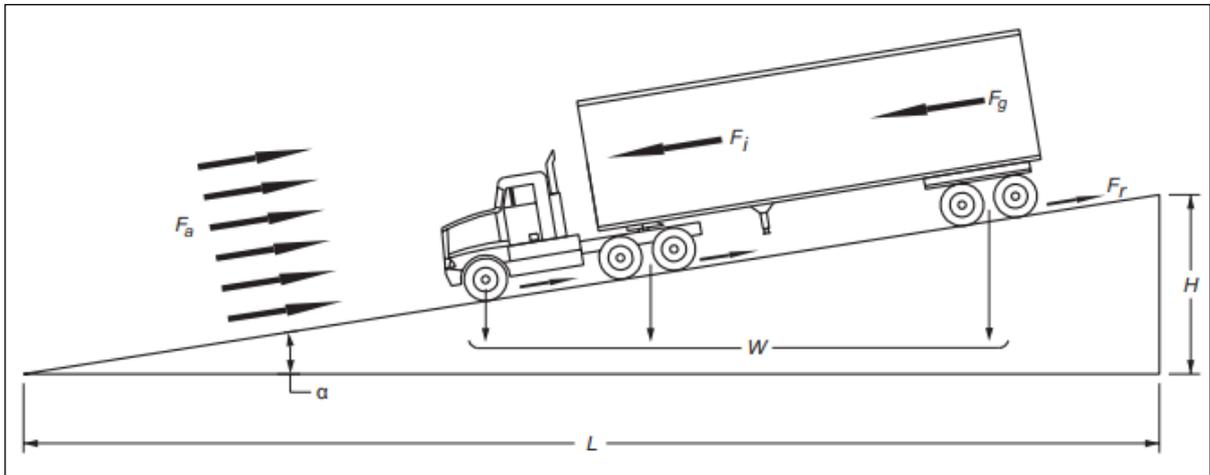
4.4 Parâmetros Normativos

Para garantir a segurança e eficiência no desenvolvimento de projetos na engenharia, é recomendado utilizar as normas vigentes, que passam por análises e pesquisas rigorosas para assegurar sua eficácia no dimensionamento proposto. O uso de parâmetros consolidados é uma forma segura de desenvolver projetos comprovadamente eficazes e possibilitar execuções com menores custos de implantação.

De acordo com a Asshto (2011, p.3-140), as forças que afetam a velocidade dos veículos e têm impacto sobre eles incluem as forças do motor, frenagem e resistência à tração. No projeto de rampas de escape, as forças de resistência do motor e frenagem podem ser ignoradas, pois a rampa deve ser projetada considerando o pior caso, em que o veículo está fora de controle e o sistema de freio falhou. A resistência à tração possui quatro subclasses: inércia, aerodinâmica, rolamento e inclinação.

As forças que atuam em uma descida de estrada contribuem para manter o veículo em movimento, enquanto as forças de rolamento, subida e resistência do ar atuam para retardar seu movimento.

Figura 19 - Forças Atuantes em um Veículo em Movimento



Fonte: Asshto (2011, p.3-141).

Onde:

F_a = Resistência do ar (do inglês: Air resistance).

F_i = Resistência Inercial (do inglês: Inertial resistance).

F_g = Resistência do Greide (do inglês: Gradient resistance).

F_r = Resistência ao Rolamento (do inglês: Rolling resistance).

W = Peso Bruto do Veículo (do inglês: Gross vehicle mass [weight]).

H = Altura (do inglês: Height).

L = Comprimento (do inglês: Length).

α = Ângulo de Inclinação (do inglês: Slope Angle).

A resistência inercial pode ser descrita como a força que se opõe ao movimento de um veículo em repouso ou mantém um veículo em movimento, a menos que seja aplicada uma força externa. É necessário superar a resistência inercial para aumentar ou diminuir a velocidade de um veículo. As forças de resistência à subida e rolamento estão disponíveis para superar essa resistência. A resistência ao rolamento é um termo geral que descreve a resistência ao movimento na área de contato entre os pneus do veículo e a superfície da estrada, sendo aplicável apenas quando o veículo está em movimento. Ela é influenciada pelo tipo e características do material do revestimento da estrada.

Os materiais usados no revestimento da pista possuem um coeficiente que determina a quantidade de resistência ao rolamento de um veículo, expresso em kg/1.000 kg do peso bruto do veículo.

A resistência à subida resulta da gravidade e é expressa como a força necessária para mover o veículo verticalmente. Para que a resistência à subida seja uma força atuante, o veículo deve estar se movendo contra a força da gravidade.

No caso de um veículo se mover em uma descida, a resistência à subida é negativa, reduzindo assim as forças disponíveis para desacelerar e parar o veículo. A quantidade de resistência à subida é influenciada pelo peso total do veículo e pela inclinação. Para cada porcentagem de inclinação, a resistência à subida é de 10 kg/1.000 kg, independentemente de ser uma inclinação positiva ou negativa.

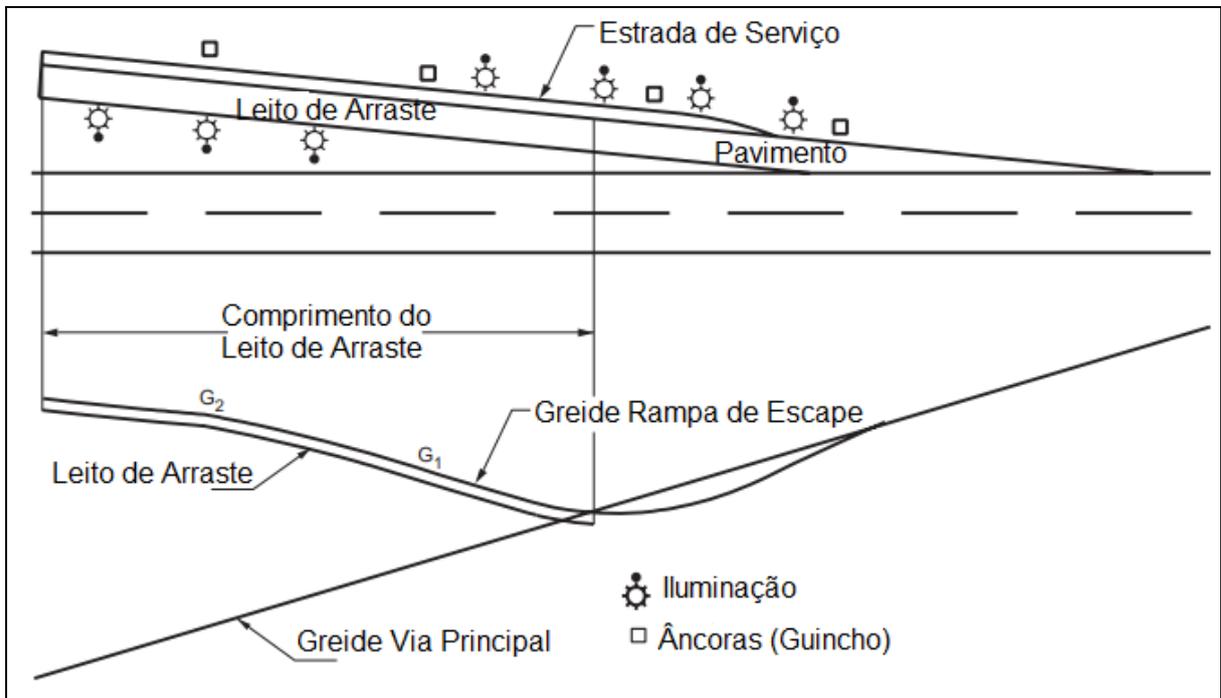
Tabela 3 - Resistência de Materiais de Revestimento Rodoviário

Material	Sistema Métrico		Padrão Norte Americano	
	Resistência ao Rolamento (kg/1 000 kg GVM)	Greide Equivalente (%) [*]	Resistência ao Rolamento (lb/1,000 lb GVW)	Greide Equivalente (%) [*]
Cimento Portland	10	1,0	10	1,0
Concreto Asfáltico	12	1,2	12	1,2
Cascalho, compactado	15	1,5	15	1,5
Solo arenoso, solto	37	3,7	37	3,7
Agregado triturado, solto	50	5,0	50	5,0
Cascalho, solto	100	10,0	100	10,0
Areia	150	15,0	150	15,0
Cascalinhos (seixos)	250		250	25,0

Fonte: Ashto, p.3-142, 2011.

Nota: ^{*} Resistência ao rolamento expressa como greide equivalente.

Figura 20 - ASSHTO - Rampa de Escape Típica



Fonte: ASSHTO (2011, p.3-148).

As equações simplificadas para o dimensionamento das rampas de escape, padrão métrico e padrão norte americano, segundo a ASSHTO (2011, p.3-147 a p.3-148), são apresentadas a seguir:

Equação 1 - Comprimento da Rampa - Sistema Métrico - Considerando a Resistência ao Rolamento e Resistência do Greide

$$L = \frac{V^2}{254(R \pm G)} \quad (1)$$

Fonte: ASSHTO (2011, p.3-147).

Onde:

L = Comprimento do Leito de Arraste, **m**, (do inglês: *length of arrester bed*).

V = Velocidade de Entrada, **km/h**, (do inglês: *entering velocity*).

R = Resistência ao Rolamento, (do inglês: *rolling resistance*). Resistência ao rolamento, expressa como greide em porcentagem dividido por 100 (consultar Tabela 3).

G = Greide em porcentagem dividida por 100, (do inglês: *percent grade divided by 100*).

Equação 2 - Comprimento da Rampa - Padrão Norte Americano - Considerando a Resistência ao Rolamento e Resistência do Greide

$$L = \frac{V^2}{30(R \pm G)} \quad (02)$$

Fonte: ASSHTO (2011, p.3-147).

Onde:

L = Comprimento do Leito de Arraste, **pé**, (do inglês: *length of arrester bed*).

V = Velocidade de Entrada, **mph**, (do inglês: *entering velocity*).

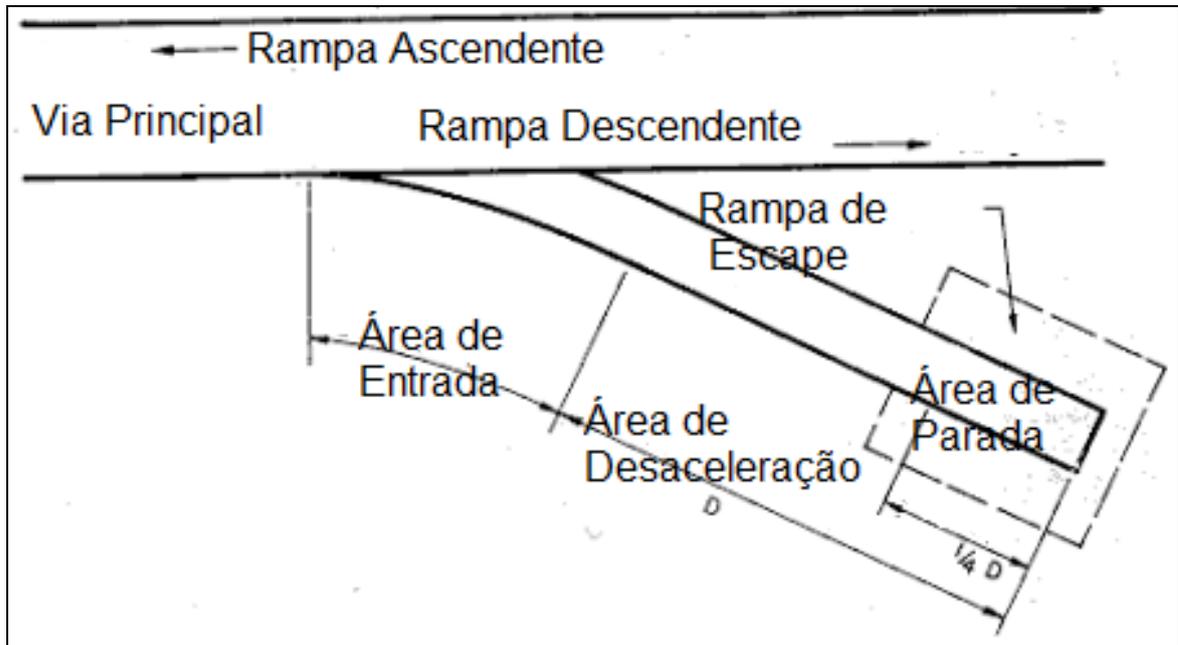
R = Resistência ao Rolamento, (do inglês: *rolling resistance*). Resistência ao rolamento, expressa como greide em porcentagem dividido por 100 (consultar Tabela 3).

G = Greide em porcentagem dividida por 100, (do inglês: *percent grade divided by 100*).

4.5 Rampas de Escape: Estrada de Mina

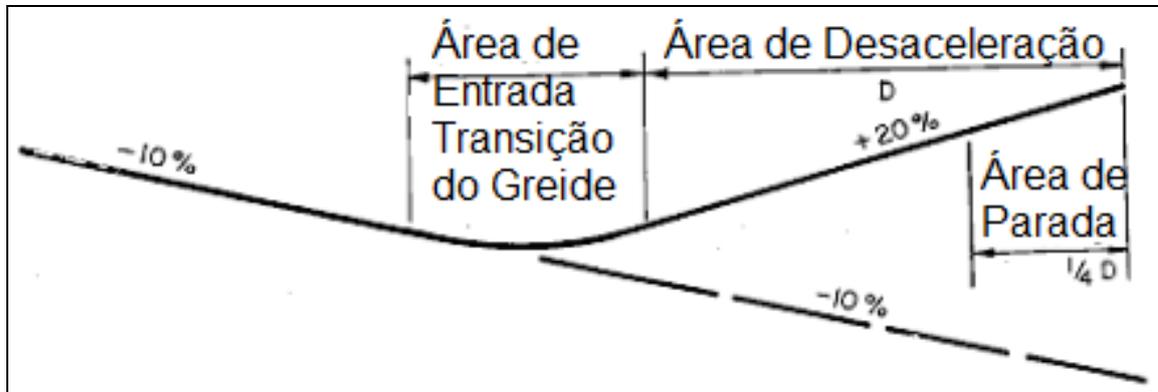
As rampas de escape desempenham um papel crucial na segurança das estradas de mina, especialmente para lidar com veículos desgovernados que não conseguem frear. O *Design of Surface Mine Haulage Roads* (1977) apresenta diretrizes e referências teóricas para o projeto e dimensionamento dessas rampas, dividindo-as em três áreas básicas: entrada, desaceleração e parada.

Figura 21 - Estrada de Mina - Planta - Rampa de Escape Áreas: Entrada, Desaceleração e Parada



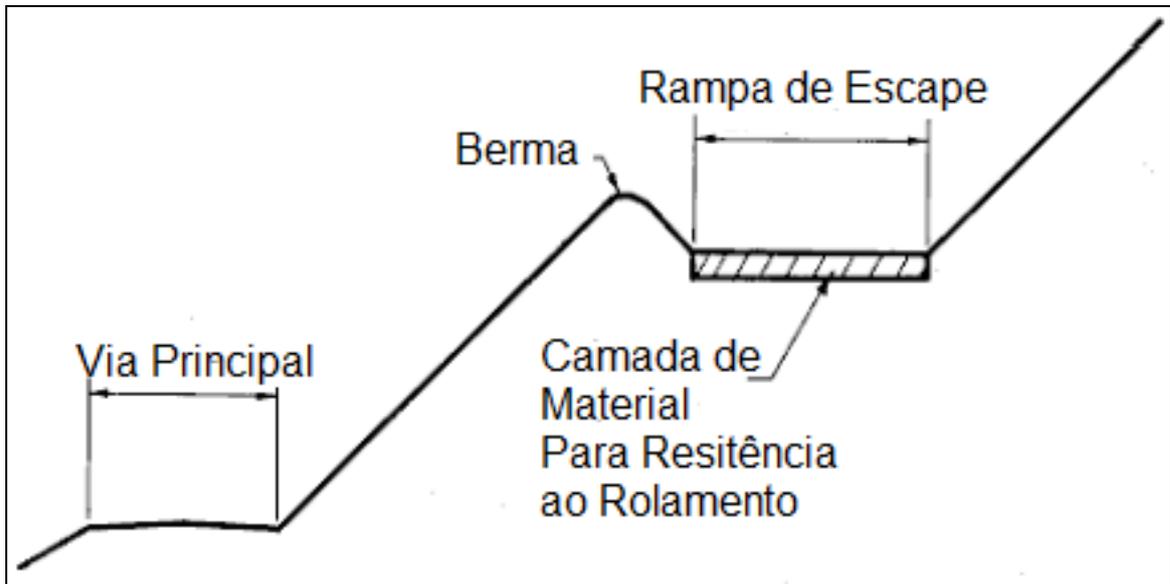
Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads, p.46, 1977.

Figura 22 - Estrada de Mina - Perfil - Rampa de Escape Áreas: Entrada, Desaceleração e Parada



Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads, p.46, 1977.

Figura 23 - Estrada de Mina - Seção Tipo - Rampa de Escape Áreas: Entrada, Desaceleração e Parada



Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads, p.46, 1977.

A área de entrada é fundamental para o projeto da rampa de escape, levando em consideração a velocidade do veículo ao chegar na entrada. A geometria da via deve ser adequada, com valores compatíveis para raios de curvatura horizontal e vertical, além da superelevação. Recomenda-se evitar superelevações menores que 0,06 fpf (pés por pé) ou maiores que 0,10 fpf, pois podem dificultar o desenvolvimento de curvas e a drenagem. A largura da pista também é um elemento importante, devendo ser suficiente para acomodar o veículo, mas não excessivamente larga para evitar gastos excessivos na construção.

A área de desaceleração contribui para a desaceleração do veículo desgovernado, sendo o ângulo ascendente o principal fator. Quanto maior o ângulo ascendente da via de escape, menor será o comprimento necessário. O dimensionamento dessa área requer a consideração das velocidades e distâncias de veículos desgovernados em diferentes greides descendentes. O manual fornece tabelas com as distâncias entre os caminhos de segurança para velocidades iniciais na falha do freio de 20 mph e 10 mph. Uma fórmula é apresentada para calcular o comprimento necessário da rampa de escape, levando em conta a velocidade de entrada, o coeficiente de resistência ao rolamento, o ângulo ascendente e a aceleração da gravidade.

No projeto da área de desaceleração, é importante utilizar um coeficiente de resistência ao rolamento adequado, como 0,2 ou 400 ppt (libras por tonelada), que representa a resistência oferecida por materiais de superfície não consolidados, como areia ou terra. As rampas de escape devem ser distintas da estrada principal de carregamento, e a manutenção regular da estrada deve terminar no final da área de entrada. Materiais compactos, profundos, soltos e granulares são mais adequados para uso nas áreas de desaceleração, pois retardam o movimento do veículo. As distâncias de desaceleração devem ser aplicadas a partir do final da área de entrada, onde as curvas horizontais e verticais terminam.

O manual também fornece tabelas com os comprimentos das rampas de escape com base na velocidade (mph) e inclinação do greide, usando a fórmula de dimensionamento apresentada anteriormente.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi realizado um levantamento de informações sobre as rampas de escape como solução para o problema de acidentes envolvendo veículos de grande porte em declives acentuados. A pesquisa abrangeu diversas fontes nacionais e internacionais, com o objetivo de compreender as características técnicas e operacionais, a circulação de veículos pesados, os locais de implantação, os tipos e o dimensionamento das rampas de escape.

Os resultados mostram que a implantação das rampas de escape é uma prática recomendada na engenharia rodoviária, com comprovada eficácia na preservação da integridade física do condutor e do veículo, proporcionando segurança nas rodovias. Recomenda-se a implantação das rampas em vias já existentes com histórico de acidentes envolvendo veículos de grande porte e atenção especial em trechos de declive em projetos de novas vias.

Conclui-se que a engenharia rodoviária é um campo dinâmico e em constante evolução, buscando soluções inovadoras para garantir a eficiência e segurança das vias. A atualização das normas de referência é fundamental, e, na ausência de informações nacionais, deve-se recorrer a fontes internacionais para adoção de parâmetros técnicos. Espera-se que o avanço tecnológico, como o uso de ferramentas da indústria 4.0 e bancos de dados técnicos, contribua para o desenvolvimento mais

rápido e eficiente de projetos de infraestrutura rodoviária, incluindo a implantação de dispositivos de segurança como as rampas de escape.

A pesquisa realizada visa fornecer informações técnicas relevantes sobre as rampas de escape para profissionais da área de estradas, auxiliando no desenvolvimento de projetos e melhorias em vias existentes. A adoção de normas comprovadamente eficientes e amplamente testadas internacionalmente é essencial para alcançar resultados positivos e reduzir ao máximo os acidentes rodoviários, visando a preservação de vidas humanas.

REFERÊNCIAS

Acidentes Rodoviários com Caminhões CNT - Confederação Nacional do Transporte -, *Acidentes Rodoviários: Estatísticas Envolvendo Caminhões*, Brasília, 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/acidentes-rodoviarios-caminhoes>. Acesso em: 28 dez. 2022.

Análise comparativa do aumento na segurança dos usuários da rodovia BR-376/PR com a implantação das áreas de escape. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/1470/799>. Acesso em: 26 dez. 2022.

Anuário CNT do Transporte - Estatísticas consolidadas - Transporte de cargas. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/Rodoviario/1-6-1-/Transporte-nacional>. Acesso em: 11 nov. 2021.

A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - AASHTO - 6th Edition, 2011.

BRASIL. Publicação IPR-706. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, 1999.

BRASIL. Publicação IPR-718. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de projeto de interseções*. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Publicação IPR-723. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Publicação IPR-733. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Transporte. Diretoria Geral. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Custos de acidentes de trânsito nas rodovias federais*. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Publicação IPR-740. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de projeto geométrico de travessias urbanas*. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Publicação IPR-741. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias*. Rio de Janeiro, 2010.

Colorado Department of Transportation, Applied Research and Innovation Branch, Emergency Escape Ramps (EER) Improvements, November, 2018.

CONTRAN. Volume I. Conselho Nacional de Trânsito, Sinalização Vertical de Regulamentação, Contran-Denatran. 2ª edição - Brasília, Contran 2007.

CONTRAN. Volume II. Conselho Nacional de Trânsito, Sinalização Vertical de Advertência, Contran-Denatran. 1ª edição - Brasília, Contran 2007.

CONTRAN. Volume III. Conselho Nacional de Trânsito, Sinalização Vertical de Indicação, Contran-Denatran. 1ª edição - Brasília, Contran 2007.

CONTRAN. Volume IV. Conselho Nacional de Trânsito, Sinalização Horizontal, Contran-Denatran. 1ª edição - Brasília, Contran 2007.

DER/MG. *Caderno de Sinalização Viária Horizontal*. Projeto Padrão DP/CNT-DER/MG, 2ª Edição - 2008.

DER/MG. Critérios de Projeto para Vias de Ligação com Reduzido Volume de Tráfego. RT-01. 46.d. 2009.

DER/MG. *Manual de Procedimentos para Elaboração de Estudos e Projetos de Engenharia Rodoviária*. Projeto de Sinalização e Segurança Viária 2ª Edição, Volume IX. Belo Horizonte, Janeiro de 2013.

DER/SP. Departamento de Estradas de Rodagem, Manual de Sinalização Rodoviária. 2ª edição. Volume I Projeto. São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/ManuaisSinalizacao.aspx> Acesso em 28 de dez. de 2022.

DER/SP. Departamento de Estradas de Rodagem, Instruções de Projeto. *Notas Técnicas de Projeto Geométrico*. NT-DE-F00/001. São Paulo, Agosto de 2006.

Design of Surface Mine Haulage Roads - A Manual, United States Department of The Interior. Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, IC 8758, 1977.

Estado de Minas, *Área de escape do Anel Rodoviário em BH finalmente entra em operação*. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/07/31/interna_gerais,1383714/area-

de-escape-do-anel-rodoviario-em-bh-finalmente-entra-em-operacao.shtml Acesso em: 30 dez. 2022.

Física, Doug Física, Rampa de Emergência, (15-08) *Exercício Resolvido - Halliday (Exercício 15 Capítulo 8)*. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ISzrt8GwMzI>. Acesso em: 02 jan. 2023.

Física, Mundo Educação, *Cálculo do Trabalho da Força Peso*. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/calculo-trabalho-forca-peso.htm>. Acesso em: 02 jan. 2023.

Física, Toda Matéria, *Energia Cinética*. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/energia-cinetica/>. Acesso em: 02 jan. 2023.

Física, UFPR, Energia Potencial e Conservação de Energia. Disponível em: http://fisica.ufpr.br/edilson/8_Energia_Potencial_e_Conservacao_de_Energia.pdf Acesso em: 24 out. 2021.

FURG. Serviço Público Federal, Ministério da Educação, *Fundação Universidade Federal do Rio Grande*, Departamento de Materiais e Construção, Disciplina: 04085 - Projeto de Estradas, Prof. Milton Luiz Paiva de Lima. Rio Grande/RS, Notas de Aula, Versão 3 - 2004.

Guiadotrc. *Efeito Canivete ou "L"*. Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/seguranca/efeito_canivete.asp. Acesso em: 17 abr. 2023.

Jornal Itatiaia. *Carreta utiliza área de escape no Anel Rodoviário de Belo Horizonte*. Disponível em: <https://www.itatiaia.com.br/editorias/cidades/2023/04/10/carreta-utiliza-area-de-escape-no-anel-rodoviario-de-belo-horizonte>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MAIRINK, Carlos Henrique Passos. *Descomplicando o Projeto de Pesquisa*. Belo Horizonte, 2018.

Mapa de Rampas de Escape, Arcgis, *Runaway Truck Ramps Map*. Disponível em: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=f15b6ea2ed2346c0955667a253a9d518>. Acesso em: 29 dez. 2022.

Ministério da Infraestrutura, Estatísticas - Frota de Veículos - SENATRAN. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 22 dez. 2022.

Monte Aspiring, Nova Zelândia, *Mount Aspiring / Tititea*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Aspiring/_Tititea. Acesso em: 30 dez. 2022.

National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Synthesis 178, Truck Escape Ramps, A Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board National Research Council, 1992.

Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em:
<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/area-de-escape-evita-acidente-grave-no-anel-rodoviario>. Acesso em: 11 nov. 2022.

Pontes Werratal em Hedemünden, Rampa de Emergência, na Alemanha. Disponível em: https://de.wikipedia.org/wiki/Werratalbr%C3%BCcken_Hedem%C3%BCnden. Acesso em: 30 dez. 2022.

Rampa de Escape na Nova Zelândia, Monte Aspiring, *Runaway Truck Ramp On West Coast NZ*, Disponível em:
https://wiki.openstreetmap.org/wiki/File:Runaway_Truck_Ramp_On_West_Coast_NZ.jpg. Acesso em: 30 dez. 2022.