

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL
CAMPUS SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA LEANDRA MADEIRO DE SOUZA

ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DO TRAÇADO DA AL - 482

Delmiro Gouveia-AL

2017

MARIA LEANDRA MADEIRO DE SOUZA

ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DO TRAÇADO DA AL - 482

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil como parte dos
requisitos exigidos para obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. M. Sc. David Anderson
Cardoso Dantas

Delmiro Gouveia - AL

2017

S729a Souza, Maria Leandra Madeiro de
Análise da consistência geométrica do traçado da
AL - 482 / Maria Leandra Madeiro de Souza – 2017.
78f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal
de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Me. David Anderson Cardoso
Dantas.

1. Análise geométrica. 2. Rodovias.
I. Título. II. Alagoas

CDU 528.271.1 (813.5)

Folha de Aprovação

MARIA LEANDRA MADEIRO DE SOUZA

(Análise da Consistência Geométrica do Traçado da AL - 482 / trabalho de conclusão de curso em engenharia civil, da Universidade Federal de Alagoas, na forma normalizada e de uso obrigatório)

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Alagoas e aprovada em 12 de
Dezembro de 2017.



(Prof. Me. David Anderson Cardoso Dantas, Universidade Federal de Alagoas)
(Orientador)

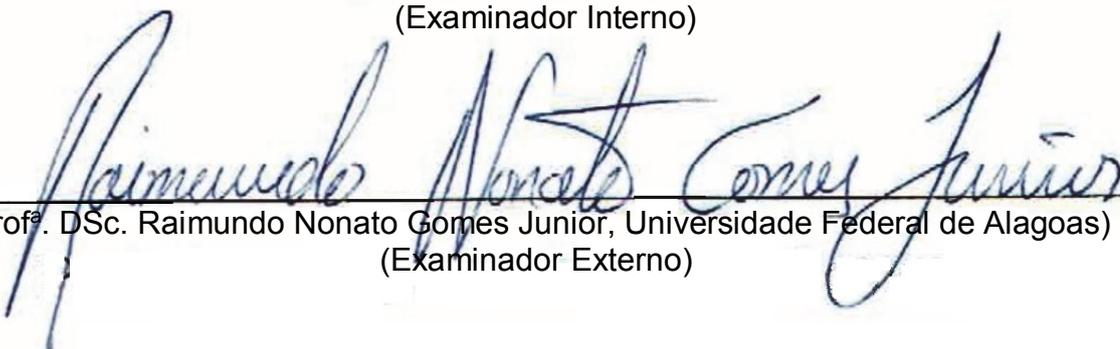
Banca Examinadora:



(Prof. Me. David Anderson Cardoso Dantas, Universidade Federal de Alagoas)
(Orientador)



(Prof. Me. Vinicius Costa Correia, Universidade Federal de Alagoas)
(Examinador Interno)



(Prof. DSc. Raimundo Nonato Gomes Junior, Universidade Federal de Alagoas)
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Uma luta árdua com muitas noites em claro se encerra! É tempo de comemorar e por isso o que me resta é agradecer por tudo...

Agradeço a Deus por sempre está ao meu lado, a minha Santa Terezinha das Rosas que sempre esteve junto nos meus momentos mais difíceis.

À minha mãe, Luiza, meu maior tesouro, que sempre intercedeu a Deus pelo meu sucesso, que me concedeu sempre o conforto e calma nas horas mais difíceis.

Ao Williams Alcantara, meu namorado, que sempre me apoiou, orientou e confortou todas as minhas decisões desde o princípio da graduação, obrigada amor!

Ao meu pai, Júnior, obrigada.

As minhas amigas que me cederam o conforto no sertão, que me ajudaram em todos os momentos nessa jornada, sem vocês meninas seria tudo bem mais difícil, Maria de Fátima de Oliveira, Kelliany Medeiros Costa e Taís Pereira da Luz.

À Maria de Fátima que por coincidência os caminhos cruzaram desde o primeiro dia de aula e perdura até os dias atuais.

À Kelliany que chegou em meu caminho e se fez sempre presente na alegria e na tristeza.

À Taís que sempre foi Luz em todos os momentos.

À Engenheira Civil e Agrimensura Helean Helmarí Silva que não mediu esforços para transmitir os conhecimentos práticos em meu primeiro estágio, que confiou em mim em várias situações. Ao João Vitor pela ajuda e dedicação com minha aprendizagem em obras. Ao Engenheiro Civil José Moisés da Luz Lima pela disposição de sempre. À Engenheira Civil Kellen Soares. Muito obrigada família Construart!!!

Ao meu orientador, Prof. Me. David Anderson Cardoso Dantas, por confiar na minha capacidade e aceitar um trabalho tão extenso em tão pouco tempo.

À Prof. Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira que sempre esteve presente nas minhas maiores emoções da graduação. Obrigada, Rafa.

Aos professores Cicero Rita, Thiago Pereira, Antônio Netto, Tânia Voronkoff, muito obrigada! Vocês foram essenciais na minha formação! Obrigada.

Aos técnicos da UFAL - Campus Sertão que foram essenciais em minha formação até mesmo aqueles que por esse campus passaram e que já não estão mais no mesmo, muito obrigada por tudo!

Aos meus conterrâneos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para realização desse trabalho, obrigada!

RESUMO

A grande quantidade de acidentes de trânsito nas rodovias vêm sendo motivo de preocupação no Brasil, apesar dos esforços em campanhas de segurança no trânsito. Atualmente tem aumentado o custo com indenizações por morte em acidentes de trânsito. Estudos apontam que além do fator humano, as condições das rodovias e da sua geometria são de fundamental influência no crescimento dos acidentes. O objetivo proposto neste estudo foi analisar a consistência da geometria da rodovia AL- 482, e sua influência na quantidade extrema de acidentes que ocorrem nesta via. Para tanto, foi realizada uma análise da percepção dos usuários, e uma simulação computacional que pudesse apresentar dados concretos acerca das características da via. Estes dados então foram comparados com parâmetros ideais de rodovias formulados pelos órgãos executivos de trânsito do Brasil. Constatou-se que a geometria atual da AL-482, não condiz com os parâmetros ideais de rodovias e que pode oferecer risco à vida de seus usuários. Além disso, foi realizada uma proposta de novo traçado que possa amenizar os riscos oferecidos pela rodovia.

Palavras-chave: Contagem Volumétrica de Veículos, Rodovias, Dimensionamento.

ABSTRACT

A large number of road traffic accidents have been a cause of concern in Brazil, despite their efforts in traffic safety campaigns. Currently, the cost of death benefits in traffic accidents has increased. Studies show that beyond the human factor, the highway's condition and geometry are fundamental influence in the accidents growth. The objective of this study was to analyze the geometry consistency of the AL-482 highway and its influence on the accidents amount involved in this route. For that, an analysis of the users' perception was performed and, a computer simulation that could present concrete data about the characteristics of the route. Then, these data were compared with the ideal parameter of highways formulated by the Brazilian transit executive agencies. It was found that the AL-482's current geometry does not match the ideal parameters of highways and can present life risk to users. In addition, a proposal was made for a new route that could mitigate the risks offered by the highway.

Key words: Volumetric Vehicle Counting, Highways, Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de Rodovia com nível de serviço A	22
Figura 2: Exemplo de Rodovia com nível de serviço B	23
Figura 3: Exemplo de Rodovia com nível de serviço C	24
Figura 4: Exemplo de Rodovia com nível de serviço D	24
Figura 5: Exemplo de Rodovia com nível de serviço E	25
Figura 6: Exemplo de Rodovia com nível de serviço F.....	26
Figura 7: Figura da Tabela do DNER com Valores de FV.....	31
Figura 8: Curva circular simples	34
Figura 9: Curva de transição	34
Figura 10: Curva circular composta.....	35
Figura 11: Esquema de distribuição da Superlargura	36
Figura 12: Esquema de veículo em Superelevação	37
Figura 13: Elementos do greide	38
Figura 14: Localização no mapa de Alagoas a cidade de Coité do Nóia - AL	40
Figura 15: Curvas com maior acentuação da AL – 482.....	41
Figura 16: Curva 1 – Curva da Igreja	41
Figura 17: Curva 2 – Curva da Fazenda	42
Figura 18: Vista aérea das curvas 1 e 2	42
Figura 19: Curva 3 – Curva Antes do Lixão.....	43
Figura 20: Curva 4 – Curva do Lixão.....	43
Figura 21: Identificação do Relevo e dos Solos da Cidade de Coité do Nóia – AL ..	45
Figura 22: Tentativa de alteração de uma curva	54
Figura 23: Ponto inicial e final do traçado das curvas 1 e 2	54
Figura 24: Perfil Longitudinal das Curvas 1 e 2.....	55
Figura 25: Visibilidade da Curva.....	56
Figura 26: Seção de Corte de 10 m ² - Estaca 0 + 820	56
Figura 27: Pontos iniciais e finais das curvas 3 e 4	58
Figura 28: Perfil longitudinal das curvas 3 e 4.....	58
Figura 29: Visibilidade do novo traçado das curvas 3 e 4	59
Figura 30: Altura de terraplenagem do novo traçado das curvas 3 e 4	60
Figura 31: Seção transversal da curva 3 e 4	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Raios atuais da rodovia AL - 482.....	53
Tabela 2: Raios das Curvas 1 e 2.....	57
Tabela 3: Raio das Curvas 3 e 4.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ângulo Central
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
D	Comprimento da Curva Circular
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPVAT	Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres
HCM	Highway Capacity Manual
I	Ângulo de Deflexão
O	Centro da Curva Circular
PC	Ponto de Curva
PCV	Ponto de Curva Vertical
PI	Ponto de Interseção
PIV	Ponto de Interseção Vertical
PT	Ponto de Tangente
PTV	Ponto de Tangente Vertical
R	Raio
SICRO2	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
T	Tangente
VMD	Volume Médio Diário
VpD	Veículos por Dia
VpH	Veículos por Hora

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
1.1.Considerações Iniciais.....	14
1.2 Objetivos	15
1.3 Estrutura do Trabalho	16
2 ASPECTOS GERAIS DE PROJETOS DE RODOVIAS.....	17
2.1. Classificação Técnica	17
2.2 Capacidade e Níveis de Serviço das Rodovias.....	19
2.2.1 Volume Horário de Projeto	19
2.2.2 Capacidade Rodoviária	20
2.2.3 Níveis de Serviço.....	21
2.3 O Traçado de uma Rodovia	26
3 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS	28
3.1 Velocidade de Projeto ou Velocidade Diretriz.....	28
3.2 Contagem Volumétrica de Veículos.....	29
3.3 Cálculo do Número N	30
3.4 Distância de Visibilidade	32
3.5 Alinhamento Horizontal	33
3.6 Raios Mínimos de Curvatura Horizontal.....	35
3.7 Superelevação	36
3.8 Alinhamento Vertical.....	37
3.9 Rampas Máximas	38
3.10 Alinhamento Transversal.....	38
3.10.1 Largura da Faixa de Rolamento e Acostamento.....	38
4 ESTUDO DE CASO: AL- 482	40
4.1 Relevo da Região.....	44
4.2 Programas Utilizados.....	45
4.2.1. Autodesk InfraWorks	45
4.2.2. AutoCAD Civil 3D	46
4.3 Volume de Tráfego	46
4.4 Classes de Projeto	46
4.5 Velocidade Diretriz	46
4.6 Rampas Máximas e Superelevação	47

4.7 Acostamento.....	47
4.8 Raio.....	48
4.9 Pesquisa com os Usuários da Rodovia.....	49
4.10 Resultados da Análises nas Curvas da AL - 482.....	52
4.10.1 Alterações no Traçado das Curvas.....	53
4.10.2 Orçamento de Terraplenagem.....	61
4.10.3 Orçamento de Pavimentação	61
4.10.4 Orçamento Estimado	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5.1 Proposta de Trabalhos Futuros	63
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES	69

1 INTRODUÇÃO

1.1.Considerações Iniciais

O Código de Trânsito Brasileiro – CTB (1997) é considerado um dos mais modernos códigos de trânsito do mundo, principalmente pelo teor de seu conteúdo voltado para a valorização do pedestre em detrimento dos veículos e pela ênfase na exigência de organização de campanhas de segurança no trânsito, por parte dos órgãos executivos nacionais de trânsito.

Os acidentes nas estradas impõem elevados custos sociais e econômicos referentes desde despesas com medicamentos, perda de produtividade decorrente de acidentes que causam lesões ou morte às vítimas, custos médicos envolvidos no socorro às vítimas, danos à propriedade pública e privada, aposentadorias prematuras, além de danos psicológicos.

No Brasil, a Seguradora Líder – DPVAT, responsável pela operação do Seguro DPVAT, registrou em seu Boletim anual, até então, com dados de janeiro a outubro de 2017, que os casos de Morte no trânsito aumentaram cerca de 27% em relação ao mesmo período de 2016 (Seguradora Líder – DPVAT, 2017).

Em uma escala menor, o Anuário de Indicadores do Trânsito do DETRAN-AL (2012), registrou a ocorrência de 6.944 acidentes no intervalo entre os anos de 2011 e 2012, desse total cerca de 40% contou com vítimas fatais. O custo estimado com os acidentes de trânsito em Alagoas foi de R\$ 251.392.800,00.

Apesar da tendência em subestimar os efeitos das características e das condições da via sobre a ocorrência de acidentes de trânsito, o sistema viário, no seu conjunto, cria situações que podem induzir os motoristas a cometerem erros de percepção ou de reação que são propícias para a ocorrência de acidentes.

As características geométricas da via afetam as condições de segurança de diferentes maneiras, influenciando a habilidade do motorista em manter o controle do veículo e identificar situações e características perigosas como: a existência de oportunidades de conflitos, as consequências de uma saída de pista de um veículo desgovernado e o comportamento e atenção dos motoristas.

Nesse sentido, as características do alinhamento horizontal e vertical da rodovia são de extrema importância para que a via ofereça conforto, comodidade e segurança à circulação dos usuários. Para DNIT (1999), é imprescindível a coordenação entre os alinhamentos vertical e horizontal, conferindo à via

características superiores de segurança, de conforto, de comodidade e de aparência. A falta dessa interação pode acentuar os defeitos do traçado.

Com isso, a avaliação da consistência de uma via corresponde a uma ferramenta que possui a finalidade de trazer benefícios para os usuários, uma vez que ela corresponde a análise de parâmetros que compõe a rodovia tais como raios, velocidade de projeto, visibilidade e outros elementos que são estudados para composição do traçado rodoviário.

Em virtude do grave cenário nacional relativo à acidentes de trânsito, diversos são os autores que tratam dessa problemática do ponto de vista da análise da consistência dos traçados, como, por exemplo, García (2008), Madalozo *et al.* (2004), Madalozo (2003), que tratam desde aspectos relacionados à percepção de conforto e segurança do usuário em relação a rodovia, até aspectos estritamente geométricos, como o tamanho dos raios dispostos nas curvas.

Dentro dessa perspectiva, este trabalho de conclusão de curso é uma oportunidade para realizar-se uma pesquisa sobre a influência da geometria das rodovias na segurança de seus usuários e apresentar uma solução viável para resolver o problema de tráfego da área estudada.

1.2 Objetivos

O presente trabalho trata do estudo da consistência do traçado da AL-482, estrada de acesso ao município de Coité do Nória/AL. Foram analisados parâmetros relacionados à geometria da rodovia, principalmente nos pontos críticos levantados por meio de consulta pública utilizando formulário eletrônico, os quais foram comparados com as diretrizes das normas brasileiras de dimensionamento de rodovias e projeto geométrico de rodovias.

O **objetivo geral** dessa pesquisa foi estudar a consistência do traçado da rodovia AL – 482, a qual possui um alto índice de acidentes, assim foram levados em consideração as curvas com os menores valores de raios, e propostas alterações no traçado da rodovia de tal modo que possuam novos raios aceitáveis pela bibliografia e satisfatórios com o tráfego da AL – 482.

Os **objetivos específicos** desta pesquisa são:

- Realizar estudo de tráfego da rodovia;
- Coletar e avaliar a opinião de usuários da rodovia AL – 482;
- Avaliar o traçado da rodovia atual;

- Projetar e modelar uma rodovia satisfatória para o tráfego atual com o uso dos softwares Autodesk InfraWorks e AutoCAD Civil 3D;
- Propor soluções técnicas às inconsistências encontradas, caso ocorram, através de mudanças no traçado da rodovia;
- Apresentar orçamento estimativo para execução das mudanças de traçado propostas ao longo da rodovia.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por sete capítulos, conforme discriminado a seguir:

O capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema desenvolvido, assim como objetivos e justificativa.

O capítulo 2 consiste na descrição dos aspectos gerais do projeto de rodovias.

O capítulo 3 detalha sobre projeto geométrico de rodovias determinando quais os principais elementos para avaliação de um projeto geométrico.

O capítulo 4 contém a informação e caracterização do estudo de caso que será aplicado esse trabalho e, aplicação da análise da consistência da geometria da rodovia em estudo.

O capítulo 5 apresenta as considerações a respeito dos resultados obtidos.

2 ASPECTOS GERAIS DE PROJETOS DE RODOVIAS

De acordo com a Constituição Federal (1988), é responsabilidade da União a fixação das competências dos entes federados no que tange a assuntos relativos ao trânsito e aos transportes. Sendo privativo da União legislar sobre essa temática, ela o faz por meio de seu órgão legislador que é o Congresso Nacional. Este, por sua vez, cria e aprova leis pertinentes ao tema, cabendo aos demais entes federados aplicar e, principalmente, implantar aquilo que é então regulamentado.

As vias terrestres de acordo com o CTB foram por ele divididas entre vias urbanas e vias rurais. Dessa forma, as vias rurais, por sua vez, são classificadas de acordo com a presença ou não de pavimento, que deve ser entendido como qualquer beneficiamento à via, por exemplo, asfalto, concreto etc. Quando não houver pavimento, a via rural será denominada estrada, quando houver pavimento a via rural será denominada rodovia (MILLACK, 2014).

2.1. Classificação Técnica

Esta classificação está relacionada, com a função da rodovia no sistema viário mencionada anteriormente, pois, é possível notar que cada trecho de rodovia atende a uma determinada função e, portanto, deveria conter características de velocidade, tráfego e acesso aos lotes lindeiros de acordo com a demanda à qual atende e dentro da hierarquia e situação de relevo a que pertence.

No entanto, a demasiada extensão da rede viária nacional faz com que esta classificação individual seja impossível, além disso, para garantir a segurança no trânsito é necessário, além de outros fatores, que haja uniformização do sistema, evitando assim, fatores que possam surpreender os condutores.

Com base nisso, o Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNIT, 1999) utiliza a classificação técnica para a definição das características básicas dos projetos de rodovias (velocidade, rampas, raios, acostamento, distância de visibilidade, etc).

Essas características são restringidas por considerações de custos, que estão diretamente relacionadas a topografia da região, as condições geológicas e geotécnicas do terreno (cortes em rocha, aterros sobre solos moles, etc), a hidrologia e a hidrografia da região e a presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio.

Para a classificação técnica de um projeto geométrico de rodovia, foram definidos como parâmetros principais a serem considerados: a posição hierárquica

dentro da classificação funcional, o tipo de relevo que a rodovia atravessa e o volume médio diário de tráfego (SOUZA, 2012).

O tipo de relevo tem fundamental importância para a classificação técnica de rodovias adotada pelo Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), pois tem influência direta na velocidade adotada na rodovia.

Em terrenos planos, os alinhamentos horizontais e verticais permitem que veículos pesados e veículos de passeio mantenham, aproximadamente, a mesma velocidade. Neste tipo de relevo, as inclinações que, eventualmente, possam vir a aparecer, não ultrapassam 2% de greide¹ (DNIT, 1999).

No caso de terrenos com ondulações, os alinhamentos horizontais e verticais fazem com que os veículos pesados realizem uma redução significativa de velocidade por um determinado tempo, no entanto, este tempo não apresenta-se demasiadamente longo.

Em contrapartida, quando o terreno apresenta-se em forma montanhosa, os alinhamentos horizontais e verticais, praticamente, obrigam os veículos pesados a operar por longos trajetos com velocidade de arrasto (DNIT, 1999). Geralmente, projetos de rodovias com relevo montanhoso demoram mais para serem concebidos e mais ainda para serem contruídos, devido ao seu alto nível de complexidade e custo elevado.

Já as regiões onduladas possuem terrenos inclinados que exigem pequenos cortes e aterros para acomodar os greides das rodovias. Por fim, a região montanhosa tem variações longitudinais e transversais abruptas em relação à rodovia, sendo necessários cortes e aterros laterais das encostas para implantar alinhamentos aceitáveis e seguros (MILLACK, 2014).

Buscando alinhar todos estes conceitos, o DNIT(1999) apresentou a Classificação Técnica Rodoviária, onde os trechos de rodovias foram agrupados em 5 classes distintas, que variam de 0 a IV, onde os menores números correspondem às rodovias com características técnicas de projeto mais exigentes:

- **Classe 0 (zero)**- nesta classe estão enquadradas as rodovias de mais alto nível, com mais de uma pista, contendo intersecções em desnível (passarelas). Estas rodovias possuem controle de acesso de veículos e bloqueio de acesso de pedestres. São denominadas Vias Expressas. São

¹ Perfil longitudinal de uma estrada de rodagem ou de ferro, que dá as alturas dos diversos pontos do seu eixo.

as rodovias de mais alto padrão técnico, adotadas por critérios de ordem administrativa dos órgãos competentes

- **Classe I-** Subdivide-se em *Classe I-A* (pista dupla) e *Classe I-B* (pista simples). A Classe I-A corresponde à rodovia com pista dupla com controle parcial de acesso e que pode possuir interseção em nível. A Classe I-B refere-se a rodovia de pista simples, para atender à demanda superior a 200 vph ou 1400 vpd;
- **Classe II-** esta classificação corresponde à rodovia de pista simples para demanda que atenda de 700 vpd a 1400 vpd;
- **Classe III-** esta categoria refere-se às rodovias de pista simples, com demanda que pode variar de 300 vpd a 700 vpd;
- **Classe IV-** neste caso, trata-se de rodovia de pista simples, geralmente não pavimentada, pertencente ao sistema local e com características técnicas que atendem à demanda de tráfego do ano de abertura. São as chamadas estradas vicinais e pioneiras. Subdividem-se em *Classe IV-A* e *Classe IV-B*. A Classe IV-A é recomendada para tráfego de 50 a 200 vpd e a Classe IV-B, para tráfegos que atendam menos que 50 vpd.

Deste modo, as rodovias foram classificadas na época. Com relação às novas rodovias, foi enfatizado que, já em fase de planta, fossem projetadas de acordo com a classe a que viria a pertencer, para que fosse possível o planejamento e execução de rodovias ideais.

2.2 Capacidade e Níveis de Serviço das Rodovias

2.2.1 Volume Horário de Projeto

Em uma rodovia ideal, considera-se o décimo ano após sua construção como o *ano de projeto*. Por meio de análises e estudos, é possível prever a máxima demanda horária de tráfego prevista para o ano de projeto. Numa situação ideal, não haveria nenhuma presença de congestionamento em nenhuma hora do determinado ano de projeto, nem mesmo na época de fluxo mais intenso (MILLACK, 2014).

No entanto, durante as demais horas do ano em que o fluxo estivesse baixo as características que fariam a rodovia tão fluída estariam sendo inúteis e isso acarreta um custo muito grande de execução. Logo, foi considerado que o ideal mesmo é que o projeto de rodovias admita um certo *número de horas congestionadas*.

O volume (fluxo) de tráfego é definido como o número de veículos que passam por uma determinada seção de uma estrada em um determinado intervalo de tempo. A variação pode ser anual, sazonal, mensal, semanal, diária, horária ou intervalo da hora (variação em períodos de minutos).

O Volume Médio Diário (VMD) é o volume ou tráfego registrado em um dia, utilizado para avaliar a distribuição de tráfego, medir a demanda de uma via e fazer programação de melhorias básicas. É obtido por meio de contagens contínuas de tráfego ou pode ser estimado a partir de valores de ajustamento quando a contagem é periódica (DNIT, 1999). O VMD é o volume total de veículos durante certo período, maior que um dia e menor que um ano, dividido pelo número de dias do período. Quando este não é especificado, supõe-se que é um ano.

A importância do volume e da natureza do tráfego para a elaboração do projeto de rodovias relaciona-se, primeiramente, com a análise da necessidade de mudança, adequação de um trecho às novas exigências por melhores condições de mobilidade e acesso.

Se for constatada a insuficiência de capacidade da rodovia no atendimento ao fluxo, ao qual está submetida, é possível classificar a rodovia e os veículos, a fim de obter as características geométricas adequadas para oferecer conforto e segurança aos usuários (MILLACK, 2014).

2.2.2 Capacidade Rodoviária

O objetivo do projeto rodoviário é que sejam criadas rodovias capazes de atender a demanda de serviço durante os períodos de fluxo mais intenso, no entanto, deve-se considerar os períodos menos intensos para que as características geométricas adotadas não configurem exageros ou desperdício de investimentos em obras públicas.

O conhecimento sobre a capacidade das rodovias é necessário para que o projeto seja adequado às exigências de tráfego, principalmente quanto ao dimensionamento da rodovia, na largura, número de faixas e extensões mínimas em trechos entre cruzamentos.

É também utilizado para identificar locais de engarrafamento, que já existem ou que podem se tornar, e planejar melhorias operacionais, como em medidas a serem adotadas no controle do tráfego ou alterações na geometria da rodovia em pontos específicos (DEMARCHI e SETTI; 2010).

As condições de operação são precárias quando uma via opera próximo ou no limite da capacidade, a alta quantidade de veículos dificulta a mobilidade, atrapalhando a mudança de faixa, diminuindo a velocidade e exigindo maior concentração dos usuários (MILLACK, 2014). A capacidade não pode ser excedida sem que haja modificações das condições da via.

A Capacidade se refere ao número máximo de veículos que podem passar por uma dada seção ou trecho de uma rodovia (DNIT, 1999), durante um período de tempo, sob condições prevaletentes de tráfego e da via. O *Highway Capacity Manual* (HCM) é a principal referência bibliográfica sobre capacidade viária. Nele são apresentados os critérios e a metodologia para a determinação da capacidade.

2.2.3 Níveis de Serviço

Como já foi citado anteriormente, a capacidade de uma rodovia corresponde ao maior número de veículos que podem ser acomodados em um dado período de tempo. Por outro lado, o nível de serviço representa uma avaliação qualitativa das condições de operação da rodovia, que vai ser definido de acordo com o nível de fluidez da corrente de tráfego, a possibilidade de realizar manobras de ultrapassagem ou de mudança de faixa, e o grau de proximidade entre veículos (DEMARCHI e SETTI; 2010).

De uma forma geral, quanto menor o fluxo de veículos, melhor a qualidade de operação. Por outro lado, quanto mais o fluxo se aproxima da capacidade, pior será o nível de serviço, pois, maior é a probabilidade de ocorrerem congestionamentos.

Comumente, são utilizadas técnicas e métodos que permitem quantificar a capacidade de rodovias e avaliar qualitativamente a operação a partir de parâmetros mensuráveis na prática.

A análise da capacidade e nível de serviço de rodovias permitem que sejam tomados conhecimentos necessários para o dimensionamento da capacidade de rodovias que serão construídas, além disso, ajuda a identificar as características operacionais e a qualidade de operação de rodovias já existentes.

O Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (1999), apresentou os níveis de serviço definidos pelo HCM. O nível de serviço foi definido como uma medida qualitativa das condições de operação, conforto e conveniência de motoristas, e depende de fatores como: liberdade na escolha da velocidade, finalidade para mudar de faixas nas ultrapassagens e saídas e entradas na via e proximidade dos outros veículos.

Os níveis são designados por letras que vão de A à F, onde A corresponde às melhores condições de operação e o nível de serviço F às piores, tendo como base regimes de velocidade e volume de tráfego (DNIT, 1999). A seguir são descritas as condições de operação correspondentes a cada nível de serviço:

- **Nível de serviço A:** este nível, ocorre em rodovias com bom estado de características técnicas. O fluxo de tráfego é livre, com concentrações bastante reduzidas, velocidades altas, que podem variar em média entre 90 e 93 km/h, somente limitadas pelas condições físicas da via. Total liberdade na escolha da velocidade e total facilidade de ultrapassagens. Nas melhores condições, o fluxo máximo é de 420 veículos por hora (DNIT, 1999). O nível de conforto dos usuários é excelente (Figura 1);

Figura 1: Exemplo de Rodovia com nível de serviço A



Fonte: Lima, 2013.

- **Nível de serviço B:** este tipo de nível corresponde a um fluxo estável, sem mudanças bruscas da velocidade, porém, os motoristas já começam a sofrer restrições pela ação de outros veículos. A concentração de veículos

é reduzida. A liberdade na escolha da velocidade e a facilidade de ultrapassagens não é total, embora ainda em nível muito bom. Os limites de velocidade média podem variar entre 87 a 89 km/h. Em condições ideais o fluxo máximo de tráfego pode chegar a 750 veículos por hora (DNIT, 1999). Conforto e conveniência: bom (Figura 2);

Figura 2: Exemplo de Rodovia com nível de serviço B



Fonte: Lima, 2013.

- **Nível de serviço C:** neste nível ainda é possível manter o fluxo estável, mas a velocidade e a possibilidade de manobras passam a ser condicionadas por outros veículos. As manobras dentro do fluxo são mais difíceis e exigem considerável atenção dos motoristas, porém as condições de circulação são toleráveis. Os limites de velocidade média podem variar entre 79 a 84 km/h. Em condições ideais o fluxo máximo de tráfego pode chegar a 1.200 veículos por hora (DNIT, 1999). Conforto e conveniência: regular (Figura 3);

Figura 3: Exemplo de Rodovia com nível de serviço C



Fonte: Lima, 2013.

- **Nível de serviço D:** neste nível ocorrem condições de fluxos próximas do que é considerado instável e com altas densidades, em que os motoristas têm dificuldade de manter a velocidade desejada e grande dificuldade de ultrapassagens. No entanto, mesmo não sendo uma situação cômoda, pode ser tolerada durante períodos não muito longos. Os limites de velocidade média podem variar entre 72 a 80 km/h. Em condições ideais o fluxo máximo de tráfego pode chegar a 1.800 veículos por hora (DNIT, 1999). Conforto e conveniência: ruim (Figura 4);

Figura 4: Exemplo de Rodovia com nível de serviço D



Fonte: Millack, 2014.

- **Nível de serviço E:** este nível é considerado o representante da capacidade da rodovia, nele ocorre fluxo instável e concentração extremamente alta. Velocidade baixa com paradas frequentes e manobras para mudanças de faixas somente são possíveis se forçadas. Os limites de velocidade média podem variar entre 56 a 72 km/h. Em condições ideais o fluxo máximo de tráfego pode chegar a 2.800 veículos por hora (DNIT, 1999). Conforto e conveniência: péssimo (Figura 5).

Figura 5: Exemplo de Rodovia com nível de serviço E



Fonte: Millack, 2014.

- **Nível de serviço F:** Neste nível o fluxo é forçado e a concentração altíssima, com velocidades baixas e filas frequentes de longa duração. O extremo do nível F é o total congestionamento da via, que se alcança nas horas de pico em muitas vias centrais nas grandes cidades (MILLACK, 2014). Manobras para mudança de faixas somente são possíveis se forçadas e contando com a colaboração de outro motorista. É o colapso do fluxo. Os limites de velocidade média são sempre inferiores ao que são atingidos pelo nível E (DNIT, 1999). Conforto e conveniência: inaceitável (Figura 6);

Figura 6: Exemplo de Rodovia com nível de serviço F



Fonte: Millack, 2014.

2.3 O Traçado de uma Rodovia

A intenção de construção de uma rodovia nasce da necessidade de ligar dois pontos. Aparentemente, a melhor solução para a ligação de dois pontos por meio de uma estrada consiste em seguir a diretriz geral. Isto seria possível caso não houvesse entre estes dois pontos nenhum obstáculo ou ponto de interesse que forçasse a desviar a estrada de seu traçado ideal.

Quando a declividade de uma região for íngreme, de modo que não seja possível lançar o eixo da estrada com declividade inferior a valores admissíveis, deve-se desenvolver traçado.

Segundo Macedo (2003) são vários os fatores que interferem na definição do traçado de uma estrada. Dentre eles, destacam-se:

- a topografia da região;
- as condições geológicas e geotécnicas do terreno;
- a hidrologia e a hidrografia da região;
- a presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio da estrada.

Regiões topograficamente desfavoráveis geralmente acarretam grandes movimentos de terra, elevando substancialmente os custos de construção. Por isso, é importante o retorno do investimento na construção de uma rodovia e gerar desenvolvimento e conseqüentemente arrecadação de impostos, para gerar novos investimentos em estradas.

As condições geológicas e geotécnicas podem inviabilizar determinada diretriz de uma estrada. Na maioria dos casos são grandes os custos necessários para estabilização de cortes e aterros a serem executados em terrenos desfavoráveis (cortes em rocha, aterros sobre solos moles, etc.).

A hidrologia da região pode também interferir na escolha do traçado de uma estrada, pois os custos das obras de arte e de drenagem geralmente são elevados. O mesmo acontece com os custos de desapropriação. Dependendo do número de benfeitorias ao longo da faixa de implantação da estrada, os custos de desapropriação podem inviabilizar o traçado.

Segundo Macedo (2003), existem três tipos de regiões, que são distinguidas pelas diferenças máximas de cota por km percorrido, dentro dos seguintes limites:

- Plana: atinge 10m/km;
- Ondulada: atinge de 10 a 40 m/km;
- Montanhosa: atinge mais de 40m/km.

Quanto mais suave for a topografia da região, menor será o custo da construção da rodovia.

3 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

O projeto de uma rodovia deve ser fruto de um planejamento de transportes, após haver uma profunda análise acerca das necessidades e características regionais, e dos meios de transportes a serem utilizados para atender da melhor maneira possível a estas necessidades.

Além de estar totalmente enquadrada no plano viário existente, a rodovia a ser construída deve se ajustar de forma harmônica à topografia da região, onde possíveis alterações sejam realizadas sem configurar uma agressão à natureza. Segundo Pimenta e Oliveira (2004), características básicas como a capacidade de tráfego, o número de pistas e a velocidade de projeto devem ser analisadas durante o processo de projeto de uma rodovia. Além de analisar as condições atuais deve-se fazer previsões acerca das alterações que o trânsito possa sofrer na vida útil da estrada.

O projeto geométrico é uma parte integrante do projeto de uma estrada ou rodovia. Ele é responsável por analisar diversas características do traçado em função das leis do movimento, do comportamento dos motoristas, das características de opção dos veículos e do tráfego. Seu objetivo é garantir uma rodovia segura, confortável e eficiente, com o menor custo possível.

Desse modo, um bom projeto de rodovia deve atender às necessidades de tráfego da região, respeitando as características técnicas de um bom traçado sem que seja necessário entrar em desarmonia com a região que irá receber a rodovia. Além disso, deve oferecer uma boa relação de custo benefício. A seguir são apresentados alguns controles e critérios adotados para a determinação das principais características físicas e geométricas de rodovias.

3.1 Velocidade de Projeto ou Velocidade Diretriz

O tempo de viagem é fator crucial para determinação do meio de transporte pelo usuário. No sistema viário, as rodovias devem garantir condições seguras para que os usuários possam desenvolver com segurança a velocidade especificada.

Na concepção de uma estrada, a velocidade é um parâmetro fundamental para a escolha e controle dos elementos geométricos do traçado, pois permite a análise dos critérios de economia, segurança e comodidade.

De acordo com o Projeto Geométrico de Rodovias (PIMENTA e OLIVEIRA, 2004), a velocidade de projeto é a maior velocidade que um veículo- padrão pode desenvolver, em um trecho de rodovia, em condições normais e com total segurança.

A velocidade de projeto e a velocidade diretriz da rodovia está diretamente relacionada com a função da rodovia e com os custos que a construção desta rodovia acarretará. Por isso, rodovias que ligam centros populacionais maiores tem velocidades de projeto maiores, à exemplo das Vias Expressas. Já as rodovias que ligam municípios menores devem ter velocidade de projeto menores, por motivo de economia.

Além disso, a escolha do valor de velocidade de projeto vai definir o padrão da estrada, todas as suas características geométricas serão direcionadas para garantir a segurança do usuário. O ideal é que haja uma única velocidade de projeto em toda a rodovia, porém, em alguns casos o relevo exige que alguns trechos tenham velocidades de projeto maiores ou menores, que em outros trechos.

3.2 Contagem Volumétrica de Veículos

De acordo com o DNIT (2006), as contagens volumétricas subdividem-se em:

- **Manuais:** é um tipo de contagem manual na qual são utilizadas fichas e contadores manuais. Geralmente, utilizadas em rodovias com muitas faixas, nas vias urbanas junto com esta metodologia de contagem é utilizado o critério de separação de veículos de acordo com seu porte e características;
- **Automáticas:** De acordo com Feitosa (2012), para a realização das contagens, é necessária a implantação de um conjunto de instalações e aparelhos que exerçam distintas funções de captação, transmissão, detecção de processamento e registro dos volumes de fluxo de tráfego.

Desse modo de acordo com o DNIT (2006) define-se detalhadamente as contagens automáticas, assim existem vários tipos de contagens automáticas, tais como:

1. Contadores automáticos portáteis que são utilizados em tempo limitado de 24 horas, mas podem se estender por algumas semanas;
2. Videoteipe são aqueles métodos que exigem muito tempo para sua instalação, todavia tem suas vantagens uma vez que possui maior confiança nos levantamentos, constam todos os movimentos direcionais, pode-se obter outros dados de interesse;
3. Método do observador móvel é um tipo de método que consiste em observar um determinado trecho da via.

Logo, existem também as contagens de trechos contínuos no qual para estudos em sistemas de vias rurais são usados três tipos distintos de postos que são permanentes, sazonais e de cobertura. Para estudos especiais, normalmente são utilizados dois tipos de postos: postos no cordão externo e postos no cordão interno.

Para postos permanentes são instalados em todos os pontos onde se necessite uma série contínua de dados para a determinação de volumes horários, tendências dos volumes de tráfego, ajustamento de contagens curtas em outros locais, etc. Esse tipo de posto funciona 24 horas por dia, durante os 365 dias do ano. Neles devem ser instalados contadores que registrem os volumes que passam em cada hora e a cada 15 minutos.

Postos sazonais são aqueles destinados para determinar a variação dos volumes de tráfego durante o ano. Sua localização deve obedecer os mesmos critérios mencionados para os postos permanentes.

Postos de cobertura nestes postos se realizam contagens uma vez no ano durante 48 horas consecutivas em dois dias úteis da semana. A duração das contagens nesses postos será função do grau de confiabilidade desejado na determinação do VMD, podendo ser de 7, 3 ou 1 dia, de 24 ou 16 horas.

3.3 Cálculo do Número N

Segundo Akishino (2005), o número N corresponde ao número de repetições dos eixos dos veículos equivalentes ao eixo padrão rodoviário no qual o método do projeto do DNIT adota o eixo padrão de 8,2 toneladas, porém os fatores de equivalência são considerados da AASHTO.

Assim, pode-se calcular o número N que corresponde ao número de repetições do eixo padrão fazendo o uso da equação 01 a seguir.

$$N_n = 365 * TMDA * FV * FR * FD \quad (01)$$

Sendo:

365= número de dias de um ano

TMDA = Tráfego Médio Diário Anual na rodovia

FV = Fator de Veículos

FR = Fator Climático Regional (adotado = 1,0)

FD = Fator Direcional (considerado como sendo 50% no caso de rodovia de pista simples)

A equação 01 é decorrente do Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER (1966). Ainda assim, são considerados pelo DNER apenas caminhões e ônibus no tráfego, descartando então motocicletas, veículos de passeio, camioneta, caminhonetes e dentre outros veículos que circulam em uma via.

Visando simplificar a equação 01, pode-se considerar segundo o DNER, que o fator de veículos (FV) podem ser considerados como a multiplicação do fator de eixo (FE) pelo fator de carga (FC), uma vez que é possível ser determinados pelo método da *U. S. Army Corps of Engineers – USACE*, ou pela - *American Association Standard Highway and Transportation Officials – AASHTO*. Na qual, para esse dimensionamento será utilizado o método da AASHTO. A figura 7 mostra os valores de FV, adotados pelo DNER.

Figura 7: Figura da Tabela do DNER com Valores de FV

FATORES DE VEÍCULOS PARA CARGA LEGAL (DNER)							
CLASSE / TIPO	CONFIGURAÇÃO	F.V.	TIPOS DE EIXOS				F.V. (VEÍCULOS)
			1º	2º	3º	4º	
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO 	AASHTO					
		USACE					
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)  	AASHTO					
		USACE					
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≅ 2C 	AASHTO	0,057	0,691			0,748
		USACE	0,050	0,732			0,782
	TRIBUS 	AASHTO					
		USACE					
CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000) 2C LEVE 	AASHTO	0,003	0,046			0,049
		USACE	0,004	0,050			0,054
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS 2C  3C 	AASHTO	0,149	1,642			1,791
		USACE	0,100	7,000			7,100
		AASHTO	0,149	2,807			3,369
		USACE	0,100	7,000			17,438

Fonte: Akishino, 2005.

Para isso, o professor Marcilio Augusto Neves, criou uma apostila do curso de Cálculo do Número N de setembro de 2002, na qual a mesma foi promovida pela

Associação Brasileira de Pavimentação/Escola de Engenharia Mackenzie/Universidade Presbiteriana Mackenzie e assim ele determinou os fatores de veículos (FV), em que considerou se os veículos estavam vazios, com Carga Legal (Lei da Balança) ou com carga tolerada (AKISHINO, 2005).

Desse modo, para o dimensionamento do número N, serão adotados os veículos com carga legal (Lei da Balança). Logo, adaptando a equação 01, tem-se que:

$$Nn = 365 * (TMDA_{\hat{O}NIBUS} * FV_{\hat{O}NIBUS} + TMDA_{CAMINH\hat{O}ES} * FV_{CAMINH\hat{O}ES} + \dots) * FR * FD \quad (02)$$

3.4 Distância de Visibilidade

Distância de visibilidade é a extensão da estrada que pode ser vista à frente pelo motorista. A visibilidade é um elemento fundamental na garantia da segurança de circulação.

O projeto de uma rodovia deve garantir ao longo do traçado distâncias de visibilidade suficientes para que os condutores possam controlar a velocidade dos seus veículos e contornar situações inesperadas, como por exemplo o aparecimento de um obstáculo na faixa de rodagem (COSTA e MACEDO, 2008).

Assim, a distância de visibilidade disponível em qualquer ponto do traçado deve ser superior à distância de visibilidade que garante a execução, pelos condutores, da manobra prevista, sem perda de controle do veículo. Dessa forma (*ibid*) organiza as distâncias de visibilidade em:

- **Distância de visibilidade de parada:** esta distância de visibilidade corresponde à distância necessária para que um condutor, circulando na sua velocidade, consiga parar o veículo após ver um obstáculo na via que solicite esta atitude;
- **Distância de visibilidade para tomada de decisão:** é a distância necessária para segurança do condutor em situações em que este seja confrontado com uma necessidade de adaptação, por exemplo, é necessário garantir uma distância de visibilidade que permita ao condutor perceber a situação ou a informação inesperada, identificar essa situação,

adaptar a velocidade mais conveniente e concluir a manobra com segurança;

- **Distância de visibilidade para ultrapassagem:** é a distância mínima necessária para que um usuário do trânsito ultrapasse outro usuário com segurança e comodidade, sem que seja obrigatória a diminuição da velocidade de um terceiro condutor que circule em sentido contrário.

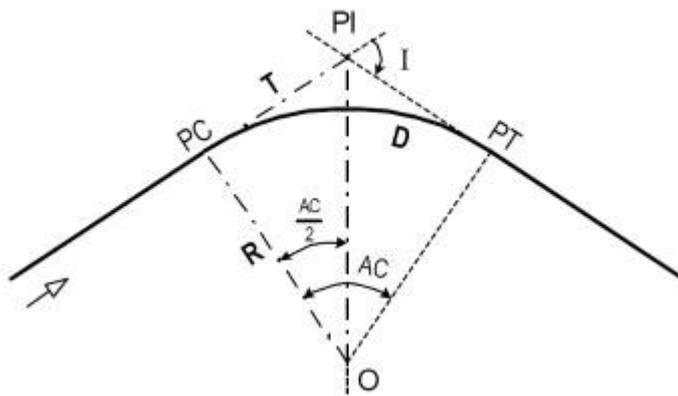
A geometria de uma rodovia é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal. O traçado de uma rodovia é um elemento que deve ser entendido como um plano tridimensional, com gradativas mudanças de direção.

Sendo assim os traçados apresentam, espacialmente, três perfis: o horizontal (planta), o vertical (perfil) e a seção transversal (DNIT, 1999). Os parâmetros que adotados para cada um destes elementos dependem dos critérios de controle do projeto já analisados, como velocidade, volume de tráfego e nível de serviço.

3.5 Alinhamento Horizontal

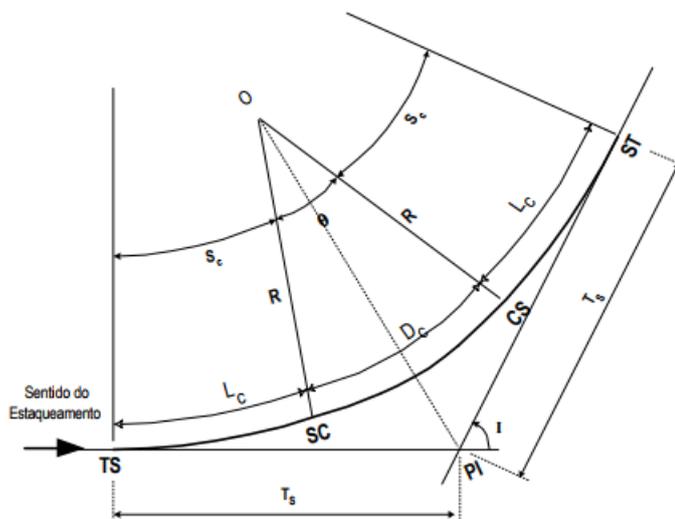
De maneira simplificada, o alinhamento horizontal é composto de trechos retos conectados por curvas horizontais. Em princípio, uma rodovia deve ter o traçado mais curto possível. Porém, ligeiras deflexões, quando necessárias, podem harmonizar o traçado da estrada com a topografia local (MACEDO, 2003). A conexão de dois trechos de tangente pode ocorrer de três formas:

- **Curva circular simples:** quando dois trechos retos são ligados por um arco de círculo. Sua projeção e locação é muito simples, por isso, é muito utilizada (MACEDO, 2003). Na Figura 8, está representada uma curva circular simples, com raio R , ponto de interseção PI , ponto de curva PC , ponto de tangente PT . O ângulo central é representado por AC , o comprimento da curva circular por D , a tangente por T , o ângulo de deflexão por I e o centro da curva circular por O (DNIT, 1999);

Figura 8: Curva circular simples

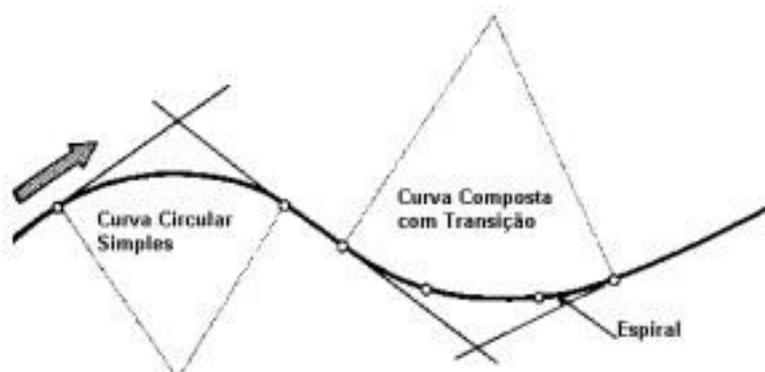
Fonte: Lee, 2000.

- **Curva de transição:** são usadas para amenizar o desconforto e o perigo causado pela transição de um veículo de um alinhamento reto para um trecho curvo (DNIT, 1999). Essa transição exige que uma força centrífuga atue sobre o veículo, que tende a ser desviado da trajetória que normalmente deveria percorrer (Figura 9);

Figura 9: Curva de transição

Fonte: Lee, 2010.

- **Curva circular composta:** quando dois trechos em tangente são conectados por dois ou mais arcos de círculo (Figura 10);

Figura 10: Curva circular composta

Fonte: Lee, 2000.

3.6 Raios Mínimos de Curvatura Horizontal

Os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser percorridas com a velocidade diretriz, onde se mantém as condições de segurança e conforto do usuário.

Ao percorrer uma curva um veículo é submetido à força centrífuga, esta força que tende a retirar o veículo da pista, é contrabalanceada pelo atrito dos pneus com a faixa de rolamento da rodovia, então, o atrito que atua é denominado de coeficiente de atrito transversal (MACEDO, 2003).

Diante do exposto, cabe ressaltar que para velocidades baixas os motoristas possuem um maior conforto, assim sendo possível utilizar uma parcela maior do atrito disponível para o projeto de curvas.

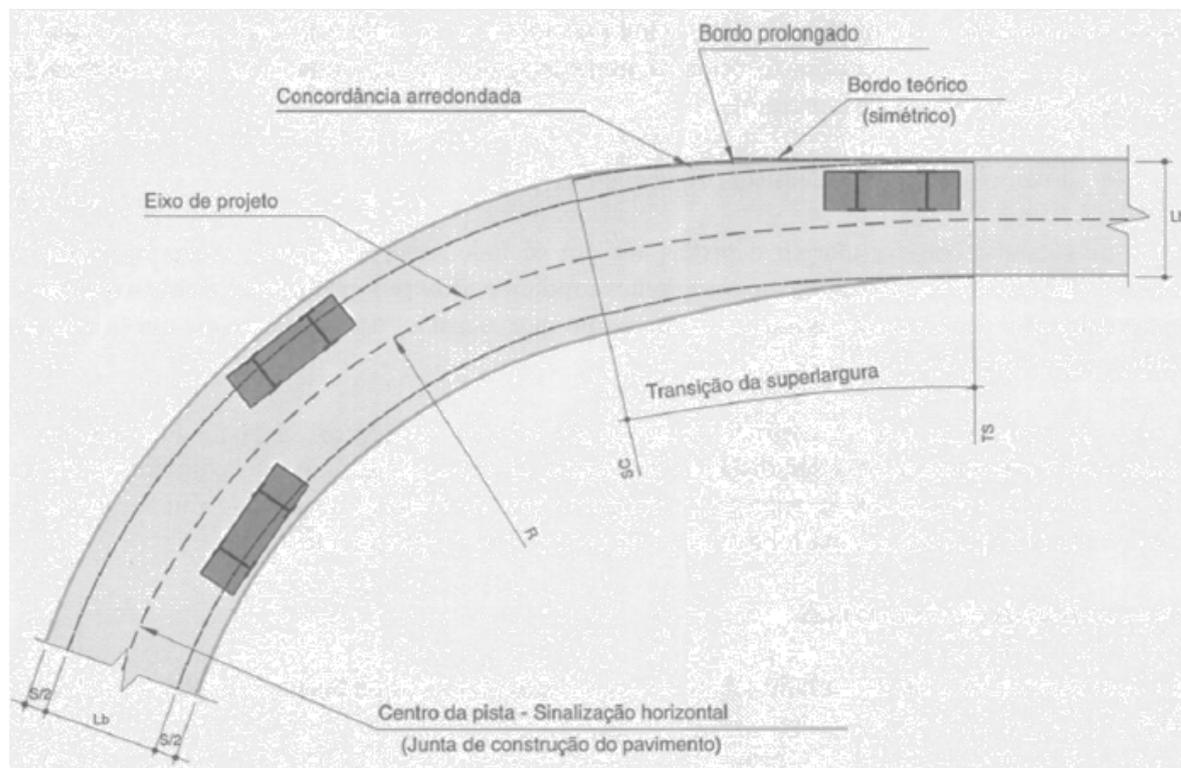
Visando minimizar os impactos negativos desses fatores inerentes aos trechos curvos, são introduzidos os conceitos de Superelevação e de Superlargura que, devidamente considerados nos projetos das curvas horizontais, possibilitam condições de operações mais homogêneas para os usuários ao longo das rodovias.

A largura de uma rodovia é dada em função das larguras dos veículos que a utilizam. A largura final é resultado da soma entre a largura máxima dos veículos, a distância necessária entre um veículo e outro e a distância necessária entre os veículos e o bordo da rodovia. No caso de ocorrerem curvas, é necessário aumentar a largura da pista para conservar a distância necessária entre um veículo e outro que existia em pista reta (DNIT, 1999).

A este alargamento que se dá às faixas de rolamento nos trechos curvos, com a finalidade de melhorar as condições de segurança do tráfego, principalmente, no

que se refere à inscrição de veículos longos à curva, dá-se o nome de Superlargura (Figura 11).

Figura 11: Esquema de distribuição da Superlargura



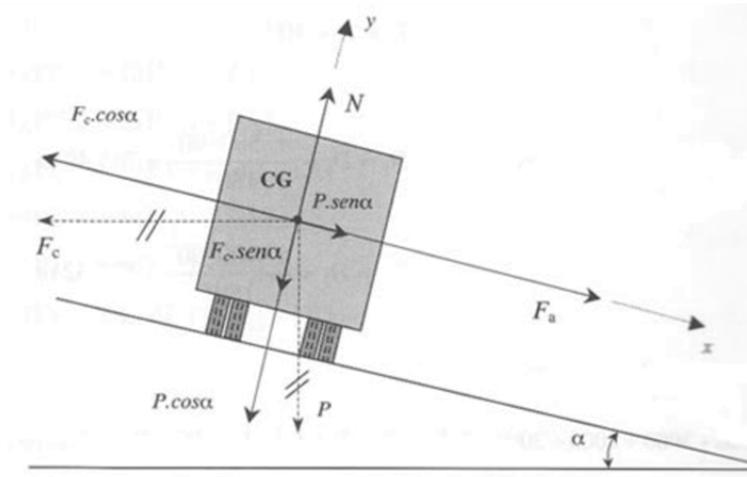
Fonte: DNIT, 1999.

3.7 Superelevação

De acordo com Macedo (2003), é a inclinação transversal que se dá às pistas nos trechos curvos a fim de reduzir a força centrífuga que atua sobre o veículo que executa a trajetória curvilínea (Figura 12)

As curvas que sofrem Superelevação apresentam seções inclinadas em relação ao plano horizontal. A superelevação é o valor (expresso em percentagem) da tangente do ângulo formado pela reta de maior declive da seção com o plano horizontal.

Figura 12: Esquema de veículo em Superelevação



Fonte: Pontes Filho, 1998.

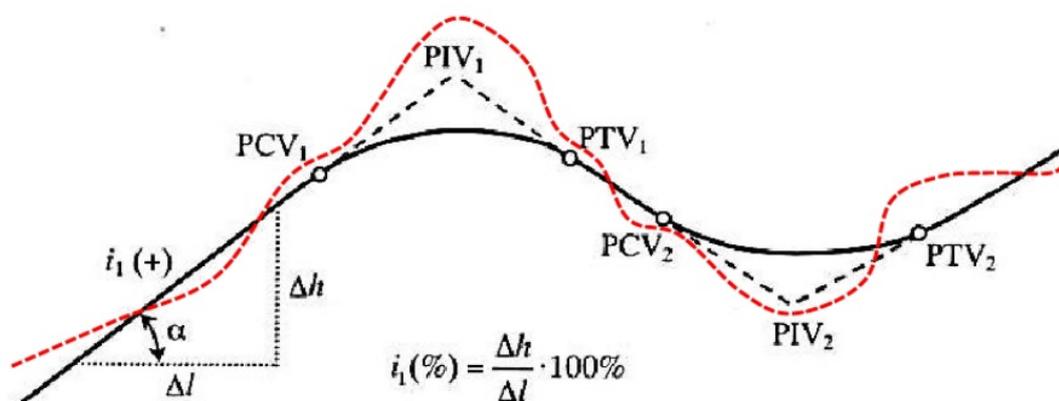
3.8 Alinhamento Vertical

O alinhamento vertical é a projeção do eixo da rodovia sobre o plano vertical. O principal elemento a ser considerado no projeto é o greide.

Os greides são segmentos de retas com diferentes inclinações, que se interceptam formando vértices, nos quais os segmentos sucessivos de reta são concordados por curvas. Os trechos retos são chamados de trechos retos do greide e os trechos em curva são denominados curvas verticais (Millack, 2014).

As curvas verticais podem ser côncavas ou convexas conforme a concavidade voltada para o usuário. De acordo com *ibid*, os trechos retos podem ser ascendentes (rampas, aclives ou trechos retos com declividade positiva), descendentes (contrarrampas, declives ou trechos retos com declividade negativa), ou em nível (trechos retos com declividades nulas). Na figura 13, PCV e PTV referem-se, respectivamente, ao Ponto de Curva Vertical e ao Ponto de Tangente Vertical. Onde, PIV é o Ponto de Interseção Vertical.

Figura 13: Elementos do greide



Fonte: Luiz, 2017.

3.9 Rampas Máximas

A partir de cada classe da via é possível dimensionar o valor de uma rampa máxima na qual pode ser inserida em uma rodovia, é também um fator que leva em consideração a topografia, uma vez que quanto maior o relevo, maior será a rampa, gerando então consequências como aumento do custo da rodovia. Por isso o estabelecimento de rampas máximas estabelece um equilíbrio entre o custo e o desempenho dos veículos na via (DNIT, 1999).

3.10 Alinhamento Transversal

Os elementos da seção transversal de uma via têm influência sobre suas características operacionais, estéticas e de segurança. Para os propósitos deste estudo analisou-se os elementos que condicionam os padrões de largura da faixa de rolamento e dos acostamentos.

3.10.1 Largura da Faixa de Rolamento e Acostamento

A largura da pista de rolamento é, basicamente, o resultado obtido da soma da largura do veículo de projeto adotado, mais a largura da faixa de segurança, com as relações entre a velocidade diretriz que se pretende obter e o nível de segurança e conforto que se deseja proporcionar (DNIT, 1999).

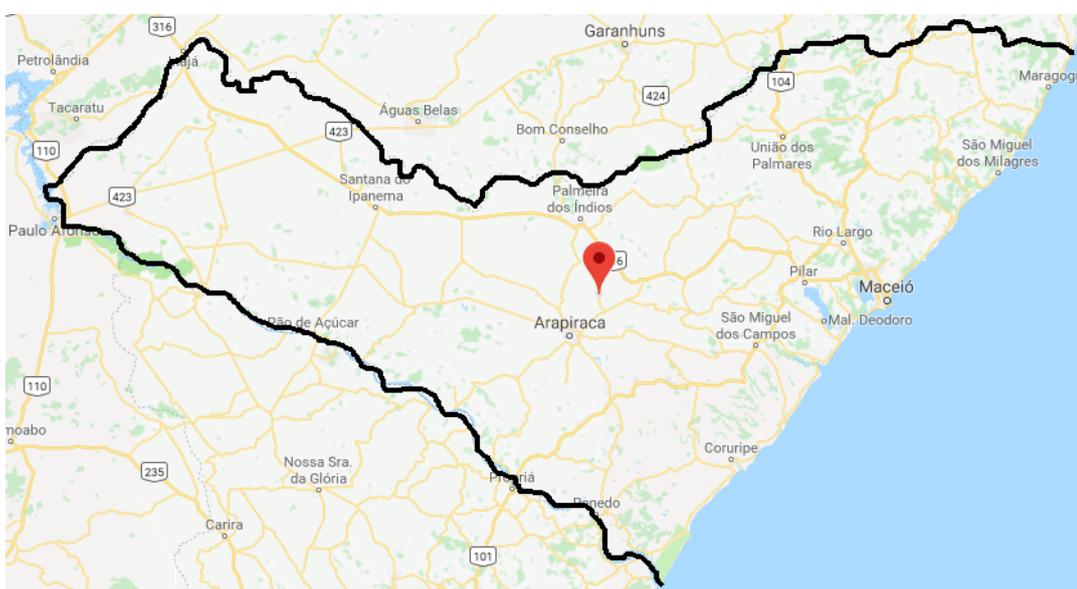
Em uma via, independentemente se a mesma é pavimentada ou não deve possuir acostamento, assim, de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do (DNIT, 1999), faz-se necessário que a largura do mesmo seja mantida uniformemente, de tal modo que quando necessário algum estreitamento deve-se que o mesmo seja feito de maneira suave e com o uso de sinalização.

Os acostamentos devem possuir uma largura adequada de modo que os motoristas não confundam com uma nova via, sendo assim importante que os acostamentos possuam textura, rugosidade e colocação diferentes da via. Para definição da largura dos acostamentos são levados em consideração a classe de projeto e o relevo do local em estudo.

4 ESTUDO DE CASO: AL- 482

A rodovia estadual, AL - 482, conforme figura 14, está localizada na região Nordeste do Brasil, que liga a AL-110 permitindo o acesso as cidades de Arapiraca e Taquarana. Essa rodovia que possui uma extensão de 6,7 km e está situada à 122 km da capital do estado. Foi inaugurada em 1984 e não conta com registro de projetos relacionados à sua geometria ou aos seus processos construtivos, uma vez que não possui dados nos órgãos responsáveis.

Figura 14: Localização no mapa de Alagoas a cidade de Coité do Nóia - AL



Fonte: Google Maps, adaptado pelo autor, 2017

Devido à falta de informações oficiais ou qualquer projeto técnico relativo à construção da rodovia em estudo foi realizada consulta pública aos usuários da rodovia, com um formulário eletrônico, bem como ao gestor municipal da época da inauguração da rodovia. A partir das informações coletadas, constatou-se que a rodovia foi executada em uma estrada de terra pré-existente o que nos leva a crer sobre a possibilidade de inconsistências no traçado quando comparado com os normativos relacionados a projeto geométrico de rodovias, os quais poderão ser constatados após estudo técnico detalhado.

Desse modo, as curvas que estão localizadas nessa rodovia são várias, no entanto algumas são mais acentuadas e por isso essas foram denominadas de curvas 1,2,3 e 4 conforme a figura 15, abaixo.

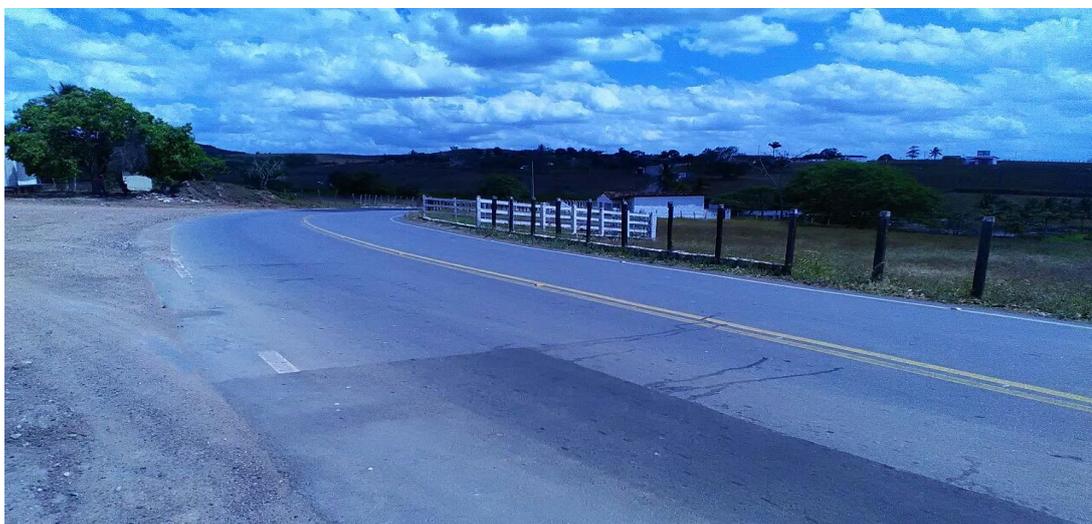
Figura 15: Curvas com maior acentuação da AL – 482



Fonte: Google Maps, adaptado pelo autor, 2017

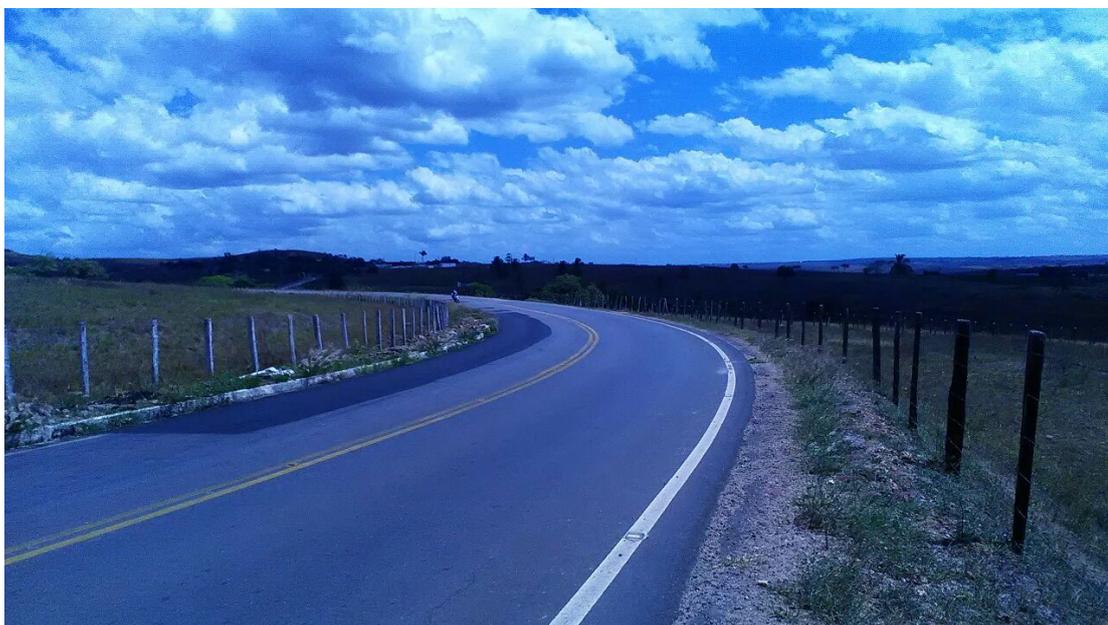
Sendo assim, as curvas apresentadas anteriormente podem ser visualizadas *in loco*, conforme apresentado nas figuras a seguir, sendo possível a observação de problemas de visibilidade, relacionadas ao traçado das curvas.

Figura 16: Curva 1 – Curva da Igreja



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 17: Curva 2 – Curva da Fazenda



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 18: Vista aérea das curvas 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 19: Curva 3 – Curva Antes do Lixão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 20: Curva 4 – Curva do Lixão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Visando determinar as características da AL – 482, foram utilizados os *softwares* da Autodesk InfraWorks e AutoCAD Civil, 3D, tais programas foram utilizados para realizar o dimensionamento da rodovia. Tendo sido utilizados para definição do raio das curvas como característica geométrica para avaliação da consistência do traçado, visto que o mesmo tem relação direta com a forma das curvas e estas, por sua vez, influenciam diretamente na ocorrência de acidentes em uma via.

Para análise foi necessária à realização de contagem do tráfego que circula na rodovia em estudo, que se deu através de videomonitoramento. Tal método consistiu na filmagem de um ponto característico que contabilizasse o maior fluxo de veículos da rodovia.

Desse modo foi realizada a contagem volumétrica de cobertura, na qual a computação de veículos é realizada uma vez no ano durante 48 horas consecutivas em dois dias úteis da semana, como a rodovia possui uma faixa de tráfego por sentido e é pavimentada, então a mesma se enquadra no tipo de contagem estabelecida.

Em sequência, definiu-se de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), fatores como classe de projeto, investigação do relevo da região, definição de velocidade diretriz, rampas, superelevação, acostamento e raio.

Em uso dos softwares, selecionaram-se as curvas com menores raios e com objetivo de solucionar o problema foram realizados novos traçados de forma segura e com conforto satisfazendo as exigências do DNIT, uma vez que com os dados do VMD de veículos, foi possível determinar todos os elementos necessários à alteração da rodovia.

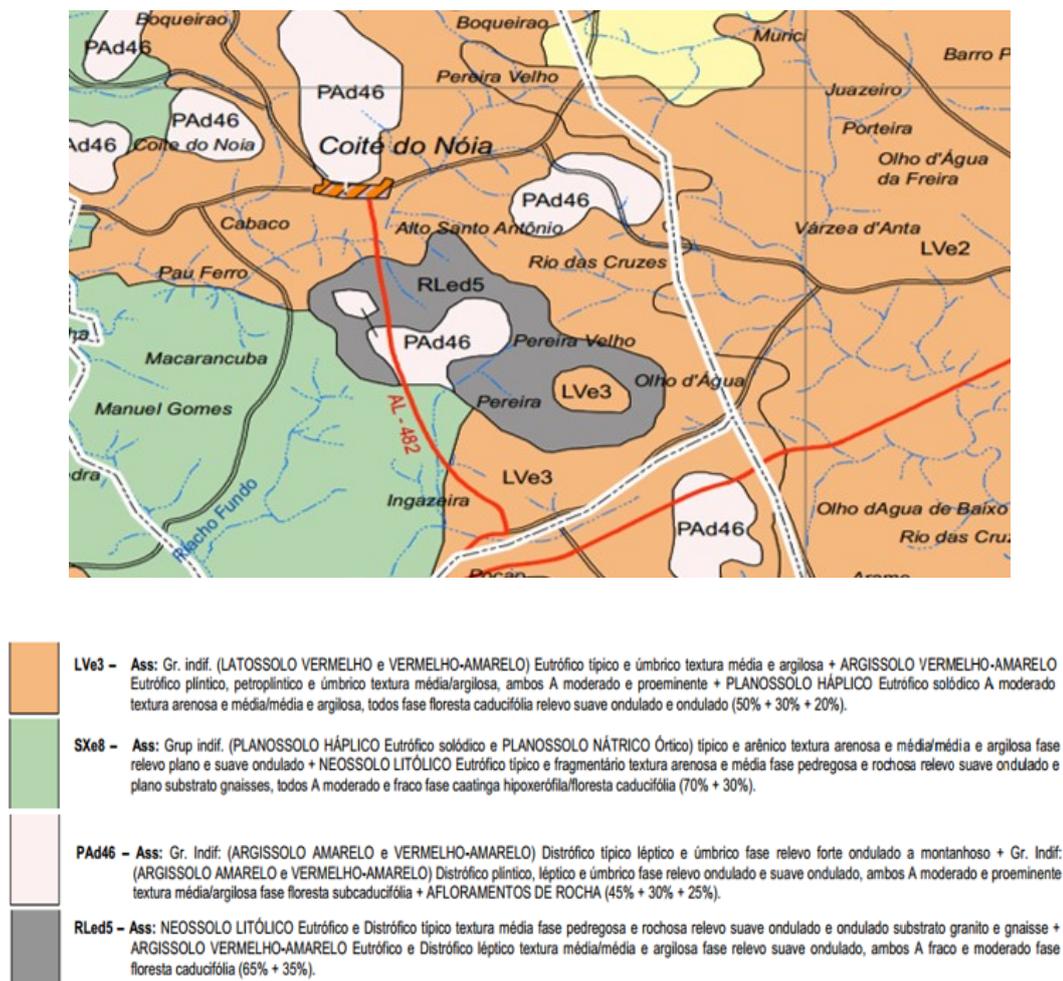
A partir da constatação de que algumas curvas se apresentam fora da norma, foi proposta uma mudança no traçado para o atendimento das condições geométricas impostas pelo manual do DNIT, apresentando orçamento estimativo para implantação das alterações propostas, conforme apresentado de forma detalhada na sequência.

4.1 Relevo da Região

Segundo a EMBRAPA (2009), foi realizado um estudo dos solos da região de Arapiraca, no qual foi divulgado um mapa em que se consta o tipo de solo e em sequência qual o relevo, predominantes na região.

O relevo predominante do trecho no qual a rodovia AL- 482 foi consolidada, refere-se ao relevo do tipo ondulado, assim na figura 21, é possível observar um recorte do mapa divulgado em que consta a cidade de Coité do Nóia, mais precisamente a rodovia em estudo.

Figura 21: Identificação do Relevo e dos Solos da Cidade de Coité do Nória – AL



Fonte: EMBRAPA, 2009.

4.2 Programas Utilizados

4.2.1. Autodesk InfraWorks

Esse programa auxilia no planejamento e criação de projetos para infraestrutura no contexto do mundo real, permitindo a criação de modelos com acesso a localização desejada, assim faz uso de uma grande quantidade de dados visando estabelecer um ambiente real do local em que se deseja executar um projeto.

Ainda assim é permitido pelo Autodesk InfraWorks desenhar estradas, pontes, túneis e alcance as melhores decisões ao longo de todo o projeto, assim como a verificação de melhorias na geração de corredores, simulações e dentre outros. Uma característica muito positiva desse programa é a permissão de compartilhamento de modelos na nuvem podendo equipes do projeto e partes interessadas conceder feedback em tempo real. Ainda assim é permitido a realização de simulação de

orçamento, exibições de seção transversal, perfis longitudinais, estradas componentes e contornos de superfície.

4.2.2. AutoCAD Civil 3D

O AutoCAD Civil 3D é um programa que possui como objetivo a geração de projetos de engenharia civil permitindo executar interações de projetos com rapidez, assim sendo um programa que interage com ferramentas de visualização 3D. Nele também é permitido a geração de alinhamentos de estradas a partir de plantas topográficas, como também a geração de perfis longitudinais, seções transversais dentre outros.

4.3 Volume de Tráfego

Tendo em vista a contagem volumétrica realizada, notou-se que o dia de maior fluxo de veículos foi na quarta-feira, diante dos dias analisados, somando um total de 267 veículos, e a quinta-feira com valor de 234 veículos. Assim, englobando para dois eixos: ônibus, caminhão leve, caminhão 2C e para três eixos o caminhão 3C. E para completar a frota do tráfego contabilizou-se o número de carros de passeio e motos.

4.4 Classes de Projeto

Com o valor do fluxo de veículos é possível distinguir de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), qual a classe que a AL- 482 pertence, sendo então definido a partir do número total de veículos.

Assim, pelo fato da mesma possuir mais de 250 veículos por dia (vpd), pode-se adotar a III. Isso se deve em virtude do número de veículos estar próximo de 300, sendo essa classe, a que mais se adequa para a situação em estudo. Conseqüentemente, pode-se comparar as classes de projeto com a classe funcional, de tal modo, que a escolha da geometria de uma rodovia deve obedecer às classes de projeto correspondente a sua classe funcional.

4.5 Velocidade Diretriz

A velocidade diretriz é a velocidade básica para dedução das características de projeto. A mesma condiciona diversos elementos em uma rodovia tais como curvatura, superelevação e distância de visibilidade. Sendo assim, ela corresponde a uma representação da maior velocidade com que se é permitido circular em uma rodovia.

A superfície de rolamento apresenta várias características, tais como, rugosidade e ondulações, desse modo um veículo em velocidade adequada é possível adquirir segurança e conforto, mesmo com um pavimento encontrando-se molhado.

Em sequência, o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), classifica a velocidade diretriz em função da classe de projeto e do relevo. Com isso, têm-se que com classe de projeto III e relevo predominante ondulado a velocidade diretriz é de 60 km/h.

4.6 Rampas Máximas e Superelevação

A partir de cada classe da via determina-se o valor de uma rampa máxima que pode ser inserida em uma rodovia, e que também leva em consideração a topografia, uma vez que, quanto maior o relevo, maior será a rampa resultante. Estas relações, estão diretamente ligadas ao aumento do custo da rodovia, por isso, o estabelecimento de rampas máximas proporciona um equilíbrio entre o custo e o desempenho dos veículos na via.

Avaliando os valores de rampas máximas em virtude da classe de projeto e do relevo, a AL – 482 está condicionada à configuração de máxima rampa de 6%.

A superelevação consiste na inclinação transversal que é aplicada nas curvas das rodovias com a intenção de equilibrar o veículo em relação às forças laterais que atuam no automóvel ao se realizar uma curva.

A superelevação possui valores máximos que dependem do tipo de rodovia e sua classe de projeto, por isso, considerando uma rodovia de pista simples, com velocidade diretriz de 60 km/h, relevo ondulado, de acordo com a classificação do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), obtém-se uma superelevação ($e_{máx}$) de 8% correspondente a uma rodovia de padrão intermediário e classe de projeto III.

4.7 Acostamento

Uma via, independentemente de ser pavimentada ou não, deve possuir acostamento. Assim, de acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), faz-se necessário que a largura para acostamentos seja mantida uniformemente, de tal modo que, caso seja necessário algum estreitamento, o mesmo deve ser realizado de maneira suave e com o uso de sinalização.

Para definição da largura dos acostamentos é levada em consideração a classe de projeto e o relevo do local em estudo. Dessa forma, para a rodovia AL – 482 que possui um relevo ondulado e classe de projeto III tem-se que a medida do acostamento que deve ser de 2 metros.

4.8 Raio

Sabendo que os raios mínimos da curvatura horizontal são os menores percorridos a partir de uma velocidade diretriz em condições que obedecem a segurança e conforto, fixou-se os valores de coeficiente de atrito transversal com intuito de serem empregados na determinação dos raios mínimos possíveis, de acordo com a velocidade diretriz do projeto em estudo.

Com isso, a partir da equação 03, apresentada a seguir, calcula-se o raio mínimo de uma curvatura.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 (e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad (03)$$

Em que,

R_{min} = raio da curvatura (m);

V = velocidade diretriz (km/h);

$e_{m\acute{a}x}$ = máxima taxa de superelevação adotada (m/m)

$f_{m\acute{a}x}$ = máximo coeficiente de atrito transversal admissível entre o pneu e o pavimento (adimensional).

Para utilização da equação 03, é necessário determinar a máxima superelevação adotada na rodovia, para isso o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNIT, 1999), estabeleceu uma tabela, em que a partir da velocidade diretriz, adota-se um valor de $e_{m\acute{a}x}$ e então é calculado o valor do menor raio admissível. Em vista disso, adotou-se uma superelevação de 8%.

A partir dos dados coletados acerca da velocidade diretriz, de 60 km/h e superelevação de 8%. Fazendo o uso da equação 03, obtém-se o seguinte valor:

$$R_{min} = \frac{60^2}{127 \left(\frac{8}{100} + 0,15 \right)}$$

$$R_{min} = 123,245 \text{ m}$$

Desse modo, o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999) define que para as características adotadas para essa rodovia, o raio mínimo é de 125 metros, correspondendo com o valor calculado.

4.9 Pesquisa com os Usuários da Rodovia

Em razão dos raios obtidos e da análise da geometria da AL - 482, buscou-se avaliar a visão de usuários da referida rodovia, para identificar as várias impressões a respeito da população que faz uso do trecho em estudo.

Em seguida, foi realizado o cálculo amostral em que segundo Triola (2005) *apud* Timossi *et al.* (2008), utiliza-se a seguinte equação para quando se deseja trabalhar em populações de tamanhos infinitos, e que se necessita conhecer as médias populacionais, o tamanho da amostra mínima para realizar a devida estimativa é dada pela equação 04.

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * 0,25}{E^2} \quad (04)$$

Sendo que:

n = valor da amostra;

$Z_{\alpha/2}^2$ = Valores críticos do nível de confiança;

E = erro amostral.

Timossi *et al.* (2008) classifica o nível de confiança de pesquisas em 95% e 99% o que corresponde os valores críticos relacionados a 1,96 e 2,575, respectivamente.

De posse da equação 07, uma vez que em uma rodovia podem transitar pessoas de qualquer local, inclusive os que não habitam na cidade de Coité do Nóia, obteve-se uma precisão de 95% do grau de confiança e com erro de 7%, que resultou nos cálculos a seguir.

Logo, é possível obter o seguinte valor para amostra de entrevistados:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,25}{0,07^2}$$

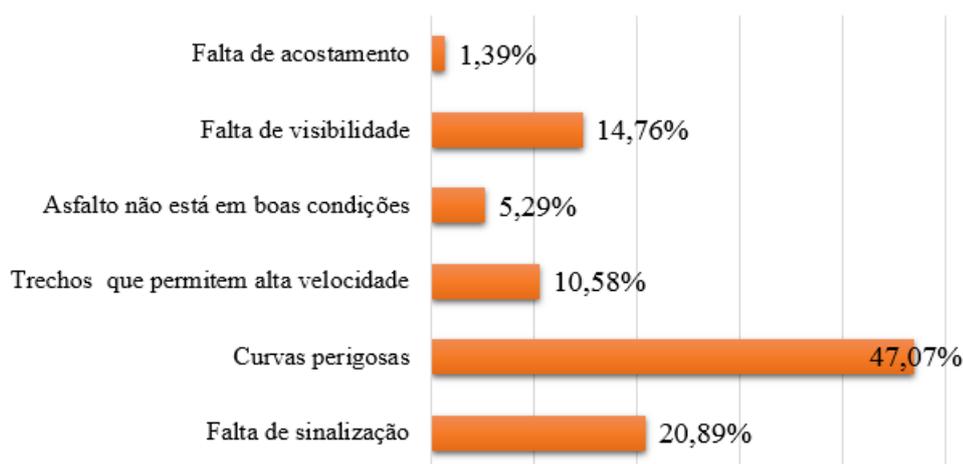
$$n = 196$$

Adotou-se então 196 pessoas a serem entrevistadas.

Visando determinar a quantidade de acidentes de trânsito na rodovia em estudo, uma vez que não foi possível encontrar números na base de dados dos governos, buscou-se avaliar a percepção dos usuários da rodovia, assim realizou-se essa pesquisa utilizando um formulário na internet conforme perguntas que está no apêndice 1.

Os resultados coletados da pesquisa constataram que 67% dos entrevistados já conduziram um veículo nessa rodovia e 33% utilizam a rodovia apenas como passageiros. Em sequência, sob a ótica dos usuários, conforme apresentado no gráfico 1 o principal fator negativo da rodovia é apontado como curvas perigosas com um percentual de 47,07%, em seguida da falta de sinalização com mais de 20%, o que corresponde à características geométricas.

Gráfico 1: Fatores negativos da rodovia

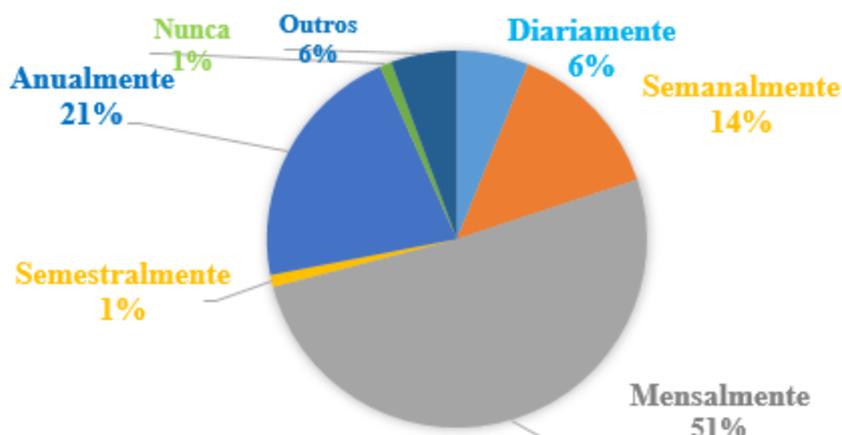


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Prosseguindo, obteve-se no gráfico 2 o qual corresponde à pergunta da percepção do número de acidentes ocorridos na AL – 482, alcançou-se o percentual de mais de 51% afirmando que os acidentes ocorrem mensalmente, seguido de

semanalmente com 14%, demonstrando então que essa rodovia possui um alto número de acidentes.

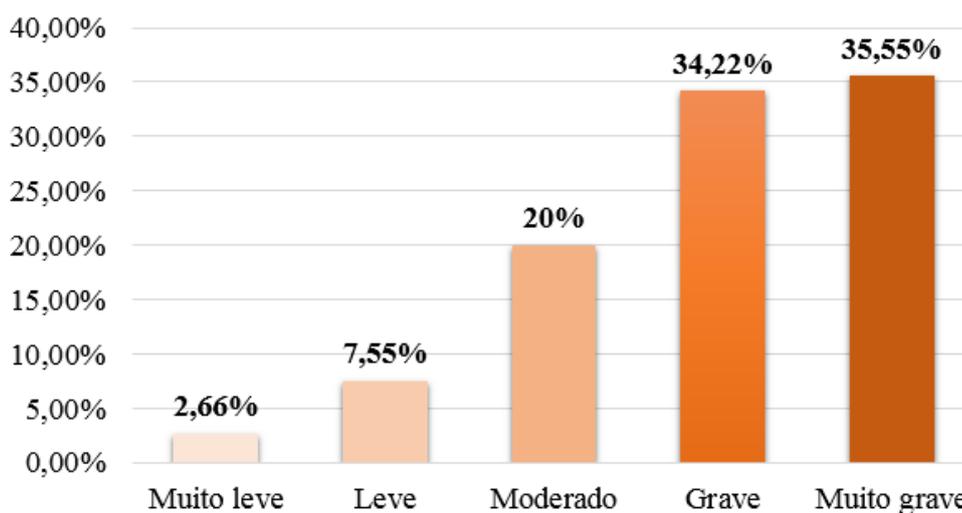
Gráfico 2: Percepção do número de acidentes ocorridos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

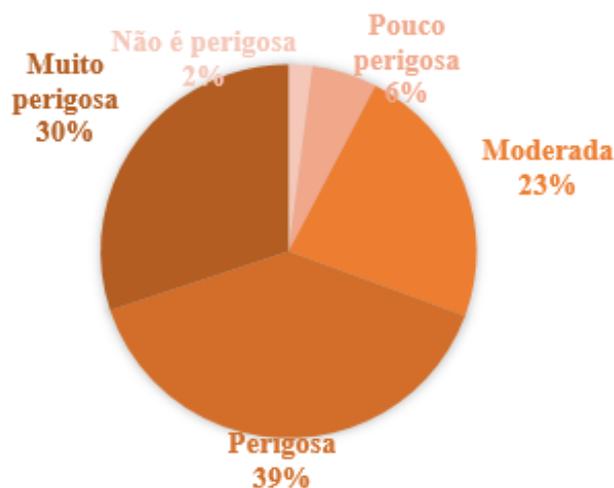
No ponto de vista dos usuários notou-se, conforme gráfico 3, que o nível de gravidade dos acidentes são considerados muito grave e grave, de tal modo que 35,55% consideraram que os acidentes são muito grave e 34,22% grave.

Gráfico 3: Consideração acerca do nível de acidentes que ocorrem na rodovia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

E em relação ao perigo dessa rodovia, conforme o gráfico 4, o percentual de 39% dos usuários avaliaram a mesma como perigosa e 30% como muito perigosa.

Gráfico 4: Percentual da percepção de perigo da rodovia

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Assim, essa visão dos usuários indicou-se parâmetros de suma importância para avaliação da geometria da AL - 482, de tal modo, que a sociedade evidencia a necessidade de avaliação da geometria das curvas da rodovia.

Tomando como base o alto índice de acidentes de trânsito, verificados no trecho de rodovia da AL - 482, surgiu a necessidade de realizar a análise da consistência do traçado da rodovia, de modo a verificar se este pode, por conta da ausência de seu planejamento, estar influenciando nos dados sobre a segurança da rodovia.

Através do levantamento de dados acerca do trecho em estudo, foi possível perceber que para o traçado da atual rodovia, não houve nenhuma análise com relação ao raio de curvatura, fator de extrema importância e influência na segurança rodoviária.

Além de objetivar a análise do traçado, a pesquisa buscou inferir acerca de possíveis modificações que pudessem amenizar a quantidade de acidentes, e os índices de mortes verificadas no trecho de rodovia em questão.

4.10 Resultados da Análises nas Curvas da AL - 482

A partir dos resultados da pesquisa com os usuários da rodovia AL – 482, em que concluiu-se que os mesmos registraram insatisfação com as características geométricas da rodovia, utilizou-se o software Autodesk Infrworks em busca de detectar parâmetros da via.

Fundamentado nas informações do software detectou-se curvas com valores de raio apresentados conforme tabela 1, sendo possível identificar irregularidades para a rodovia em relação a sua classe atual. A partir da observação das curvas de menor raio, existentes ao longo da rodovia, foram definidas as quatro curvas a serem analisadas durante o trabalho.

Tabela 1: Raios atuais da rodovia AL - 482

Curvas	Raios (m)
1	10,000
2	16,198
3	34,086
4	32,077

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.10.1 Alterações no Traçado das Curvas

Buscando avaliar o traçado de alguns pontos dessa rodovia, escolheu-se dois locais, localizados pelo *Google Earth* em (curva 1 e 2) $9^{\circ}40'46.8''S$ $36^{\circ}33'30.8''W$ até $9^{\circ}40'29.2''S$ $36^{\circ}33'50.9''W$, sendo essa que envolveu duas curvas muito próximas, e a posterior (curva 3 e 4) com a seguinte localização $9^{\circ}39'32.2''S$ $36^{\circ}34'21.4''W$ até $9^{\circ}39'01.3''S$ $36^{\circ}34'29.7''W$, para melhor visualização no apêndice 2 consta uma planta em que é possível analisar o traçado atual com o traçado proposto.

4.10.1.1 Curvas 1 e 2

A princípio, modificando-se o traçado das curvas 1 e 2, foram delimitadas áreas em que não seriam viáveis a passagem do novo traçado da estrada, para evitar indenizações e mais custos como a construção de pontes em locais de rios, essas marcações são as áreas vermelhas apresentadas na figura 22.

Figura 22: Tentativa de alteração de uma curva



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Posteriormente, demarcou-se o ponto inicial e final do trecho em modificação, apresentado na figura 23, e aplicados fatores como a velocidade, o estilo de estrutura, definindo se a ausência ou existência de pontes e túneis assim como também suas respectivas alturas, além das informações de inclinações de cortes e aterros.

Figura 23: Ponto inicial e final do traçado das curvas 1 e 2



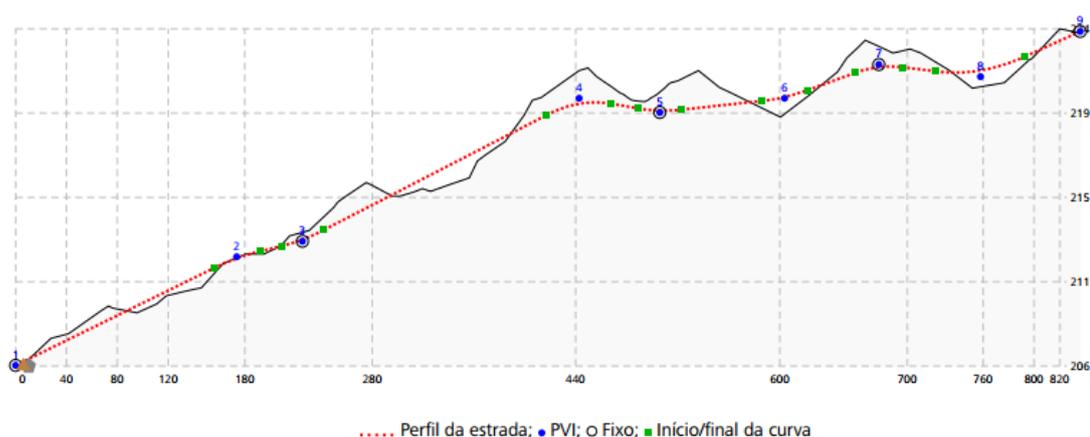
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para esse projeto foram adotados os critérios das Normas para Projeto das Estradas de Rodagem (1973), para os cortes nos terrenos com possibilidade de escorregamento ou desmoronamento as inclinações máximas são de 1:1 e para aterros com menos de 3 metros de altura considerar 1:4, uma vez que os cortes são menores que três metros e que quando há chuvas existem os desmoronamentos na via. Sucessivamente, são inseridos os valores da rampa máxima e os custos de terraplenagem e pavimentação.

Posteriormente, foram consideradas as planilhas do SINAPI, referência de setembro de 2017 para Maceió – AL, e planilhas do SICRO2 de novembro de 2016, indicada para custos rodoviários, com valores para Alagoas. Em sequência foi otimizado o traçado da rodovia e gerado os perfis, seções transversais, orçamento, PIs e esquema de transporte.

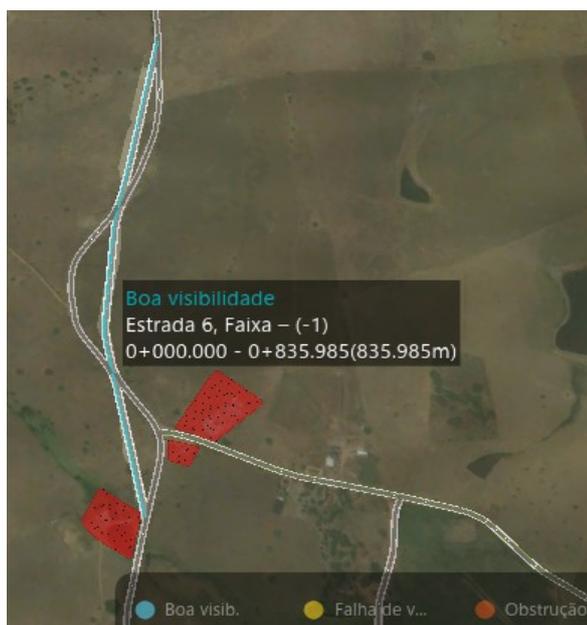
Para essas curvas foram gerados nove PVIs, onde que o espaçamento mínimo de PVI foi de 37,50 metros, onde se obteve um comprimento de 835,99 metros, na figura 24, é possível visualizar o perfil longitudinal.

Figura 24: Perfil Longitudinal das Curvas 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A falta de visibilidade foi um dos fatores apontados pelos usuários da rodovia, já com o novo traçado, o programa indicou boa visibilidade para os dois sentidos de fluxo, conforme a figura 25, tornando-se assim, favorável para a ultrapassagem e, sem indicação de pontos de acidentes.

Figura 25: Visibilidade da Curva

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A faixa de domínio da rodovia foi determinada por 3,6 metros de faixa de rolamento e com 2 metros de acostamento, além de meio-fio e sarjeta. Conforme determinado pela classe III, na qual é necessário possuir 2 metros de acostamento para essa classe e o tipo de relevo ondulado, segundo o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999). Na figura 26, observa-se esses dados em uma seção transversal do traçado.

Figura 26: Seção de Corte de 10 m² - Estaca 0 + 820

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Diante dos dados apresentados, e conhecido que o raio mínimo para a classe da rodovia é de 125 metros, logo, o programa Auto CAD InfraWorks concedeu como resposta ao valor dos raios conforme dito anteriormente, mostrando, então, que o traçado escolhido da rodovia foi coerentemente adequado e, que transmite segurança e conforto para seus usuários.

Os raios das curvas do traçado atual da rodovia se encontravam inferiores ao ideal, com o novo traçado o menor raio foi de 135,887 metros, conforme apresentado na tabela 2, encontra-se o valor dos três raios das curvas.

Tabela 2: Raios das Curvas 1 e 2

Estaca 15+00	135,887 m
Estaca 25+00	348,113 m
Estaca 29+2	146,000 m

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A partir disso, como todos os raios devem ser iguais ou superiores a 125 metros, isso indica que o dimensionamento do traçado da rodovia está conforme a solicitação do DNIT.

4.10.1.2 Curvas 3 e 4

Analisando a localização 9°39'32.2"S 36°34'21.4"W até 9°39'01.3"S 36°34'29.7"W detectou-se duas curvas consecutivas que apresentaram raios inferiores ao desejável. Assim, na figura 27 apresenta-se o traçado escolhido de forma que envolvessem as curvas a serem alteradas. Na mesma figura, nota-se também as áreas restritas (polígonos em vermelho) que atualmente são benfeitorias, essa restrição deu-se objetivando uma maior economia com o novo traçado da rodovia, evitando indenizações e mobilidade de habitantes.

Aplicou-se os mesmos parâmetros para os cálculos das curvas 1 e 2, tais como a velocidade diretriz de 60 km/h, rampa máxima de 6%, raio mínimo de 125 metros, acostamento de 2 metros, corte de inclinação 1:1, aterro de 1:4, e o orçamento baseado nas tabelas do SINAPI e SICRO2, sendo as mesmas para a localização de Alagoas.

Para isso, após a inclusão dos dados citados acima otimizou-se a estrada, e então gerado o perfil longitudinal do novo traçado de tal forma que atendesse todas as solicitações desejadas.

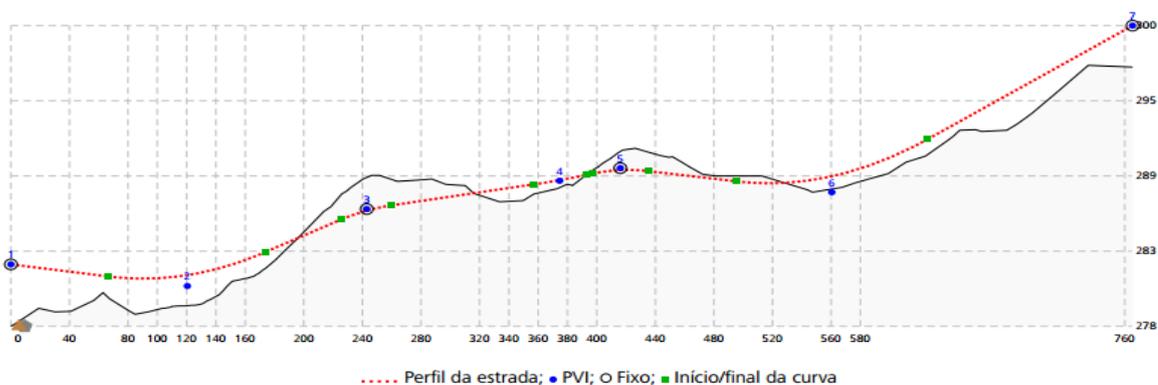
Figura 27: Pontos iniciais e finais das curvas 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na figura 28, é apresentado o perfil longitudinal do traçado das curvas 3 e 4, sendo possível detectar que foram apresentados sete PIV's e com comprimento de 765,54 metros.

Figura 28: Perfil longitudinal das curvas 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Nos critérios de visibilidade, a rodovia foi caracterizada com uma boa visualização o que detecta ser um dos pontos principais em que se evita os acidentes, uma vez que os condutores, passageiros e pedestres quando ingressarem na rodovia terão segurança e visibilidade para fazer uso da mesma.

Na figura 29, mostra-se o nível de visibilidade da mesma, sendo considerada como um traçado com boa visibilidade.

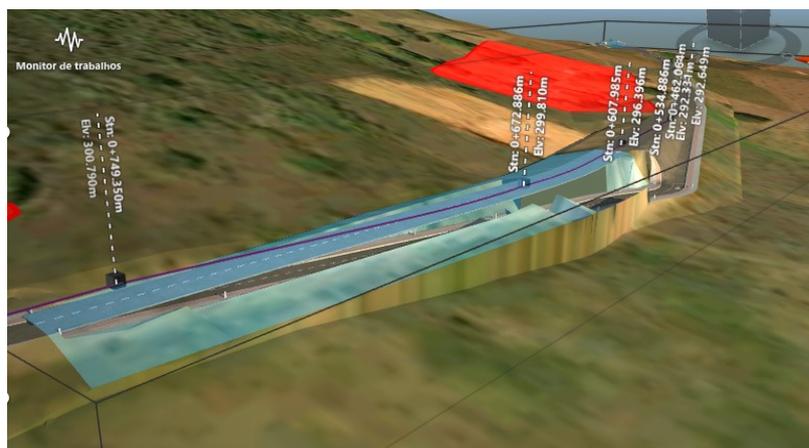
Figura 29: Visibilidade do novo traçado das curvas 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Além desses fatores, cabe ressaltar que existem pontos em que o traçado seria o mesmo da atual rodovia, mas o que se diferem é que por mais que sigam o mesmo caminho a terraplenagem seria diferente, assim como mostra a figura 30, que aponta trechos do mesmo traçado, porém com maior movimentação de terra, com a intenção de auxiliar na visibilidade dos usuários ao fazer uso da via.

Figura 30: Altura de terraplenagem do novo traçado das curvas 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A faixa de domínio da rodovia ficou compreendida por dimensão de 3,6 metros e acostamento de 2 metros, com inclusão de meio-fio e sarjeta, sendo assim adequada para esse tipo de rodovia de classe III e relevo ondulado. A figura 31, ilustra uma seção transversal da rodovia.

Figura 31: Seção transversal da curva 3 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Conforme apresentado anteriormente, na AL – 482, as curvas nomeadas como 3 e 4 estavam com raios impróprios, com o novo traçado na tabela 3, encontra-se os novos raios, assim verifica-se que o menor raio calculado foi de 182, 330 metros.

Tabela 3: Raios das Curvas 3 e 4.

Estaca 5+18, 41	1022,000 m
Estaca 11+4,306	277, 000 m
Estaca 20+18, 564	146,000 m
Estaca 25+13,501	365,000 m
Estaca 32+2,000	182,330 m

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Portanto, finaliza-se o dimensionamento das curvas com menores raios da rodovia AL- 482. De tal modo que atende todos os requisitos impostos pelo DNIT.

4.10.2.Orçamento de Terraplenagem

A fim de estimar o custo para implantação das propostas de modificação de traçado apontadas nas análises descritas anteriormente, é apresentado um orçamento estimativo baseado em premissas adotadas e fazendo uso de planilhas de custos consagradas para obras rodoviárias.

Para o cálculo da execução da terraplenagem, o orçamento foi elaborado de acordo com tabelas da SICRO2 – Sistema de Custos Rodoviários do DNIT, para o estado do Alagoas, com a data base de Novembro/2016, e das planilhas SINAPI de data de referência de setembro de 2017, para Alagoas, ambos sem desoneração. Para todo o traçado foi adotada a condição de escavação mecanizada de vala em material de 1ª categoria, transporte comercial de caminhão basculante com capacidade de 10m³, fazendo percurso em rodovia pavimentada, uma vez que é possível na alteração do traçado circular pela atual rodovia.

4.10.3.Orçamento de Pavimentação

Para a AL – 482, foram contabilizados veículos de eixos 2C e 3C, que para o DNIT ao analisar os veículos que circulam na via, apenas esses devem ser contabilizados para o número N. Desse modo, em virtude do número de dias de contagem serem dois, realizou-se uma média do número de veículos em virtude que o VMD para esse caso é dado pelo número de veículos sobre o número de dias de contagem, desse modo fazendo uso da equação 02, encontrou-se o valor de número N conforme apresentado a seguir.

Fazendo uso da equação 02, tem-se que:

$$Nn = 365 * (TMDA_{\text{ÔNIBUS}} * FV_{\text{ÔNIBUS}} + TMDA_{\text{CAMINHÕES LEVE}} * FV_{\text{CAMINHÕES LEVE}} + TMDA_{\text{CAMINHÕES 2C}} * FV_{\text{CAMINHÕES 2C}} + TMDA_{\text{CAMINHÕES 3C}} * FV_{\text{CAMINHÕES 3C}}) * FR * FD$$

$$Nn = 2,19 \times 10^4$$

O que se pode concluir que em seu décimo ano de uso a rodovia terá um valor de número N, correspondente a $2,19 \times 10^4$, o que significa que a rodovia necessitará de um tratamento superficial betuminoso.

4.10.4 Orçamento Estimado

Baseado nas premissas adotadas e impostas como dados de entrada no software de análise, foram obtidos os custos necessários para a melhoria das condições da AL- 482.

Para as curvas 1 e 2 seriam necessários cerca de R\$ 2.956.097,00 para a execução das intervenções propostas. E de cerca de R\$ 3.175.586,00 para as curvas 3 e 4.

Dessa forma, comparados aos últimos dados divulgados no Anuário do DETRAN de Alagoas, em 2012, aonde os custos com acidentes de trânsito chegaram a R\$ 251.392.800,00, as reparações propostas ao traçado representariam apenas cerca de 2,44% de todo o orçamento que foi gasto à época devido à grande quantidade de acidentes de trânsito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das condições do traçado geométrico da rodovia AL- 482, existente no estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil, comprovou que a configuração adotada para a via não está de acordo com as configurações ideais de rodovias defendidas pelos órgãos executivos de trânsito brasileiros.

Através das simulações, realizadas por meio de softwares específicos, foi possível realizar a análise da consistência do atual traçado da rodovia, assim como, identificar inconsistências geométricas nos trechos da AL- 482.

A situação atual do traçado, que possui curvas muito fechadas, com raios de curvatura demasiadamente abaixo das medidas ideais, evidencia o risco que a rodovia representa para seus usuários. No entanto, como solução, foram apresentadas diretrizes de uma solução geométrica para o trecho em questão.

Durante a elaboração do projeto, constatou-se a importância das diretrizes e recomendações presentes nos manuais do DNIT. Elas guiaram a geometria, possibilitando um traçado compatível com as condições físicas atuais.

O projeto aqui proposto oferece a possibilidade de diminuir os riscos de acidentes através do aumento dos raios das curvas e da realização de pequenas intervenções no traçado, através da otimização do perfil. As mudanças influenciam diretamente no conforto e na segurança dos usuários.

Vale salientar que o orçamento apresentado foi apenas de caráter estimativo, não servindo de parâmetro para utilização em processos de licitação, mas sim apenas para noção de custo de um projeto de implantação das alterações propostas. É válido observar também, que vários custos não estão inclusos neste orçamento como, por exemplo, aspectos relacionados à drenagem, sinalização viária (horizontal e vertical), bem como relativos a momentos de transporte extraordinário de material e desapropriações de terra, caso fossem necessárias.

5.1 Proposta de Trabalhos Futuros

Para buscar um raio em que viabilizasse a alteração dessa curva que se encontra na coordenada 9°38'20.7"S 36°34'30.3"W em que já é uma área urbana do município de Coité do Nóia, indica-se o estudo de interseções para melhor solução para a ligação de duas ruas com a AL – 482.

Desse modo, sugere-se o uso de rotatória como solução do problema e melhoria dos raios, assim sendo aplicável um maior conhecimento e estudo sobre esse tipo de problema em rodovias.

Além disso, o seguinte estudo evidenciou a ligação direta entre a segurança da rodovia e seu respectivo traçado. Por isso, recomenda-se que trabalhos posteriores analisem a via sob a ótica do método dos critérios internacionais de segurança estabelecidos por Lamm *et al.* (1990) e Fitzpatrick *et al.* (1999), para que seja realizada uma análise comparativa da aplicação de ambos os métodos em um estudo de caso.

REFERÊNCIAS

AKISHINO, P. **Apostila do Curso de Engenharia Civil: estudos de tráfego**. [Curitiba]: Universidade Federal do Paraná, 2010. Capítulo 5. Disponível em <<http://www.dtt.ufpr.br/Trafego/Arquivos/TranspBCap05.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

AUTODESK. **AutoCAD Civil 3D**. 2017. Disponível em <https://www.autodesk.com/>>. Acesso: em 15 de out. de 2017.

AUTODESK. **AutoCAD InfraWorks**. 2017. Disponível em <<https://www.autodesk.com>>. Acesso em: 15 de out. de 2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 12 nov. 2017.

_____. Lei n. 9.503/1997, de 23 de setembro em 1997. **Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília: 1997.

COSTA, A. H. P. da; MACEDO, Joaquim Miguel Gonçalves. **Manual do Planejamento de Acessibilidades e Transportes**. Engenharia de tráfego: conceitos básicos. Comissão de coordenação e desenvolvimento regional do Norte, 2008.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. A. **Análise de Capacidade e Nível de Serviço de Segmentos Básicos de Rodovias utilizando o HCM 2000**. Introdução à operação rodoviária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN –AL). **Anuário de Indicadores do Detran – AL**. 2011/2012. Disponível em <<http://servicos.detrان.al.gov.br/Anuario2012/>>. Acessado em 18 de novembro de 2017.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNEER). **Normas para o projeto das estradas de rodagem**. Rio de Janeiro, 1973.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. IPR 706. 195p. Rio de Janeiro, 1999.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2010. (IPR. Pub., 742).

_____. **Manual de estudos de tráfego**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias - Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico de Alagoas**. Disponível em:

<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zaal/PDF/MapasSolos/Solos_Arapiraca.pdf>.
Acesso em 20 de nov. de 2017.

FEITOSA, F. C. C. **Um estudo prático para contagem volumétrica automática de veículos usando Visão Computacional**. 2012. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

FITZPATRICK, K.; CARLSON, P. J.; WOOLDRIDGE, M. D.; BREWER, M. A. **Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Arterials**. Report FHWA/TX-00/1769-3. Texas Transportation Institute, College Station, TX (August 1999).

GARCIA, D. S. P. **Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples**. 2008. 353 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção, área de concentração em Sistemas de Transportes). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **População de Coité do Nóia - AL, 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 de nov. de 2017.

LAMM, R.; CHOUERI, E. M.; MAILAENDER, T. **Comparison of Operating Speed on Dry and Wet Pavement of Two Lane Rural Highways**. Transportation Research Record 1280, p.199-207. 1990.

LEE, S. H. **Apostila da disciplina ECV 5115: Projeto Geométrico de Estradas**. Programa Especial de Treinamento Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5115%20-%20Apostila%20de%20Estradas.pdf>>. Acesso em 22 de nov. de 2017.

LIMA, R. **Capacidade e Nível de Serviço das Vias**. Aula 12. Itajubá, 2013. Disponível em < <http://www.rslima.unifei.edu.br/download1/eci006/Aula12.pdf>> Acesso em: 11 de nov de 2017.

LUIZ. A. **Perfil Longitudinal Curvas Verticais**. s.d. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/312800138/2016-Perfil-Longitudinal-Curvas-Verticais-1>>. Acesso em: 22 de nov. de 2017.

MACEDO, E. L. **Topografia Geral: Desenvolvimento de Traçados de Rodovias**. 2003. Disponível em <<http://www.topografiageral.com> >. Acesso:28 de nov. de 2017.

MADALOZO, H. C. *et al.* Análise de curvas horizontais de rodovias, para melhoramento de projeto e operação, utilizando redes neurais artificiais. In: **Anais do 18º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito-ANPET**. Santa Catarina, 2004.

MADALOZO, H. C. **Desenvolvimento de ferramenta de análise de curvas horizontais de rodovias, para melhoramento de projeto e operação, utilizando redes neurais artificiais**. 2003. 132 f. Tese (Mestre em construção civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

MILLACK, T. S. **Projeto Geométrico de uma Interseção em Desnível**. 2014.

PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2ª. Edição, São Carlos: RIMA Editora, 2001.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem: projeto geométrico**. 1998.

SEGURADORA LÍDER- DPVAT. **Boletim estatístico - Ano 07** - Janeiro a outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%202017%20-%20janeiro%20a%20outubro.pdf>>. Acesso em 24 de nov. de 2017.

SOUZA, M. L. R. **Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária**. 2012. 206 f. Tese (Mestrado em Transportes) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 2012.

TIMOSSI, L. S. *et al.* Procedimentos no planejamento de amostras em pesquisas sobre qualidade de vida. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Rio de Janeiro, 2008.

APÊNDICES

Apêndice 1: QUESTIONÁRIO PARA OS USUÁRIOS DA RODOVIA

Rodovia de Coité do Nóia - AL- 482

*Obrigatórias

1. Você já conduziu um veículo nesta rodovia? *

Sim Não

2. Em uma escala de 1 a 5, o quão perigosa você considera a rodovia que dá acesso a Coité do Nóia? *

Não é perigosa 1 2 3 4 5 Muito perigosa

3. Com que frequência você percebe acidentes nesta rodovia? *

Diariamente Semanalmente Mensalmente Anualmente
 Nunca Outro: _____

4. Com que frequência você usa a rodovia que dá acesso a Coité do Nóia? *

Diariamente Semanalmente Mensalmente Anualmente
 Nunca

5. Caso já tenha percebido algum acidente, qual a gravidade deles?

PODE MARCAR MAIS DE UMA OPÇÃO

Muito leve Leve Moderado Grave Muito grave

6. Na sua opinião, quais dos fatores negativos abaixo você utilizaria para descrever a Rodovia de Coité do Nóia?

PODE MARCAR MAIS DE UMA OPÇÃO

Falta de sinalização Curvas perigosas

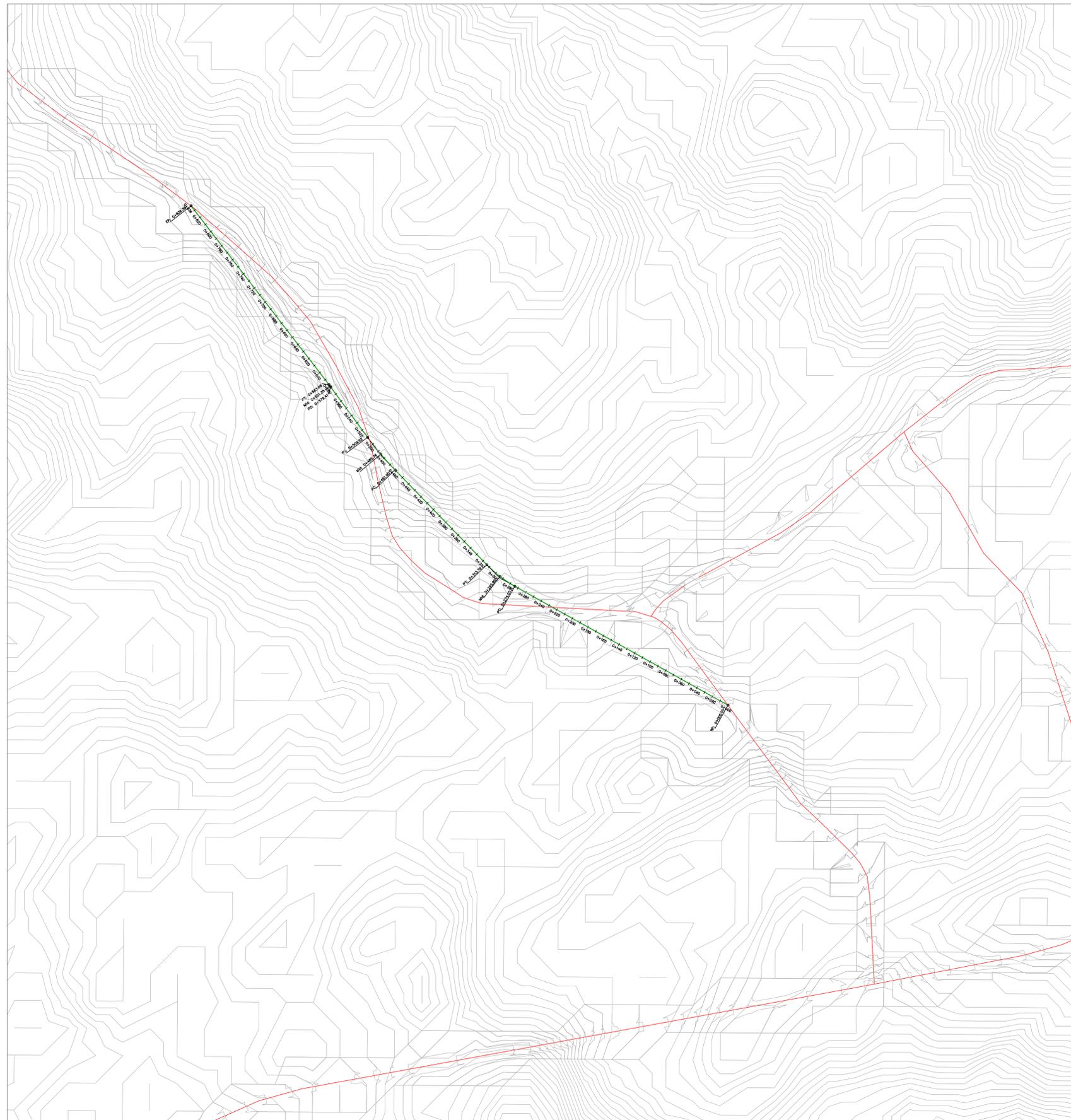
Trechos que permitem alta velocidade

Asfalto não está em boas condições Falta de visibilidade

Outro. Qual? _____

7. Caso deseje, deixe um comentário sobre os acidentes na rodovia de acesso para Coité do Nóia.

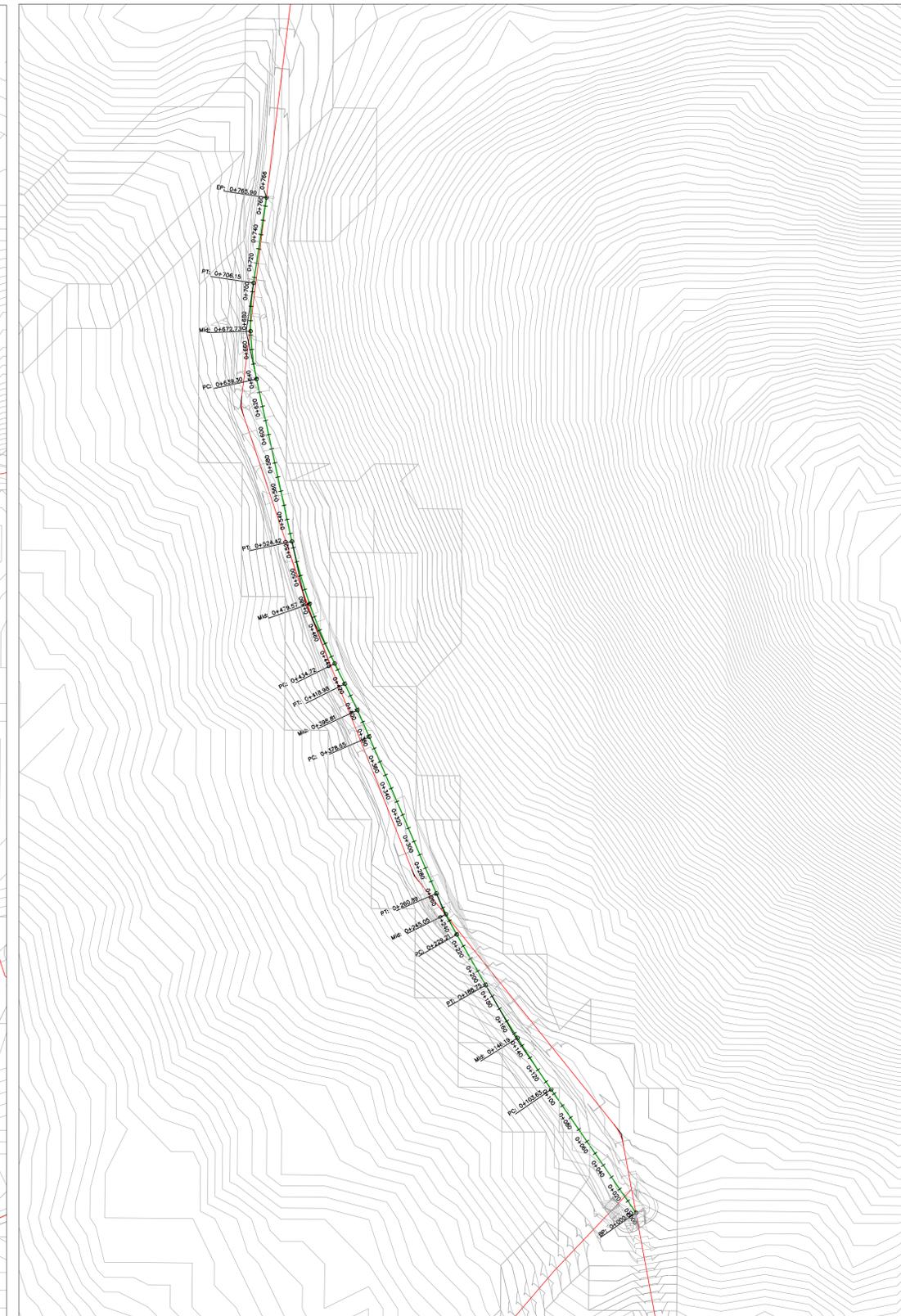
Apêndice 2: Planta de Traçado da Rodovia AL- 482



LEGENDA

- NOVO TRAÇADO
- RODOVIA EXISTENTE

CURVAS 1 E 2 - EXTENSÃO 835,99m
 ESCALA: 1:3000



CURVAS 3 E 4 - EXTENSÃO 765,54 m
 ESCALA: 1:2000

ELEMENTOS DE PROJETO				UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS	
Rodovia:	AL - 482	Trecho:	INDICADO	Período do Projeto:	12/2017
Cidade:	Coté do Nôia - AL	Extensão (m):	INDICADA	Escala:	INDICADA
Observações:				TRAÇADO	Maria Leandra Madeiro de Souza
				AL- 482	Assinatura(s):