

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS

**PROJETO GEOMÉTRICO - ÁREA DE ESCAPE PARA
REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES
DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS

**PROJETO GEOMÉTRICO - ÁREA DE ESCAPE PARA
REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES
DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador:

Prof. Fábio Krueger da Silva, Doutor

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Vasconcellos, Maira Luiza de
Projeto Geométrico - Área de Escape para Redução de Acidentes Envolvendo Caminhões Desgovernados na BR-282 km 428 / Maira Luiza de Vasconcellos; orientação de Fábio Krueger da Silva. - Florianópolis, SC, 2025.
74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. **Area de Escape.** 2. **Projeto Geométrico.** 3. **Segurança Viária.** 4. **Caixa de Retenção.** 5. **Engenharia Rodoviária.**
I. **Silva, Fábio Krueger da .** II. **Instituto Federal de Santa Catarina.** III. **Projeto Geométrico - Área de Escape para Redução de Acidentes Envolvendo Caminhões Desgovernados na BR-282 km 428.**

**PROJETO GEOMÉTRICO - ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES
ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428**

MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de fevereiro, 2025.

Banca Examinadora:

Fábio Krueger da Silva, Doutor
IFSC

Fernanda Simoni Schuch, Doutora
IFSC

Johnny Gilberto Moraes Coelho, Doutor
IFSC

Aline Selau Santos, Mestre
Iguatemi Engenharia

Dedico este trabalho à minha vizinha que é
minha maior inspiração, por ela eu cheguei
aqui e por ela quero conquistar o mundo.
Dedico também ao meu amado que, mesmo
ausente, continua a me cuidar de outro
plano. Sinto sua presença me orientando,
me trazendo paz, conforto e esperança.

AGRADECIMENTOS

É difícil resumir um sentimento que facilmente preencheria páginas e páginas de muita gratidão, lembranças, lágrimas e sorrisos. Concluir uma jornada tão árdua, cheia de altos e baixos (e muitos baixo), não é uma vitória só minha. Aqui, tento expressar um pouco dessa imensa gratidão.

Não há como iniciar esse texto sem mencionar minha mãe guerreira que, mesmo com nossas muitas diferenças, é meu porto seguro. Por todo o período acadêmico ouviu eu explicar cálculos, leu meus trabalhos e, principalmente, não me deixou desistir quando eu estava em um leito de hospital dividindo meu tempo entre remédios, atividades acadêmicas, enjoos, projetos, lágrimas e provas. Obrigada mãe!

Outra peça fundamental para essa conquista é meu pai, meu ponto de equilíbrio que sempre me ajudou a ver as dificuldades com outros olhos e a concentrar minhas energias no que é de fato necessário. Muitos conflitos já vivenciamos, mas sou muito feliz por tê-lo presente em minha vida. Obrigada pai!

Não deixaria minha amada vizinha de fora dos agradecimentos, já que todos os dias ela me pergunta da aula, se preocupa com minha alimentação ao passar o dia inteiro fora de casa e ainda me enche de mimos. Obrigada, minha rainha!

Saindo do círculo familiar, quero registrar um agradecimento especial à minha equipe de trabalho. Conheci esse pessoal incrível no exato momento em que precisava decidir os rumos deste trabalho e da minha vida profissional. Eles foram essenciais para a concretização deste projeto. Em especial, agradeço à Barbara, Emanuel, Keilla e Matheus, pelo apoio técnico sempre recheado de paciência e ensinamentos. E aos meus meninos, Felipe e Lucas, por tornarem os dias mais leves, com momentos de descontração e trocas diárias. Obrigada pessoal!

No decorrer dos meus muitos anos de vida acadêmica, muita gente eu conheci. A esmagadora maioria não passaram de colegas, alguns se tornaram amigos e levarei carinhosamente no coração e poucos, especificamente três pessoas, se tornaram família. Registro aqui minha gratidão ao meu irmão de outra mãe Rafael e as minhas amigas Karina e Stephanie. Obrigada seus lindos!

Por fim, agradeço imensamente a todos que torcem por mim e vibram pelas minhas conquistas. Sei que a lista é grande e não há espaço para tantas citações, só muita gratidão!

"A segurança viária não é um custo, mas um investimento vital na preservação de vidas."

SUMÁRIO

RESUMO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos Gerais	14
1.3 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Levantamento Histórico.....	15
2.2 Rodovias Brasileiras.....	16
2.2.1 Projeto Geométrico	16
2.2.2 Sinalização	17
2.2.3 Pavimentação.....	17
2.2.4 Drenagem.....	18
2.3 Veículos Pesados	18
2.4 Dispositivos de Contenção de Veículos Pesados	22
2.4.1 Rampas de Gravidade.....	22
2.4.2 Montes de Areia	23
2.4.3 Caixa de Retenção	23
2.5 Áreas de Escape no Brasil	24
2.6 Normativas.....	25
3 DEFINIÇÃO DO LOCAL	26
3.1 Levantamento de Dados Existentes	26
3.2 Análise Topográfica	29
3.2.1 Levantamento Aerofotogramétrico	29
3.2.2 Planta e Perfil Longitudinal.....	30
3.3 Justificativa da Escolha.....	34
4 LOCALIZAÇÃO	34
4.1 Características da Cidade de Vargem Bonita	35
4.2 Características da Rodovia BR-282	36
5 CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO	37
5.1 Declividade	37
5.2 Resistências Atuantes	38
5.3 Diretrizes da AASHTO (2001) para a Construção de Áreas de Escape	39
5.3.1 Alinhamento	39
5.3.2 Largura	40
5.3.3 Profundidade	40

5.3.4	Inclinação da Rampa.....	40
5.3.5	Comprimento.....	41
5.4	Veículo Tipo	41
5.5	Velocidade de Entrada.....	41
6	DIMENSIONAMENTO.....	42
6.1.1	Alinhamento	42
6.1.2	Largura	42
6.1.3	Profundidade	43
6.1.4	Inclinação da Rampa e Comprimento	43
7	PROJETO GEOMÉTRICO DA ÁREA DE ESCAPE: RESULTADO.....	48
7.1	Plantas.....	49
7.2	Perfil	49
7.3	Seção Transversal Tipo	49
7.4	Seções Gabaritadas	49
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFEÊNCIAS	52
	APÊNDICE A – PLANTA DE TRAÇADO PLANIMÉTRICO	55
	APÊNDICE B – PLANTA BAIXA	57
	APÊNDICE C – PERFIL LONGITUDINAL.....	60
	APÊNDICE D – PERFIL CONSTRUTIVO DA RAMPA.....	62
	APÊNDICE E– SEÇÕES TRANSVERSAIS TIPO.....	64
	APÊNDICE F – SEÇÕES GABARITADAS.....	68
	TERMO DE ENCERRAMENTO	74

RESUMO

Este trabalho, intitulado “Projeto Geométrico - Área de Escape para Redução de Acidentes Envolvendo Caminhões Desgovernados na BR-282 km 428”, propõe uma modelagem do projeto geométrico de uma área de escape para mitigar acidentes em declives acentuados causados pela perda ou falha do sistema de frenagem de veículos pesados, fundamentando-se em revisão bibliográfica, análise de dados estatísticos – obtidos por meio das informações do Painel CNT de Acidentes Rodoviários – e levantamento topográfico do trecho crítico da BR-282, realizado a partir do mapa digital do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina disponibilizado pela plataforma SIGSC. A escolha do local para a inserção do dispositivo baseou-se na união dos trechos com maior incidência de acidentes e de uma topografia com longa declividade, fatores que determinam uma solução prática e viável. A modelagem do projeto envolve o dimensionamento dos parâmetros essenciais – alinhamento, largura, profundidade, inclinação e comprimento da caixa de retenção – segundo as diretrizes da AASHTO, considerando a ausência de normativas brasileiras específicas para áreas de escape. Conclui-se que a modelagem proposta contribui significativamente para a redução dos riscos de acidentes, servindo de base para futuras intervenções em rodovias críticas e para a realização de outros estudos e projetos que visem aprimorar as condições de segurança viária.

Palavras-chave: Área de Escape. Projeto Geométrico. Segurança Viária. Caixa de Retenção. Engenharia Rodoviária.

PROJETO GEOMÉTRICO - ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que existem várias formas de transporte por todo o mundo, alguns mais rápidos, alguns com maior capacidade de carga, alguns por água, alguns por terra, alguns pelo ar. Apesar de tantas possibilidades, no Brasil o modal rodoviário é predominante em transportes de mercadorias, de acordo com a Secretaria Nacional de Trânsito cerca de 75% do que é produzido, vendido e movimentado pelo país é transportado através das nossas malhas rodoviárias.

Por esse motivo, é necessário garantir o máximo de segurança para quem trafega nas estradas brasileiras. Infelizmente, diversos fatores contribuem para os acidentes de trânsito e, quando se trata de caminhões e carretas, as consequências podem ser devastadoras, potencialmente fatais.

Atualmente existe uma ferramenta criada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) que reúne dados da Polícia Rodoviária Federal referente a acidentes ocorridos nas rodovias federais do Brasil desde 2007. No ano de 2022, o Painel CNT (2023) apontou que 18,60% dos acidentes que aconteceram nas rodovias federais foram causados por caminhões. Através do Painel CNT (2023), compara-se a quantidade de acidentes envolvendo caminhões de 2010 até 2019. Nota-se uma redução no número de acidentes, isto está diretamente relacionado às melhorias nas estradas federais e a conscientização de empresas e caminhoneiros sobre a segurança nas vias. Contudo, desde 2019 os números de acidentes por ano envolvendo caminhões, estagnou em 20 mil, um valor considerado muito alto.

Por mais que tenham ocorrido avanços na segurança viária percebe-se que os números de acidentes, fatalidades, perdas materiais e financeiras ainda são elevadas e muita coisa precisa ser feita para mudar essa triste realidade. O Brasil tem uma malha viária antiga, com baixa densidade e mau estado de conservação.

Paralelamente, a população cresceu, a indústria e o comércio prosperaram e alguns trechos da malha sofreram com excesso de volume de tráfego. Além disso, as normas rodoviárias foram atualizadas e a tecnologia se expandiu, desta forma, é imprescindível que as rodovias brasileiras sejam melhoradas. As soluções para redução de acidentes envolvendo caminhões nas rodovias têm entrado em pauta nos debates,

reuniões e eventos referentes à segurança nas rodovias. É nesse contexto que as Áreas de Escape têm começado a serem consideradas no projeto geométrico das estradas brasileiras.

Áreas de escape são dispositivos adicionados às rodovias longas e/ou com grandes declividades que servem para conter caminhões que perdem o controle. É uma alternativa segura e eficiente para evitar acidentes desastrosos em situações de emergência. Obviamente que, para que o caminhão desenfreado acesse a área de escape, é necessário uma decisão do condutor, por isso, além da construção do dispositivo, também se faz necessário orientação para os caminhoneiros (Zanoli, 2003).

Segundo a Agência Senado (2023), no dia 26 de setembro deste ano, uma nova versão para o Projeto de Lei 2.773/2022 foi aprovada na Comissão de Infraestrutura. No documento recomenda-se a construção de áreas de escape nos trechos em declividade com alto índice de acidentes nas rodovias federais. Espera-se assim que este dispositivo de segurança passe a fazer parte do cotidiano dos projetos rodoviários trazendo segurança e conforto nos deslocamentos das pessoas e cargas.

Considerando o crescente espaço que as áreas de escape têm ganhado nas políticas públicas referentes à infraestrutura rodoviária, esta pesquisa apresenta uma revisão do tema, destacando os principais aspectos normativos. Ainda traz uma análise sobre alguns dispositivos existentes no Brasil, bem como, a concepção de um projeto hipotético de uma área de escape em uma rodovia fictícia.

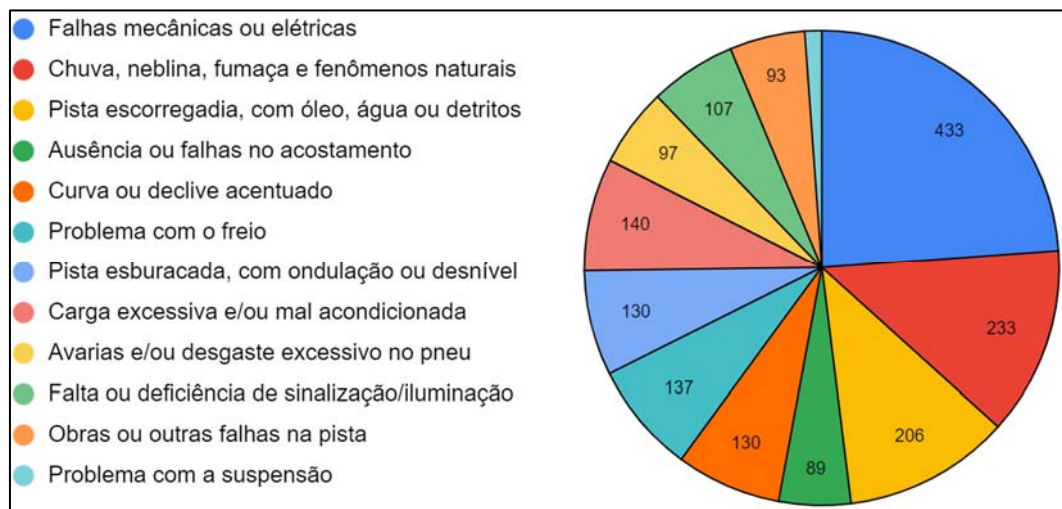
1.1 Justificativa

Através dos dados referentes às causas dos acidentes nas rodovias envolvendo caminhões no ano de 2022, o Painel CNT (2023) mostra que grande parte dos acidentes (aproximadamente 90%) são causados por irresponsabilidade do condutor. As principais causas são: reação tardia ou ausência dela, ingestão de álcool ou entorpecentes, dormir no volante e infrações variadas como alta velocidade, ultrapassagem indevida, entre outras.

As demais causas (falhas mecânicas, fenômenos naturais, pista escorregadia, entre outros), referem-se a situações que independem da ação do condutor ou de terceiros e, é aqui, que a engenharia de transportes tem condições de intervir. Neste contexto está focado o escopo deste trabalho. As principais causas envolvendo acidentes com caminhões que independem da ação de terceiros pode ser visto no gráfico presente

na Figura 1, assim como sua distribuição. Considerando essas causas de acidentes, tem-se um total de 1816 acidentes envolvendo caminhões nas rodovias federais no ano de 2022.

Figura 1 - Gráfico das causas de acidentes com caminhão que independem da ação de pessoas



Fonte: A autora (2023)

Pelo Painel CNT (2023), tem-se registro que no ano de 2022, houve um total de 570 acidentes ocasionados por alguma falha mecânica, elétrica ou no sistema de frenagem em rodovias federais brasileiras. Este ano, até o mês de agosto, já foram registrados 364 acidentes da mesma categoria, como foi o caso do ônibus que transportava torcedores do Corinthians na rodovia Fernão Dias em Minas Gerais. Segundo Pescarini (2023) repórter do jornal Folha de São Paulo, o motivo do acidente foi a falta de freios e que, na mesma região, já aconteceram 67 acidentes em um ano. O estudo para a implantação de uma área de escape nesta serra já existe, porém, continua no papel.

Figura 2 - Ferragens do ônibus que capotou na rodovia Fernão Dias, em Minas Gerais



Fonte: Folha de São Paulo (2023)

Além disso, a utilização da área de escape não se limita apenas aos problemas relacionados ao sistema dos freios, afinal, em qualquer situação em que existe excesso de velocidade e risco de acidentes, as áreas de escape são aliadas. Segundo Pescarini (2023) as áreas de escape em regiões de serra de estradas brasileiras já foram acessadas ao menos 1.500 vezes, desde que a primeira delas foi construída, em março de 2000.

Pescarini (2023) também relata que em Minas Gerais já foi sancionada uma lei que torna obrigatória a implantação de rampas de escape em rodovias estaduais a serem construídas ou duplicadas pelo governo do estado e que tramita na Câmara dos Deputados um projeto de lei que prevê a instalação de rampas de escape em estradas federais com longos trechos de descida.

Figura 3 - Área de escape do Anel Rodoviário na Região Oeste de BH



Fonte: MG1 - Belo Horizonte (2022)

1.2 Objetivos Gerais

A partir do exposto e visando a necessidade de soluções para melhorias na segurança viária do Brasil, este trabalho tem como **objetivo geral** realizar o projeto geométrico de uma área de escape para a BR-282.

1.3 Objetivos Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo, propõem-se como **objetivos específicos**:

- Analisar quantitativamente as áreas de escape mais relevantes no Brasil até o presente momento;
- Escolher o local para realização do projeto;
- Projetar uma área de escape.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Levantamento Histórico

Com a Revolução Industrial e a tecnologia que cresceu muito a partir dela, surgiram os primeiros veículos auto impulsionados. Em 1895 que o alemão Karl Benz construiu o primeiro caminhão com motor de combustão interna e, logo no ano seguinte, Gottfried Daimler criou o primeiro caminhão com motor a gás (Andrade, 2022).

Já em 1898, o escocês Alexander Winton que fabricava e vendia carros sentiu a necessidade de um meio de transporte que pudesse transportar outro carro, foi então que surgiu o primeiro semi reboque que era o acoplamento de uma carroça na traseira de um trator (Great Western Transportation, s. d.).

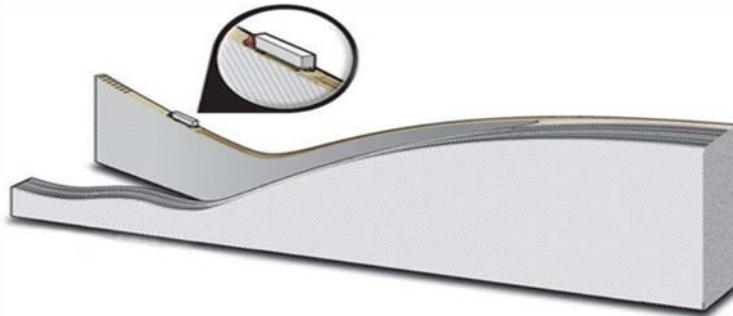
Em 1914, nos Estados Unidos, novamente pela necessidade de transportar algo grande, August Charles Fruehauf criou um semi reboque para carregar um barco (Great Western Transportation, s. d.).

Foi então, em 1923 que Karl Benz criou o primeiro caminhão a diesel do mundo, segundo TranspNet (2020) essa foi uma etapa particularmente importante na evolução histórica do produto. Desse momento em diante, os caminhões e grandes veículos passaram a usar motor a diesel devido ao seu alto rendimento.

Com a necessidade cada vez maior de transportar grandes cargas a longas distâncias, a evolução dos caminhões sofreu um alavanque até que chegasse à atualidade. Porém, quanto mais potência e pesado se tornou o veículo de carga, maior o risco de acidentes potencialmente graves causados por falha de freios em grandes declividades. Esse problema no sistema de frenagem se dá, na maioria das vezes, pelo superaquecimento que acontece quando se faz necessário usar os freios excessivamente.

Por volta dos anos 50, nos Estados Unidos, as áreas de escapes começaram a ser idealizadas para as longas serras potencialmente perigosas que atravessavam o país. Inicialmente, foi criada uma rampa de escape com elevação contrária à da via e com inclinação maior (Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos, 2021).

Figura 4 - Idealização das primeiras rampas de escape



Fonte: Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos (2021)

Segundo a Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos (2021), em 1980 mais de 170 rampas de escape já funcionavam nos Estados Unidos e mais de 2.150 acidentes foram evitados no ano de 1981.

2.2 Rodovias Brasileiras

A respeito do modal rodoviário brasileiro, vários aspectos que contribuem para um mau funcionamento dos veículos devem ser analisados. Desde o projeto geométrico, as sinalizações, estrutura do pavimento, sistema de drenagem e afins. Afinal, as estradas são as maiores responsáveis pelo deslocamento de cargas via terrestre e, se algo não está bem, isso vai acarretar em problemas a curto, médio ou longo prazo.

2.2.1 Projeto Geométrico

Segundo Zanoli (2003), um estudo feito na França relata que em declives maiores que 2%, o risco de acidentes duplica para veículos de passeio e é cinco vezes maior para caminhões. Isso mostra a importância de um bom projeto geométrico para evitar ao máximo situações que potencializam riscos de acidentes.

Porém, sabemos que a grande parte das rodovias do Brasil existem a muitos anos e considerando que a primeira rodovia pavimentada do Brasil foi inaugurada em 1928 (trecho que atualmente faz parte da BR 040), pode-se ter ideia do quão antigo e sem estudos aprofundados de projeto geométrico são as rodovias brasileiras. Segundo Lessa (2005), a explosão do desenvolvimento rodoviário aconteceu nas décadas de 40 e 50 quando Juscelino Kubitschek adotou o lema “governar é construir estradas”.

Por esse motivo, a grande maioria das obras na parte de infraestrutura viária referem-se a reformas, alargamentos, extensões, adequação, ampliação, reconstrução,

duplicação e melhorias em geral. Ou seja, não há espaço para projetar uma rodovia do zero, o que precisa é de projetos que melhorem a condição daquilo que já está feito.

2.2.2 Sinalização

Já em relação às sinalizações verticais e horizontais das rodovias, houve uma melhora significativa desde o início da vigência do BR-Legal em 2013. Segundo a Agência Transporta Brasil (2022), desde o início do programa até 2019, houve um avanço na avaliação geral de sinalização nas rodovias federais de 39,7% para 57,5% de avaliações positivas.

Apesar de ainda ter muito a melhorar, a existência do Programa Nacional de Sinalização e Segurança Viária - BR-Legal 2 que contempla os serviços de implantação e manutenção vertical, horizontal, suspensas, dispositivos auxiliares de segurança viária e serviços relativos à engenharia de trânsito, é um passo muito positivo para as rodovias do Brasil (Ministério da Infraestrutura, 2023).

2.2.3 Pavimentação

O pavimento é um sistema com vários estratos de diferentes espessuras que são construídas após a terraplanagem e tem como objetivo suportar os pesos dos veículos que trafegam sobre ela.

A situação atual das estradas do país mostra que há algo errado acontecendo. Os pavimentos são projetados para que, com a devida manutenção, se mantenham resistentes durante a vida útil previamente definida em fase de projeto, mas pela falta de manutenção e por, muitas vezes, ter projetos que não são elaborados de acordo com a necessidade real da via, tem-se um elevado número de estradas com pavimentação precária.

Um dos pontos principais para tal acontecimento é o sobrepeso dos caminhões que trafegam além do limite permitido e, conseqüentemente, causam danos ao pavimento antes do tempo previsto para manutenção. Assim como relatado anteriormente, a forma de resolver uma parte do problema é aumentar a fiscalização diminuindo assim o fluxo de veículos com cargas acima das permitidas.

2.2.4 Drenagem

Outro ponto importante a ser analisado que são causadores de intercorrências nas rodovias é o acúmulo de água sobre o pavimento. A drenagem superficial de uma rodovia tem como objetivo impedir que a água se aloje na via. Por isso, há inclinações na seção transversal e o pavimento deve ser impermeável. Já a drenagem profunda visa proteger a estrutura do pavimento e, para isso, é necessário um bom estudo topográfico do terreno (Silva, 2022).

2.3 Veículos Pesados

Acidentes ocasionados por falta de manutenção no veículo, na maior parte das vezes, impossibilitam que o condutor retome o controle. Um estudo feito nos Estados Unidos mostra que a maioria dos acidentes causados pelo mau funcionamento do sistema de freios se dá por falta de manutenção, conserto e desbalanceamento dos esforços das rodas dos caminhões (Silva, 2022).

O sistema de freios de veículos pesados é variado em sua atuação, podendo ser de todos os eixos veiculares ou só dos eixos de semi-reboque ou ainda, variando conforme a velocidade no início da frenagem (Zanoli, 2003).

Ainda segundo Zanoli (2003), eles podem ser divididos em:

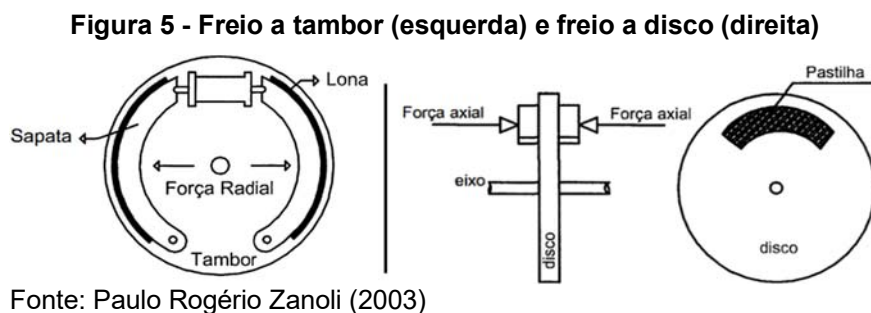
- Freios de serviço: é o mais utilizado dos sistemas;
- Freio de estacionamento: utilizado para imobilizar o veículo quando este precisar ficar parado;
- Freios auxiliares: utilizados para ajudar a frenagem sem que seja usado o atrito dos freios, como o freio motor.

Cada sistema tem características próprias, mas todos tem como objetivo desacelerar ou parar o movimento das rodas do veículo por meio da transformação de energia mecânica em energia térmica (calor) e, uma singela parte, em energia acústica (ruído).

Dentre os freios de serviço, tem-se o sistema de freio a tambor que consiste em um cilindro mestre que, ao ser acionado o pedal pelo condutor, transmite uma força radial às sapatas que pressionam as lonas que levam essa força ao tambor que fazem a roda parar. Esse sistema tem um alto fator de freio e é mais utilizado em rodas traseiras, porém são sensíveis a alta temperatura, ao atingir valores entre 400 e 530°C podem

apresentar falhas no sistema pelo aumento do diâmetro do tambor que reduz o contato com a lona.

Ainda nos freios de serviço, tem-se o sistema de freio a disco que atua de forma parecida ao freio a tambor, porém a força aplicada é axial e pressionam as pastilhas contra o disco, que está fixado nas rodas, como se fossem uma pinça. A grande vantagem deste sistema é que ele suporta temperaturas de 800 a 900°C e resfria mais rápido, já que possui uma área de ventilação maior.



Há também sistemas de freio mais modernos e que vem ganhando força no mercado, são eles os freios hidráulicos e os freios pneumáticos. O primeiro, é baseado no Princípio de Pascal, onde se uma força é aplicada em um ponto de um líquido, ela é transferida na mesma intensidade para todos os lados. Ou seja, ao pisar no pedal, a força aplicada é amplificada pelo servo freio que aciona o cilindro mestre, este pressiona o fluido nos tubos que leva a força aos pistões que acionam as pastilhas contra o disco (Alves, 2021). Já nos sistemas pneumáticos, quando o pedal de freio é pressionado, ele gera uma mudança de pressão de ar dentro do cilindro mestre, no interior da peça tem um pistão que movimenta uma haste ligada às sapatas e estas pressionam o disco da roda (FRAS-LE, 2021).

Mesmo cada sistema apresentando suas particularidades, todos os freios de serviço baseiam-se no princípio de gerar atrito entre dois corpos comprimidos fazendo-os desacelerar. O problema é que gerar atrito atrai o grande vilão dos sistemas de frenagem: o superaquecimento. Esse calor excessivo pode danificar os freios parcial ou completamente, tornando-o uma arma perigosa para todos que transitam na via.

Para melhor compreensão sobre os efeitos negativos do calor sobre o sistema de freio, é necessário entender alguns conceitos referentes as lonas e pastilhas:

Resistência ao fade: Segundo Zanoli (2003), fade é um termo utilizado para designar o efeito da perda de atrito que acontecem em todas as pastilhas e lonas, a diferença está na velocidade que o fade é alcançado, pois a eficiência do freio vai diminuir

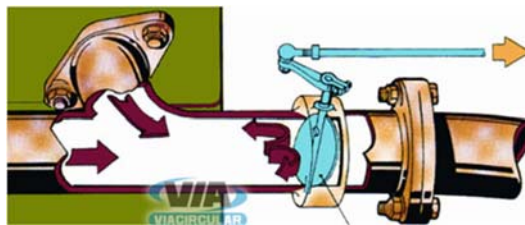
quando o fade é atingido. Lonas e pastilhas de qualidade possuem um fade gradual que serve de alerta para motoristas, já quando não há qualidade no material ou as peças estão velhas, o fade acontece subitamente podendo gerar perda total do controle do veículo.

Recuperação: É a propriedade que as pastilhas e lonas possuem de voltar ao nível de atrito original após o uso do freio, quanto melhor for a qualidade da peça, mais rápido ela irá se recuperar.

Sensibilidade à velocidade: Pastilhas e lonas de boa qualidade não devem apresentar variação no atrito conforme a velocidade do veículo aumenta, quando isso acontece, é necessário que o freio seja ativado por longas distâncias e não seja eficaz numa situação de emergência súbita.

Além dos freios de serviço, os caminhões têm um grande aliado que é o freio motor que consiste em um freio auxiliar que não utiliza atrito nas rodas do caminhão. Segundo Mattos (2022) o freio motor é um mecanismo que estrangula a saída de gases através de uma borboleta colocada no coletor do escapamento reduzindo a injeção de combustível, desacelerando o veículo pela contrapressão produzida.

Figura 6 – Freio motor



Fonte: César Mattos (2022)

A utilização do freio motor é fortemente recomendada em declives para que o sistema de frenagem não seja sobrecarregado e, conseqüentemente, venha a falhar. Ou ainda quando é necessário fazer uma parada brusca, já que nem sempre a resistência ao fade é alta. Além disso, a manutenção do freio motor é mais econômica e não prejudica o caminhão se for utilizado da forma correta, respeitando a velocidade daquela marcha e fazendo as trocas devidas.

Além dos problemas relacionados ao superaquecimento do sistema de frenagem, vale ressaltar que falhas mecânicas e elétricas também podem ocasionar problemas com os freios, uma vez que todo o conjunto que faz o veículo movimentar-se está interligado. Por exemplo, quando o motor do veículo desliga de forma não prevista, o sistema de freios sofre uma sobrecarga e passa a funcionar parcialmente.

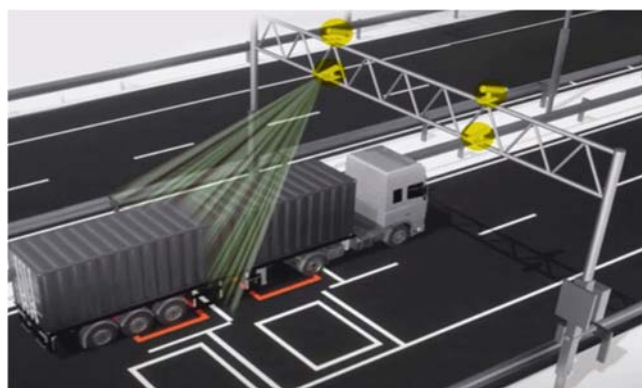
O excesso de cargas é um complicador do processo de desaceleração do veículo. Os caminhões estão a cada dia maiores, mais carregados e pesados e que muitas vezes estão em desacordo com os limites estabelecidos pelas normas de trânsito. Eles devem respeitar os limites legais de pesos definidos pelo CONTRAN, na resolução nº 882 de 13 de dezembro de 2021. No Art. 3º é estabelecido os conceitos e definições para os diversos tipos de caminhões, já no Art. 4º é definido os limites de dimensões e pesos.

Segundo a normativa, nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com peso bruto total (PBT), com peso bruto total combinado (PBTC) ou com peso bruto transmitido por eixo, superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração (CMT) da unidade tratora. Ainda, havendo divergência entre os limites, deverá ser obedecido o menor deles, considerado limite regulamentar (SETCERGS, 2021).

Uma forma de fiscalizar o excesso de peso dos caminhões é a balança de pesagem. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (2021) qualquer veículo com Peso Bruto Total (PBT) acima de 3,5 toneladas tem obrigação de passar pela pesagem, porém a entrada na balança não é obrigatória e isso faz com que muitos andem de forma irregular e não passem pela fiscalização.

Existem também as balanças por movimento, que fazem a pesagem direto na via, sem a necessidade de reduzir velocidade ou entrar em lugar específico, além disso, não é obrigatório a presença de um agente de trânsito, já que o controle é todo remoto. Segundo Silva (2023) isso é uma forma de garantir o cumprimento da Lei da Balança já que todo veículo que passar pela via será monitorado.

Figura 7 - Pesagem em movimento



Fonte: Guia do TRC (2022)

Todos os órgãos que fazem parte do Sistema Nacional de Trânsito devem trabalhar juntos pela segurança, conforto e bem estar das pessoas, em especial a Polícia

Rodoviária Federal que, no âmbito das vias federais, devem fiscalizar se está sendo cumprido a legislação e as normas vigentes (Watanabe, 2023).

2.4 Dispositivos de Contenção de Veículos Pesados

Segundo Zanoli (2003),

O número de acidentes envolvendo veículos fora de controle pode ser reduzido com ações que reforcem o uso adequado do sistema de freios, sinalização eficiente, educação e treinamento dos motoristas. As consequências desse tipo de acidente também podem ser minimizadas, por meio da implantação de dispositivos de contenção de veículos desgovernados em trechos com longos declives, adequados às características da rodovia. Esses dispositivos são mecanismos capazes de dissipar a energia cinética dos veículos fora de controle, substituindo os freios de serviço inoperantes (ZANOLI, 2003).

Os principais dispositivos de contenção segundo a AASHTO (2001) são:

- Rampas de gravidade (em inglês, *escape ramps*)
- Montes de areia (em inglês, *sandpiles*)
- Caixa de retenção (em inglês, *arrester beds*)

2.4.1 Rampas de Gravidade

As primeiras rampas construídas nos Estados Unidos eram *escape ramps*, uma solução fácil de instalar e com baixo custo, porém aos poucos foram sendo substituídas por áreas de contenção mais seguras. Como a superfície é feita com material compacto, não impede o rolamento dos pneus, ou seja, se o veículo estiver com falha no sistema de freios, ele pode após a parada retornar de ré devido a aceleração gravitacional.

Figura 8 - Rampa de gravidade



Fonte: Rob Hamilton (2020)

2.4.2 Montes de Areia

Os *sandpiles* são saídas compostas por montes de areia ou terra que, quando o veículo desgovernado penetra a área, pela alta resistência de rolamento o veículo tem seus pneus afundados.

A vantagem desse tipo de contenção é que não é necessário um longo comprimento de área e é indicado para locais com pouco espaço físico. A principal desvantagem é que a frenagem acontece de força bruta e isso pode apresentar riscos ao condutor, além dessa, pode-se citar também que é necessário um método de extração do veículo já que o mesmo fica afundado na areia.

Figura 9 - Monte de areia



Fonte: César Hernández (2018)

2.4.3 Caixa de Retenção

As *arrester beds* são dispositivos que freiam caminhões através da resistência que o material solto usado para encher a caixa gera ao penetrar nas rodas do veículo. Essas caixas necessitam de um sistema de drenagem eficiente capaz de coletar água e outras substâncias provenientes de vazamentos dos veículos. As caixas podem ou não apresentar declividade, assim como suas dimensões podem ser variadas, isso será detalhado adiante.

Zanoli (2003) destaca duas principais vantagens desse tipo de contenção. A primeira é que, como os veículos são submetidos à mesma desaceleração, a massa não altera a distância até parar, independentemente de ser um caminhão pesado ou leve. A segunda, refere-se à praticidade de manutenção, já que a única necessidade desse dispositivo é a reposição do material da superfície após o uso e periodicamente para evitar a compactação.

O único problema é que, assim como nos montes de areia, é necessário um dispositivo para extrair o veículo da caixa, uma vez que o mesmo fica afundado no material solto. Atualmente, já existem áreas de escape com um mecanismo de pórticos rolantes acoplados a caixa, facilitando assim a remoção do veículo.

A imagem a seguir apresenta as partes da área de escape do tipo caixa de retenção, trazendo uma visualização melhor sobre o dispositivo.

Figura 10 - Área de escape tipo caixa de retenção



Fonte: Fábio Pescarini (2023)

2.5 Áreas de Escape no Brasil

No Brasil, a primeira área de escape foi implantada em 2000 na Rodovia Anchieta (SP-150), no Km 42 e, posteriormente no Km 49, em 2014. Com o decorrer dos anos foi confirmado a eficácia desse dispositivo, novas áreas foram construídas em outras rodovias do país.

A principal função das áreas de escape é fazer veículos desgovernados perderem velocidade até parar. Podem ser rampas que através da força gravitacional vai desacelerar o veículo até parar, porém com o risco de retornar para a via. Podem também ser montes de areia que pela alta resistência ao rolamento, provocam uma parada brusca do veículo. Há também as áreas sem inclinação, mas compostas por materiais soltos que permitem a penetração dos pneus fazendo o veículo parar ao longo do percurso. E, para situações específicas devido a topografia do local, há rampas descendentes (Silva, 2022).

Segundo a Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos (2021) há também um sistema que utiliza uma cerca de cabos de aço acoplados a um sistema elástico onde o caminhão colide e fica imóvel, porém é um sistema caro de instalação e manutenção.

Outro fator que também mostra a necessidade de áreas de escape nas grandes serras é o fato de cada vez mais o carregamento ser maior e mais pesado. A cada novo ano, motoristas e empresas buscam transportar o máximo possível de carga pensando na economia e muitas vezes, até além do limite permitido legalmente. Isso reduz consideravelmente a segurança do veículo nas estradas com declividades altas (Zanoli, 2003).

Não há como negar a eficácia das áreas de escape, segundo Robison Negri (2020) na análise comparativa do aumento na segurança dos usuários da rodovia BR-376/PR com a implantação das áreas de escape:

Após a implantação da caixa de escape no Km 671 em 2011, é possível observar a queda de 20,97% no número de acidentes quando comparado com 2020. Nas áreas próximas ao dispositivo de segurança o total de acidentes rodoviários reduziram em 32,23%, mesmo a caixa de retenção tendo função de prevenir a saídas de pista por falhas de freios, é possível perceber que os usuários de veículos pesados da rodovia buscam se direcionar à mesma, evitando os sinistros (NEGRI, 2020).

Segundo a Arteris (2023), empresa responsável pelas áreas de escape da BR-376/PR nos km 671,7 e km 667,3, construídas em 2011 e 2019, respectivamente, essas estruturas já foram utilizadas mais de 800 vezes, evitando acidentes potencialmente fatais. O dado foi publicado na rede oficial da Arteris no LinkedIn, por meio do diretor Antônio Cesar Ribas Sass.

Tem-se também informações importantes sobre a eficiência das áreas de escape na Via Anchieta, segundo Andrade (2022):

A Via Anchieta, que liga a cidade de São Paulo ao litoral e o Porto de Santos, é uma das artérias mais importantes do transporte rodoviário de cargas brasileiro e foi a primeira do país a receber uma rampa de escape. Em 2014, a Anchieta ganhou mais uma rampa de escape, que já foi utilizada 133 vezes. Juntas, as duas rampas já foram acionadas 918 vezes (ANDRADE, 2022).

Não há dúvidas sobre a eficácia das áreas de escape e, sabendo que ainda existem muitas rodovias em declividades e longos trechos de serras por todo o Brasil, é indispensável que as áreas de escape continuem sendo projetadas e instaladas pelo país, gerando segurança para as rodovias.

2.6 Normativas

No Brasil, ainda não há normas técnicas específicas para a construção de áreas de escape. Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (2023), a área

de escape do km 667,3 da BR-376 tem sido usada como modelo para novos projetos. Para referência, adota-se a norma americana *AASHTO - Geometric Design of Highways and Streets* (2001), que define diretrizes para o projeto geométrico de rodovias e ruas, abrangendo desde o alinhamento e o dimensionamento das vias até dispositivos de segurança viária.

No caso das áreas de escape, a norma estabelece critérios para localização, dimensões e materiais utilizados, garantindo que cumpram sua função de desacelerar veículos em situação de emergência. Também orienta sobre a inclinação e a composição do solo ou da brita, fatores essenciais para a eficiência dessas estruturas. Essa referência será utilizada ao longo deste trabalho.

3 DEFINIÇÃO DO LOCAL

A escolha do local para instalação de uma área de escape é fundamental para que os resultados sejam positivos ou negativos, considerando que uma má localização não fornecerá um recurso de salvamento para veículos desgovernados.

Não existe uma regra definitiva para a escolha do local, ela deve ser feita através do estudo topográfico da região, juntamente com um detalhado estudo de tráfego, além de uma análise física do local e da disponibilidade para a construção.

Como o objetivo deste trabalho é apresentar um projeto geométrico para a BR-282, não foi realizado um projeto topográfico e nem um estudo de tráfego. Todavia, a fim de justificar o local escolhido, foi realizada uma análise com dados existentes referentes a acidentes na BR-282 e, em paralelo, uma comparação com a topografia da região. Através dessa análise, definiu-se o local para o projeto.

3.1 Levantamento de Dados Existentes

Segundo o Departamento Estadual de Infraestrutura – DEINFRA (2018), a BR-282 é uma rodovia arterial transversal que liga Florianópolis (Ponte Colombo Salles - SC) a Paraíso (Divisa Internacional SC/AR). Atualmente, é a maior rodovia federal do estado de Santa Catarina, com 667,3 quilômetros de extensão, na Figura 11 é possível notar a grande extensão da rodovia de estudo.

Figura 11 - Rodovias Federais de Santa Catarina



Fonte: Imprensa do Povo (2019)

A BR-282 é um pilar no desenvolvimento econômico já que por ela que a produção agrícola e industrial do oeste do estado chega ao litoral sustentando a economia de pequenos e grandes municípios ao longo do percurso. Além de ser uma importante ligação entre os principais portos do país (Pedrozo; Pires, 2023).

Com tanta demanda de tráfego e com a maior parte da sua extensão em pista simples, a BR-282 carrega índices altíssimos de acidentes. Nos últimos cinco anos, esteve entre as três rodovias com mais acidentes de Santa Catarina e entre as quinze com mais acidentes do Brasil (Painel CNT, 2024).

Tabela 1 - Acidentes na BR-282

Ano	Total de acidentes	Total de mortes em acidentes
2020	1251	101
2021	1179	87
2022	1148	84
2023	1190	82
2024 (até outubro/2024)	1185	98

Fonte: Painel CNT (2025)

Através do Painel CNT (2024) é possível também visualizar o mapa dos acidentes com mortes e através dele, analisar os pontos mais críticos. Nas imagens a seguir, consta o mapa de acidentes com mortes dos últimos 3 anos.

Figura 12 - Mapa dos acidentes com mortes em 2024



Fonte: Painel CNT (2025)

Figura 13 - Mapa dos acidentes com mortes em 2023



Fonte: Painel CNT (2025)

Figura 14 - Mapa dos acidentes com mortes em 2022

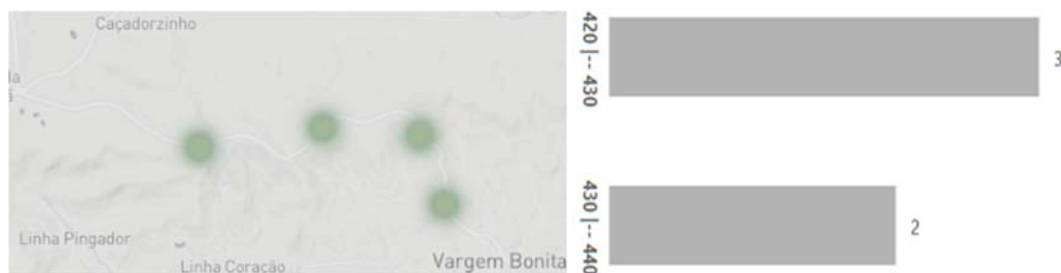


Fonte: Painel CNT (2025)

Nota-se que há algumas regiões têm maior destaque de acidentes recorrentemente, como a região da Grande Florianópolis, o trecho entre Joaçaba e Xanxerê e entre Xanxerê e Chapecó.

No trecho entre o km 420 e o km 440, foram registrados 5 acidentes fatais entre janeiro e outubro de 2024, como apresentado no gráfico de colunas e no mapa de local na Figura 15, não se tem registros disponíveis de acidentes sem mortes neste trecho, mas é nítido que é um trecho com alta periculosidade. Sabendo que é uma rodovia de extrema importância para a economia do estado e do país, todo e qualquer acidente seja com mortes, com vítimas, com perda de carga ou apenas um bloqueio do tráfego, isso pode causar impactos negativos.

Figura 15 - Mapa dos acidentes com mortes em 2024 – trecho Vargem Bonita



Fonte: Painel CNT (2024)

3.2 Análise Topográfica

Buscando compreender melhor a topografia da BR-282 e propor melhorias de segurança a quem o trafega, notou-se que entre os km 431 e 427,5 tem-se uma declividade que varia de 1.195 m de altitude (no km 431) e desce até 1.155 m (km 427,5), o que pode influenciar nas condições de tráfego e segurança.

Observando a relação entre esses trechos de maior incidência de acidentes e as curvas de nível da região, identificaram-se extensões de declividade acentuada, com destaque para a região de Vargem Bonita, localizada entre Joaçaba e Xanxerê. Utilizando o software Google Earth Pro, foram mapeadas as placas de identificação quilométrica, conforme Figura 16 abaixo.

Esse trecho será analisado mais detalhadamente no decorrer deste trabalho, considerando sua relevância para a segurança viária e possíveis intervenções.

Figura 16 - Quilometragem do trecho em análise



Fonte: Google Earth Pro editado pela autora (2024)

3.2.1 Levantamento Aerofotogramétrico

O Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina constitui um projeto, desenvolvido durante os anos de 2010 a 2012, o acesso ao dado é livre através da plataforma SIGSC. A seguir, segue algumas informações sobre os dados disponíveis:

- Mapa digital: Mapa visualizado em forma de raster;
- Escala cartográfica de 1:10.000;
- Para a construção da base cartográfica foram gerados os produtos:
 - Imagens Originais RGB (colorida), nos formatos GEOTIFF;
 - Imagens Originais IR (infravermelho), nos formatos GEOTIFF;
 - MDS - Modelo Digital de Elevação com resolução de 1,0m, em formatos GEOTIFF;

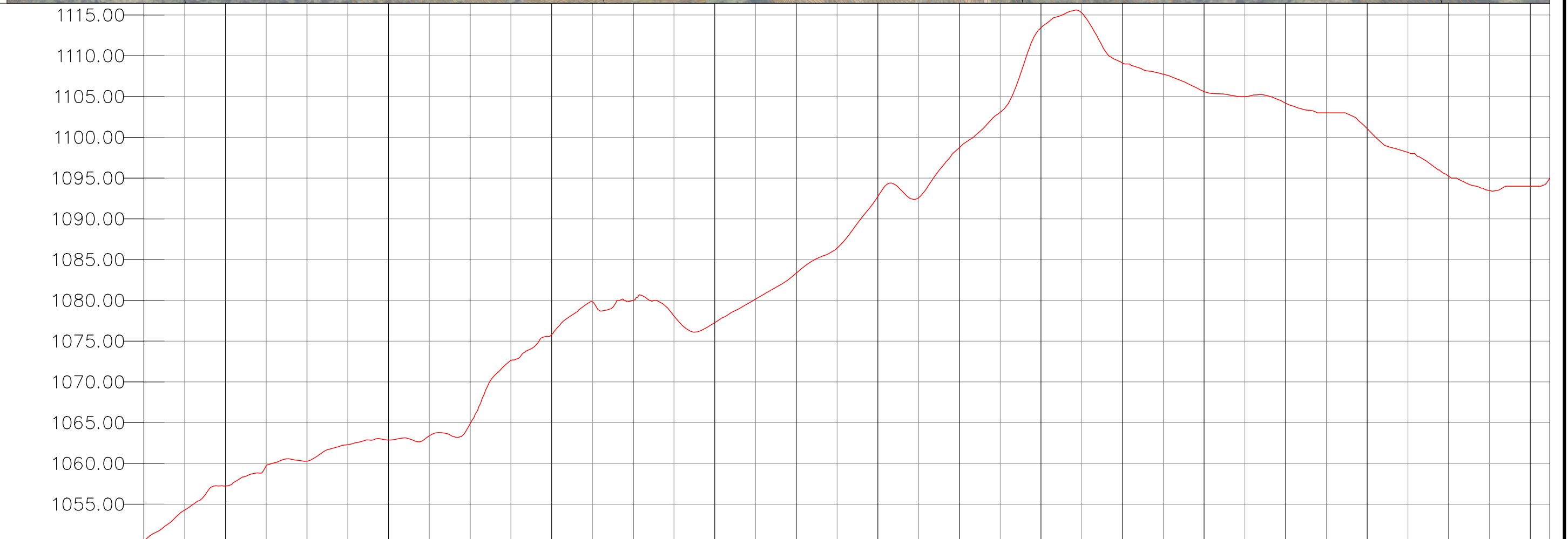
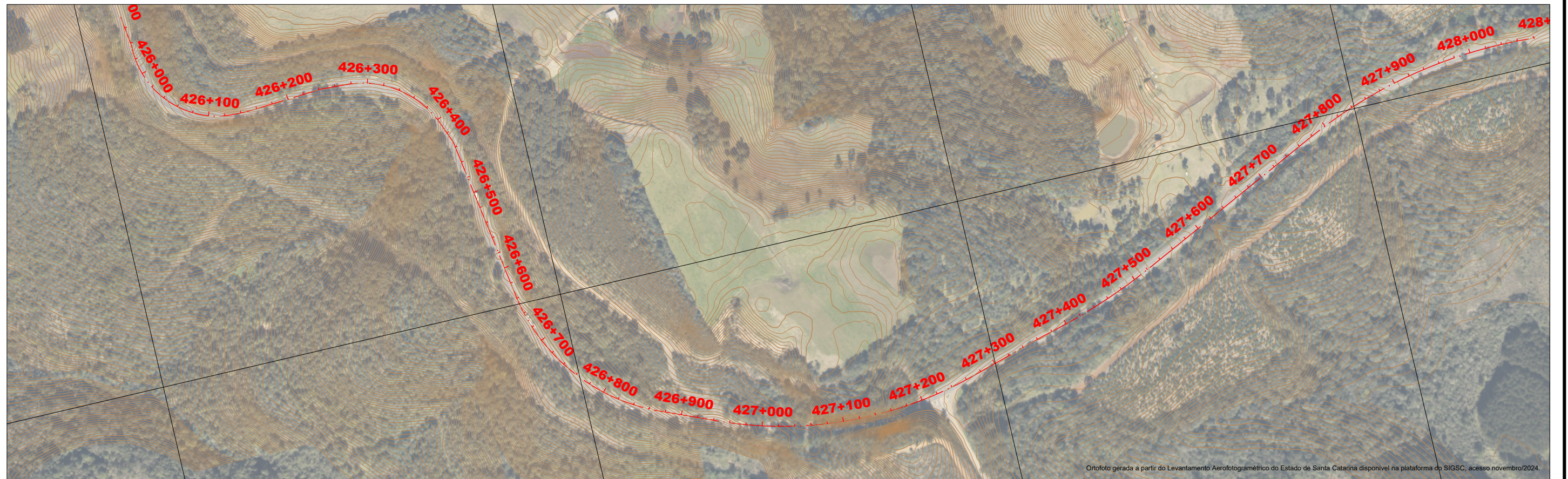
- MDT - Modelo Digital de Terreno com resolução de 1,0m, em formatos GEOTIFF;
- ORTOFOTOS RGB – Ortofotos coloridas com resolução de 0,39m em formato GEOTIFF;
- ORTOFOTOS IR - Ortofotos infravermelhas (composição falsa cor) com resolução de 0,39m em formato GEOTIFF;
- RESTITUIÇÃO HIDROGRAFIA – Arquivos vetoriais em formato DWG e SHP, elaborados conforme especificações técnicas da EDGV/CONCAR, considerando o recorte do mapeamento sistemático 1:10.000;
- BACIAS OTTOCODIFICACAS – Arquivos vetoriais da Base Hidrográfica Ottocodificada formato SHP.


Para a realização deste trabalho foram utilizadas as ORTOFOTOS RGB e também as curvas de nível geradas a partir do MDS e MDT fornecidos pela plataforma SIGSC.

3.2.2 Planta e Perfil Longitudinal

Para melhor visualização do trecho citado, foi traçado o greide do trecho a partir da topografia apresentada. Vale ressaltar que o estaqueamento apresentado nas plantas topográficas segue a quilometragem do trecho, por tanto, a análise da declividade deve ser feita de forma decrescente onde o ponto de maior altitude está no km 431 e o de menor altitude está no km 247,5.

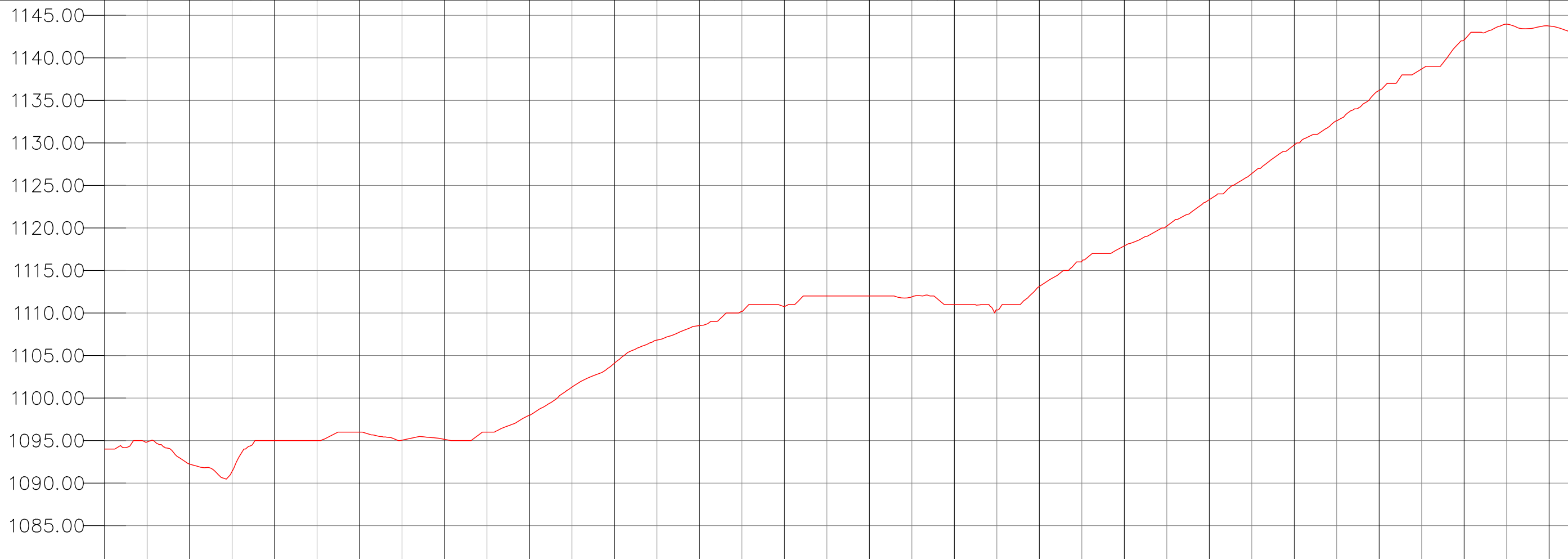
Na sequência estão apresentadas as plantas com as curvas de nível e as fotografias aéreas, associados ao perfil longitudinal do trecho.





INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

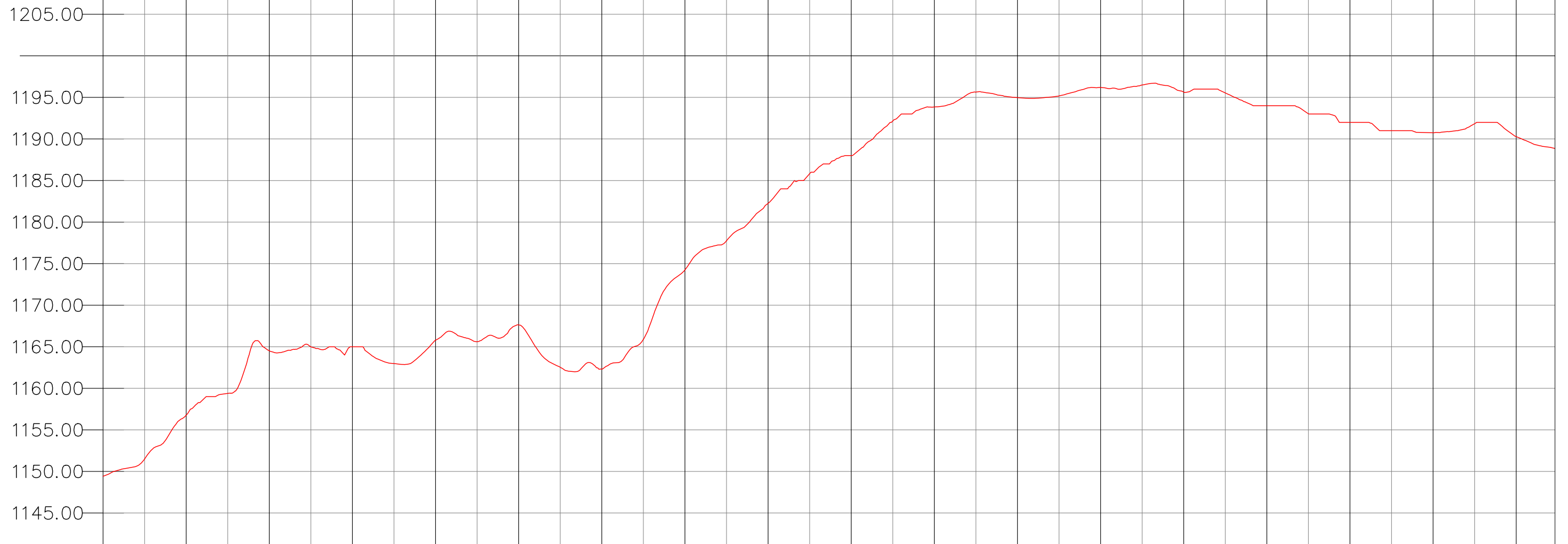
DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
TOPOGRAFIA DO TRECHO	
ESCALA: 1:5.000	DATA: FEVEREIRO/2025
FOLHA:	



 INSTITUTO FEDERAL Santa Catarina	DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL RODOVIA: BR-282/SC TRECHO: VARGEM BONITA INDICAÇÃO: KM 428	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
	PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
	TOPOGRAFIA DO TRECHO	
ESCALA: 1:5.000	DATA: FEVEREIRO/2025	FOLHA:



Ortofoto gerada a partir do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina disponível na plataforma do SIGSC, acesso novembro/2024.





INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADEMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
TOPOGRAFIA DO TRECHO	
ESCALA: 1:5.000	DATA: FEVEREIRO/2025
FOLHA:	

3.3 Justificativa da Escolha

Com todas as informações apresentadas, tem-se um trecho com aproximadamente cinco quilômetros de descida seguidos de um caminho com curvas fechadas. É uma situação propícia para que o sistema de freios de caminhões com grandes cargas falhe e um acidente iminente aconteça, como abordado no item 2.2.

O mesmo trajeto possui índices de acidentes consideráveis para serem analisados e considerado que algo deve ser feito para melhorar a segurança dos usuários que trafegam por ali. Este trecho compreende a BR-282 entre os km 427 e km 431, e será detalhado mais adiante, conforme a análise das condições de segurança.

O trecho da BR-282 entre os km 427 e km 431 será detalhado mais adiante. Propõe-se então, a instalação de uma área de escape no km 428, na faixa da direita, na rodovia BR-282.

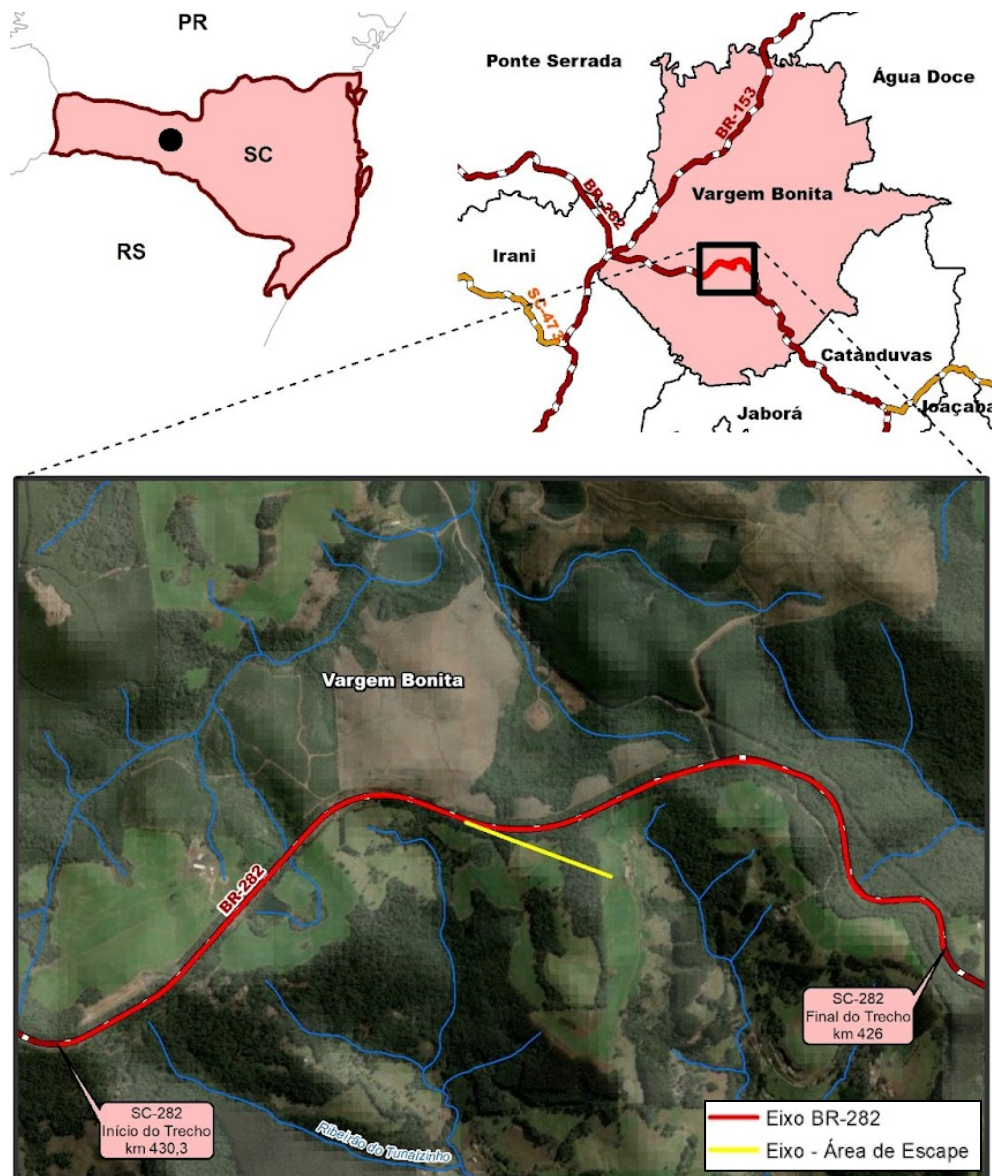
Embora rampas de gravidade e montes de areia sejam soluções mais simples, elas não são dispositivos propriamente projetados. Rampas, por exemplo, podem ser usadas em locais que já possuam uma estrutura disponível, enquanto montes de areia, que consistem no preenchimento de um acostamento ou faixa lateral com material arenoso, são aplicados em locais com espaço limitado ou falta de recursos para a construção de uma área de escape adequada.

Além disso, as normas internacionais, como as da AASHTO (2001), tratam especificamente de áreas de escape do tipo caixa de retenção, por isso, para este projeto será projetado uma área de escape tipo caixa de retenção.

4 LOCALIZAÇÃO

O dispositivo projetado está localizado na BR-282 no trecho pertencente ao município de Vargem Bonita, Santa Catarina. Na Figura 17 está apresentada a composição visual da localização feita através do Software ArqGIS.

Figura 17 - Localização



Fonte: A autora (2025)

4.1 Características da Cidade de Vargem Bonita

Vargem Bonita é uma microrregião de Joaçaba e Mesorregião do Oeste Catarinense com 299,807km² de área territorial, vizinho dos municípios de Catanduvas, Água Doce e Irani e situado a 30 km de Joaçaba (Cidade Brasil, 2024).

De acordo com o projeto executivo da PROSUL (disponibilizado pelo DNIT, 2025), a geologia do município de Vargem Bonita é caracterizada pela presença de derrames basálticos da Formação Serra Geral que cobrem grande parte do oeste catarinense. As zonas estruturais que compõem essas rochas são:

- Zona Amigdalóide;

- Zona Vítreia;
- Zona Tabular;
- Zona Colunar.

Além do basalto, também ocorrem sedimentos quaternários aluvionares e coluvionares, especialmente em áreas mais baixas, propensos à deformação.

Já o solo predominante da região de Vargem Bonita é o argiloso siltoso marrom, classificada como HRB A-7-5, com baixa capacidade de suporte (CBR entre 6% e 13%), mas em algumas áreas há silte pedregulhoso e alteração de basalto, esses oferecem melhor suporte para a rodovia (PROSUL, 2009).

A hidrologia do município de Vargem Bonita é influenciada por chuvas intensas, com precipitações elevadas (registradas na Estação Campina da Alegria), por conta disso, o escoamento superficial é intenso devido as altas concentrações de chuvas em períodos curtos e ao solo ser predominantemente argiloso (PROSUL, 2009).

A BR-282 cruza diversas bacias hidrográficas cujo cursos d'água seguem a inclinação do terreno em direção a rios afluentes do Rio Uruguai. Este fator, unido ao tipo de solo e a drenagens deficientes geram erosão em alguns taludes e assoreamento de bueiros. Por isso, para projetos que necessitam de aterramento e taludes, é necessário um sistema de drenagem eficiente e um projeto de terraplenagem para estabilização dos taludes (PROSUL, 2009).

4.2 Características da Rodovia BR-282

O Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) avalia os benefícios diretos e indiretos de investimentos em infraestrutura de transportes, como a construção ou melhoria de vias, verificando se os benefícios justificam os custos do projeto e da execução das obras.

Referente a BR-282, tem-se as seguintes características:

Tabela 2 - Características da BR-282

Rodovia BR-282	
Classe da rodovia	I-B em região ondulada
Velocidade diretriz	80km/h
Faixa de domínio	40m LE e 40m LD
Parâmetro k min p/ curvas verticais côncavas	12
Parâmetro k min p/ curvas verticais convexas	19
Largura da pista	7,00m
Largura do acostamento	2,50m

Fonte: EVTEA-Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de rodovias (2024)

5 CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO

5.1 Declividade

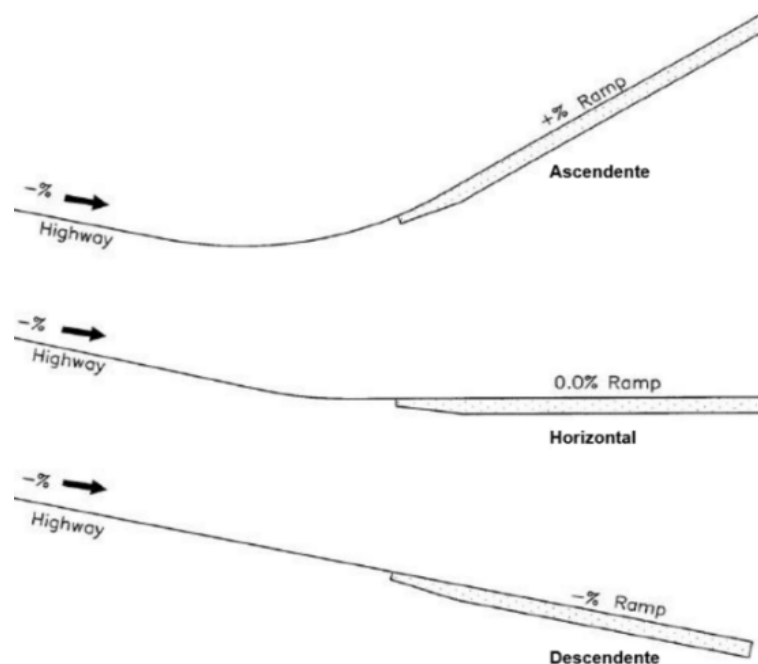
Como foi citado anteriormente, as áreas de escape do tipo caixa de retenção não precisam obrigatoriamente possuir uma declividade, essa decisão é baseada nas condições topográficas da via analisada. Segundo a AASHTO (2001), tem-se três tipos de declividade, são eles:

Ascendentes: Atuam no sentido oposto ao fluxo, fazendo a força gravitacional auxiliar na frenagem do caminhão. Por esse motivo as áreas de escape ascendentes são as de menor comprimento e são as mais utilizadas.

Horizontais: Possuem inclinação nula e por força gravitacional não ajuda na frenagem, por tanto necessita de um comprimento maior já que a única força atuante será a resistência das partículas. As áreas de escape horizontais são utilizadas em casos da via possuir topografia plana e um espaço suficiente para sua extensão.

Descendentes: Atuam no mesmo sentido do fluxo, fazendo a força gravitacional agir contra a frenagem do caminhão. Geralmente possuem um retorno para a via, pois servem também para auxiliar a redução de velocidade e não apenas a parada por completo. As áreas de escape descendentes são muito compridas e usadas em situações especiais que a topografia impede outro tipo de área ser construída.

Figura 18 - Classificação quanto à declividade



Fonte: AASHTO adaptado (2001)

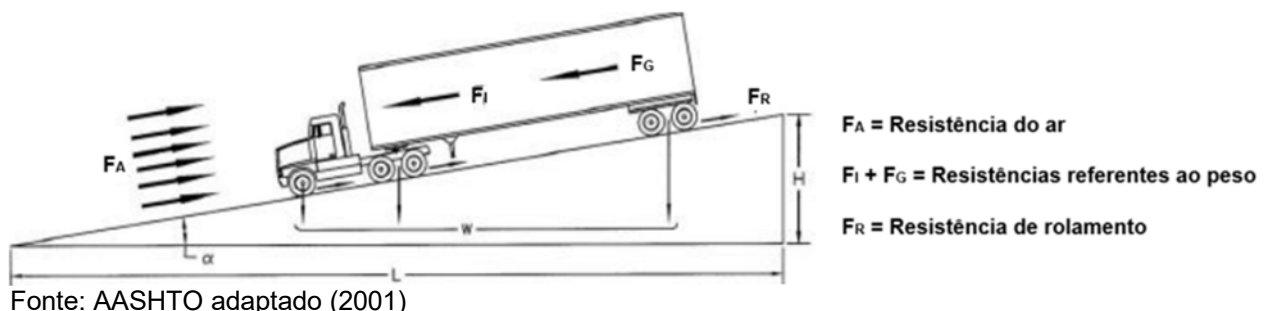
Observando as curvas de nível do local indicado para o projeto da rampa apresentadas no Item 3.2.2, nota-se que a mesma tem declividade ascendente, por tanto, a caixa de retenção será projetada seguindo a ascendência da topografia. Isso garante benefícios como menor comprimento da rampa, já que a gravidade atua a favor da parada, além de reduzir custos de aterro.

5.2 Resistências Atuantes

Segundo a AASHTO (2001), para dimensionar uma área de escape, alguns fatores são indispensáveis, como a velocidade que o veículo vai acessar à área, a inclinação da rodovia e a resistência de rolamento.

Deve-se considerar a resistência do vento nula, já que dessa forma introduz-se um fator de segurança adicional, pois, na prática, o vento atua como uma força externa que pode auxiliar no processo de frenagem. Uma segunda orientação refere-se a considerar nula a resistência proveniente dos freios já que o dimensionamento deve ser feito considerando a situação mais crítica, ou seja, aquela em que os freios se encontram totalmente inoperantes (AASHTO, 2001).

Figura 19 - Atuação das forças atuantes



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. Já a resistência do greide é a componente do peso do veículo devido à inclinação da pista. Se tratando de uma descida, essa resistência aumenta a velocidade do veículo. É necessário superar a resistência do greide junto a inercial para diminuir a velocidade do caminhão (AASHTO, 2001).

A resistência ao rolamento é uma força contrária ao movimento gerada pelo contato entre o pneu e a superfície da via, sendo influenciada pelas características do material utilizado no revestimento da pista. O coeficiente de resistência ao rolamento, expresso em kg por 1.000 kg do peso bruto do veículo, determina a quantidade de resistência gerada, variando conforme o tipo de pavimentação (AASHTO, 2001).

A Tabela 3 a seguir apresenta essa relação, esses dados serão utilizados para os cálculos a diante.

Tabela 3 – Relação entre o material da superfície e a inclinação de rolamento da via

Material de superfície	Resistência à rolagem (N/tonelada de peso bruto do veículo)	Gradiente da resistência à rolagem (%)
Concreto de cimento Portland	98,1	1,0
Concreto asfáltico	117,7	1,2
Cascalho, compactado	147,2	1,5
Solo arenoso, solto	362,9	3,7
Agregado triturado, solto	490,5	5,0
Cascalho, solto	981,0	10,0
Areia	1471,5	15,0
Argila expandida	2452,5	25,0

Fonte: AASHTO adaptado (2001)

5.3 Diretrizes da AASHTO (2001) para a Construção de Áreas de Escape

5.3.1 Alinhamento

O acesso à caixa deve ser tangente ou com uma suave curvatura (geralmente de no máximo 5 graus) em relação ao alinhamento da via, facilitando que o condutor acesse mesmo que esteja sem controle, e também precisa ser suficientemente visível para o motorista ter tempo de reação para usar a área.

5.3.2 Largura

A largura deve ser suficiente para acomodar mais que um veículo ao mesmo tempo já que não é algo incomum mais veículos precisarem usar a rampa, por isso recomenda uma largura mínima de 8 metros, mas larguras de 9 a 12 metros são preferíveis.

Deve haver também uma pista de serviço de 3 metros ao lado da caixa, podendo ser em um dos lados ou nos dois, é nela que guinchos e veículos de manutenção possam operar sem interferir na rodovia. Além disso, para vias com várias faixas de rolamento é preferível que se tenha uma faixa auxiliar pavimentada de no mínimo 300 metros de comprimento.

Apesar da recomendação, nem sempre é possível e viável construir um dispositivo com a largura desejável, para isso é necessária uma análise do volume de tráfego e acidentes na área. A AASHTO (2001) relata que há caixas de retenção construídas com larguras menores e ainda assim apresentam bons resultados.

5.3.3 Profundidade

A profundidade da caixa de retenção precisa ser bem planejada, pois se for muito profunda logo no início, poderá gerar uma desaceleração abrupta e causar danos ao condutor e ao veículo, mas também se for muito rasa ao decorrer da caixa, poderá não surtir efeito considerando que fatores externos também ocupam espaço na superfície e que o material sofre compactação com o passar do tempo diminuindo sua espessura útil.

A profundidade deve ser crescente, começando com 75 milímetros na entrada e, nos primeiros 30 a 60 metros, deve alcançar a profundidade fixa. A profundidade mínima é de 1,0 metro.

5.3.4 Inclinação da Rampa

A inclinação da caixa de retenção deve ser definida conforme topografia e modificada conforme desenvolvimento dos cálculos, não há uma definição de valores para este fator.

5.3.5 Comprimento

Uma área de escape eficiente precisa ter um comprimento suficiente para que as forças que atuam em desaceleração do veículo consigam freá-lo antes do término da caixa de retenção. A forma de calcular o comprimento total da área será apresentada no Item 7.1.4.2.

Além disso, é necessário uma pista de acomodação (acesso) suficientemente visível para que o condutor tenha reação de ver a caixa de retenção se aproxima e direcionar o carro para ela e isso sob circunstâncias de extremo estresse e com o sistema de freios possivelmente inoperante.

5.4 Veículo Tipo

A ABNT NBR 8858/2013 orienta a utilização de veículos típicos de carga, levando em consideração o tráfego médio da rodovia. Em muitos casos, o veículo tipo recomendado para rodovias de tráfego misto (carga e veículos leves) é um caminhão de 3 eixos, com um PBT de 27 a 36 toneladas.

Já nas diretrizes do DNIT (2019), recomenda-se a utilização de caminhões de 3 eixos com PBT de 27 toneladas em rodovias de tráfego predominantemente de carga. Quando a rodovia é projetada para tráfego pesado, o DNIT sugere a consideração de caminhões de 5 eixos ou mais pesados, com PBT de até 40 toneladas.

A AASHTO (2001) recomenda-se utilizar um caminhão de 3 eixos, com PBT de 36 toneladas para projetos geométricos de rodovias, especialmente em vias de carga pesada.

O veículo padrão adotado então é o de 3 eixos com 36 toneladas seguindo então as recomendações tanto da ABNT NBR como da AASHTO

5.5 Velocidade de Entrada

Para a definição da velocidade de entrada utilizada para os cálculos de dimensionamento, é necessário realizar um levantamento de velocidades máximas atingidas no trecho em questão e com acréscimo de fatores como temperatura dos freios e limitação da via.

Para áreas de escape construídas em novas rodovias ou em situações em que não se tem um bom levantamento de dados, a AASHTO (2001) recomenda que seja utilizada uma velocidade de entrada entre 130 km/h e 140 km/h.

Será utilizada a velocidade de 130 km/h. Essa escolha leva em conta as características topográficas, que conta com várias curvas acentuadas e um relevo montanhoso. Tais condições tornam a velocidade de 140 km/h difícil de ser alcançada mesmo numa situação crítica.

6 DIMENSIONAMENTO

6.1.1 Alinhamento

A área de escape será projetada de forma tangente a rodovia, essa escolha foi baseada na facilidade de adentrá-la já que um acesso tangente elimina a necessidade de manobras em curva, reduzindo o risco de perda de controle. Além disso, há espaço disponível no lado externo da rodovia, permitindo que essa configuração seja realizada.

6.1.2 Largura

Não há um cálculo para definir a largura da caixa de retenção, segundo consta no *Design of Surface Mine Haulage Roads - A Manual* (2001) a área de escape deve ser larga o suficiente para acomodar o veículo, mas não tão larga a ponto de exigir um excesso de construção. A largura mínima, ainda segundo este manual, varia de acordo com o peso do veículo tipo considerado, conforme Tabela 4, onde o peso foi convertido de libra para quilograma e a largura de pés para metros.

Tabela 4 - Relação entre peso do veículo e largura da área de escape

Peso do veículo (kg)	Largura mínima (m)
< 45359	4,57
45359 a 90718	5,49
90718 a 181436	6,71
> 18436	8,84

Fonte: Design of Surface Mine Haulage Roads - A Manual adaptado (2001)

O veículo tipo utilizado possui 36 toneladas que equivale a 36000 kg, enquadrando-se a recomendação de largura mínima de 4,57 metros. Ainda assim, como todo o projeto foi desenvolvido seguindo as orientações fornecidas pela AASHTO, a largura utilizada foi de 8 metros.

6.1.3 Profundidade

A caixa de retenção iniciará com 75 milímetros de profundidade e aumentará gradualmente ao longo dos primeiros 60 metros, atingindo 1,0 metro, onde se manterá constante até o final.

De acordo com a norma, essa profundidade deve ser alcançada entre 30 e 60 metros. Optou-se pelo limite máximo de 60 metros para garantir uma transição mais suave e progressiva.

O início com 75 milímetros foi escolhido analisando a alta velocidade de acesso considerada, que poderia resultar em uma desaceleração abrupta caso o veículo desgovernado adentrasse a caixa com uma profundidade alta.

A escolha de 1,0 metro de profundidade final leva em consideração a declividade ascendente da via que contribui para que o material exerça ainda mais resistência nos pneus, garantindo a eficiência da caixa de retenção.

6.1.4 Inclinação da Rampa e Comprimento

O comprimento da área de escape é inversamente proporcional à inclinação utilizada na rampa ascendente, ou seja, quanto maior o ângulo de subida menor o comprimento e vice e versa. Por esse motivo, optou-se por definir a inclinação e o comprimento no mesmo item.

6.1.4.1 *Inclinação da Rampa*

Não há especificações quanto a inclinação da rampa, essa análise é feita através de vários fatores como área disponível para construção, topografia do terreno natural que será construído o dispositivo, fatores econômicos e muitos outros.

Sabe-se que a inclinação pode ser constante ao longo de toda a extensão da rampa, embora também possa variar de um trecho para outro. Essa análise também é

feita em paralelo aos fatores listados, já que a inclinação é inversamente proporcional ao comprimento total da área de escape.

6.1.4.2 Comprimento

O modelo matemático descrito pela AASHTO (2001) é o proposto por Taragin em 1945 e será o utilizado neste trabalho. Nele o comprimento da caixa leva em consideração a velocidade de entrada, o percentual da inclinação da caixa e a resistência de rolamento do material.

As equações estão apresentadas a seguir, para rampas com inclinação constante utiliza-se a Equação 01 e para rampas com inclinação variável, utiliza-se a Equação 02 para cada trecho, onde a velocidade final é a velocidade de entrada do trecho seguinte e esse cálculo se repete até que a velocidade final seja zero.

$$L = \frac{V^2}{254 * (R \pm G)} \quad (01)$$

$$Vf^2 = Vi^2 - 254 * L * (R \pm G) \quad (02)$$

Onde:

L = Comprimento da caixa de retenção [m];

V = Velocidade de entrada do veículo [km/h];

Vf = Velocidade no final da inclinação [km/h];

Vi = Velocidade no início da inclinação [km/h];

R = Gradiente da resistência à rolagem do material de preenchimento (Tabela 3) dividido por 100;

G = Porcentagem de inclinação utilizada na caixa (para áreas ascendentes a inclinação é positiva e para descendentes é negativa) dividido por 100.

Referente a pista de acomodação, foi definido que o acesso terá aproximadamente 300 metros de comprimento iniciando no final da curva existente da rodovia, garantindo assim uma boa visibilidade do condutor diante da geometria existente da rodovia, conforme apresentado no APÊNDICE A - PLANTA BAIXA.

6.1.4.3 Análises de Projeto

A melhor forma de determinar a inclinação e o comprimento a serem adotados no projeto é, através de análises do entorno, determinar um valor fixo para o comprimento da rampa e, a partir disso, calculando a inclinação ou o inverso: fixar uma inclinação e ajustar o comprimento correspondente. Após essas análises preliminares, o projeto pode ser modelado, verificando sempre se atende aos requisitos estabelecidos.

Buscando expandir a compreensão dessa análise e demonstrar que o comprimento e a inclinação andam juntos, duas variações estão apresentadas com suas justificativas, seu dimensionamento e seu perfil.

6.1.4.3.1 Definição das variantes

Variante 01

Optou-se por usar o maior comprimento possível limitado pela faixa de domínio da rodovia e, a partir disso, calcular a inclinação necessária que será fixa em todo o percurso.

A Figura 20 apresenta o eixo da rodovia (vermelho), a faixa de domínio (rosa), o início do eixo da área de escape (amarelo) e a caixa de retenção (ciano) após os 300 metros da faixa de acesso.

Figura 20 – Limite da Faixa de Domínio



Variante 02

O foco principal foi aproveitar o máximo possível da elevação natural do terreno, evitando grandes volumes de aterro. Além disso, com um comprimento maior e, por consequência, uma inclinação menor, essa variante também se torna a mais suave para a frenagem, evitando maiores danos causados por paradas abruptas.

Para essa variante, foi definido dois trechos com variação de inclinação entre eles. O primeiro trecho terá um comprimento de 180 metros e uma inclinação de 2% e o segundo trecho terá uma inclinação de 4% até o comprimento necessário para o veículo parar. A melhor forma de definir esse comprimento e inclinação é analisando o perfil e também aplicando na fórmula para definir se geram os resultados esperados, então vai-se alterando conforme a análise do projetista.

6.1.4.3.2 Cálculo das Variantes

Variante 01

$$V = 130 \text{ km/h}$$

$$L = 150\text{m}$$

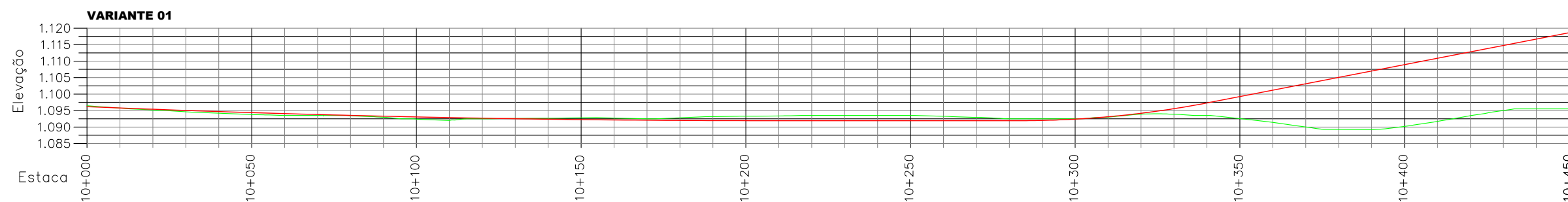
$$R = 25 / 100 = 0,25$$

$$G = ?$$

Aplicando a equação 01:

$$150 = \frac{130^2}{254 * (0,25 + G)} \rightarrow G = 0,1936$$

Para melhor visualização dessa variante, foi lançado o greide do ramo da área de escape seguindo o traçado da rodovia nos primeiros 300 metros e, na estaca 10+300 inicia a inclinação de 19,4% e mantem-se constante por 150 metros. A seguir tem-se o perfil longitudinal dessa variante.



CONVENÇÕES
 — TERRENO NATURAL
 — GREIDE



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
PERFIL LONGITUDINAL	
ESCALA: V: 1:1.500 H: 1:100	DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:

Variante 02:

$$V = 130 \text{ km/h}$$

$$L = 180\text{m}$$

$$R = 25 / 100 = 0,25$$

$$G = 2\% = 0,02$$

Aplicando a equação 02:

$$Vf^2 = 130^2 - 254 * 180 * (0,25 + 0,02) = 67,50 \text{ km/h}$$

Utilizando a mesma equação, mas agora com a inclinação do segundo trecho - 4%, a velocidade de entrada igual a calculada - 67,50 km/h e zerando a velocidade final (veículo totalmente parado):

$$0^2 = 67,50^2 - 254 * L * (0,25 + 0,04) = 61,85\text{m}$$

Logo, para essa variante tem-se uma caixa de retenção com 245 metros de comprimento, sendo que os 180 metros iniciais possuem uma inclinação de 2% e os 65 metros finais possuem 4% de inclinação.

Devido a maior segurança apresentada no dimensionamento desta variante (parada suave) e melhor aproveitamento de terras (corte e aterro), esta variante será a utilizada neste projeto. Suas plantas e perfis estão apresentadas nos apêndices.

7 PROJETO GEOMÉTRICO DA ÁREA DE ESCAPE: RESULTADO

O projeto final é composto de:

- Planta de Traçado Planimétrico presente no Apêndice A;
- Planta Baixa presente no Apêndice B;
- Perfil Longitudinal presente no Apêndice C;
- Perfil Construtivo da Rampa presente no Apêndice D;
- Seções Transversais Tipo presentes no Apêndice E;
- Seções Gabaritadas presentes no Apêndice F.

Para modelagem do projeto da área de escape tipo caixa de retenção, foi utilizado o software Civil 3D, uma ferramenta da Autodesk voltada para projetos de infraestrutura. O Civil 3D permite modelagens detalhadas de rodovias, integrando

superfícies topográficas, alinhamentos, perfis e corredores de forma dinâmica. O software também possibilita a extração de pranchas automáticas de perfis e seções, tornando a visualização do projeto mais eficiente e alinhado às normas técnicas vigentes.

7.1 Plantas

A Planta de Traçado Planimétrico está apresentada em escala 1:1.800 contendo o eixo da rodovia, o eixo da área de escape e o mapa digital.

A Planta Baixa está apresentada em escala 1:1.000 contendo o eixo da rodovia, o eixo da área de escape, as curvas de nível de metro em metro após a modelagem do projeto, as cotas e a identificação das seções tipo.

7.2 Perfil

O Perfil Longitudinal está apresentado em escala vertical de 1:100 e horizontal de 1:1.500 contendo o terreno natural e o greide da área de escape

O Perfil Construtivo da Rampa segue a mesma escala do Perfil Longitudinal contendo o terreno natural, o estaqueamento da área de escape, as subdivisões do dispositivo e suas cotas e inclinações.

7.3 Seção Transversal Tipo

As Seções Transversais Tipo estão apresentadas em escala 1:50 contendo o eixo da área de escape e as faixas e suas cotas e inclinações.

7.4 Seções Gabaritadas

As Seções Gabaritadas estão apresentadas em escala 1:400, elas detalham os elementos que compõem o perfil transversal e foram geradas a cada 20 metros no decorrer do eixo da área de escape. Com enfoque no desenvolvimento da área de escape e não no comparativo em relação à área de aterro caracterizada pelo distanciamento da via projetada com o terreno natural, a elevação foi centralizada a partir do projeto, independente do terreno natural.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança viária, especialmente em rodovias de grande fluxo e relevância econômica, como é o caso da BR-282, é um tema atual e de extrema importância para a engenharia. O presente trabalho buscou contribuir para essa questão ao propor um projeto geométrico preliminar para a implantação de uma área de escape no km 428, um trecho caracterizado por alta incidência de acidentes envolvendo caminhões desgovernados.

A revisão da literatura evidenciou a eficácia das áreas de escape como um dispositivo de segurança viária amplamente utilizado em diversos países e, mais recentemente, no Brasil. Analisando os tipos existentes de área de escape e observando a grande eficácia na contenção de veículos pesados e a possibilidade de adaptação às características topográficas locais que as caixas de retenção possuem, essa foi a alternativa mais adequada para esse projeto.

No entanto, apesar da relevância dos resultados obtidos, a viabilidade definitiva para uma possível implantação deste dispositivo exige a realização de estudos complementares, que não foram objeto deste trabalho, mas são essenciais para a concretização do projeto.

Um dos aspectos fundamentais a serem aprofundados é um estudo de tráfego mais detalhado, que permita avaliar com maior precisão o fluxo de veículos pesados na rodovia, sua distribuição horária e sazonal, além do comportamento dos motoristas em situações de emergência. O levantamento apresentado neste trabalho teve caráter preliminar e indicativo, não sendo suficiente para uma tomada de decisão definitiva sobre a necessidade e efetividade da área de escape no trecho selecionado.

Esse estudo além de determinar se o km 428 é, de fato, a melhor localização para a implantação da área de escape, permitiria estabelecer com maior precisão a velocidade de entrada a ser considerada no dimensionamento do projeto. Atualmente, devido à ausência de um levantamento detalhado, foi adotada uma velocidade de entrada de 130 km/h, conforme recomendação normativa para situações em que não há dados concretos. No entanto, esse valor é provavelmente superestimado para o trecho analisado, podendo impactar significativamente o projeto final. A adoção de uma velocidade mais realista para os cálculos de dimensionamento poderia resultar em um projeto otimizado, tanto em termos de segurança quanto de viabilidade técnica e econômica, reduzindo, por exemplo, a extensão da área de escape necessária para a desaceleração dos veículos.

Finalizada a parte de estudos preliminares, seria necessário também um projeto de terraplenagem aprofundado, uma vez que se faz necessário analisar o volume de corte e aterro afim de definir a viabilidade da construção. Além disso, os taludes utilizados foram representações genéricas, ao ser realizado um projeto de terraplenagem, os taludes devem ser bem definidos e a possibilidade de uma contenção também deveria ser analisada.

Outro fator relevante é a necessidade de uma análise detalhada dos impactos ambientais associados à obra. Dependendo da área disponível para implantação, a construção pode demandar supressão de vegetação nativa, interferências em cursos d'água, ou modificações no escoamento superficial da rodovia, o que reforça a necessidade de um estudo ambiental criterioso.

Por fim, a viabilidade do projeto também dependerá da compatibilidade com as normas técnicas vigentes. Como atualmente não existem diretrizes específicas no Brasil para o dimensionamento de áreas de escape, a adaptação das recomendações internacionais às condições brasileiras torna-se imprescindível.

Dessa forma, este estudo serve como um primeiro passo na concepção de uma solução para um problema real, mas sua implementação requer análises complementares, que poderão confirmar ou não sua viabilidade técnica, econômica e ambiental. Espera-se que este trabalho possa contribuir para futuros projetos e pesquisas que busquem ampliar o conhecimento sobre a segurança viária no Brasil, fomentando a adoção de medidas eficazes para a redução de acidentes e a preservação de vidas nas rodovias do país.

REFEÊNCIAS

AASHTO. *Geometric Design of Highways and Streets.* American Association of State, 2001.

ABTLP, Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos (org.). *Como surgiram e como funcionam as áreas de escape para caminhões?* Disponível em: <http://www.abtlp.org.br/index.php/como-surgiram-e-como-funcionam-as-areas-de-escape-para-caminhoes/#:~:text=Para%20reduzir%20o%20risco%20de,e%201960%2C%20nos%20Estados%20Unidos>. Acesso em: 27 set. 2023.

AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL (org.). *Áreas de escape na Anchieta já salvaram caminhões sem freios quase mil vezes.* Disponível em: <https://www.transportabrasil.com.br/2022/08/areas-de-escape-na-anchieta-ja-salvaram-caminhoes-sem-freios-quase-mil-vezes/>. Acesso em: 1 out. 2023.

AGÊNCIA TRANSPORTA BRASIL (org.). *Uma breve história dos caminhões.* Disponível em: <https://www.transportabrasil.com.br/2022/06/uma-breve-historia-dos-caminhoes/>. Acesso em: 26 set. 2023.

ALVES, Ana Julia. *Como funciona o freio hidráulico e como fazer a manutenção?* 2021. Disponível em: <https://chiptronic.com.br/blog/como-funciona-o-freio-hidraulico-e-como-fazer-manutencao>. Acesso em: 30 out. 2023.

ANÁLISE COMPARATIVA DO AUMENTO NA SEGURANÇA DOS USUÁRIOS DA RODOVIA BR-376/PR COM A IMPLANTAÇÃO DAS ÁREAS DE ESCAPE. Santa Catarina: Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada Repa, 2020. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/1470/799#:~:text=Foram%20identificadas%20seis%20%C3%A1reas%20de,Km%2042%20em%20S%C3%A3o%20Paulo>. Acesso em: 28 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7187:

2015 - Projeto de Rodovias - Diretrizes para o Projeto Geométrico. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ARTERIS (org.). *Parabéns, time Arteris, sem vocês essa marca não seria possível!* 2023. LinkedIn: Arteris S.A. Disponível em: https://www.linkedin.com/posts/arterisbr_a-vida-dos-nossos-usu%C3%A1rios-sempre-foi-uma-activity-7109903055558483969-gGMK/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Acesso em: 28 set. 2023.

BRIGOLINI, Vinícius. *Transportes no Brasil: conheça a matriz de transportes brasileira!* Disponível em: <https://militares.estrategia.com/portal/materias-e-dicas/geografia/transportes-no-brasil-conheca-a-matriz-de-transportes-brasileira/>. Acesso em: 29 set. 2023.

CIDADE BRASIL. **Município de Vargem Bonita**. 2024. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-vargem-bonita-s>. Acesso em: 08 fev. 2025.

CNT, Confederação Nacional do Transporte (org.). *Painel CNT de Acidentes Rodoviários*. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em: 29 set. 2023.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Projeto Geométrico de Rodovias. 1. ed. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br>. Acesso em: 18 mar. 2025.

FRAS-LE. *Você sabe como funciona o sistema de freio do caminhão? Explicamos aqui!* 2023. Disponível em: <https://blog.fras-le.com/sistema-de-freio-do-caminhao/#:~:text=Nesse%20caso%2C%20o%20processo%20de,forma%20busca%20em%20casos%20necess%C3%A1rios>. Acesso em: 29 out. 2023.

LESSA, Daniele. *Especial Rodovias - As primeiras estradas brasileiras*. 2005. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/radio/programas/260157-especial-rodovias-as-primeiras-estradas-brasileiras-05-49/#:~:text=A%20primeira%20rodovia%20pavimentada%20ligava,de%20Janeiro%20a%20Belo%20Horizonte.&text=Mas%20a%20explos%C3%A3o%20do%20desenvolvimento,d%C3%A9cadas%20de%2040%20e%2050>. Acesso em: 31 out. 2023.

MATTOS, Cesar. *Estrutura Técnica do Ônibus: Mecânica 10 - Sistema de Freio*. Viacircular, 2022. Disponível em: <https://viacircular.com.br/conceitos/mecanica10-sistema-de-freio/>. Acesso em: 3 nov. 2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA/CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. *Resolução Contran Nº 882*. 242. ed. Diário Oficial da União, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao8822021.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

OLIVEIRA, Andreza de. *Ônibus de torcedores do Corinthians capota e deixa sete mortos em MG*. Folha de S. Paulo, São Paulo, 20 ago. 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2023/08/onibus-de-torcedores-do-corinthians-capota-deixa-sete-mortos-em-mg.shtml>. Acesso em: 28 out. 2023.

PASSOS, Paulo Sérgio Oliveira; PAGOT, Luiz Antonio; SÁ, José Henrique Coelho Sadok de; CARON, Hideraldo Luiz; CHEQUER, Chequer Jabour. *Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/741_manual_projeto_praticas_operacionais.pdf. Acesso em: 29 set. 2023.

PROSUL. Projeto executivo de engenharia para restauração das rodovias BR-153-282-470 – C.R.E.M.A 2ª Etapa. 2009. Disponível em: <https://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/resumo.asp?NUMIDEdital=571>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SILVA, Rafael Augusto da. *Estudo de eficiência das áreas de escape e seu impacto na queda da acidentalidade relacionada a transporte de cargas pesadas: estudo de caso ERS-431.* 2022. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/252394>. Acesso em: 20 set. 2023.

ZANOLI, Paulo Rogério. *Área de escape para caminhões desgovernados.* 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-08042014-084813/publico/PauloRogérioZanoli.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

**APÊNDICE A – PLANTA DE TRAÇADO
PLANIMÉTRICO**



Ortofoto gerada a partir do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina disponível na plataforma do SIGSC, acesso novembro/2024.

CONVENÇÕES

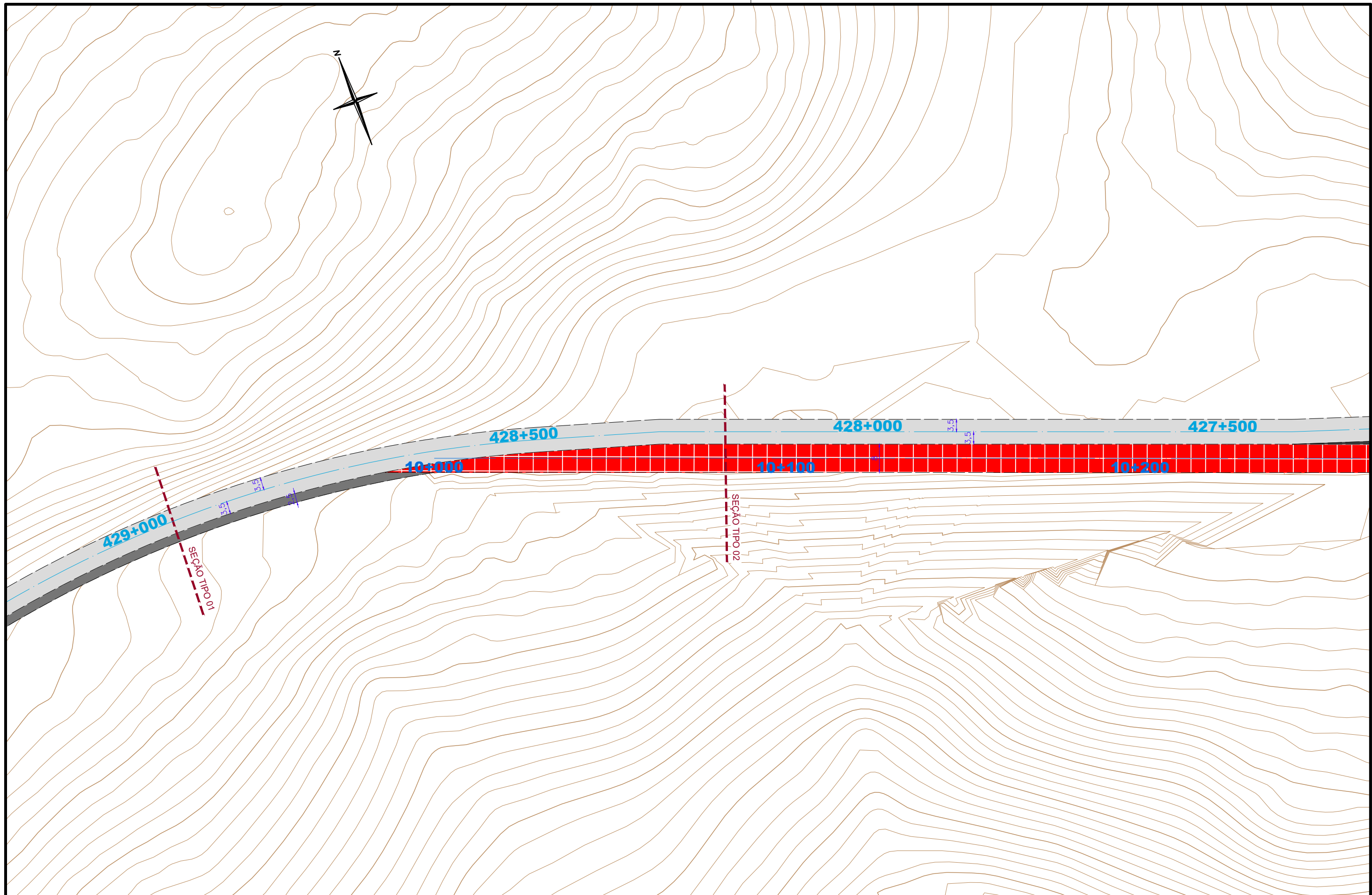
- EIXO ÁREA DE ESCAPE
- EIXO BR-282
- RODOVIA EXISTENTE
- ACOSTAMENTO EXISTENTE
- PISTA DE ACOMODAÇÃO (ACESSO)
- CAIXA DE RETENÇÃO
- PISTA DE APOIO OPERACIONAL



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
PLANTA BAIXA	
ESCALA: 1:1.800	DATA: FEVEREIRO/2025
FOLHA:	

APÊNDICE B – PLANTA BAIXA

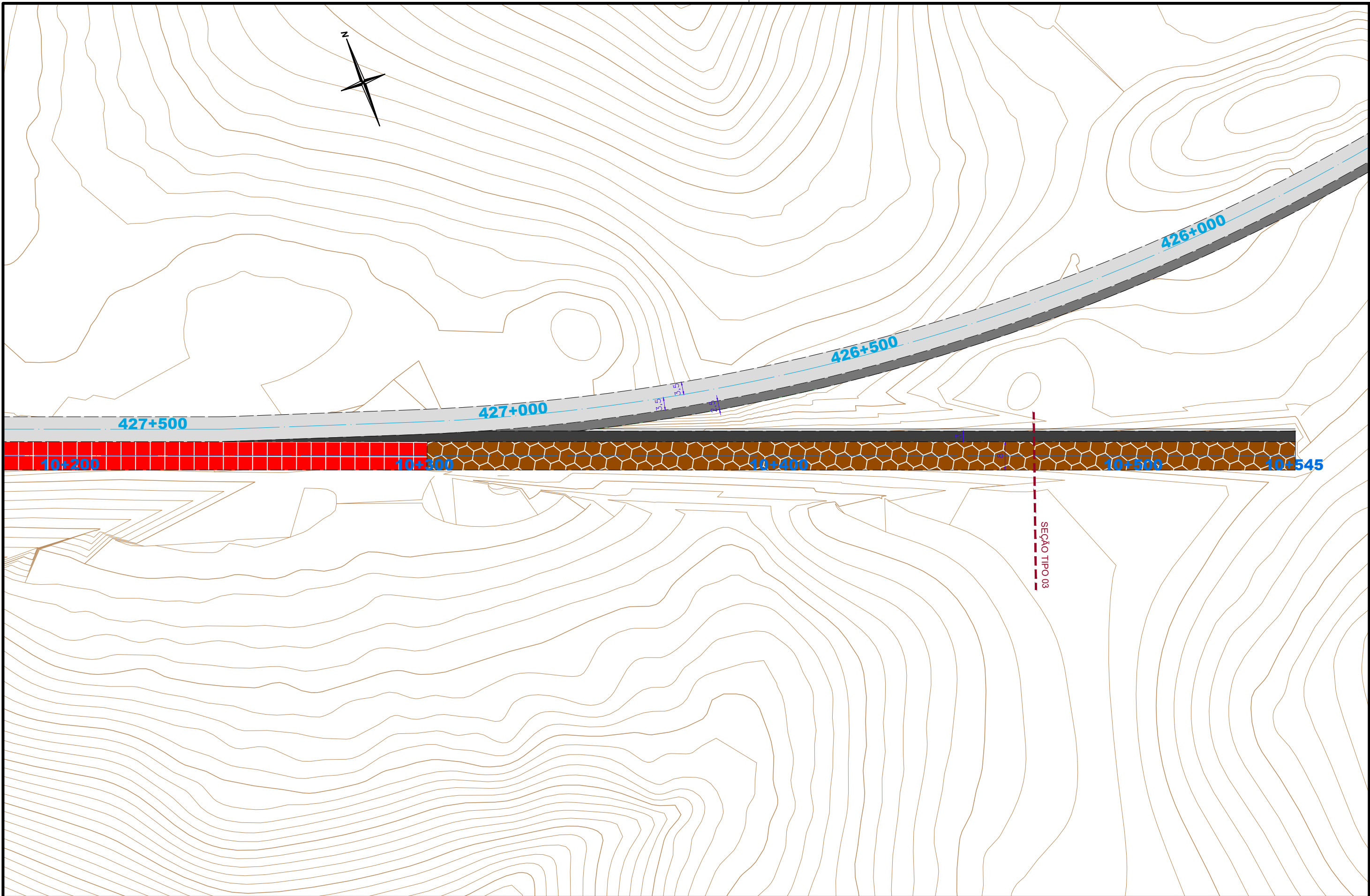


CONVENÇÕES

- | | |
|---|--|
|  EIXO ÁREA DE ESCAPE |  PISTA DE ACOMODAÇÃO (ACESSO) |
|  EIXO BR-282 |  CAIXA DE RETENÇÃO |
|  RODOVIA EXISTENTE |  PISTA DE APOIO OPERACIONAL |
|  ACOSTAMENTO EXISTENTE | |



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
PLANTA BAIXA	
ESCALA: 1:1.000	DATA: FEVEREIRO/2025
	FOLHA:



CONVENÇÕES

- EIXO ÁREA DE ESCAPE
- EIXO BR-282
- RODOVIA EXISTENTE
- ACOSTAMENTO EXISTENTE
- PISTA DE ACOMODAÇÃO (ACESSO)
- CAIXA DE RETENÇÃO
- PISTA DE APOIO OPERACIONAL



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
 RODOVIA: BR-282/SC
 TRECHO: VARGEM BONITA
 INDICAÇÃO: KM 428
 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
 ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
 PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES
 ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428
 PLANTA BAIXA
 ESCALA: 1:1.000 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:

APÊNDICE C – PERFIL LONGITUDINAL



CONVENÇÕES
 — TERRENO NATURAL
 — GREIDE



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428 PERFIL LONGITUDINAL	
ESCALA: V: 1:1.500 H: 1:100	DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:

**APÊNDICE D – PERFIL CONSTRUTIVO
DA RAMPA**

ESTACA 10+000

ESTACA 10+300

ESTACA 10+480

ESTACA 10+545



TERRENO NATURAL

300,0

60,0

185,0

PISTA PARA ACOMODAÇÃO

CAIXA DE RETENÇÃO
(PROFUNDIDADE: INICIA
COM 75mm E CHEGA
A 1m NESSE TRECHO)

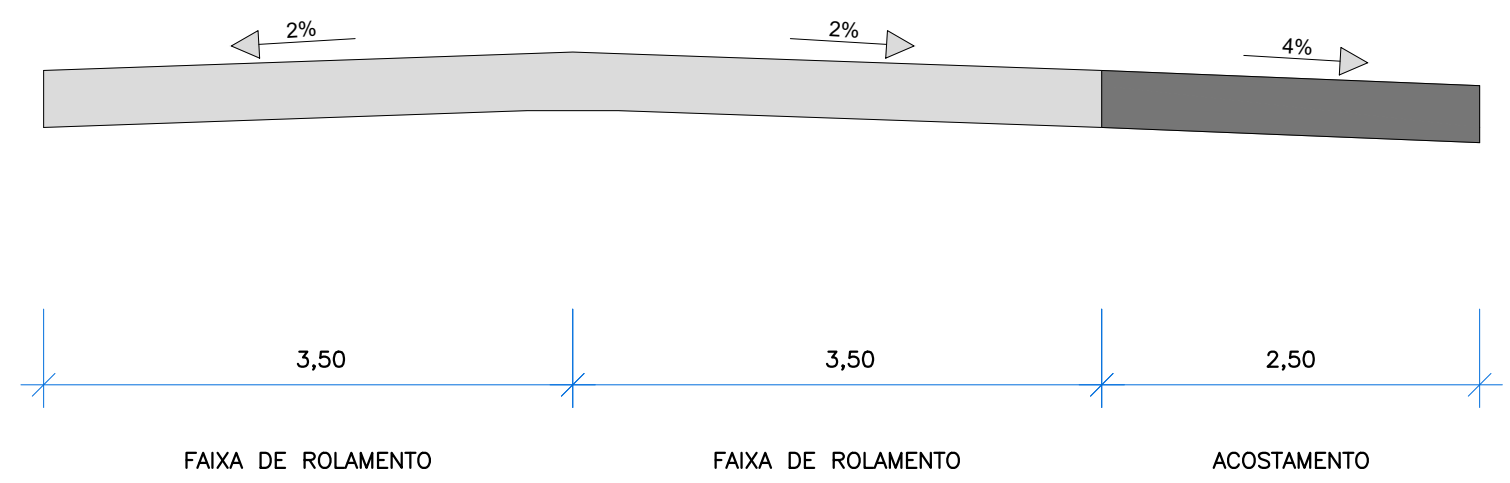
CAIXA DE RETENÇÃO
(PROFUNDIDADE: MANTÉM-SE
1,0m ATÉ O FINAL)



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL	
RODOVIA: BR-282/SC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
TRECHO: VARGEM BONITA	ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
INDICAÇÃO: KM 428	ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428	
PERFIL CONSTRUTIVO DA RAMPA	
ESCALA: V: 1:500 H: 1:100	DATA: FEVEREIRO/2025
FOLHA:	

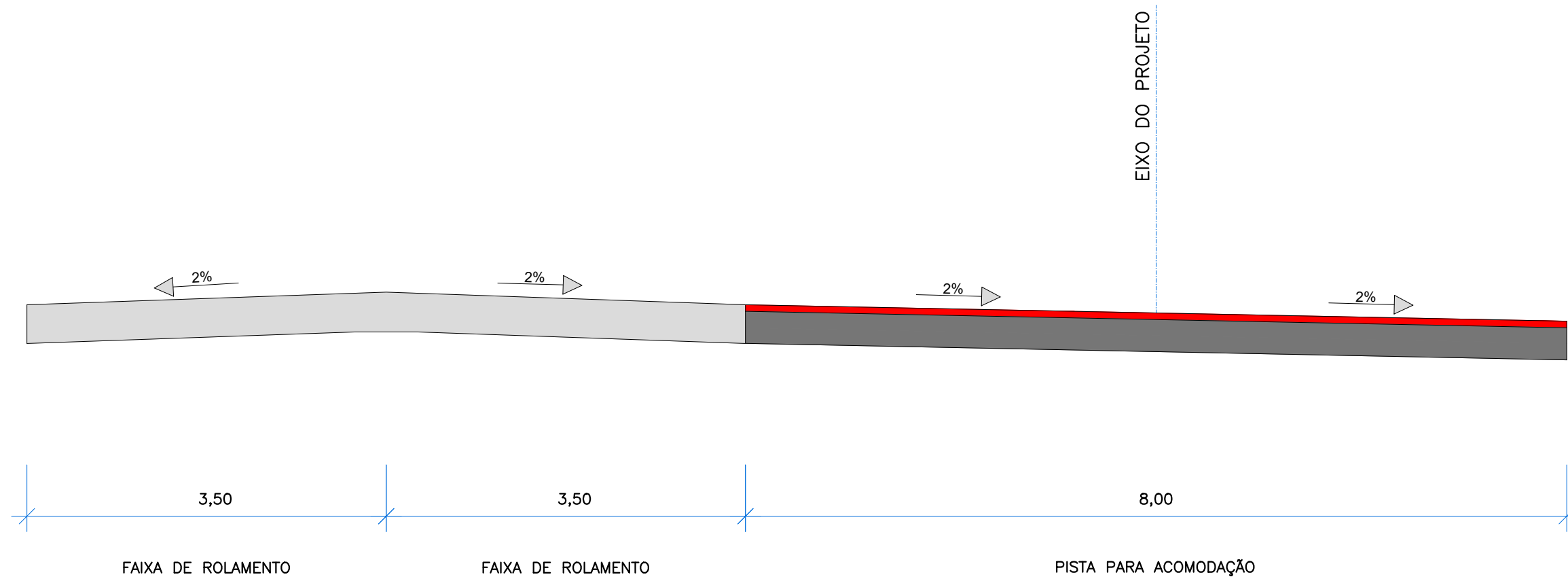
APÊNDICE E– SEÇÕES TRANSVERSAIS TIPO

SEÇÃO TIPO 1
BR-282

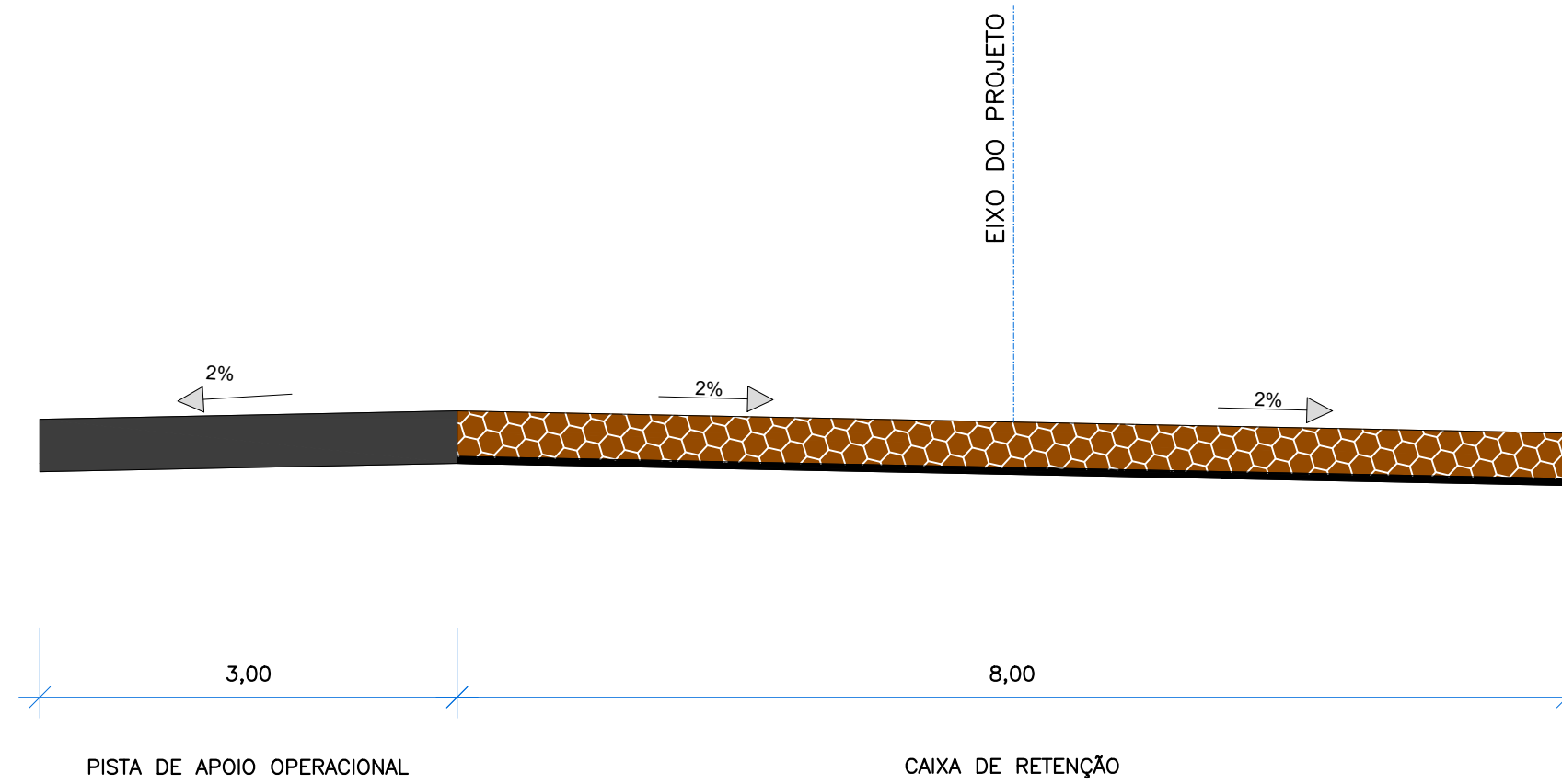


EIXO DO PROJETO

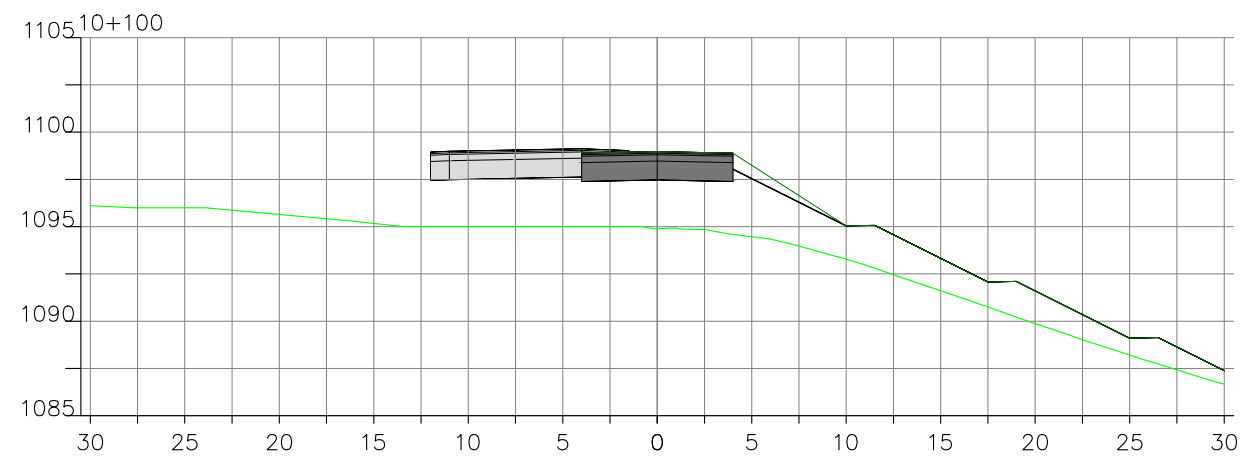
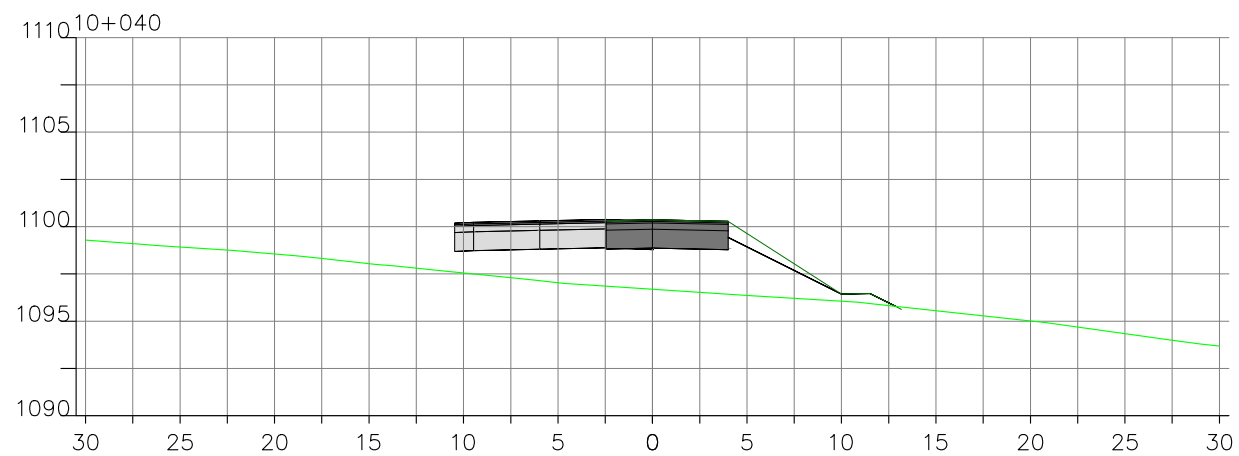
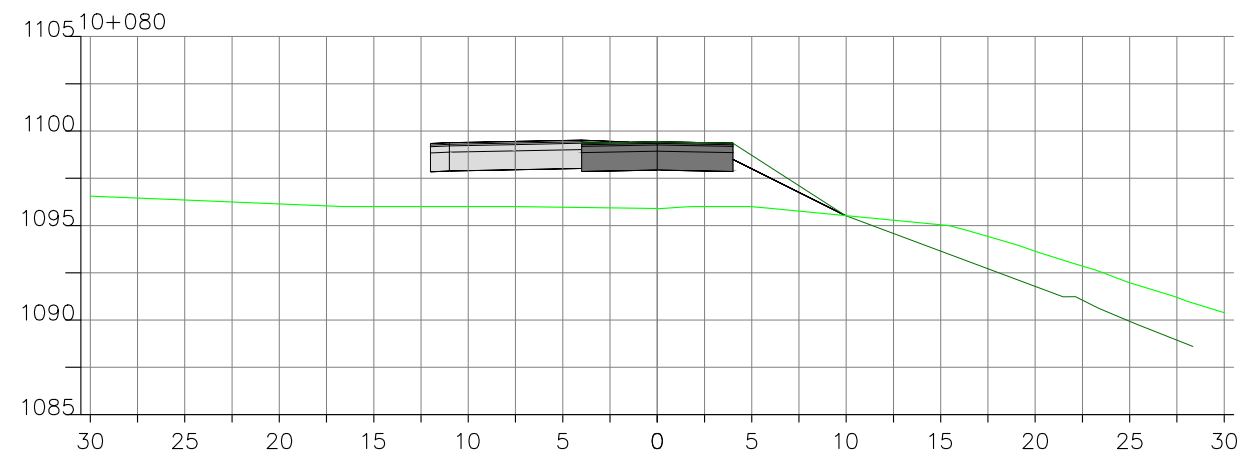
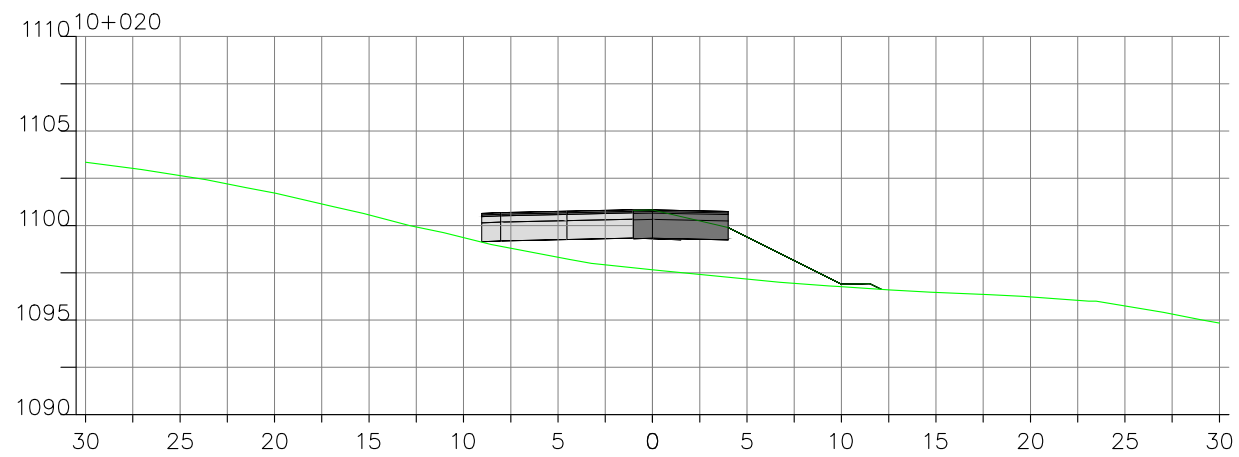
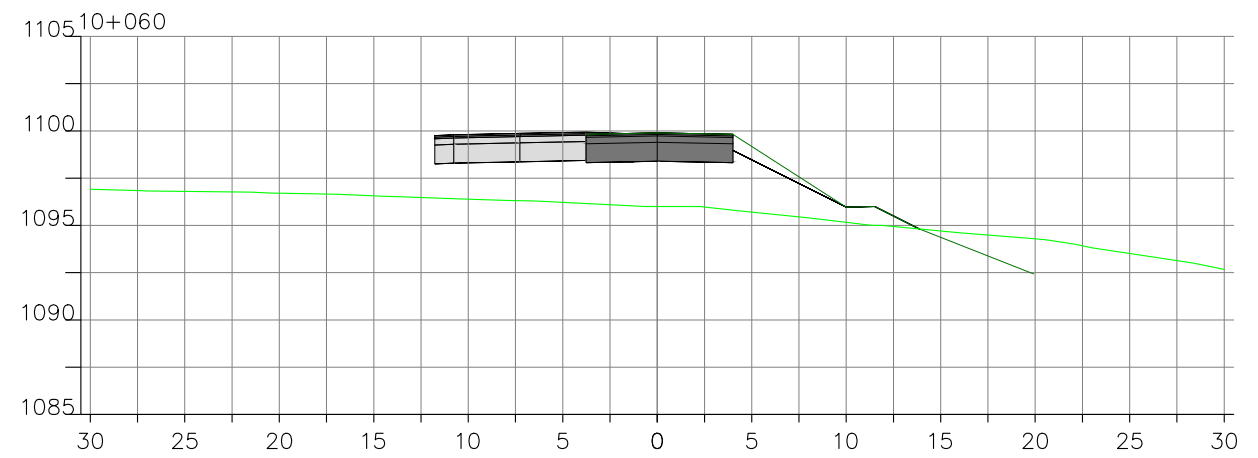
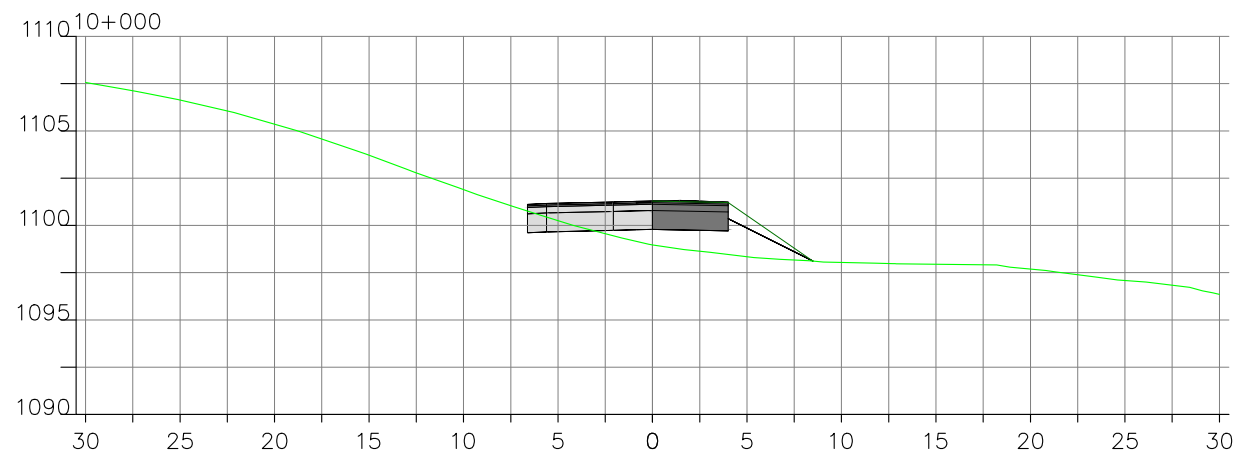
SEÇÃO TIPO 2
 BR-282 + ÁREA DE ESCAPE
 km 10+000 a km 10+300



SEÇÃO TIPO 2
ÁREA DE ESCAPE
km 10+300 a km 10+545



APÊNDICE F – SEÇÕES GABARITADAS



- CONVENÇÕES**
- TERRENO NATURAL
 - FAIXA PROJETADA
 - RODOVIA EXISTENTE
 - ARGILA EXPANDIDA



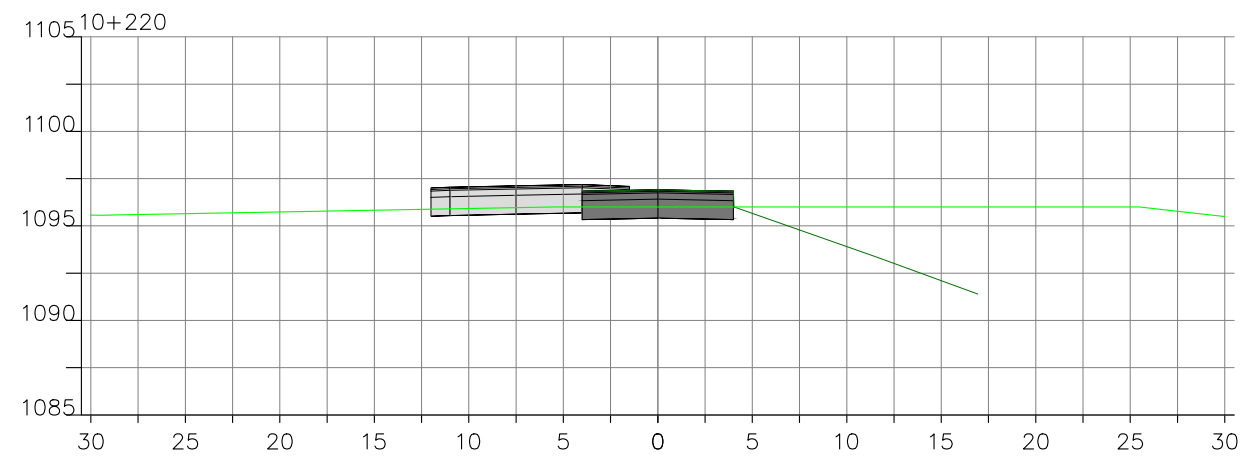
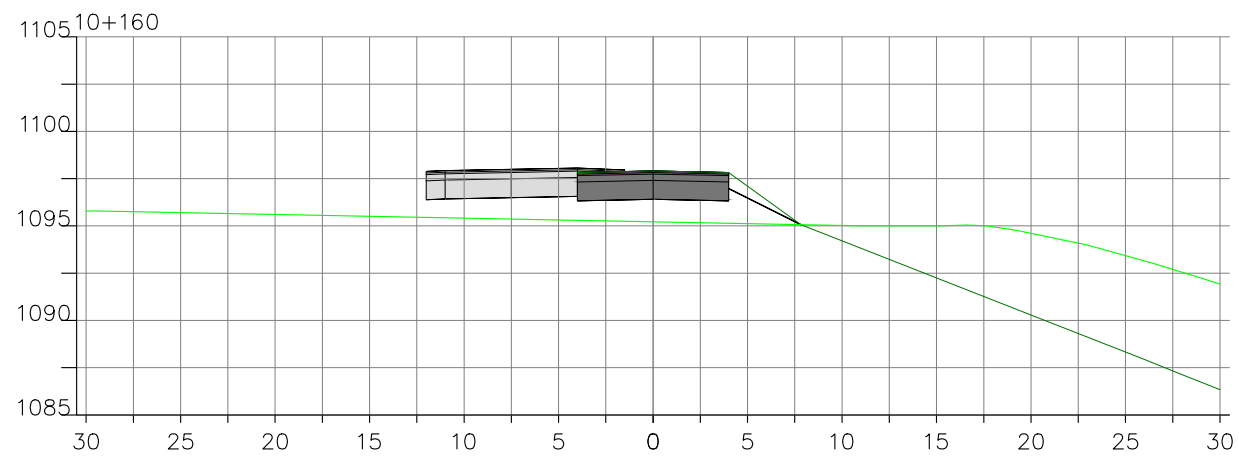
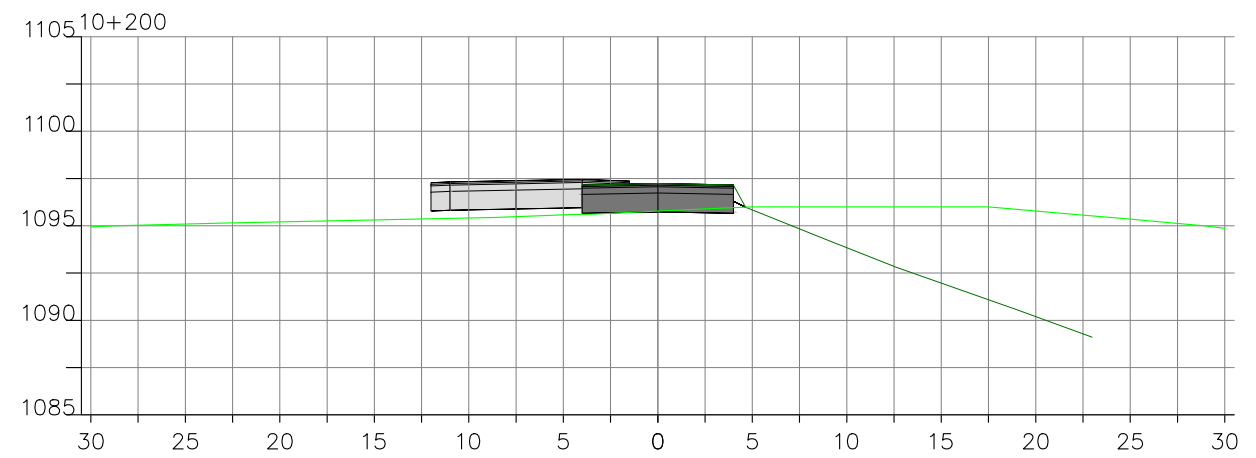
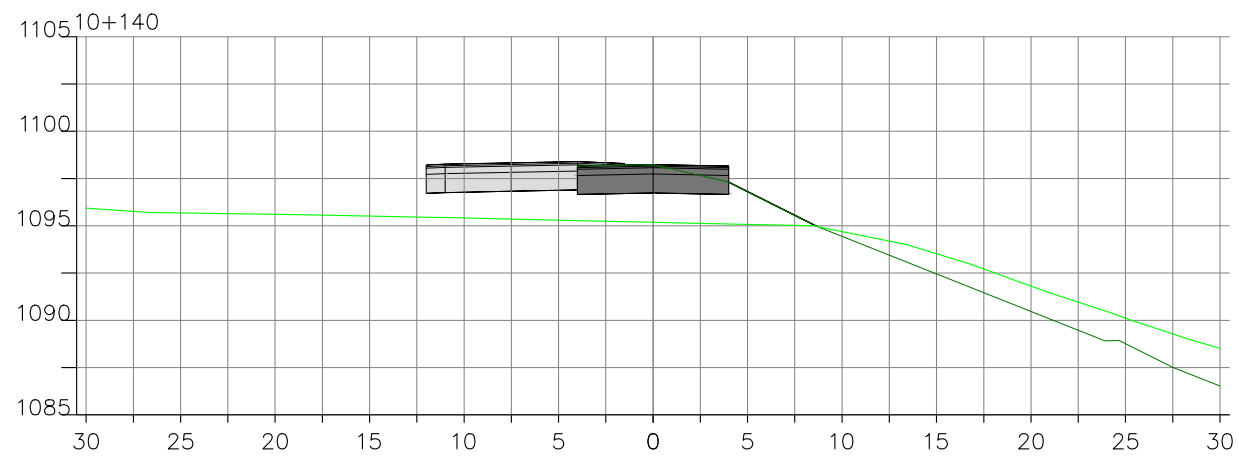
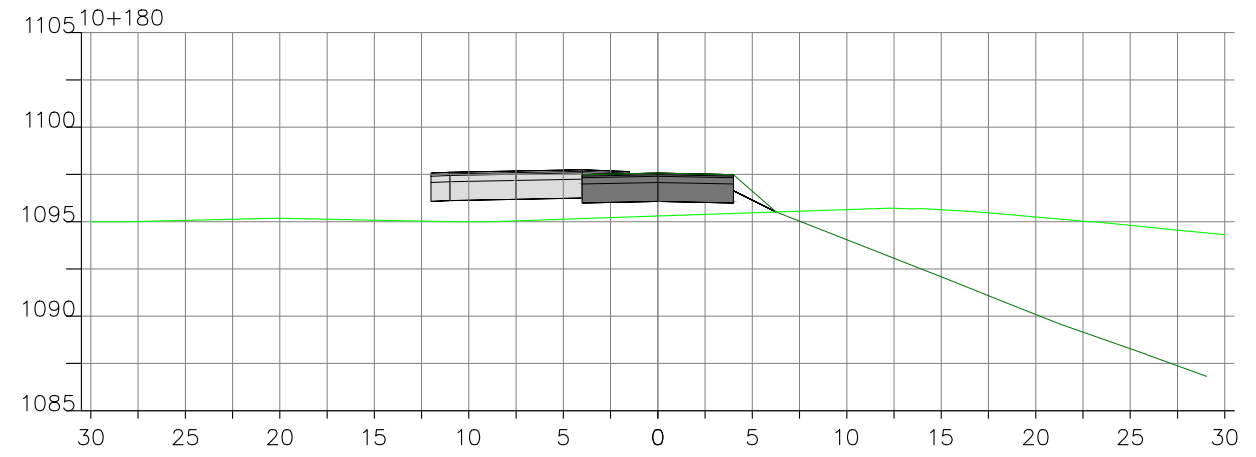
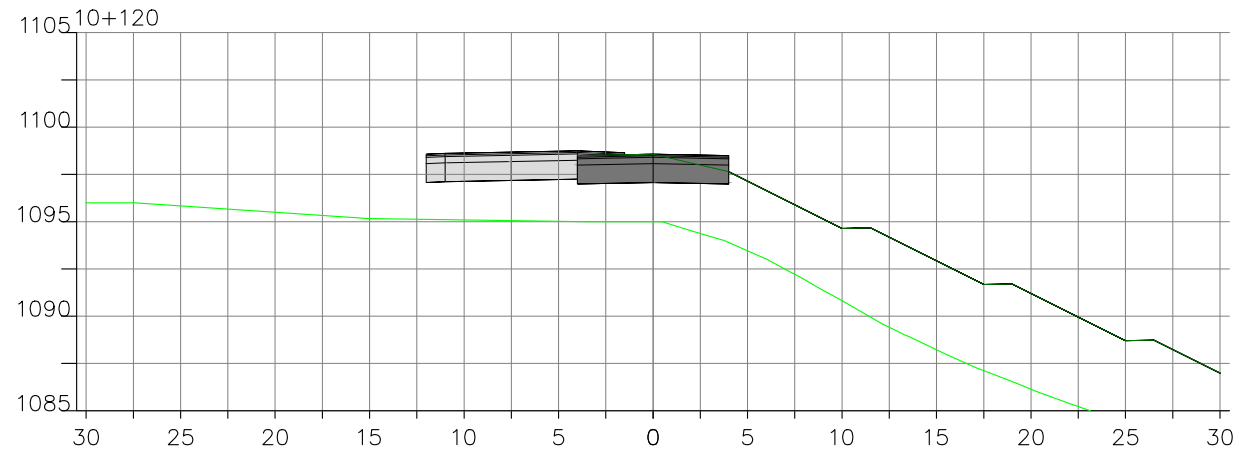
DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

RODOVIA: BR-282/SC
 TRECHO: VARGEM BONITA
 INDICAÇÃO: KM 428

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
 ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA

PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428
 SEÇÕES GABARITADAS

ESCALA: 1:400 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:



CONVENÇÕES

- TERRENO NATURAL
- FAIXA PROJETADA
- RODOVIA EXISTENTE
- ARGILA EXPANDIDA



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

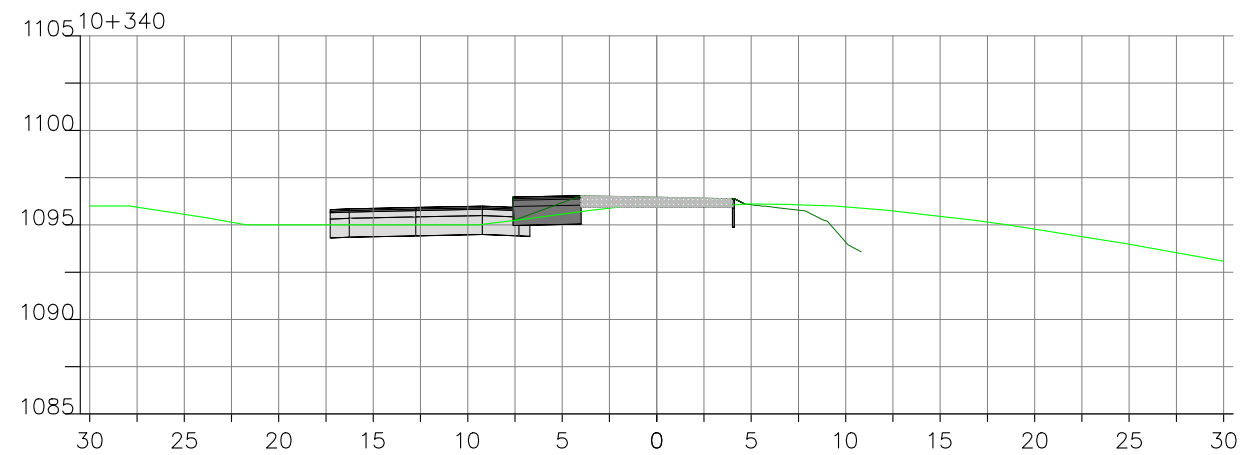
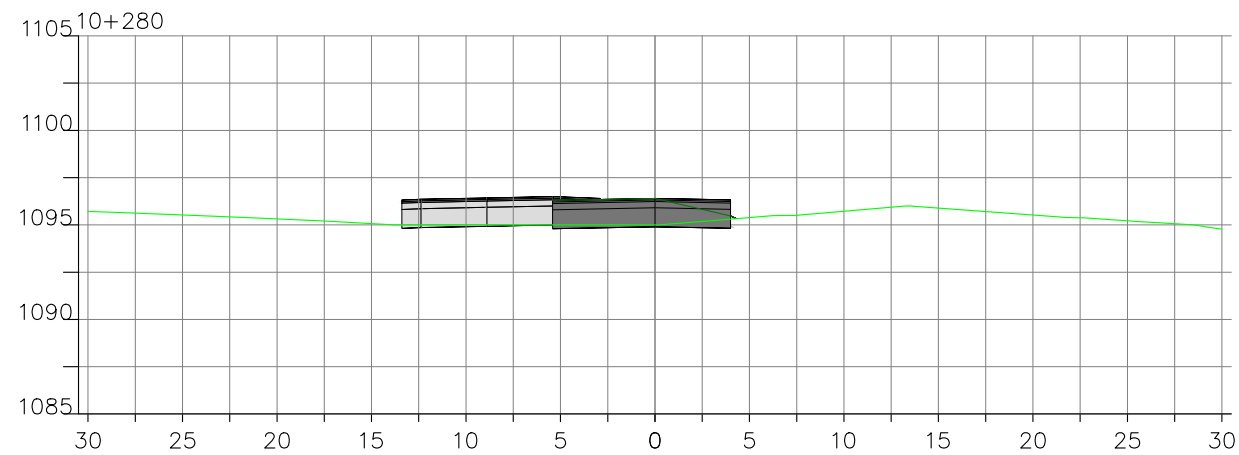
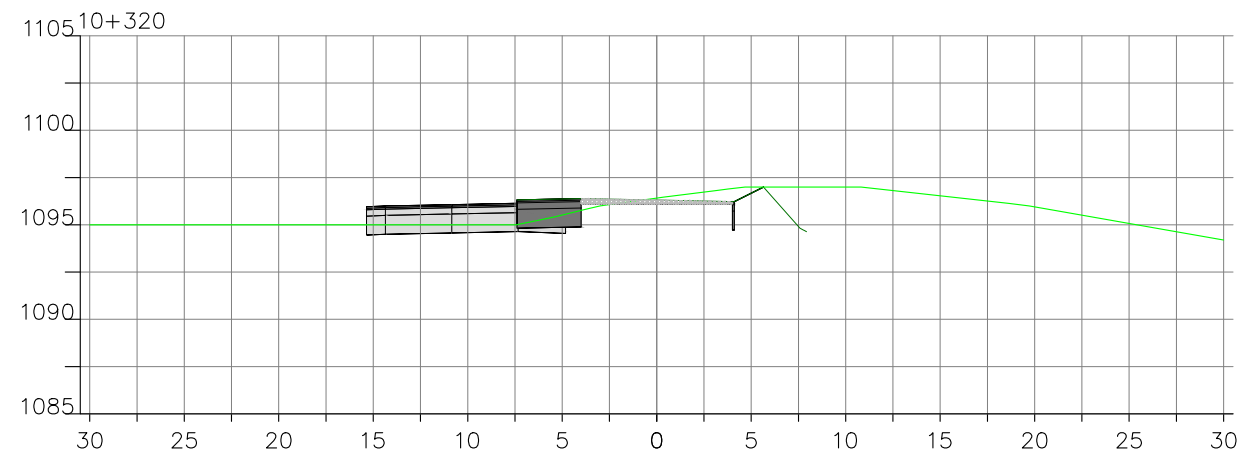
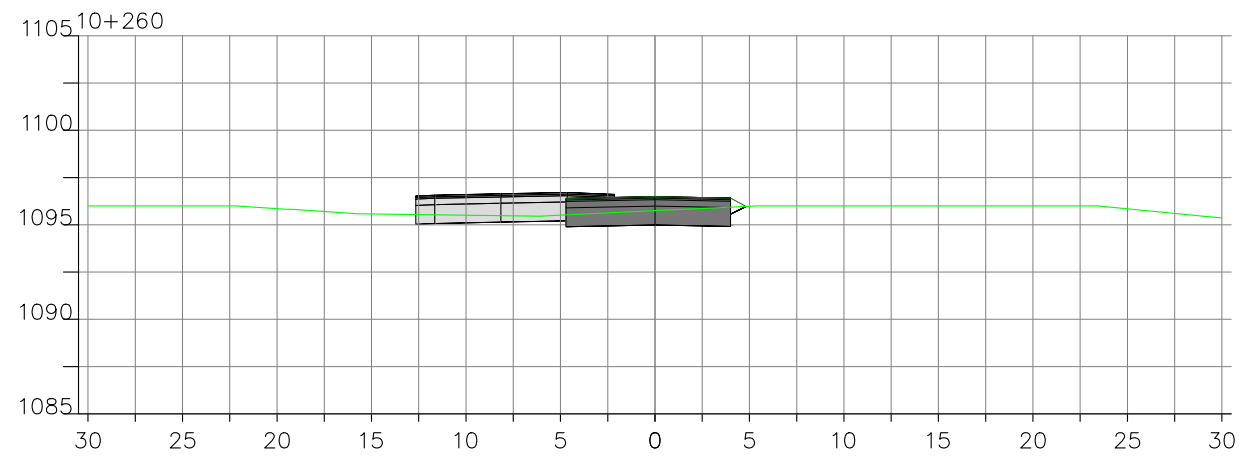
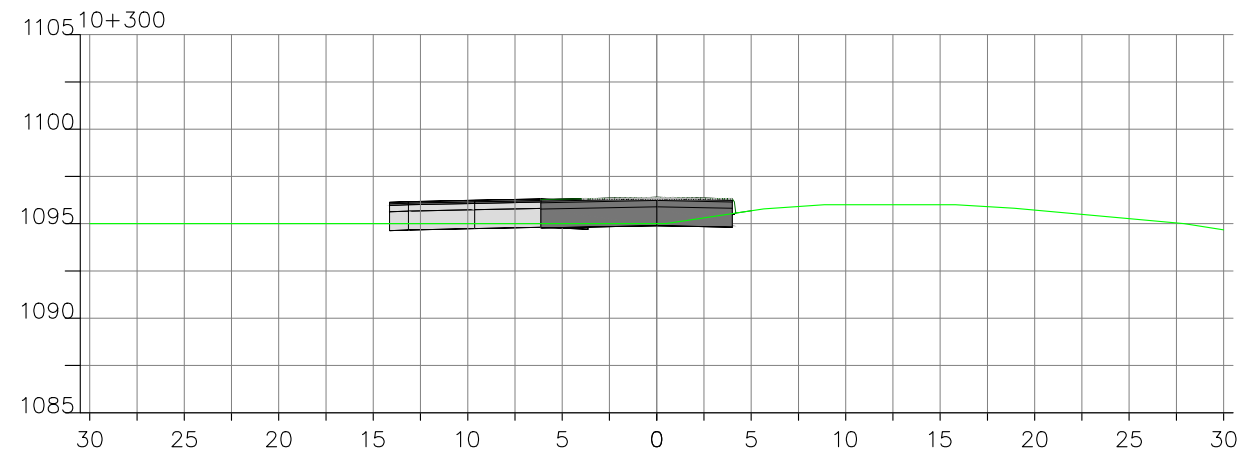
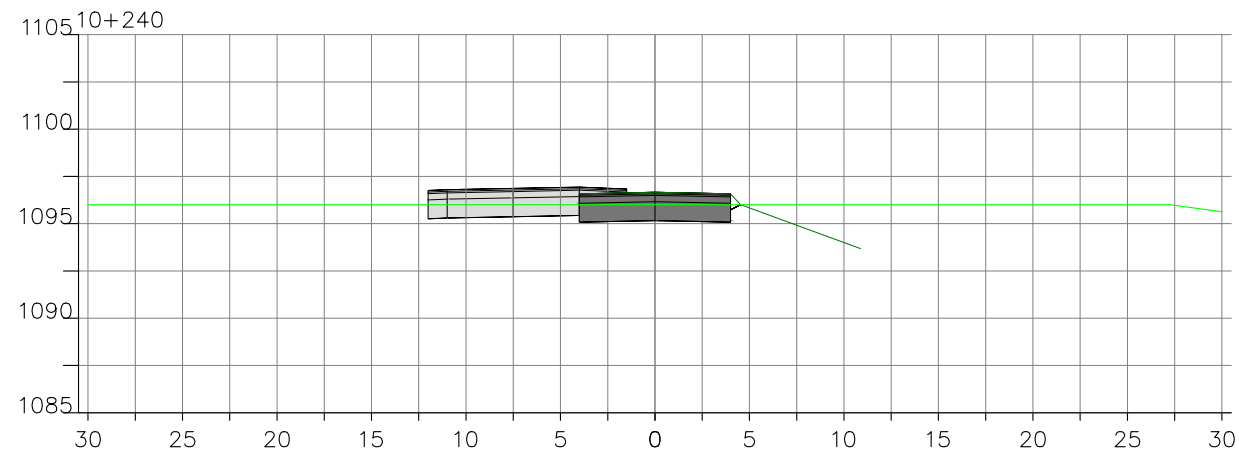
RODOVIA: BR-282/SC
TRECHO: VARGEM BONITA
INDICAÇÃO: KM 428

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA

PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428

SEÇÕES GABARITADAS

ESCALA: 1:400 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:



CONVENÇÕES

- TERRENO NATURAL
- FAIXA PROJETADA
- RODOVIA EXISTENTE
- ARGILA EXPANDIDA



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

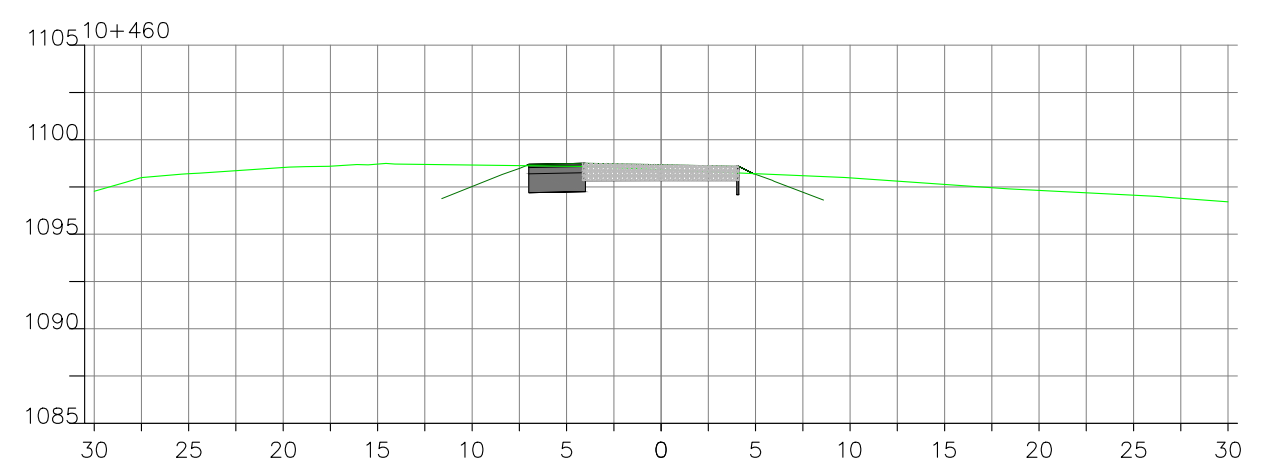
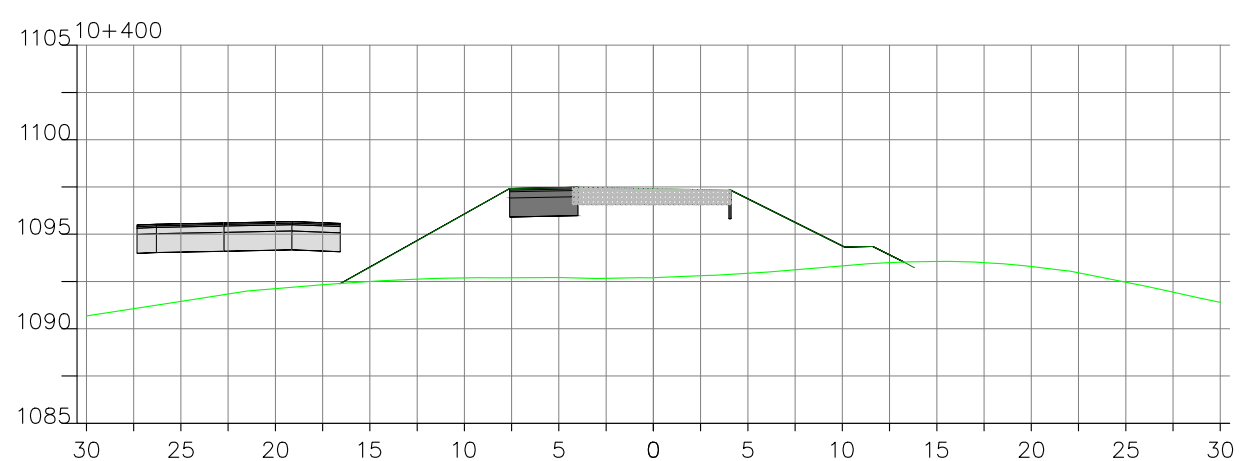
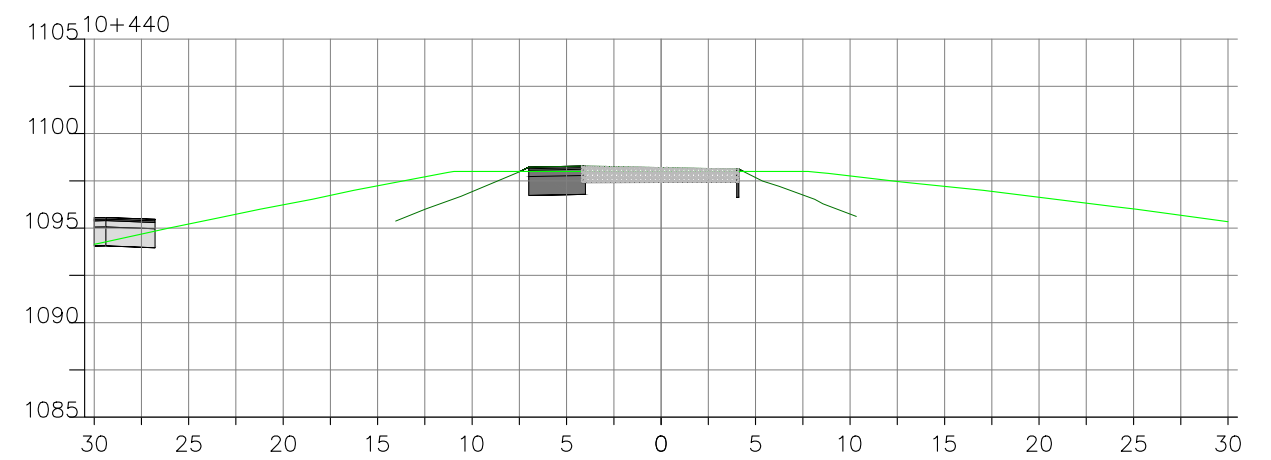
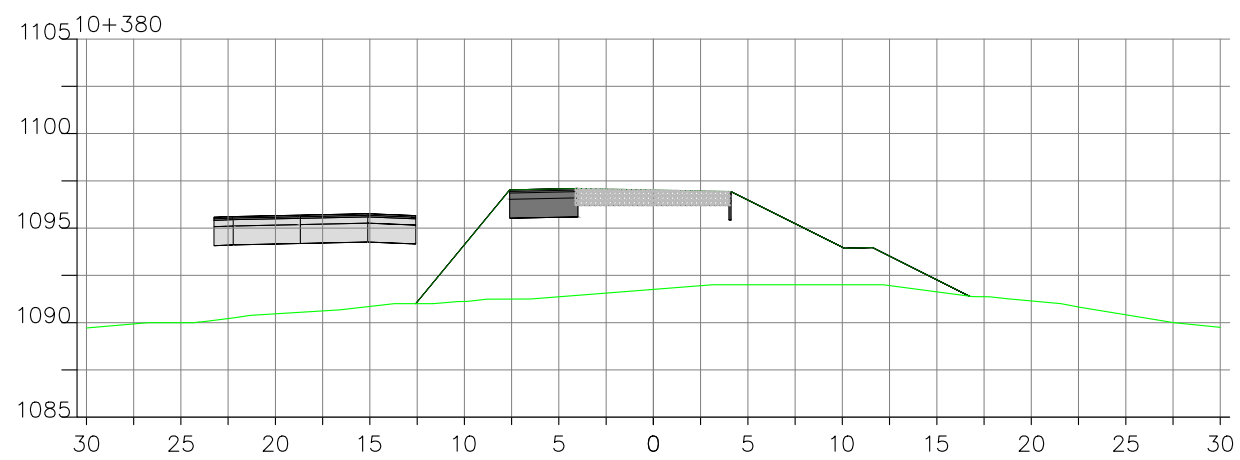
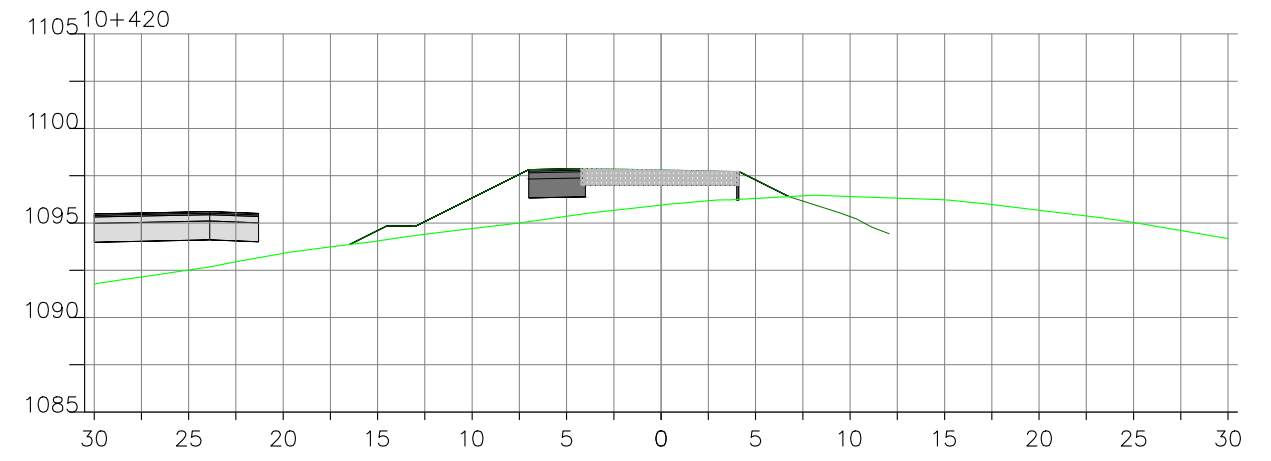
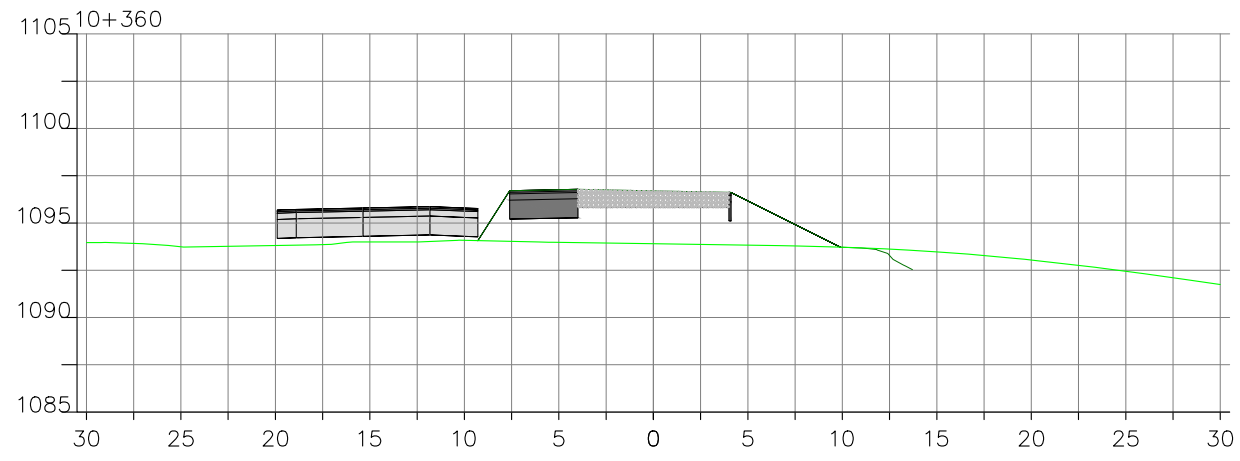
RODOVIA: BR-282/SC
TRECHO: VARGEM BONITA
INDICAÇÃO: KM 428

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA

PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428

SEÇÕES GABARITADAS

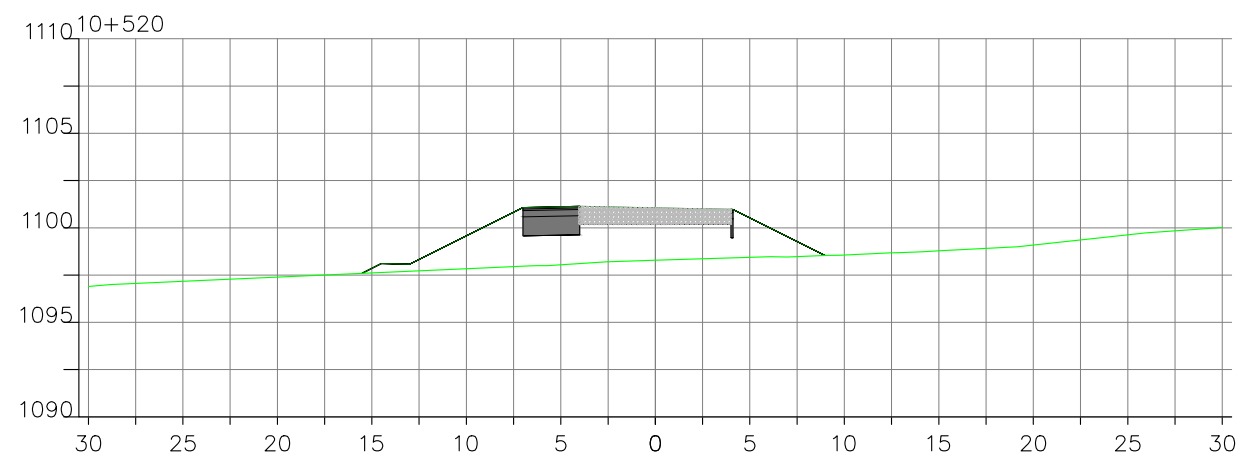
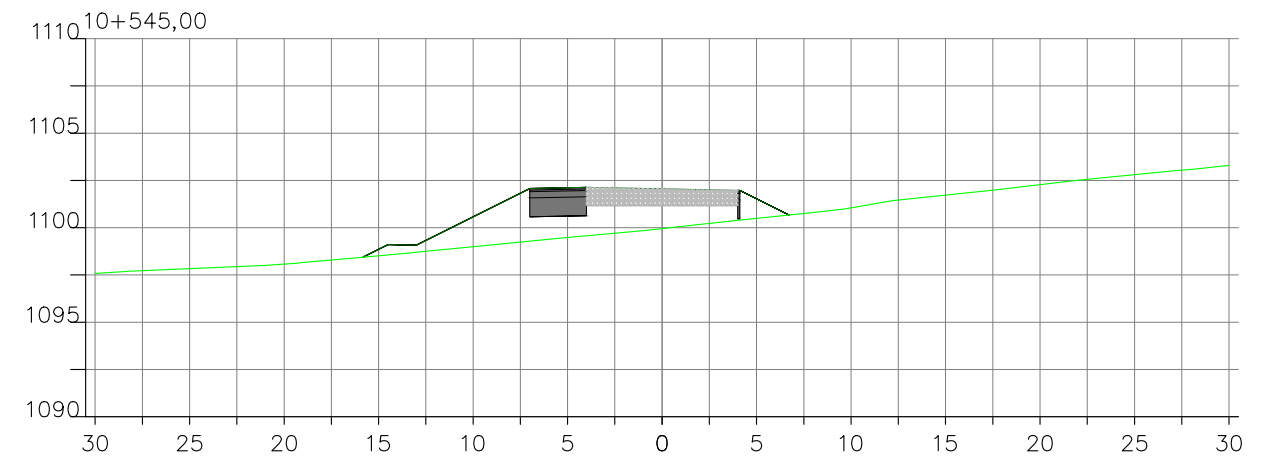
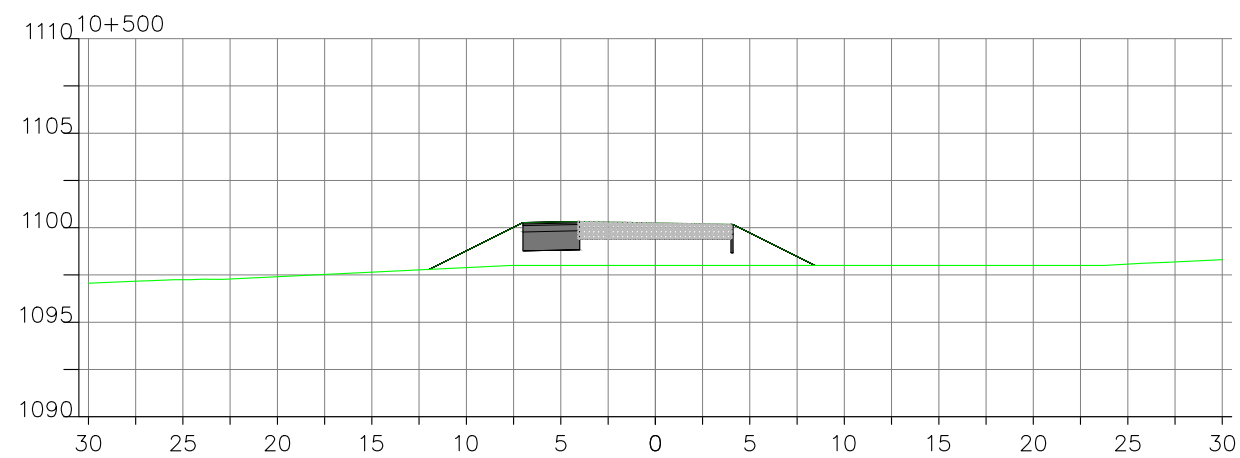
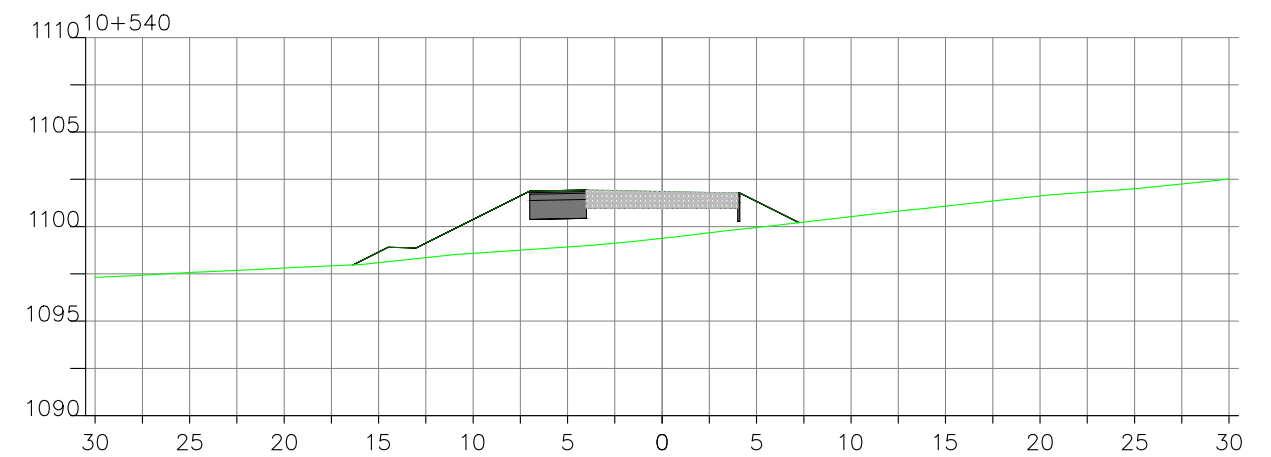
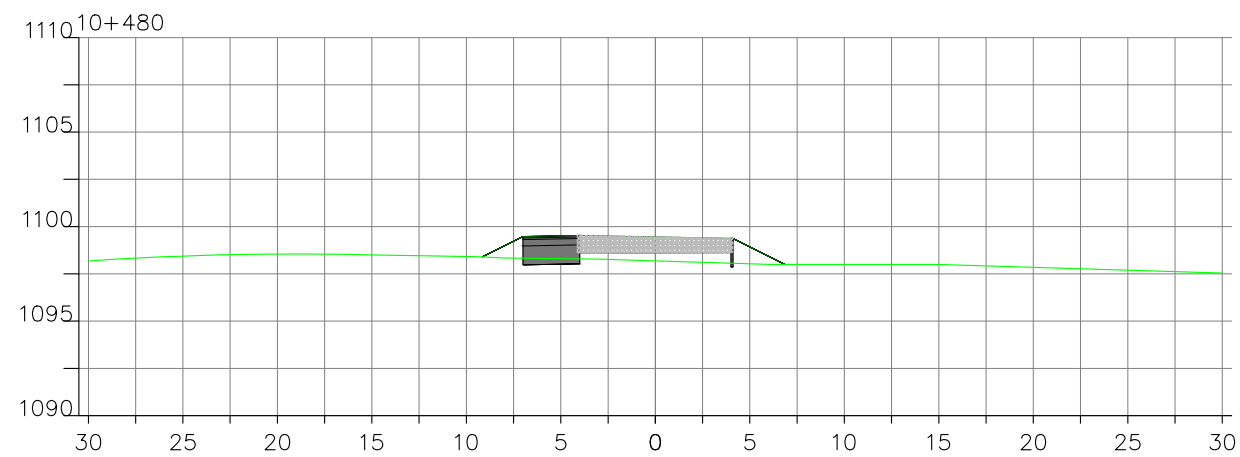
ESCALA: 1:400 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:



- CONVENÇÕES**
- TERRENO NATURAL
 - FAIXA PROJETADA
 - RODOVIA EXISTENTE
 - ARGILA EXPANDIDA



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
 RODOVIA: BR-282/SC
 TRECHO: VARGEM BONITA
 INDICAÇÃO: KM 428
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
 ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA
PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428
 SEÇÕES GABARITADAS
 ESCALA: 1:400 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:



- CONVENÇÕES**
- TERRENO NATURAL
 - FAIXA PROJETADA
 - RODOVIA EXISTENTE
 - ARGILA EXPANDIDA



DACC - DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

RODOVIA: BR-282/SC
TRECHO: VARGEM BONITA
INDICAÇÃO: KM 428

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ACADÊMICA: MAIRA LUIZA DE VASCONCELLOS
ORIENTADOR: FÁBIO KRUEGER DA SILVA

PROJETO DE ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428
SEÇÕES GABARITADAS

ESCALA: 1:400 DATA: FEVEREIRO/2025 FOLHA:

TERMO DE ENCERRAMENTO

Este é o Termo de Encerramento do Trabalho de Conclusão de Curso denominado **PROJETO GEOMÉTRICO - ÁREA DE ESCAPE PARA REDUÇÃO DE ACIDENTES ENVOLVENDO CAMINHÕES DESGOVERNADOS NA BR-282 KM 428.**

Florianópolis, 2025.