

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Fernando Fraga de Freitas dos Santos**

**DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AVANÇADO PARA ESTUDOS E PROJETOS VIÁRIOS:  
DEFINIÇÃO, REPRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO EIXO  
PLANIMÉTRICO**

Porto Alegre  
dezembro 2013

**FERNANDO FRAGA DE FREITAS DOS SANTOS**

**DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AVANÇADO PARA ESTUDOS E PROJETOS VIÁRIOS:  
DEFINIÇÃO, REPRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO EIXO  
PLANIMÉTRICO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Daniel Sergio Presta García**

Porto Alegre  
dezembro 2013

**FERNANDO FRAGA DE FREITAS DOS SANTOS**

**DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AVANÇADO PARA ESTUDOS E PROJETOS VIÁRIOS:  
DEFINIÇÃO, REPRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO EIXO  
PLANIMÉTRICO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 20 de dezembro de 2013

Prof. Daniel Sérgio Presta Garcia  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. João Fortini Albano (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS)**  
PhD. pela Universidade de Oxford

**Prof. Daniel Sérgio Presta Garcia (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha esposa, meus pais e minha  
irmã, pois este representa uma grande jornada que  
trilhamos todos juntos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha esposa Paula Görgen Radici Fraga por todo o auxílio, carinho e dedicação, antes e ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, pois sem ela esta empreitada seria muito difícil.

Agradeço ao Prof. Dr. Daniel Sergio Presta García, orientador deste trabalho, pela paciência e assistência em todos os momentos.

Ao meu pai Nei Fernando, minha mãe Guti e minha irmã Verônica pelo apoio e por tudo que sempre fizeram por mim.

A todos que de alguma forma ajudaram, agradeço por acreditarem no meu potencial e nas minhas ideias.

Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de  
gigantes.

*Issac Newton*

## RESUMO

Para a viabilização de um projeto de Engenharia, são necessárias análises do ambiente no qual este será construído, permitindo aos projetistas a tomada de decisões relativas ao seu planejamento e execução. Essas análises se consolidam por meio da construção de representações simplificadas do ambiente em questão, as quais são denominadas de modelos. Respeitando as características do ambiente, os modelos buscam atender as necessidades específicas de cada etapa do projeto e das especialidades envolvidas. Isso possibilita que para um mesmo ambiente possam ser desenvolvidos diversos modelos. No que tange ao aspecto dos projetos viários, estes são criados como modelos de projeto que interagem com os modelos de ambiente, gerando os dados necessários para a execução dos projetos em escala real. Para que os profissionais da área consigam realizar tais atividades, torna-se indispensável uma base integrada de informações, o que atualmente se traduz em sistemas computacionais de estudos e projetos viários. Tais sistemas, sob a ótica nacional, são escassos e de manuseio bastante distinto entre as plataformas existentes. Isso se deve ao fato de que estes são criados em diferentes países e baseados em manuais de projetos distintos, diferindo da cultura de projetos dominante no Brasil. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo a definição de diretrizes para o desenvolvimento desses sistemas computacionais, sob a ótica do eixo planimétrico, de maneira a permitir que os profissionais da área mantenham sua cultura de projetos no ingresso ou migração entre plataformas. Para o alcance do objetivo proposto, foram realizados estudos visando a compreensão da prática de projetos, apresentando, descrevendo e indicando os principais elementos para a concepção, representação e análise do eixo planimétrico viário. Para isso, primeiramente foram estudados os manuais de projetos e a literatura técnica nacional, descritos na forma de um referencial teórico, e, logo após, foi realizado um estudo de dois sistemas computacionais, buscando entender como estes se comportam com relação à cultura de projetos brasileira. Portanto, através dessas informações coletadas, foram elaboradas diretrizes referentes ao desenvolvimento do módulo planimétrico de um sistema avançado para estudos e projetos viários. Como resultado, estabelece-se um referencial para que os futuros sistemas, caso desenvolvidos sobre essas recomendações, se tornem eficientes, intuitivos e condizentes com a sistemática de projetos adotada no Brasil.

Palavras-chave: Diretrizes para o Projeto do Eixo Planimétrico, Concepção do Eixo Planimétrico, Elementos de Projeto Geométrico, Sistema para Estudos e Projetos Viários.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das Etapas da Pesquisa.....	21
Figura 2 – Esquema lógico simplificado para concepção do eixo planimétrico.....	24
Figura 3 – Esquema da concordância com curva circular simples.....	33
Figura 4 – Pontos característicos da curva de transição.....	35
Figura 5 – Interface do AutoCAD® Civil 3D® .....	53
Figura 6 – Janela de configurações do projeto (unidades e zonas).....	54
Figura 7 – Janela de configurações do projeto (abreviações).....	55
Figura 8 – Barra de menus superior (criação de alinhamento).....	56
Figura 9 – Menu para criação de alinhamentos.....	56
Figura 10 – Janela de criação de alinhamento.....	57
Figura 11 – Painel para escolha dos critérios de projeto.....	57
Figura 12 – Barra de ferramentas de criação de alinhamento.....	58
Figura 13 – Opções de criação de alinhamento.....	58
Figura 14 – Janela de configuração dos estilos de concordâncias padrões.....	58
Figura 15 – Opções de criação de concordâncias circulares simples.....	59
Figura 16 – Opções de criação de concordâncias compostas com transição.....	59
Figura 17 – Painel de ferramentas (visualização dos alinhamentos no projeto).....	60
Figura 18 – Opções de escala padrão.....	61
Figura 19 – Janela de estilo do alinhamento (visualização dos elementos).....	62
Figura 20 – Menu de contexto da seleção do alinhamento.....	63
Figura 21 – Janela de edição dos rótulos do alinhamento.....	63
Figura 22 – Editor de texto das informações das estacas.....	64
Figura 23 – Representação do eixo planimétrico no AutoCAD® Civil 3D® .....	64
Figura 24 – Representação dos quadros de impressão sobre o eixo planimétrico.....	65
Figura 25 – Prancha planimétrica do pacote brasileiro do AutoCAD® Civil 3D® .....	65
Figura 26 – Detalhe do selo padrão do pacote brasileiro do AutoCAD® Civil 3D® .....	66
Figura 27 – Relação de relatórios disponíveis no AutoCAD® Civil 3D® .....	66
Figura 28 – Relatório de curvas do alinhamento.....	67
Figura 29 – Relatório de estacas incrementais do alinhamento.....	67
Figura 30 – Relatório das estacas dos PI.....	68
Figura 31 – Relatório de alinhamento horizontal.....	68
Figura 32 – Relatório de alinhamento horizontal complementar.....	68
Figura 33 – Relatório de alinhamento horizontal por estaca.....	69

Figura 34 – Janela indicativa de erro.....	69
Figura 35 – Janela de edição do critério de análise.....	70
Figura 36 – Painel de visualização do eixo planimétrico em forma de tabela.....	70
Figura 37 – Janela de configuração de variáveis para checagem das distâncias.....	71
Figura 38 – Interface do sistema Topograph®.....	72
Figura 39 – Janela de informações de um projeto novo.....	72
Figura 40 – Interface do sistema com um projeto carregado.....	73
Figura 41 – Janela de configuração das unidades, precisões e notação.....	73
Figura 42 – Interface gráfica.....	74
Figura 43 – Janela de inserção do ponto inicial do alinhamento.....	75
Figura 44 – Janela de inserção da tangente do alinhamento.....	75
Figura 45 – Menu de contexto para inserção de concordâncias no alinhamento.....	76
Figura 46 – Janela de parâmetros de espiral do alinhamento.....	76
Figura 47 – Janela de parâmetros da curva circular do alinhamento.....	76
Figura 48 – Menu para salvar o alinhamento criado.....	77
Figura 49 – Janela de salvamento do alinhamento.....	78
Figura 50 – Listagem dos alinhamentos criados.....	78
Figura 51 – Interface do modo tabela.....	79
Figura 52 – Janela de curvas horizontais.....	79
Figura 53 – Janela de vértices horizontais.....	80
Figura 54 – Interface do modo tabela preenchida.....	81
Figura 55 – Interface gráfica do traçado.....	81
Figura 56 – Interface gráfica do traçado (detalhe da representação dos elementos).....	82
Figura 57 – Janela de configuração da vista gráfica.....	83
Figura 58 – Janela de inserção das notas de serviço do usuário.....	83
Figura 59 – Janela de formatação dos relatórios.....	84
Figura 60 – Janela de indicação de erro no cálculo.....	85
Figura 61 – Interface do modo tabela (detalhe da intertangente).....	85
Figura 62 – Esquema de interface do sistema.....	87
Figura 63 – Conjunto tabela de PI e quadro de propriedades do PI no painel de detalhes.....	90
Figura 64 – Parâmetros de desenho do painel de detalhes.....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diretrizes para o módulo planimétrico de um sistema avançado para estudos e projetos viários.....	99
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade diretriz para rodovias estaduais (km/h).....	30
Tabela 2 – Velocidade diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo.....	30
Tabela 3 – Valores dos raios que dispensam curvas de transição.....	34
Tabela 4 – Raios mínimos (m).....	37

## **LISTA DE SIGLAS**

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

DAER – Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem

DER – Departamento de Estradas e Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\widehat{AC}$  – ângulo correspondente a cada concordância sem transição

AC – ângulo central da concordância circular

BD ou E – distância externa, ou flecha

CS – curve to spiral ou CE (curva para espiral)

D ou Dc – desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular (m)

EC – espiral para curva ou SC (spiral to curve)

ET – espiral para tangente ou ST (spiral to tangent)

I – ângulo de deflexão

i – inclinação transversal da pista (abaulamento)

l'c – comprimento da distribuição da superelevação em tangente

Lc – comprimento da espiral de transição;

O – centro da curva circular

O' – centro da circunferência deslocada

p – afastamento da curva circular em relação à tangente

PC – ponto de Curva

PI – ponto de Interseção

PT – ponto de Tangente;

R ou Rc – raio da curva circular (m)

Sc, ou  $\theta_s$  – ângulo central da espiral;

SEc – superelevação máxima da curva.

T – tangente externa ou exterior (m)

T – valor da intertangente, em metros;

TC – tangente curta

TL – tangente longa

TS – tangente to spiral ou TE (tangente para espiral)

TT – tangente total, também denominada Ts ou Te (tangente exterior)

V – velocidade diretriz em km/h.

Xc – abcissa do EC e do CE

Xs – abcissa do SC e do CS

Yc – ordenada do EC e do CE

Ys – ordenada do SC e do CS

$\delta_c$  ou  $\theta$  – ângulo central da curva circular

$\theta$  – ângulo correspondente ao arco circular;

$\theta_s$  ou  $S_c$  – ângulo central da espiral

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	19
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	19
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	19
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	19
2.3 PRESSUPOSTO .....	20
2.4 PREMISSE .....	20
2.5 DELIMITAÇÕES .....	20
2.6 LIMITAÇÕES .....	20
2.7 DELINEAMENTO .....	21
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
3.1 O EIXO PLANIMÉTRICO .....	23
<b>3.1.1 Estudos de traçado</b> .....	25
3.1.1.1 Reconhecimento .....	26
3.1.1.2 Exploração .....	28
<b>3.1.2 Elementos necessários para a concepção do eixo planimétrico</b> .....	29
3.2 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS .....	31
<b>3.2.1 Alinhamentos</b> .....	31
<b>3.2.2 Concordâncias Horizontais</b> .....	32
3.2.2.1 Curvas Simples .....	33
3.2.2.2 Curvas compostas com transição em espiral .....	34
<b>3.2.3 Estaqueamento</b> .....	37
<b>3.2.4 Indicadores para comparação</b> .....	38
3.2.4.1 Acréscimo sobre a distância em diretriz .....	39
3.2.4.2 Tortuosidade total e média .....	39
3.3 REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS .....	40
<b>3.3.1 Representação em planta</b> .....	40
<b>3.3.2 Representação em relatórios</b> .....	41
3.4 ANÁLISES DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS .....	43
<b>3.4.1 Conceito de inconformidades</b> .....	43
<b>3.4.2 Caracterização dos principais erros no lançamento de um eixo planimétrico</b> .....	45

<b>3.4.3 Caracterização dos principais alertas no lançamento de um eixo planimétrico</b> .....	46
3.4.3.1 Raio mínimo com transição .....	47
3.4.3.2 Raio mínimo em curva circular .....	47
3.4.3.3 Tangente mínima .....	48
3.4.3.4 Tangente máxima .....	49
<b>4 ESTUDO DOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS</b> .....	51
4.1 AUTOCAD® CIVIL 3D® .....	52
<b>4.1.1 Definição dos elementos característicos</b> .....	55
<b>4.1.2 Representação dos elementos característicos</b> .....	60
<b>4.1.3 Análises dos elementos característicos</b> .....	69
4.2 TOPOGRAPH® .....	71
<b>4.2.1 Definição dos elementos característicos</b> .....	74
<b>4.2.2 Representação dos elementos característicos</b> .....	81
<b>4.2.3 Análises dos elementos característicos</b> .....	84
<b>5 DIRETRIZES</b> .....	86
5.1 INTERFACE DE PROJETOS .....	86
5.2 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO .....	88
5.3 REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO .....	92
5.4 ANÁLISE DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO .....	94
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	98
REFERÊNCIAS .....	101



## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia é uma ciência que tem por objetivo criar, aperfeiçoar e implementar maneiras de que certa função ou atividade seja executada. García et al. (2012, p. [2]) indicam que “Projetos de Engenharia caracterizam-se por apresentar problemas e soluções com complexidade de tal ordem que se torna necessária a utilização de uma linguagem própria para a caracterização dos mesmos.”. Para que se chegue a uma solução viável, a um custo aceitável e em tempo hábil, são utilizados modelos simplificados da realidade existente. Segundo García et al. (2012, p. [2]), “Os modelos são necessários, na maioria das vezes, em virtude de (i) não ser possível desenvolver um projeto em escala natural e (ii) na tentativa de simplificar a realidade.”. Essa simplificação deve ser criteriosa, de forma a não comprometer a representação do todo.

Diversas formas de representação são utilizadas pelos distintos campos das engenharias na construção de modelos. No que tange ao aspecto dos projetos de Engenharia Viária, tais modelos são desenvolvidos de forma multidisciplinar, abrangendo principalmente áreas como:

- a) topografia (levantamento do terreno, cadastramento de pontos característicos existentes no mesmo e demais dados necessários para caracterizar as condicionantes topográficas);
- b) geologia (informações do tipo de solo da região por meio de sondagens e demais ferramentas empregadas);
- c) hidrologia (coleta de dados de chuvas, locais de alagamentos, cotas de cheia máxima em rios ou assemelhados, se conveniente para o projeto);
- d) engenharia, como estudos ambientais e de tráfego de forma a reconhecer os dados iniciais para o projeto, como a velocidade de projeto, por exemplo.

Para que seja possível compreender, em conjunto, as diversas variáveis envolvidas no ambiente a ser estudado, se faz necessário o uso de ferramentas para concatenar essas informações de forma organizada. Com o advento das técnicas computacionais diversos sistemas vêm sendo criados para gerenciar cada um dos aspectos da criação desses modelos de Engenharia. Todavia, são poucos os sistemas que atendem simultaneamente a todos os aspectos envolvidos na criação de um modelo global.

Além da caracterização do modelo do ambiente, existe a etapa da concepção e a do cruzamento do empreendimento a ser executado com o meio onde este será implantado, o qual, da mesma forma, deve ser expresso em escala reduzida. García et al. (2012, p. [1]) afirmam que “Os projetos viários (rodovias, ferrovias e vias urbanas) e de canais, apresentam como característica comum a definição de um eixo planialtimétrico e de seções transversais que caracterizam o gabarito específico para cada estaca do eixo [...]”, definindo assim os elementos necessários para a realização destes em escala reduzida, sobre o modelo do ambiente e, posteriormente, em escala real.

Os sistemas computacionais existentes para a caracterização de modelos de ambiente e de projetos viários, além de escassos, são de padrões de manuseio bastante heterogêneos, por serem desenvolvidos em diferentes países, com culturas distintas e seguindo manuais de projeto diferentes. Este fato faz com que os projetistas tenham que optar por um estilo de trabalho condizente com um dos sistemas disponíveis, tendo em vista que, como existem muitas variáveis envolvidas, o aprendizado para cada sistema seja praticamente inutilizado quando no confronto com outros sistemas semelhantes.

Com base nos fatos supracitados, faz-se necessária a elaboração de diretrizes para o desenvolvimento de um sistema focado na criação e organização de condicionantes de modelos de ambiente e projeto. Estas diretrizes devem seguir uma padronização orientada pelos procedimentos definidos pela normatização e literatura técnica, de forma a existir uma compreensão mais fácil do profissional, quando da migração entre sistemas criados para o mesmo propósito.

O presente trabalho aborda a concepção das diretrizes referentes ao eixo planimétrico de vias, a partir de estudos das diversas características do mesmo, de suas partes e condicionantes. Desenvolveu-se a partir do conhecimento das definições abordadas pela literatura técnica e normatização vigente, representações já executadas por alguns dos principais sistemas utilizados no mercado e análises de verificações de erros e inconformidades que podem ocorrer na concepção do projeto do eixo planimétrico.

Dessa forma, os capítulos deste trabalho estão estruturados iniciando a partir da introdução, vista no capítulo 1, sucedida pelas diretrizes da pesquisa (capítulo 2), seguindo com uma estruturação baseada nos tópicos de definição, representação e análise do eixo planimétrico,

visto sob a ótica do referencial teórico (capítulo 3), do estudo dos sistemas computacionais AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> e Topograph<sup>®</sup> (capítulo 4) e culminando na elaboração das diretrizes para o desenvolvimento do módulo planimétrico de um sistema computacional para estudos e projetos viários (capítulo 5), tendo por seu encerramento as considerações finais vistas no capítulo 6.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as diretrizes para o desenvolvimento de um sistema computacional de projetos viários, no que tange ao aspecto do eixo planimétrico de vias, sob a ótica da prática nacional?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo Principal**

O objetivo principal do trabalho é a elaboração de diretrizes para o desenvolvimento de sistemas computacionais, que traduzam a prática de projetos no Brasil, sob o aspecto do projeto do eixo planimétrico de vias.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho estão associados aos conceitos de concepção, representação e análise, conforme mencionado a seguir:

- a) apresentação dos elementos necessários para a concepção do eixo planimétrico de vias;
- b) descrição dos elementos necessários para a representação do eixo planimétrico de vias;
- c) indicação dos principais elementos de análise para avaliar as possíveis inconformidades na concepção do projeto.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os sistemas computacionais existentes para a caracterização de modelos de ambiente e de projeto viário são escassos e heterogêneos. Além disso, a cultura dominante para elaboração de projetos geométricos viários diverge, em alguns pontos, das soluções computacionais existentes no mercado e que os sistemas mais utilizados e difundidos para essa finalidade são o AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> e o Topograph<sup>®</sup>.

## 2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissas que:

- a) os procedimentos para projetos geométricos no Brasil estão consolidados e se tornaram padrão de mercado (estado da prática);
- b) os sistemas computacionais para projetos existentes não necessariamente utilizam os padrões do mercado nacional, quanto a métodos, normas, formatos e conteúdo;
- c) existe uma curva de aprendizagem que demanda muitos recursos em termos financeiros e de tempo e, no advento de uma migração entre sistemas, deixa de agregar valor à atividade fim.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo do eixo planimétrico e seus componentes, quanto a sua definição, representação e análise, não levando em conta as demais etapas do projeto viário.

## 2.6 LIMITAÇÕES

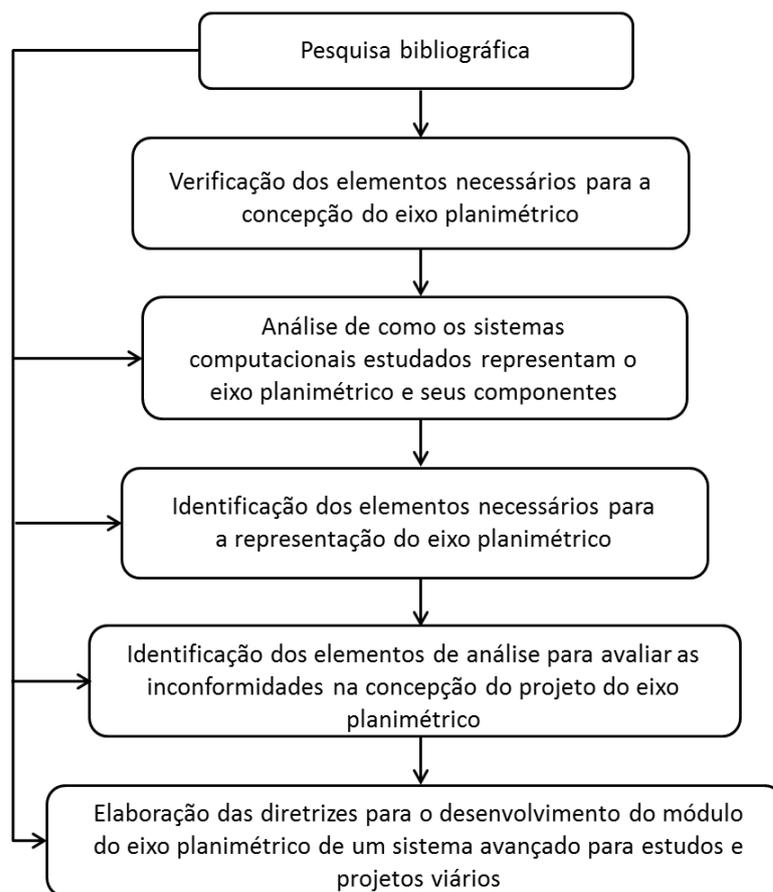
O trabalho se limita, no que tange ao aspecto da normatização, ao estudo dos manuais de projeto viário do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) e do Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (DAER). Quanto ao estudo das representações já realizadas por sistemas computacionais utilizados no mercado, o presente trabalho utilizou como referência os sistemas AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> e Topograph<sup>®</sup>.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) verificação dos elementos necessários para a concepção do eixo planimétrico;
- c) análise de como os sistemas computacionais estudados representam o eixo planimétrico e seus componentes;
- d) identificação dos elementos necessários para a representação do eixo planimétrico;
- e) identificação dos elementos de análise para avaliar as inconformidades na concepção do projeto do eixo planimétrico;
- f) elaboração das diretrizes para o desenvolvimento do módulo do eixo planimétrico de um sistema avançado para estudos e projetos viários.

Figura 1 – Diagrama das Etapas da Pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Com a evolução da **pesquisa bibliográfica**, buscou-se, na literatura técnica, as definições referentes às diversas etapas do projeto de engenharia viária, no que tange ao aspecto da planimetria. A partir dessas informações, separou-se as definições dos elementos do eixo planimétrico para consolidá-los em uma etapa posterior.

Com os dados retirados da pesquisa bibliográfica, **verificou-se os elementos necessários para a concepção do eixo planimétrico**. Este que é, em suma, uma evolução de um traçado básico que, ao longo de diversas etapas de projeto, agrega elementos e se modifica até chegar na sua forma final.

Para o fim de entender como os profissionais da área de projetos de engenharia viária lidam com as ferramentas disponíveis, analisou-se os principais sistemas computacionais voltados para esta área de projetos, o AutoCAD® Civil 3D® e Topograph®. Esta análise foi realizada para descrever como são representados os elementos do eixo planimétrico e se todos os elementos, verificados na etapa anterior, estão presentes.

Cruzando as informações obtidas anteriormente, foi possível **identificar os elementos necessários para a representação do eixo planimétrico**, em suas diversas formas, no que tange ao aspecto da concepção deste por meio de uma ferramenta computacional. Dessa maneira é possível discriminar os elementos estritamente necessários na fase de concepção do eixo planimétrico e os elementos necessários para uma representação final do mesmo.

Quando das etapas para a concepção do eixo planimétrico, existem diversos eventos que podem ocasionar uma série de inconformidades. Assim, foi feita a **identificação dos elementos de análise para avaliar as inconformidades** no advento do projeto do eixo planimétrico. Esses elementos elencados foram definidos, no contexto de um sistema computacional, como erros e alertas para que o engenheiro projetista consiga criar o eixo planimétrico de forma mais eficiente e, por consequência, gerando menor número de modificações no mesmo.

Por fim, reunidos os elementos para definição, representação e análise (erros e alertas) do eixo planimétrico, foi possível **elaborar as diretrizes para o desenvolvimento do módulo planimétrico** de um sistema computacional para estudos e projetos viários. E, a partir dessas diretrizes, possibilitar a criação de parte de um sistema computacional que respeite os padrões consolidados do mercado nacional para projetos viários.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A definição do eixo planimétrico é considerada por muitos projetistas como a “certidão de nascimento” de um projeto viário, pois é a partir dele que são definidos os demais componentes do projeto geométrico e a forma de como a via irá incidir sobre o terreno.

Neste capítulo, pretende-se caracterizar os elementos necessários para a definição, representação e análise do eixo planimétrico de um projeto viário sob a ótica do referencial teórico consultado e da normatização vigente.

#### 3.1 O EIXO PLANIMÉTRICO

O projeto geométrico de uma via pode ser dividido, basicamente, em duas partes principais. A primeira é o projeto axial, ou seja, que segue a orientação da via e, a segunda parte, é o projeto transversal. Dentro do projeto axial, observa-se uma separação entre a parte em planta (planimetria) e, em perfil (altimetria).

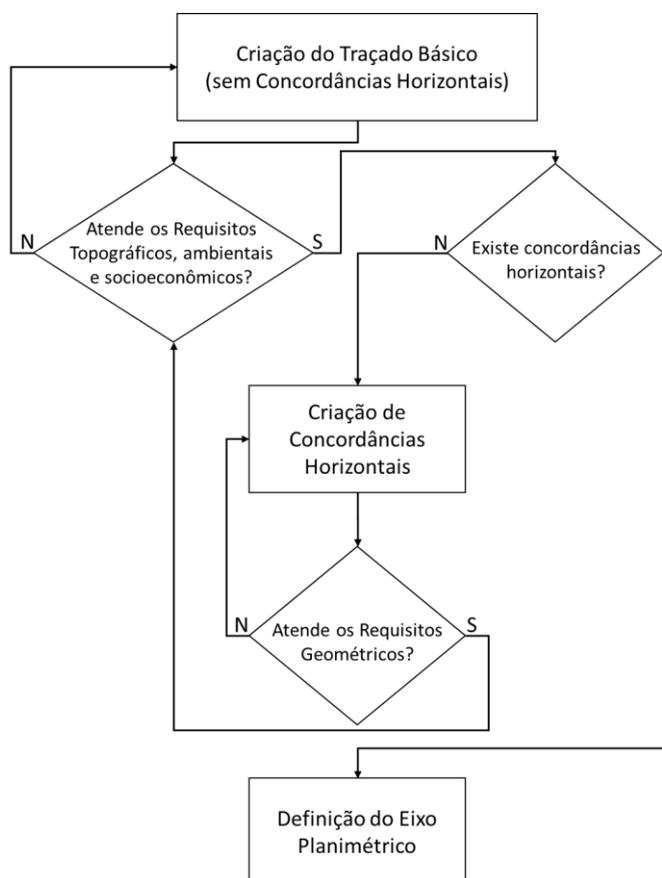
A parcela planimétrica do projeto geométrico é caracterizada, principalmente, pela definição de um eixo, composto por uma série de elementos, que é denominado de eixo planimétrico. Lee (2008, p. 44) afirma que “No projeto em planta, o objetivo principal é definir a geometria da linha que representa a rodovia no plano horizontal, denominada eixo da rodovia.”. Este é concebido de forma contínua, sendo modificado nas diversas etapas do projeto da via, pois como o eixo planimétrico define por onde a via incide, para sua concepção é necessária a análise de vários fatores relacionados com o ambiente onde este será locado e com sua própria geometria.

No decorrer do processo de projeto a construção do eixo planimétrico passa pela criação de um traçado básico composto apenas por segmentos lineares, que podem ser drasticamente modificados para melhor atender todas as condicionantes necessárias (pontos obrigados). Lee (2008, p. 43) define que “Uma rodovia pode ser imaginada como sendo uma entidade física, na qual prevalecem as dimensões longitudinais, sendo seus elementos referenciados geometricamente a uma linha fluente e contínua.”. Portanto, após a definição de um traçado

que atenda da melhor forma possível os requisitos estabelecidos, são criadas as concordâncias entre os segmentos lineares (concordâncias horizontais) de modo que exista um movimento fluído ao longo da geometria criada. Existindo algum conflito com alguma condicionante para o projeto, tanto sob o aspecto de inconformidades geométricas, como topográficas e socioeconômicas, o traçado é analisado novamente e pode ser modificado até que, além de atender os requisitos para o traçado básico, atenda as condicionantes no que tange ao aspecto das concordâncias horizontais.

Por fim, o produto dos processos supracitados é chamado de eixo planimétrico, ou como afirma Lee (2008, p. 43), “No projeto em planta, o objetivo principal é definir a geometria da linha que representa a rodovia no plano horizontal, denominada eixo da rodovia.”. Todavia, observa-se que este é uma mesma entidade, ao longo de todo o processo, que agrega e modifica suas características até chegar a uma forma final. O esquema lógico, figura 2, demonstra, de forma simplificada, os passos de análise para a concepção do eixo planimétrico.

Figura 2 – Esquema lógico simplificado para concepção do eixo planimétrico



(fonte: elaborada pelo autor)

### 3.1.1 Estudos de traçado

Para que seja possível executar o projeto geométrico de uma via, são necessários uma série de estudos, chamados de estudos de traçado que, segundo Lee (2008, p. 63):

[...] tem como objetivos principais a delimitação dos locais convenientes para a passagem da rodovia, a partir da obtenção de informações básicas a respeito da geomorfologia da região, e a caracterização geométrica desses locais, de forma a permitir o desenvolvimento do projeto pretendido.

Da mesma forma, Pimenta e Oliveira (2004, p. 1) afirmam que “A estrada é um ente tridimensional que deve se ajustar de forma harmônica à topografia da região.”. E, segundo as Normas de Projetos Rodoviários do DAER (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1991), além de ser coerente com a topografia, o alinhamento horizontal deve ser o mais direcional possível.

Para possibilitar um melhor entendimento do que se tratam os estudos de traçado, é conveniente definir o que é um traçado viário. Lee (2008, p. 64) define este como uma linha que constitui o projeto geométrico da via, em planta e perfil, representando-a espacialmente ou fisicamente.

Assim, observa-se a necessidade da escolha de locais nos quais as modificações do ambiente, onde será executado o projeto, sejam as menores possíveis. Esses locais devem ser analisados levando-se em conta também condicionantes econômicas e sociais da região, como explicam Pimenta e Oliveira (2004, p. 1), “[...] é necessário também que essa ligação seja feita de forma a atender melhor aos interesses da comunidade com o menor custo possível.”.

Para que o projetista possa escolher da melhor maneira possível esses locais, é de suma importância que este tenha noções dos principais acidentes de relevo, os quais podem definir, ou não, a passagem obrigatória da rodovia. Senço (2008, p. 222-223) explicita a:

Definição de alguns acidentes do relevo:

- a) curvas de nível: linhas que indicam a interseção da superfície do terreno com um plano horizontal;
- b) divisor de águas [espigão ou linha cumeada]: linha de pontos altos, que separa duas bacias hidrográficas;
- c) talvegue (caminho dos vales): linha por onde se escoam as águas, pluviais ou perenes;

- d) contraforte: área de encosta entre o talvegue e o espigão;
- e) garganta: trecho de pontos baixos, na linha de pontos altos. Por ser o lugar onde os espigões são mais baixos, tem preferência para o traçado da via, principalmente quando se pretende economizar a movimentação de volumes de terra, na terraplenagem.

A organização dos estudos de traçado, então, se dá por uma divisão em duas etapas, chamadas usualmente, de reconhecimento e exploração, explica Lee (2008, p. 63). A etapa de reconhecimento é destinada à escolha de um itinerário por onde se possa lançar o melhor traçado, que resulte viável, já a etapa de exploração visa o detalhamento desse itinerário para a obtenção de uma planta planialtimétrica.

Por fim, com base nos dados reconhecidos no ambiente, pode-se proceder ao ajuste fino do traçado criado, seguindo as diretrizes referentes à geometria em si. Estas são realizadas com base na classe da rodovia e no tipo de terreno onde esta se encontra. Senço (2008, p. 296) resume que a fase de reconhecimento leva ao projeto básico da rodovia e a exploração leva tanto ao projeto básico, como ao projeto executivo. A seguir são analisadas, separadamente, as fases de reconhecimento e exploração.

#### 3.1.1.1 Reconhecimento

No reconhecimento são realizados os estudos do ambiente onde está sendo proposta a execução da via. Conforme explica Senço (2008, p. 220):

[reconhecimento] é a operação que tem por fim orientar tão exatamente quanto possível o traçado da estrada, de modo que ele se adapte às circunstâncias da topografia local, satisfaça às normas técnicas e às condições de natureza econômica, político-administrativas ou militar.

Aqui são observadas as condicionantes compreendidas entre o início e o final do trecho a ser projetado, no qual, também de acordo com Senço (2008, p. 220):

[...] serão levados em conta os pontos obrigados – pontos por onde obrigatoriamente a estrada deverá passar – e serão colhidos todos os dados que possam interessar como cidades, estradas existentes, estradas de ferro, bacia hidrográfica, alagadiços e o relevo, este geralmente representado pelo levantamento planialtimétrico, com curvas de nível de 10 em 10 metros.

Dessa forma, segundo Senço (2008, p. 220), é desenvolvido um estudo primário da área onde a rodovia poderá ser concebida, cabendo ao projetista, levando em conta os pontos obrigados, escolher a melhor faixa por onde esta passará.

Assim, na fase de reconhecimento é definida a diretriz para o traçado de uma rodovia. Esta é explicada por Lee (2008, p. 64) como “[...] um itinerário, compreendendo uma ampla faixa de terreno, ao longo (e ao largo) da qual se presume que possa ser lançado o traçado da rodovia.”. É também nessa fase que são criadas as primeiras opções de traçado, as quais podem ser modificadas posteriormente no advento de condicionantes obtidas em estudos mais detalhados.

Os pontos obrigados são os locais por onde a rodovia deve ou não passar e são definidos na fase de reconhecimento do projeto e, como afirmam Pimenta e Oliveira (2004, p. 5), são “[...], de forma geral, toda solução que acarreta melhoria das condições técnicas ou redução de custo.”. Esses pontos podem ser marcados com base em condicionantes físicas ou socioeconômicas da região compreendida entre o ponto de início e fim do trecho estudado.

Os primeiros pontos obrigados são os próprios pontos de início e fim do traçado, pois é a ligação entre eles que constitui a motivação para a concepção da rodovia. Lee (2008, p. 64) reforça que “O projeto de uma rodovia pressupõe sempre a existência de dois pontos – o de origem e o de destino – a serem ligados pela rodovia.”. E é entre esses pontos que se desenvolve todo o reconhecimento dos demais locais por onde a via deve ou não seguir.

Para melhor caracterizar os locais, entre a origem e o destino da rodovia, que condicionam por onde esta deve ou não passar, são definidos tipos de pontos obrigados, segundo o tipo de levantamento. Os tipos definidos são dois e são nomeados como: de condição e de passagem.

Os pontos obrigados de condição são aqueles definidos, segundo Lee (2008, p. 64-65), “[...] por razões de ordem social, econômica ou estratégica, tais como a existência de cidades, vilas, povoados, de áreas de reservas, de instalações industriais, militares, e outras a serem atendidas (ou não) pela rodovia [...]”. O impacto do não atendimento dessas condicionantes pode ocasionar a não validação do projeto, mesmo sendo viável sob o ponto de vista técnico, fazendo com que esses pontos tenham a mesma importância dos demais pontos analisados.

Outro tipo de pontos obrigados são os de passagem que devem ser atingidos ou evitados por razões de ordem técnica, como condições topográficas, geotécnicas, hidrológicas, explica Lee (2008, p. 65). Esses pontos definem a viabilidade técnica do traçado, pois são locais levantados por onde, caso sejam pontos a serem atendidos, se a via passar podem encontrar materiais convenientes ou áreas que reduzem o custo. Todavia, como as regras de preservação ambientais são crucialmente importantes, o desrespeito a determinados pontos, como áreas alagadas que podem conter espécies animais ou vegetais importantes, podem, aos moldes dos pontos obrigados de condição, invalidar o projeto.

Por fim, após o levantamento dos pontos obrigados, estes, somados aos demais obstáculos impostos para o traçado da via, orientam o lançamento da diretriz. Esse lançamento pode ocorrer, explicam Pimenta e Oliveira (2004, p. 29), de duas maneiras: acomodando retas no terreno, respeitando os pontos anteriormente observados, e após, concordar com curvas horizontais, ou, colocar as curvas horizontais sobre os pontos obrigados e concordá-las com trechos em tangente.

#### 3.1.1.2 Exploração

A exploração é iniciada após serem levantados e analisados os dados da etapa anterior, quando foi definida uma diretriz para o traçado da via. Lee (2008, p. 67) explica que nessa fase é realizado um levantamento detalhado dessa diretriz, a fim de se obter uma planta planialtimétrica, em uma escala adequada e com precisão topográfica.

É na fase de exploração que, após o detalhamento da diretriz, é lançada uma linha poligonal que esboça o caminho por onde a via pode passar. Lee (2008, p. 68) complementa que, “Essa poligonal, geralmente designada de poligonal básica, servirá como linha de referência, sobre a qual se apoiará todo o levantamento planialtimétrico da faixa de terreno.”

Senço (2008, p. 295) explica que nessa fase cabe “[...] ampliar a faixa considerada mais favorável ao traçado e, nela, projetar com mais detalhes a diretriz definida, possibilitando a obtenção de todos os demais elementos de projeto.”. É nessa fase que se revê o traçado escolhido previamente e o realoca, tantas vezes quanto necessárias, para que sejam atendidas todas as condicionantes verificadas na fase de reconhecimento e outras advindas desse detalhamento.

Por fim, a poligonal lançada é subdividida em segmentos, como explica Senço (2008, p. 296), “[...] geralmente de 20 m em 20 m, e levantadas as seções transversais, com larguras entre 100 e 200 m.”. Estas iniciam da origem da poligonal e são denominadas sequencialmente a partir da estaca 0, ou ponto de partida, por estaca 1, estaca 2, e assim sucessivamente até o ponto final. Esse processo de subdivisão em estacas é chamado de estaqueamento do eixo planimétrico.

### **3.1.2 Elementos necessários para a concepção do eixo planimétrico**

Nos estudos de traçado, é definida a poligonal básica para o projeto da rodovia. A partir disso é iniciada a etapa de cálculos referentes aos elementos que compõe essa poligonal, para que seja possível o refinamento desta, a partir de concordâncias horizontais, de forma a se obter um traçado fluído.

No que tange ao aspecto do eixo planimétrico, existem alguns elementos de projeto necessários para que se torne possível a concepção deste além dos elementos vistos nas etapas de reconhecimento e exploração. Os principais elementos são a velocidade de projeto (ou velocidade diretriz), que depende do tipo de terreno (obtido na fase de reconhecimento) e da classe da rodovia, e o veículo tipo, parâmetro que depende de outros estudos não abordados aqui (estudos de demanda e tráfego).

A velocidade de projeto, segundo Pimenta e Oliveira (2004, p. 16), “[...] é a maior velocidade que um veículo padrão pode desenvolver, em um trecho de estrada, em condições normais, com segurança.”. O Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1999, p. 41) complementa que “A velocidade é um dos principais elementos a condicionar o projeto rodoviário.”.

Para definir esse parâmetro é levado em conta o tempo de percurso, o tipo de terreno e a classe de projeto. Essa última, intimamente ligada ao custo da rodovia a ser projetada, pois, quanto mais elevada a classe de projeto, maior é o seu custo. Pimenta e Oliveira (2004, p. 16) complementam essa ideia afirmando que “A velocidade de projeto está sempre associada à função da estrada. Estradas com funções importantes justificam valores altos para a velocidade de projeto. Estradas de importância secundária devem ter velocidades mais baixas por motivo de economia.”.

No que tange ao aspecto da normatização, nos projetos realizados no Brasil, são utilizados o manual de projeto geométrico do DAER (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM, 1991), que regem os procedimentos regionais para projeto geométrico de rodovias, e o manual empregado pelo DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1999), que leva a sua antiga nomenclatura, Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER.

Sob o ponto de vista das velocidades de projeto, os manuais de projeto do DAER e do DNIT (DNER) divergem na instrução para a velocidade diretriz de rodovias de Classe de projeto 2 em terreno plano, e o DNIT é mais flexível quanto às velocidades de projeto para rodovias de classe 4 em todos os tipos de relevo. Nas tabelas 1 e 2, são apresentadas as velocidades diretrizes do DAER e do DNIT (DNER), respectivamente.

Tabela 1 – Velocidade diretriz para rodovias estaduais (km/h)

Classes do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	120	100	80
I	100	80	60
II	80	70	50
III	80	60	40
IV	60	40	30

(fonte: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM, 1991, p. 22)

Tabela 2 – Velocidades diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo

Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (Km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

(fonte: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM, 1999, p. 42)

## 3.2 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS

O eixo planimétrico é composto por dois elementos chaves, os trechos lineares, denominados de tangentes, e os trechos curvos localizados entre duas tangentes consecutivas, denominados concordâncias horizontais. Os trechos em tangente são, em última análise, parte dos segmentos que compõe a poligonal básica de projeto que, como seguem até o final do projeto servindo de referência para o cálculo não só das tangentes, mas também das concordâncias horizontais, levam o nome de alinhamentos.

Dessa forma, o eixo planimétrico é definido pela união de diversos alinhamentos que concordam em pontos de interseção e, a partir desses são aferidas concordâncias horizontais. Os trechos compreendidos entre as concordâncias horizontais, que fazem parte dos alinhamentos, são as tangentes. Tanto as tangentes como as concordâncias horizontais devem respeitar certas dimensões regidas pelas condicionantes de projeto, estas dependem de elementos definidos para a concepção do eixo planimétrico. A seguir são vistas as definições desses elementos de composição do eixo planimétrico.

### 3.2.1 Alinhamentos

Os alinhamentos são os trechos lineares que compõe a poligonal básica e, a partir destes são geradas as concordâncias horizontais e as tangentes. Desse modo, existem alguns elementos que caracterizam esses alinhamentos, e são descritos nos parágrafos seguintes.

O ponto de início da sequência de alinhamentos é denominado ponto de partida, ou PP. É o mesmo ponto de início da poligonal básica e é a partir dele que são calculados os demais pontos característicos. Este ponto corresponde, sob o aspecto do estaqueamento, à estaca 0 e para ele são calculadas as coordenadas geográficas e seu azimute.

Existem também os pontos de inflexão entre dois alinhamentos, ou pontos de interseção (PI). Estes pontos são essenciais para o cálculo das concordâncias horizontais e são numerados a partir do ponto de partida, seguindo em direção ao fim da poligonal. Para esses pontos são calculadas primeiramente as deflexões, ou seja, segundo Lee (2008, p. 71), “[...] medida de quanto se está desviando quando se passa do alinhamento anterior para o seguinte nesse vértice [...]”, e, a partir delas, pode-se aferir os azimutes e as coordenadas geográficas para a

locação de cada um. Lee (2008, p. 73) ainda explica que “Em projeto geométrico, as coordenadas absolutas são usualmente expressas em metros, com precisão topográfica, relacionadas a um sistema reticulado plano, referenciado à projeção conforme Universal Transversa de Mercator (UTM).”.

Por fim, o último ponto da sequência de alinhamentos é denominado ponto final, ou PF, e também deve ter calculado suas coordenadas geográficas e seu azimuth, que é igual ao ponto de interseção anterior.

### 3.2.2 Concordâncias Horizontais

A geometria de uma estrada é definida pelo seu traçado em planta e perfil. No que tange ao aspecto do traçado planimétrico, este é composto por trechos retos (tangentes) concordados por curvas horizontais.

As curvas horizontais, ou concordâncias horizontais, são os elementos utilizados para concordar os elementos em tangente e, como explica Lee (2008, p. 95), “Como o eixo é orientado, isto é, tem um ponto de origem e um sentido de percurso definidos, as curvas horizontais podem ser à direita ou à esquerda, conforme o sentido de desenvolvimento das curvaturas.”.

Ainda, para que dois trechos em tangente sejam concordados de maneira à admitir que a rodovia a ser projetada possa permitir a passagem de veículos à velocidade de projeto, essa concordância deve se dar por meio de um arco de curvatura, (SENÇO, 2008). E, o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1999, p. 65), explica que:

[...] há três tipos de concordância utilizados nos projetos rodoviários:

- a) curva circular simples, quando dois trechos em tangente são ligados por um arco de círculo;
- b) curva circular composta, quando dois trechos em tangente são conectados por dois ou mais arcos de círculo sucessivamente tangentes girando no mesmo sentido [...];
- c) combinação de curvas de raios variáveis com curvas de raio constante. Nesse caso a tangente é conectada com uma curva circular por meio de raio variável (curva de transição), infinito na conexão da curva no ponto de tangencia com a curva circular. Da mesma forma utiliza-se uma curva semelhante de raio [...] [crescente] para passar da curva circular para a tangente. As duas curvas de raio variável geralmente tem comprimentos iguais, mas não é exigência obrigatória; pode ser recomendável em interseções adotar comprimentos diferentes para

melhor acompanhar a trajetória real dos veículos em casos extremos de dificuldades de espaço.

Em geral, para projetos de rodovias, são utilizadas as curvas simples e as compostas com transição em espiral (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGENS, 1991). Sendo assim essas são detalhadas nos subcapítulos a seguir.

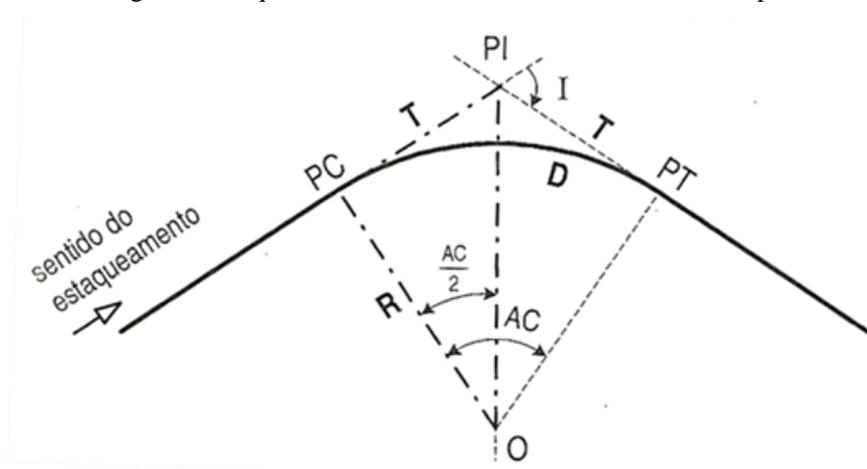
### 3.2.2.1 Curvas Simples

As denominadas curvas simples são, por definição, curvas circulares que ligam dois trechos em tangente. Lee (2008, p. 98) explica que:

Para a concordância entre dois alinhamentos retos que se interceptam em um vértice, utiliza-se geralmente, no projeto geométrico de rodovias, a curva circular. Esta preferência é devida às boas propriedades que a curva circular oferece tanto para tráfego, pelos usuários da rodovia, como para o próprio projeto da curva e para a sua posterior materialização no campo, por processos de locação.

Os principais elementos que caracterizam esse tipo de curva estão mostrados na figura 3.

Figura 3 – Esquema da concordância com curva circular simples



(fonte: LEE, 2008, p. 99)

São eles:

- PI: ponto de interseção é o local onde dois alinhamentos consecutivos se interceptam;
- PC: ponto de curva, também representado em alguns casos pela adição da letra correspondente ao sentido de desenvolvimento da curva (E ou D), e é localizado no ponto onde inicia a curva circular;

- c) PT: ponto de tangente, situado no local onde termina a curva circular e inicia a tangente posterior à concordância;
- d) I: ângulo de deflexão, refere-se ao deslocamento angular entre os alinhamentos concordados;
- e) AC: ângulo central, numericamente igual à deflexão, é o ângulo entre os segmentos formados pelos pontos de início de curva, o ponto central da curva circular e o ponto de final da curva circular;
- f) T: tangente externa ou exterior (m), é o comprimento, ao longo de cada alinhamento que é concordado, compreendido entre o ponto de início ou fim da curva circular e o ponto de interseção entre os alinhamentos;
- g) D: desenvolvimento (ou comprimento) da curva circular (m);
- h) R: raio da curva circular (m);
- i) O: centro da curva circular.

Para esse tipo de concordância horizontal o raio de curvatura é o parâmetro que define todos os elementos da mesma. Os raios mínimos para que possa ser definida uma concordância horizontal com curva circular simples dependem das velocidades de projeto e são apresentadas, segundo a tabela 3, conforme normatizado pelo Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 33).

Tabela 3 – Valores dos raios que dispensam curvas de transição

<b>V (km/h)</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>120</b>
<b>R (m)</b>	200	350	500	700	850	1000	1200	1400	1600

(fonte: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM, 1991, p. 33)

### 3.2.2.2 Curvas compostas com transição em espiral

O uso das curvas compostas com transição em espiral justifica-se quando uma curva simples dificultaria o ingresso do motorista que percorre a rodovia na velocidade de projeto, como explica Senço (2008, p. 320): “Quando o alinhamento de uma pista ou de uma faixa de trânsito muda instantaneamente da tangente para uma curva circular, o motorista não pode manter o veículo no centro da faixa [...]”. Para resolver esse problema são utilizadas curvas com raio variável, iniciando, no ponto em tangente, com raio infinito e diminuindo este de forma a chegar ao raio da curva circular, facilitando, dessa maneira, a entrada do veículo na curva.



Alguns desses pontos são nomeados de formas diferentes dependendo da fonte. Assim, são listados os pontos característicos e suas denominações mais convencionais:

- a) AC: ângulo central da concordância. É a soma do ângulo da curva circular com o ângulo da espiral de entrada e da espiral de saída;
- b) TT: tangente total, também denominada  $T_s$  ou  $T_e$  (tangente exterior), é o comprimento em tangente do ponto onde inicia ou termina a espiral de transição até o ponto de interseção;
- c) TL: distância do TE ou ET em direção ao PI, até a interseção com a tangente da curva no ponto EC ou CE;
- d) TC: distância do EC ou CE por sobre a tangente deste ponto até encontrar o alinhamento do TE ou ET até o PI;
- e) p: afastamento da curva circular em relação à tangente;
- f)  $S_c$  ou  $\theta_s$ : ângulo central da espiral;
- g) O' ou O: centro da circunferência deslocada;
- h)  $R_c$ : raio da curva circular;
- i)  $\theta$  ou  $\delta_c$ : ângulo central da curva circular;
- j)  $D_c$ : desenvolvimento, ou comprimento, da curva circular;
- k) BD ou E: distância externa, ou flecha;
- l) TE: tangente para espiral ou TS (*tangent to spiral*), é o ponto onde inicia a espiral;
- m) ET: espiral para tangente ou ST (*spiral to tangent*), é o ponto onde termina a espiral de saída e inicia a próxima tangente;
- n) EC: espiral para curva ou SC (*spiral to curve*), local onde inicia a curva circular;
- o) CE: curva para espiral ou CS (*curve to spiral*), ponto onde termina a curva circular e inicia a espiral de saída da curva.

Os parâmetros apresentados na figura 4 como  $X_c$ ,  $q$  e  $Y_c$ , são representados de formas opostas dependendo da fonte. O  $X_c$ , abcissa do SC e do CS, é representado também como  $Y_s$  (ordenada). O parâmetro  $Y_c$ , ordenada do SC e do CS, também é representado como  $X_s$ , ou seja, uma abcissa, bem como o parâmetro  $q$  que por vezes é  $Q$  e em vez de abcissa é ordenada. Todos esses parâmetros são calculados pela mesma maneira de uma ou outra forma, todavia é invertido o sistema de coordenadas de referência.

Para o dimensionamento das concordâncias horizontais com curvas compostas com espirais de transição, usa-se como parâmetros, o raio da circunferência, e os comprimentos das

espirais de entrada e saída. Comprimentos estes que são calculados com base no raio da curva circular escolhido.

Lee (2008, p. 183) confirma essa informação, explicando que:

Dadas duas tangentes que se interceptam num PI, com certo ângulo de deflexão (I), e uma curva circular com dado raio R, a concordância horizontal com curva de transição, envolvendo a inserção de dois ramos de espiral [...] fica definida geometricamente a partir da fixação do comprimento LC da curva de transição (espiral) a ser utilizada.

A tabela 4, extraída das Normas do Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 32), mostra os raios mínimos para uso com curvas de transição das curvas circulares, observa-se que estes dependem do parâmetro de superelevação máxima da rodovia, que depende da classe e local onde esta se posiciona.

Tabela 4 – Raios mínimos (m)

$e_{\max}$	V (km/h)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	120
6%	25	55	90	135					
8%		50	80	125	170	230			
10%				115	155	210	265	345	540

(fonte: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM, 1991, p. 32)

### 3.2.3 Estaqueamento

Lee (2008, p. 96) explica que, para conseguir caracterizar os diversos elementos constituintes da rodovia, estes devem ter sua geometria definida pelo projeto em pontos subsequentes ao longo do eixo planimétrico. Esses pontos são necessários para, no advento da execução do projeto, materializar o eixo planimétrico, além dos demais elementos de projeto, no campo.

A marcação se dá a cada 20 m a partir do início do eixo, caracterizando o ponto de partida como estaca zero. Esse processo de marcação das estacas ao longo do eixo planimétrico leva o nome de estaqueamento do eixo.

A representação de cada estaca pode ser realizada de duas maneiras, denominadas de marcação em quilômetros ou estacas. A marcação em quilômetros é representada pela distância em metros de cada estaca ao ponto de partida e a representação na forma de estaca é feita somando o número de estacas a partir do ponto inicial do eixo planimétrico.

No caso da representação do estaqueamento por quilômetros, esta se dá separando o milhar (quilômetro) da centena, pelo sinal de soma “+”. No ponto de partida até o primeiro quilômetro medido, o caractere do milhar é representado, mesmo sendo de valor zero. Quanto à precisão, são empregadas duas ou três casas decimais para a distância ao longo do eixo. Essa representação é mais utilizada para marcar no projeto os pontos característicos de concordâncias e denominar o estaqueamento nas fases mais avançadas de projeto, após a exploração.

Já a representação no formato estaca se dá pela representação do número de estacas desde o ponto de partida (estaca 0), contando a cada 20 metros uma unidade. Quando se faz necessária a representação de uma estaca que não está a um múltiplo de 20 metros do ponto de partida (estaca inteira), esta é representada pelo número de estacas inteiras imediatamente anterior seguido do sinal de “+” e finalizando com a distância, em metros, desta última estaca inteira até o ponto desejado.

Para exemplificar essas notações, imagina-se um ponto no eixo que dista 85,00 metros do ponto de partida. Na notação de quilômetros, essa estaca seria representada como 0+085,00. Caso a mesma estaca fosse representada na forma de estaca, seria 4+05,00. Observa-se que, como não é um ponto em estaca inteira, ou seja, não é múltiplo de 20 metros a partir do ponto de partida do eixo planimétrico, o estaqueamento, sob a representação de estacas, é um número composto pela parte inteira da divisão da distância por 20 (4,25), somado à diferença entre a distância e o valor inteiro multiplicado por 20 (5).

### **3.2.4 Indicadores para comparação**

A complexidade inerente aos projetos viários faz com que os mesmos sejam únicos. Isto torna difícil a classificação e ordenamento entre rodovias distintas ou mesmo entre alternativas de estudo. No entanto, a definição dos elementos geométricos de uma via apresenta características comuns entre diferentes projetos que podem ser agrupados em indicadores de desempenho. No caso do projeto planimétrico, os indicadores mais utilizados para representar

as características técnicas de uma via são o acréscimo sobre a distância em diretriz e a tortuosidade média, conforme apontam García e Albano (2004, p. 2).

#### 3.2.4.1 Acréscimo sobre a distância em diretriz

O acréscimo sobre a diretriz é uma medida relativa que é utilizada para comparar vias entre si. Este é obtido a partir da razão entre a extensão total da via sobre a distância em diretriz – neste caso o conceito de diretriz é simplesmente a distância do ponto inicial ao final da via – em porcentagem, que resulta no quanto o comprimento do eixo está acima da distância em diretriz, subtraindo uma unidade, correspondente ao percentual referente ao comprimento em diretriz. Desta forma, uma via que apresente uma extensão de 60 km e uma distância em diretriz de 50 km tem um acréscimo sobre a diretriz de 20%.

#### 3.2.4.2 Tortuosidade total e média

Conforme explica Carvalho (1967, p. 355) “[...] [o método da tortuosidade] tem por objetivo traduzir a influência das curvas nos traçados rodoviários.”. Carvalho (1967, p. 355) também indica que para esse método não são levadas em conta as rampas do traçado e que este método é útil para comparar traçados e verificar qual é o menos sinuoso e, por consequência, o mais confortável.

A tortuosidade total da rodovia, como salientado por Carvalho (1967, p. 356), não leva em consideração os trechos em tangente, portanto, o melhor traçado é definido pela menor tortuosidade. Quanto maior a tortuosidade, conseqüentemente, mais concordâncias horizontais existem, o que reflete na segurança da condução na via, como explica Nodari (2003, p. 39) que “O efeito da tortuosidade sobre a segurança rodoviária pode ser avaliado sob a ótica das distâncias de visibilidade. Trechos tortuosos impõem aos motoristas restrições de visibilidade [...] que podem afetar a direção segura do veículo.”.

De forma geral, segundo Carvalho (1967, p. 359-360), a tortuosidade de trechos dotados de curvas com e sem transição é calculada dividindo os ângulos centrais das concordâncias por seus raios. A equação 1 indica esse cálculo:

$$T_t = \frac{4}{3} \Sigma \frac{S_c}{R} + \Sigma \frac{\theta}{R} + \Sigma \frac{\widehat{AC}}{R} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$S_c$  = ângulo central de cada ramo de espiral;

$\theta$  = ângulo correspondente ao arco circular;

$\widehat{AC}$  = ângulo central das concordâncias circulares simples;

$R$  = raio de cada concordância.

Se a tortuosidade total do trecho for relacionada com sua extensão, por meio do cociente entre ambas, o resultado é a tortuosidade média por quilômetro, como considerado por Carvalho (1967, p. 356). A partir dessa medida é possível comparar qualquer traçado, levando em conta dessa forma, seu comprimento. Segundo Carvalho (1967, p. 356), isto se torna útil nos trechos de rodovia em regiões montanhosas, onde um traçado mais longo se faz mais útil, tendo em vista que tem rampas mais suaves, em média.

### 3.3 REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS

Após a concepção do eixo planimétrico e demais elementos de projeto, estes devem ser representados em relatórios tanto na forma de plantas (para os grafismos) como em texto (memórias de cálculo), de forma que a informação do projeto possa ser disponibilizada às equipes de revisão, execução e/ou para outros projetistas que continuam o desenvolvimento do projeto.

Nos próximos subcapítulos, são analisados esses dois tipos de representação e o conteúdo necessário para sua execução sob o ponto de vista do eixo planimétrico e seus componentes.

#### 3.3.1 Representação em planta

Tendo terminado a definição e cálculo dos pontos característicos do eixo planimétrico, este deve ser representado graficamente em planta para uma fácil visualização do contexto do projeto. Os elementos necessários para essa representação não são todos os calculados, pois, caso todos fossem representados, o desenho se tornaria confuso.

Desse modo, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 293) indica que os elementos necessários para a representação do eixo planimétrico em planta são:

- a) os alinhamentos representados sem muito destaque;
- b) os pontos de início e fim do eixo, juntamente com a representação de sua posição no estaqueamento em quilômetros;
- c) os pontos de interseção numerados com a indicação dos rumos correspondentes;
- d) o desenho, em destaque, do eixo planimétrico (linha contínua ligando tangentes e concordâncias horizontais);
- e) estaqueamento do eixo de 20 m em 20 m, assinalando as estacas no intervalo de cinco estacas (100 m), bem como nos quilômetros inteiros;
- f) pontos característicos das curvas circulares (PC e PT) juntamente com a representação de sua posição no estaqueamento em quilômetros;
- g) pontos característicos das curvas de transição (TS, SC, CS e ST) juntamente com a representação de sua posição no estaqueamento em quilômetros.

Além dos elementos supracitados, são representadas no projeto em planta, as tabelas contendo os parâmetros das curvas de concordância. Sendo estes dispostos em áreas que não dificultem a visualização de nenhum elemento representado no eixo planimétrico.

A escala de representação varia com o tipo de projeto, Lee (2008, p. 69) destaca que:

Para fins de projeto geométrico, as escalas convencionalmente utilizadas para as plantas planialtimétricas são:

- a) 1:2000, nos casos de projetos em zonas rurais;
- b) 1:1000, nos casos de projetos em áreas urbanas (que necessitam de maior precisão gráfica, devido às interferências com propriedades e imóveis);
- c) 1:500 ou 1:250, em casos especiais, que requerem precisão ainda maior, tais como projetos de interseções ou outros dispositivos.

### **3.3.2 Representação em relatórios**

De forma, ao complementar as informações apresentadas nos relatórios gráficos e explicitar o memorial de cálculos utilizados para a obtenção dos elementos do eixo planimétrico, faz-se necessária a representação dessas informações em forma de relatórios textuais.

A indicação de quais relatórios devem ser criados para apoiar as plantas descritas no subcapítulo anterior não é específica, todavia o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006, p. 296) indica que é necessária a criação de uma memória justificativa e descritiva do projeto contendo textos, gráficos e quadros.

Entretanto na prática profissional são empregados basicamente quatro relatórios focados na caracterização e justificativa do eixo planimétrico, que são:

- a) planilha de coordenadas, ou planilha final de coordenadas;
- b) coordenadas dos pontos notáveis;
- c) coordenadas do estaqueamento;
- d) quadro de características técnicas (planimétricas).

Albano (2009, p. 71) indica que o cálculo do estaqueamento do eixo planimétrico implica na determinação das estacas dos pontos principais das curvas (pontos notáveis) e o comprimento do trecho especificado. Esses elementos são traduzidos na forma de relatórios pela planilha final de coordenadas, coordenadas dos pontos notáveis e coordenadas do estaqueamento.

A planilha final de coordenadas representa os elementos do eixo categorizados pelos pontos de interseção, apresentando as estacas dos pontos de início e fim das concordâncias, parâmetros das curvas, intertangente entre curvas, dados dos alinhamentos (rumo e distância entre PI), projeções dos alinhamentos e coordenadas de cada PI. Os relatórios das coordenadas dos pontos notáveis e do estaqueamento são planilhas em que, para o primeiro, são listadas apenas as estacas correspondentes aos pontos principais das concordâncias com suas respectivas coordenadas. Já a planilha de coordenadas do estaqueamento explicita as coordenadas de cada estaca do eixo planimétrico.

Por fim, o quadro de características técnicas reproduz sucintamente as características gerais do projeto geométrico. A parte que diz respeito ao eixo planimétrico, segundo Albano (2009, p. 105), é composta dos seguintes elementos:

- a) raio mínimo de projeto;
- b) tangente mínima;
- c) tangente máxima;
- d) tortuosidade total;
- e) tortuosidade média;

- f) comprimento em diretriz;
- g) acréscimo sobre a diretriz (em %).

### 3.4 ANÁLISES DOS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS

Quando da criação do eixo planimétrico, ou seja, a transformação da poligonal básica no produto final formado pela composição das concordâncias horizontais com as tangentes, este pode sofrer uma série de modificações. Lee (2008, p. 64-65) complementa indicando que “No estudo de alternativas visando à ligação entre [...] [os] pontos de início e de fim [da rodovia], podem ser identificadas várias diretrizes para lançar o traçado da rodovia.”. Estas alterações podem ser desde uma modificação de raios de curvatura, até a adição ou supressão de um alinhamento, passando pela mudança de posição de um ou mais pontos de interseção.

Todo esse processo necessita de uma atenção redobrada pelo projetista, para que nenhuma condição, formada nos estudos de traçado, se perca no advento dessas modificações, tornando o projeto inviável do ponto de vista técnico ou socioeconômico.

Segundo o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991), o eixo planimétrico é de difícil normalização e não é sujeito ao estabelecimento de critérios rígidos, tanto empíricos como teóricos. É um conceito que deve ser aplicado com atenção e objetivando a segurança tanto sensorial como real do condutor.

A identificação dos elementos de análise para avaliar as inconformidades na concepção do projeto do eixo planimétrico é indispensável para antever possíveis intervenções e modificações futuras. Cabe salientar que a engenharia utiliza a matemática para realizar os projetos, mas não utiliza precisão matemática, portanto se deve conviver com os erros, todavia estes devem obedecer uma tolerância definida para cada atividade.

#### 3.4.1 Conceito de inconformidades

De uma forma sintética, as análises necessárias para a obtenção do eixo planimétrico final, subdividem-se em dois tipos, chamados de erros e alertas. Essas análises são as inconformidades, como é definido por Panitz (2007, p. 397) “[...] [inconformidade é] ausência ou falta de conformidade.”.

---

Diretrizes para desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: definição, representação e análise do eixo planimétrico.

No que tange ao aspecto dos erros, esses devem ser vistos de forma mais cuidadosa, pois, caso o projetista não os veja, eles podem acarretar problemas construtivos na via, já os alertas versam sobre a qualidade do tráfego. A boa análise desses conceitos auxilia o profissional a projetar de maneira mais eficiente e, como explica Senço (2008, p. 145), “[...] [a] boa dosagem entre retas e curvas, com maior adaptação às condições do terreno, depende o sucesso no traçado escolhido.”.

O primeiro modo de análise, então, é com relação aos elementos geométricos, principalmente às concordâncias horizontais, como, por exemplo, a sobreposição de concordâncias horizontais, resultando em intertangente negativa. Esse modo refere-se à análise de erros no projeto. Uma forma para verificar esse tipo de erro é analisar a posição das estacas dos pontos característicos das concordâncias horizontais, resultantes do cálculo das mesmas. Como essas posições são, no sentido do estaqueamento, subsequentes, caso uma estaca de um ponto de início de concordância tenha um valor menor que a estaca do final da concordância anterior, aí se tem um problema. Com o advento das técnicas computacionais, esse tipo de análise se torna mais facilitada, pois pode ser programado para que o sistema avise o projetista no momento da concepção do projeto.

O segundo modo de análise diz respeito aos aspectos relacionados aos pontos obrigados e às condições impostas pelos manuais de projeto, referentes à classe de projeto e velocidade diretriz estipuladas. Essas análises, em última instância, tratam da segurança e conforto do condutor e são definidas como alertas, pois, em alguns casos, o projetista tem a liberdade de, por motivos diversos, optar por não seguir algum desses critérios. É importante ressaltar que o não cumprimento de alguma condição imposta ao projeto, para um trecho de via, deve ser justificado e se deve tomar as providências necessárias para que, no advento da implantação desse projeto, o usuário tenha plena ciência de que, naquele trecho, existe alguma inconformidade que implique em um procedimento específico, como por exemplo, a redução da velocidade do veículo. De uma forma geral, os erros devem ser corrigidos obrigatoriamente e os alertas são indicativos de valores fora de norma que podem ser justificados pelo projetista, porém devem ser evitados.

### 3.4.2 Caracterização dos principais erros no lançamento de um eixo planimétrico

A concepção de um eixo planimétrico dá-se pelo lançamento dos trechos em tangente (alinhamentos) seguidos das concordâncias horizontais. Os erros característicos dessas operações podem ocorrer em três momentos:

- a) no lançamento dos alinhamentos por caderneta de campo;
- b) na concepção de concordâncias com grandes desenvolvimentos;
- c) na definição de desenvolvimentos em espirais elevados.

Quando do lançamento dos alinhamentos por parâmetros da caderneta de campo, onde, a partir de uma coordenada do ponto inicial da poligonal as demais são obtidas por uma distância e deflexão a partir dela, podem ocorrer erros de precisão tanto angulares, como em relação às distâncias. Esses erros são de difícil percepção além de se propagarem rapidamente. Todavia, este estilo de lançamento da poligonal caiu em desuso pois, atualmente (com a tecnologia dos equipamentos de campo), tornou-se mais eficiente o lançamento diretamente por coordenadas dos pontos de interseção da poligonal.

O segundo erro mencionado versa sobre as concordâncias lançadas com grandes desenvolvimentos, o que pode resultar, em conjunto com distâncias entre PI pequenas, em comprimentos de intertangente negativos. Esses erros podem ser observados facilmente no cálculo das estacas dos pontos notáveis, analisando se a estaca final da concordância  $n$  está em uma posição anterior à estaca do ponto inicial da concordância  $n+1$ . Se a subtração do valor da estaca  $n+1$  da estaca  $n$  resultar negativa, significa que existe um erro de intertangente onde as curvas estão se sobrepondo, e é necessária uma intervenção imediata para sanar esta inconformidade de forma a não existir um erro que inviabilize a execução do projeto.

O último erro tem relação com o comprimento da espiral de transição de entrada e saída, quando em uma concordância composta com transição em espiral, ocorre a sobreposição do desenvolvimento da parte circular. Isto pode ocorrer com a relação de três fatores em conjunto, a deflexão do ponto de interseção referente à concordância, o raio da parte circular e o comprimento das espirais de transição. Quanto maior for a deflexão do PI, com um mesmo raio, maior pode ser o comprimento das espirais de transição sem que ocorra uma

sobreposição destas na região da parte circular. Da mesma forma, mantendo-se a deflexão, mas aumentando o raio da parte circular, é possível aumentar o comprimento de transição sem a ocorrência de problemas construtivos.

Assim, com uma mesma configuração de comprimento das espirais de transição, se alterado o raio da curva circular, ou a posição do PI correspondente a esta concordância (modificando, por consequência, sua deflexão), pode haver uma sobreposição das espirais de transição, acarretando em um desenvolvimento circular negativo. Este erro, então, pode ser observado diretamente no cálculo do desenvolvimento circular da concordância, caso este seja negativo o projetista deve ser alertado de forma a corrigir o problema, diminuindo o comprimento em espiral ou procedendo a uma das operações supracitadas.

### **3.4.3 Caracterização dos principais alertas no lançamento de um eixo planimétrico**

Vias urbanas, rodovias e ferrovias são exemplos de sistemas viários que apresentam características próprias em termos tanto construtivos como de utilização. Conforme sua finalidade, seja no exemplo de uma via urbana, para oferecer maior mobilidade ou acessibilidade, ou em uma rodovia, no caso desta ser uma ligação entre pequenos municípios com baixo volume de tráfego ou uma rodovia federal de grande volume, existem padrões normativos diferenciados que definem as condicionantes de projeto (condições de contorno).

Os manuais e normas procuram definir parâmetros mínimos e máximos para determinadas características que resultam em uma via confortável em termos de usabilidade. Em rodovias, mais especificamente, com relação ao eixo planimétrico, os parâmetros definidos pelos manuais de projeto são:

- a) os raios mínimos das concordâncias horizontais utilizando curvas compostas com transição;
- b) os raios mínimos para curvas circulares simples, ou raios mínimos que dispensam o uso de curvas de transição;
- c) comprimento mínimo em tangente;
- d) comprimento máximo em tangente.

Os parâmetros citados acima, caso não tenham seus intervalos de valores respeitados, caracterizam inconformidades, todavia, não podem ser descritos como erros, tendo em vista

que não acarretam problemas construtivos na via. Dessa forma, esses elementos quando fora dos padrões estabelecidos pelos manuais de projeto, caracterizam alertas ao projetista, pois podem ser utilizados, mediante justificativa, mas não negligenciados. Nos subcapítulos a seguir, essas características são vistas individualmente.

#### 3.4.3.1 Raio mínimo com transição

Os raios mínimos para as concordâncias horizontais com transição em espiral, indicados na Tabela 4, apresentada no subcapítulo 3.2.2.2, definem os raios de curvatura variando conforme a velocidade diretriz e a superelevação máxima da via. Quanto menor a superelevação da via, um raio maior se faz necessário, de forma contrária, quanto menor a velocidade diretriz, menor o raio necessário para que o veículo de projeto possa trafegar pela concordância de maneira segura.

Dadas as características supracitadas, após a definição da categoria da via e do veículo tipo, é fixado um raio mínimo a ser respeitado no projeto. O não cumprimento desse fator implica em uma redução das características geométricas do trecho da via afetado, limitando diretamente a velocidade operacional daquele trecho. Isto remete a um alerta que deve ser observado e, caso não haja como ser feita a conformidade dessa concordância, apesar deste procedimento não ser indicado, o projetista deve alterar a velocidade de projeto do trecho específico e indicar, quando da materialização da via, por meio de sinalização, essa alteração.

#### 3.4.3.2 Raio mínimo em curva circular

A Tabela 3, do subcapítulo 3.2.2.1, apresenta os valores dos raios mínimos que dispensam as curvas compostas com transição em espiral, segundo o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 33). A partir dessa tabela é possível caracterizar que quanto maior a velocidade de projeto de uma via, maior é o raio mínimo necessário para que seja possível implantar uma concordância que dispense a transição.

O não cumprimento dessa característica resulta em um alerta, pois, mesmo não representando um problema para a geometria da via, implica em um desconforto para o ocupante do veículo que trafega por esta e limita a segurança da via. Para que não haja perda de características geométricas, podem ser realizados os mesmos procedimentos do subcapítulo anterior, todavia, a modificação de uma curva simples para uma curva composta com transição é bastante

simples com as técnicas computacionais, sendo este procedimento o mais indicado, tendo em vista a qualidade que esta alteração proporciona, conforme recomenda o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 145) que “[...] tanto quanto possível, as curvas circulares sejam dotadas de curvas de transição, mesmo naqueles casos onde, pelos critérios usuais, estas seriam dispensáveis.”.

#### 3.4.3.3 Tangente mínima

O trecho de tangente entre concordâncias horizontais deve possibilitar que um veículo seguindo na velocidade de projeto da via possa “sair” de uma concordância e “entrar” na próxima de forma segura. Para que esse procedimento seja possível, se faz necessário um comprimento mínimo em tangente, principalmente quando do advento de duas concordâncias consecutivas para a mesma direção – que devem ser evitadas, segundo o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 145), sob aspectos operacionais e de aparência – todavia, caso esta solução seja inevitável, o comprimento mínimo em tangente entre essas concordâncias deve ser, conforme descreve o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 145), “[...] superior ao percurso de aproximadamente 15 segundos percorrido à velocidade diretriz  $V$  [...]”, o que resulta em 4 vezes a velocidade de projeto em km/h.

Esse comprimento deve ser calculado, também, para propiciar a variação contínua da superelevação da via, desde seu valor máximo na curva ao valor do abaulamento da pista e deste à superelevação máxima da concordância subsequente. Albano (2009, p. 68) ressalta que “A distribuição da superelevação [...] existente nas curvas horizontais, inicia antes e termina depois dos pontos de tangência. Por este motivo, é necessário prever um comprimento mínimo entre curvas consecutivas.”.

Para o caso das curvas circulares simples, a intertangente mínima é calculada pela soma das parcelas da distribuição da superelevação em tangente – correspondente a 60% da distribuição total em curvas circulares, conforme explica o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 157) – das concordâncias anterior e posterior ao trecho observado. No caso das concordâncias compostas com transição em espiral, a intertangente mínima é calculada da mesma forma, todavia o comprimento da distribuição em tangente é calculado, segundo Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 158), pela equação 2:

$$l'_c = \frac{i \times L_c}{SE_c} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$l'_c$  = comprimento da distribuição da superelevação em tangente;

$i$  = inclinação transversal da pista (abaulamento);

$L_c$  = comprimento da espiral de transição;

$SE_c$  = superelevação máxima da curva.

Somando os  $l'_c$  da concordância anterior com a posterior, tem-se a intertangente mínima naquele trecho. Para trechos com uma curva de transição e uma curva circular simples, calcula-se a intertangente mínima a partir da soma das projeções da superelevação em tangente de cada curva, por seus métodos particulares, analogamente às concordâncias de mesmo tipo. Assim, os alertas gerados dependem dos parâmetros das concordâncias e só podem ser calculados aos pares.

#### 3.4.3.4 Tangente máxima

Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 143) em seu anexo 5, recomenda que os trechos em tangente de uma rodovia sejam limitados a um percurso de 1,5 minutos percorridos à velocidade diretriz da via. Isto porque uma rodovia com trechos em tangente muito prolongados – desejáveis em ferrovias – além de não serem esteticamente desejáveis, podem causar monotonia para o motorista e problemas de ofuscamento noturno.

Apesar de ser um aspecto mais subjetivo e, segundo o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (1991, p. 143), ser de difícil normatização, é recomendado que o trecho em tangente máximo entre duas concordâncias siga a equação 3:

$$T < 25V \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$T$  = valor da intertangente (m);

$V$  = velocidade diretriz (km/h).

O cálculo do alerta gerado pelo não cumprimento da intertangente máxima é resultado da comparação entre a intertangente analisada e o valor máximo estabelecido. De forma que este é resultado apenas da velocidade diretriz do projeto.

## 4 ESTUDO DOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS

O ambiente de projetos viários vem se transformando desde o advento da computação, de modo que os projetos realizados atualmente são, em sua maioria, concebidos em meio digital. Essa transformação de ideologia agrega uma agilidade inerente à informatização, pelo fato de que um computador realiza milhares de cálculos complexos em uma fração de tempo, se comparado a um ser humano, contudo, a exigência por projetos cada vez mais complexos também se faz necessária.

Para atender essas condições atualmente enfrentadas pelos projetistas não só no ambiente nacional, como mundial, duas empresas (Autodesk e Char Pointer) se destacaram por oferecer sistemas informatizados que atendem esse nicho de mercado de projetos de infraestrutura em escala mundial. Todavia os sistemas oferecidos respeitam os padrões de projetos de determinados países, e, para culturas diferentes, estes devem ser modificados para atender-las.

Ambos os sistemas comportam uma configuração personalizada de modo a tentar atender às representações gráficas conforme a ótica de projetos nacional. Porém estes não necessariamente trabalham, no ambiente de projeto, com as especificações consolidadas no Brasil.

Nos subcapítulos a seguir, é realizado um estudo sobre como esses dois sistemas computacionais definem, representam e analisam um eixo planimétrico exemplo. Este eixo tem algumas características chave, sendo possível reconhecer pontos positivos e limitações dos sistemas computacionais estudados.

O eixo de exemplo é caracterizado por ser para uma rodovia Classe 1-A em terreno montanhoso. Isso leva a uma velocidade diretriz, conforme Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens (1991, p. 20), de 60 km/h, com uma taxa de superelevação máxima de 10% e um raio mínimo de curvatura horizontal de 115 m. Além dessas características, o eixo é dotado de duas curvas compostas com transição em espiral, com sentidos distintos e mesmos parâmetros. O raio de projeto adotado é de 200 m, o que resulta em um desenvolvimento em espiral mínimo, segundo cálculo apresentado por Albano (2009, p. 65), de 38,8 m, sendo que este pode ser arredondado para cima em múltiplos de 10 m, resultando

---

Diretrizes para desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: definição, representação e análise do eixo planimétrico.

em um desenvolvimento mínimo de 40 m (cabe ressaltar que o autor recomenda um valor mínimo de 50 m). Já a intertangente mínima entre as concordâncias, conforme cálculo indicado em 3.4.3.3, é de 20 m.

#### 4.1 AUTOCAD<sup>®</sup> CIVIL 3D<sup>®</sup>

O primeiro sistema a ser estudado é o AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup>, desenvolvido pela empresa Autodesk, um dos sistemas mais difundidos no mercado nacional. Este é oferecido, em sua versão padrão, com um pacote adaptado para o Brasil. Porém, este pacote é baseado no manual Americano de projetos, intitulado *Geometric Design of Highways and Streets* da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, 2004) adaptado para os padrões de representação do Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo (DER-SP), que diferem da representação utilizada nos demais estados do Brasil. Já a versão padrão trabalha sob o manual de projetos americano, na versão de 2001.

Apesar de ter um pacote destinado ao ambiente nacional, o AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup>, em seu ambiente de projeto, trabalha da mesma forma, independente do pacote utilizado. Isto significa que o pacote Brasil é apenas uma “máscara” para a representação final do projeto, o que implica em algumas dificuldades específicas.

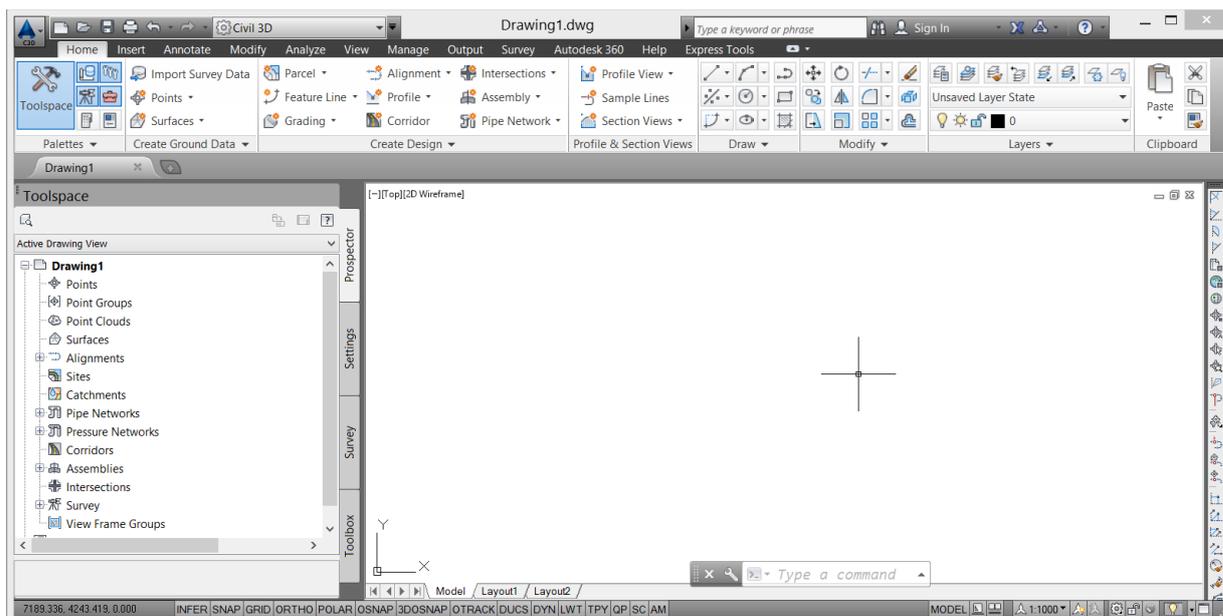
A primeira dificuldade é que o AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> processa os dados somente em forma métrica, ou seja, caso se deseje inserir os dados do eixo planimétrico em forma de estacas (comum nas fases iniciais do projeto) não é possível, tendo o projetista que inserir sempre na forma de quilômetros. Outra dificuldade é a linguagem, somente disponibilizada em Inglês, faz com que a leitura dos comandos seja dificultosa para os projetistas que não dominam a língua inglesa ou os termos técnicos estrangeiros para as ferramentas de projeto. Ambas as dificuldades tornam o aprendizado oneroso em termos de tempo e financeiros para os projetistas que desejem utilizar essa ferramenta.

Por outro lado, o sistema AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> oferece uma variedade de ferramentas tanto para modelagem de ambiente como para modelagem de projetos, não somente viários, como de terraplenagem e de drenagem. Focando nos projetos viários, o AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> oferece ferramentas desde a confecção da modelagem do terreno, criação da planimetria, altimetria, seções transversais, passando pela modelagem tridimensional do corredor da via, e

finalizando na criação de relatórios em planta e escritos, cabendo ressaltar que estes últimos não obedecendo aos padrões nacionais.

Quanto à interface do sistema, esta é disposta em três grandes grupos, conforme figura 5. Um menu superior em forma de faixa contém todas as ferramentas necessárias para a concepção dos projetos, mesclando ferramentas específicas com ferramentas CAD (*computer aided design*). À esquerda, está localizado um painel de ferramentas no qual é possível acessar seções referentes ao projeto, como a listagem de elementos de projeto (superfícies de terreno, alinhamentos de projeto, pontos e corredores), configurações gerais do projeto e de estilos específicos para cada elemento, opções de entrada de dados de estações de campo e opções de relatórios de texto. Esses dois grupos são dispostos em torno da área de trabalho CAD que é a base do sistema, em que se dá a interação massiva com os elementos criados pelo sistema.

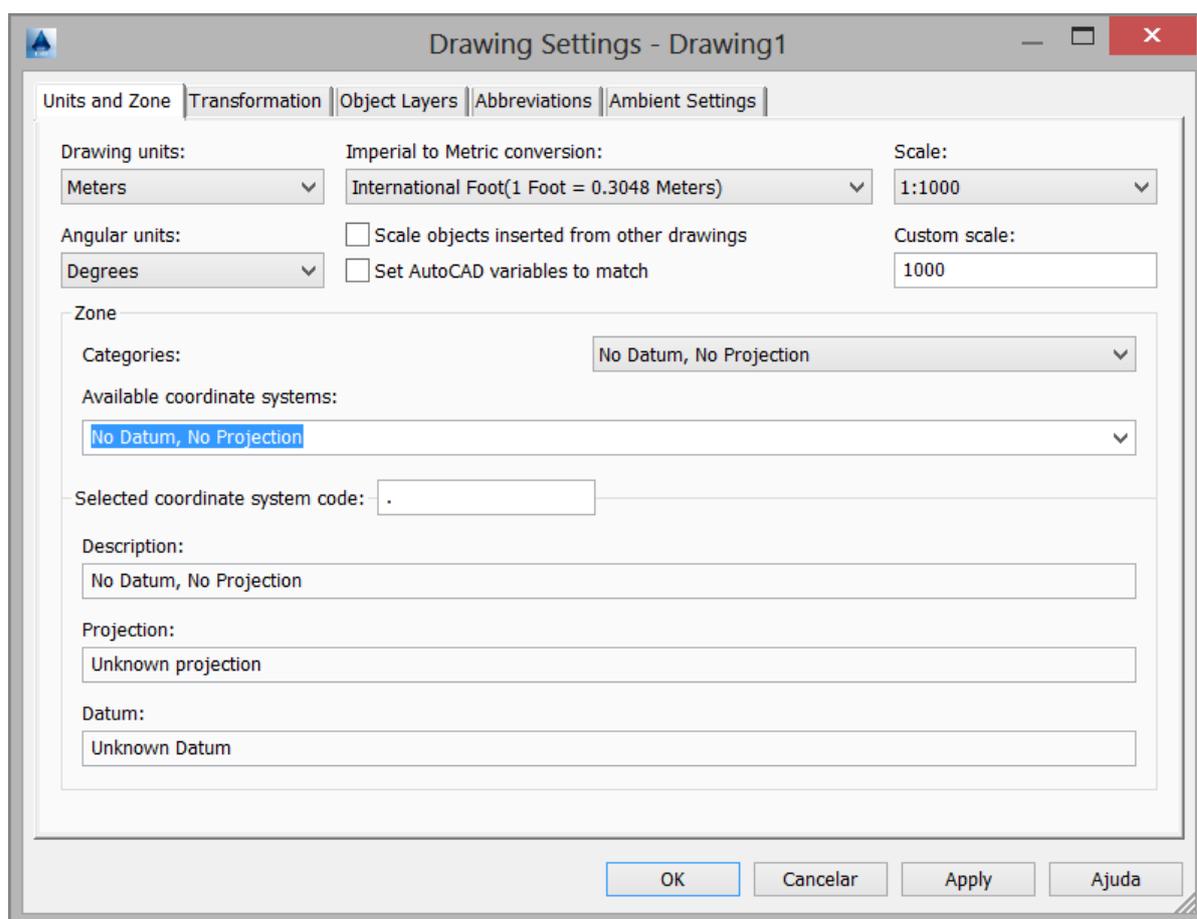
Figura 5 – Interface do AutoCAD® Civil 3D®



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Para que um projetista possa iniciar os trabalhos no AutoCAD® Civil 3D® é necessário atentar para as configurações iniciais deste, que estão localizadas no painel de ferramentas e são mostradas como na figura 6. Estas dizem respeito ao referencial topográfico do projeto, o sistema de unidades adotado e a escala de visualização padrão a ser utilizada pelo sistema.

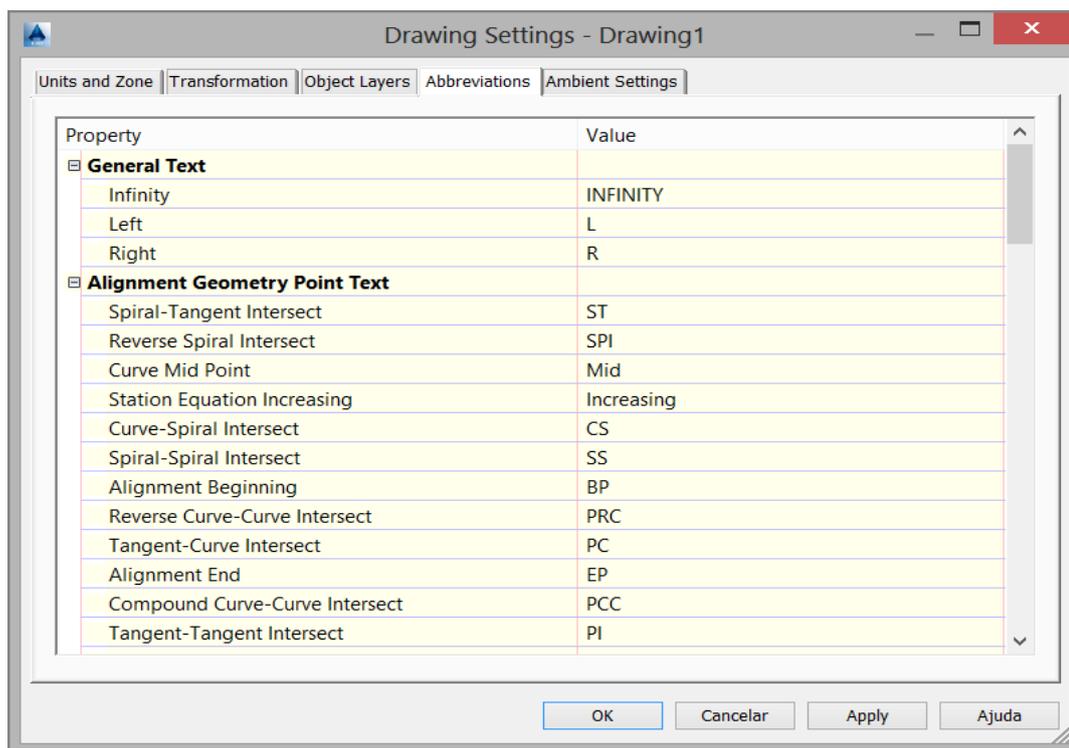
Figura 6 – Janela de configurações do projeto (unidades e zonas)



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Ainda nessas configurações é possível modificar a forma como o AutoCAD® Civil 3D® representa as nomenclaturas dos pontos notáveis da via – em termos do eixo planimétrico, os pontos de início e final de curvas horizontais, por exemplo – como é visto na figura 7. Um ponto negativo é que mesmo no pacote destinado ao mercado Brasileiro essas nomenclaturas estão no padrão americano. Nas configurações de ambiente, também é possível definir a precisão adotada para a representação dos elementos, bem como todas as unidades relacionadas ao projeto.

Figura 7 – Janela de configurações do projeto (abreviações)



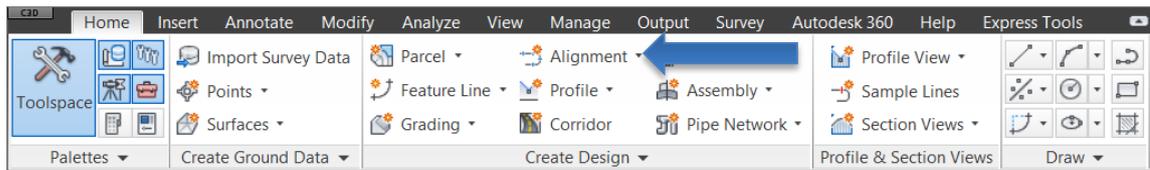
(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

A partir da configuração geral do sistema é possível iniciar a criação do projeto, partindo da definição de um eixo e interagindo com o sistema até a confecção dos relatórios. Nos subcapítulos a seguir, é feita a descrição dos procedimentos necessários para definir as diversas etapas de projeto sob o ponto de vista do eixo planimétrico e seus componentes utilizando, para todos os procedimentos, os estilos padrões.

#### 4.1.1 Definição dos elementos característicos

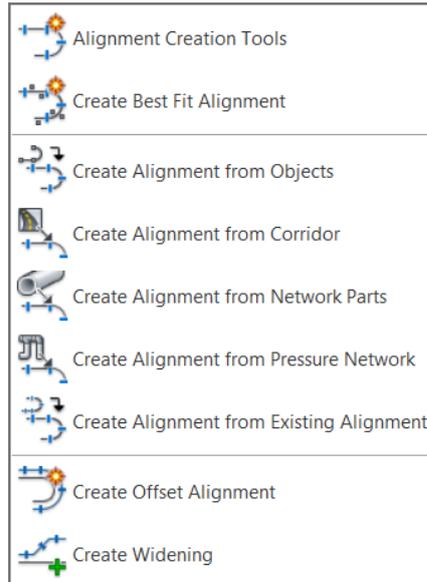
No AutoCAD® Civil 3D® é possível iniciar a criação de um eixo planimétrico através de várias maneiras, todavia, no presente trabalho, é estudada a forma de criação a partir do lançamento de uma poligonal diretamente pela ferramenta de criação de alinhamentos (no sistema, o eixo planimétrico é chamado de alinhamento, mesmo contendo concordâncias). Para isto é necessário criar um alinhamento acessando no menu correspondente (figura 8), a opção “*Alignment Creation Tools*”, conforme indicado na figura 9.

Figura 8 – Barra de menus superior (criação de alinhamento)



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

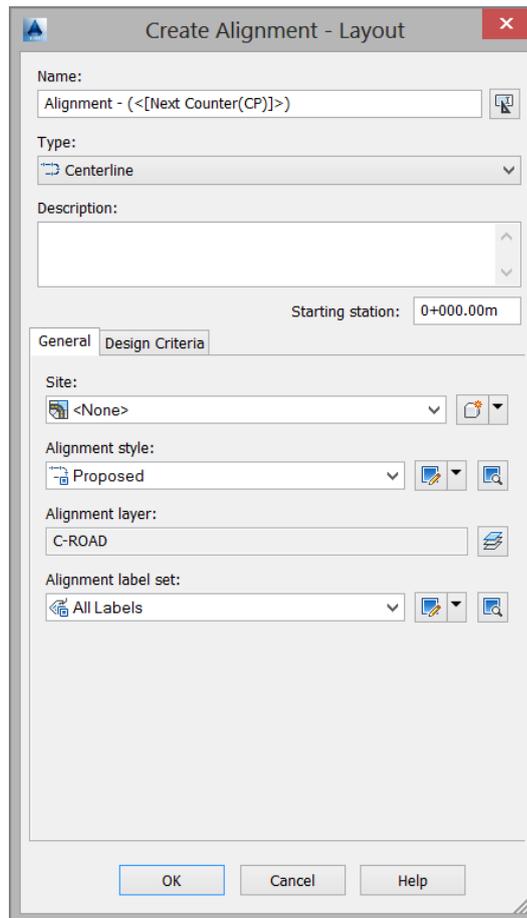
Figura 9 – Menu para criação de alinhamentos



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

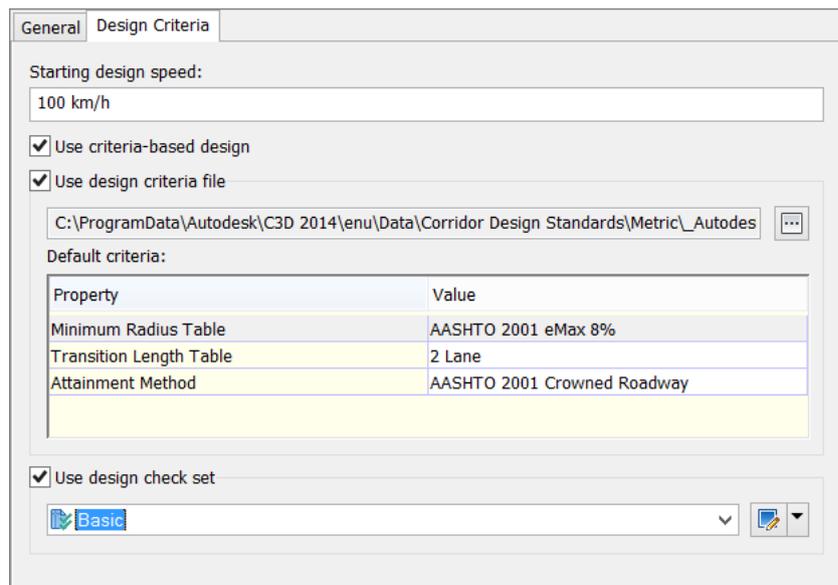
Então é necessário inserir o nome do alinhamento, estaca de início e escolher os estilos de representação, figura 10. Também é possível escolher os parâmetros referentes aos critérios de projeto, como velocidade diretriz, manual de projetos utilizado (AASHTO 2001 ou 2004) e a checagem de projeto utilizada (figura 11).

Figura 10 – Janela de criação de alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

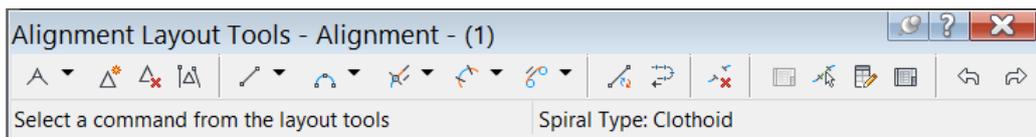
Figura 11 – Painel para escolha dos critérios de projeto



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

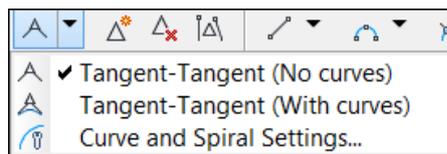
Após confirmar as escolhas o alinhamento é criado e surge uma barra de ferramentas flutuante que contém os elementos para a concepção do eixo, figura 12. Nessa barra de ferramentas existe a opção de criar um alinhamento diretamente inserindo do ambiente CAD os pontos de Interseção (figura 13), ou, a partir da configuração de uma concordância horizontal – simples ou composta – padrão (figura 14), inserir o alinhamento e as concordâncias automaticamente.

Figura 12 – Barra de ferramentas de criação de alinhamento



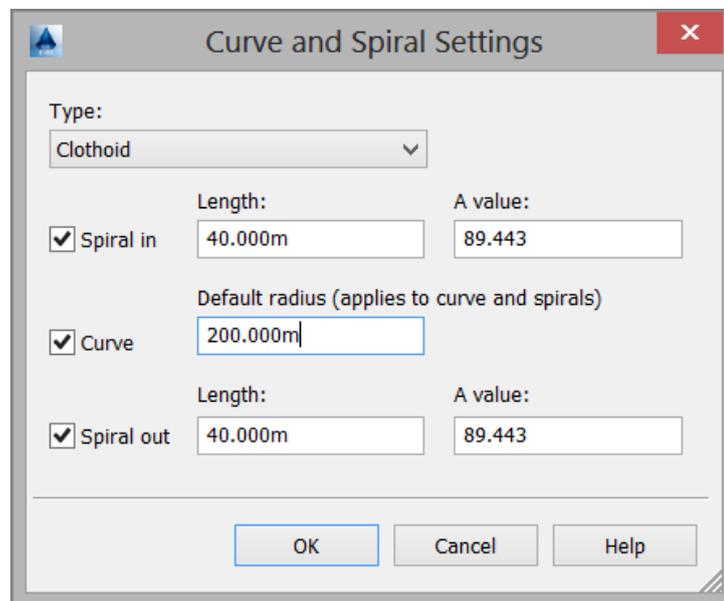
(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 13 – Opções de criação de alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 14 – Janela de configuração dos estilos de concordâncias padrões

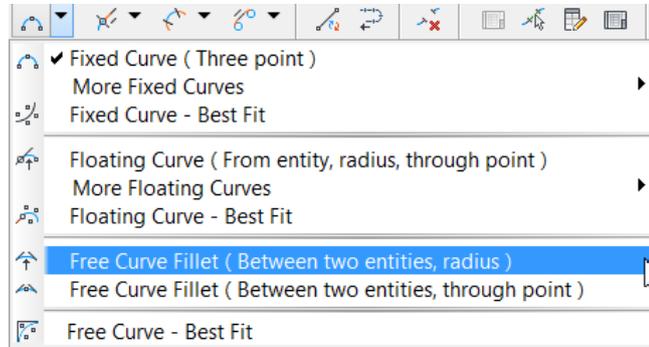


(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Se a criação for feita simplesmente pelos pontos de interseção, nessa mesma barra de ferramentas é possível encontrar formas de inserir concordâncias, por diversas formas de

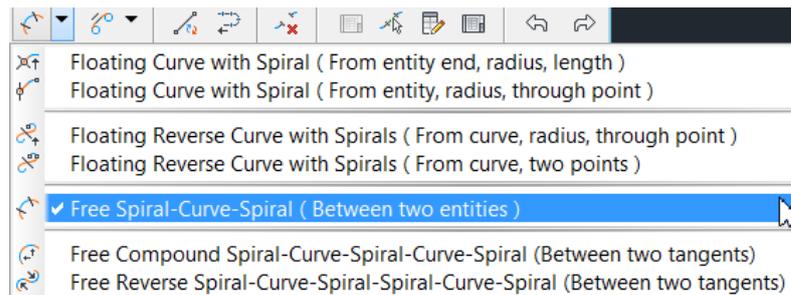
definição, simples (figura 15) ou compostas com transição em espiral (figura 16), além de outros tipos de concordâncias não abordados nesse trabalho.

Figura 15 – Opções de criação de concordâncias circulares simples



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

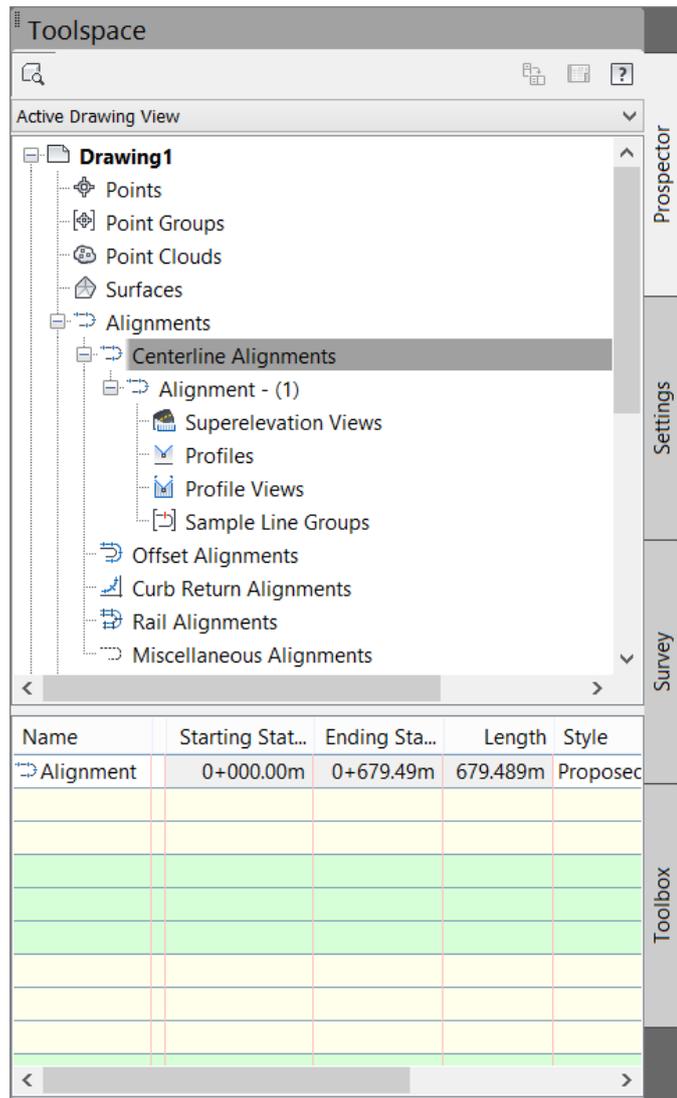
Figura 16 – Opções de criação de concordâncias compostas com transição



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Após a definição do eixo, é possível editá-lo simplesmente selecionando o desenho formado ou procedendo a seleção deste pelo painel esquerdo no qual este fica localizado, conforme figura 17. Ainda nesse painel é possível, em sua parte inferior, visualizar algumas informações sobre o eixo, como estaca inicial, final e comprimento total.

Figura 17 – Painel de ferramentas (visualização dos alinhamentos no projeto)

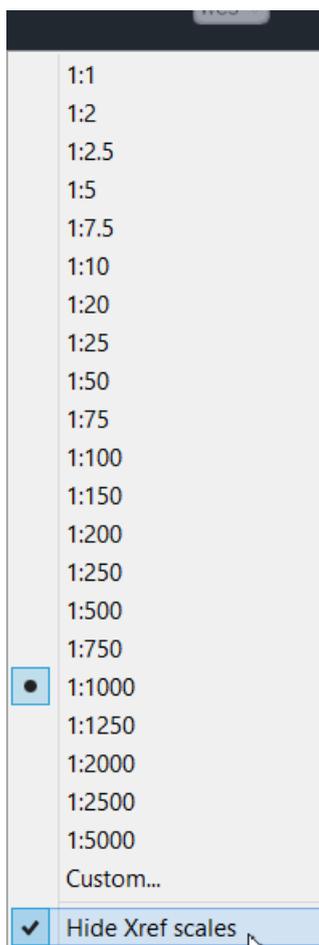


(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

#### 4.1.2 Representação dos elementos característicos

A representação utilizada depende do estilo escolhido. É possível representar o eixo conforme o usual: no pacote brasileiro existe um estilo em que o estaqueamento é mostrado na forma de estacas. O tamanho dos textos mostrados no desenho variam conforme a escala escolhida no ambiente CAD, figura 18, o qual contém as escalas mais usuais para o projeto.

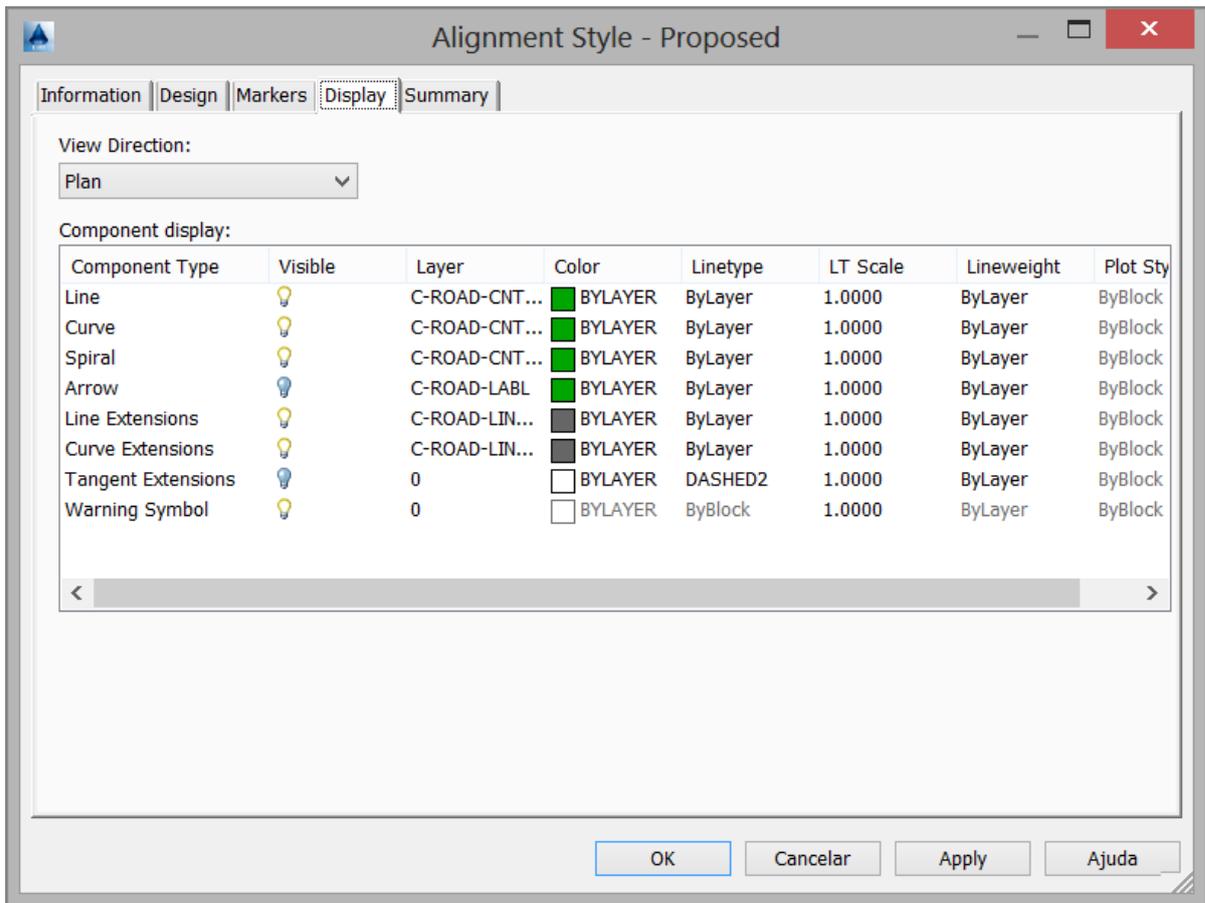
Figura 18 – Opções de escala padrão



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

O AutoCAD® Civil 3D® utiliza uma representação fortemente definida por estilos o que faz com que a representação seja totalmente customizável pelo usuário que pode definir, para cada eixo, acessando suas propriedades, qual elemento exibir (figura 19) por meio da ativação ou não das diversas camadas de desenho envolvidas. Porém essa qualidade agrega uma complexidade tal, que para modificar todos os estilos necessários para o ambiente nacional, é necessário um profundo conhecimento do sistema. Um exemplo disso é a modificação, na versão padrão do sistema, da representação das estacas de quilômetros para estacas.

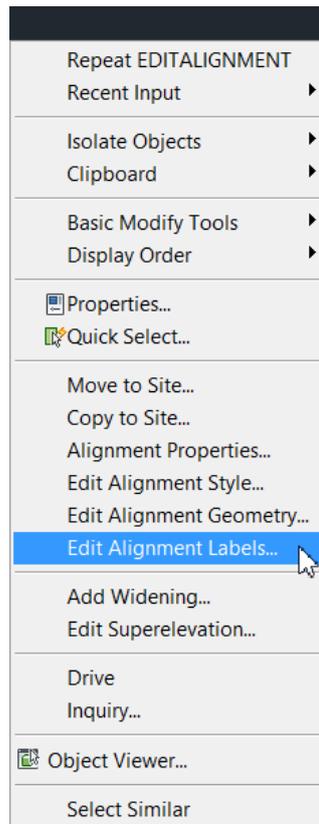
Figura 19 – Janela de estilo do alinhamento (visualização dos elementos)



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

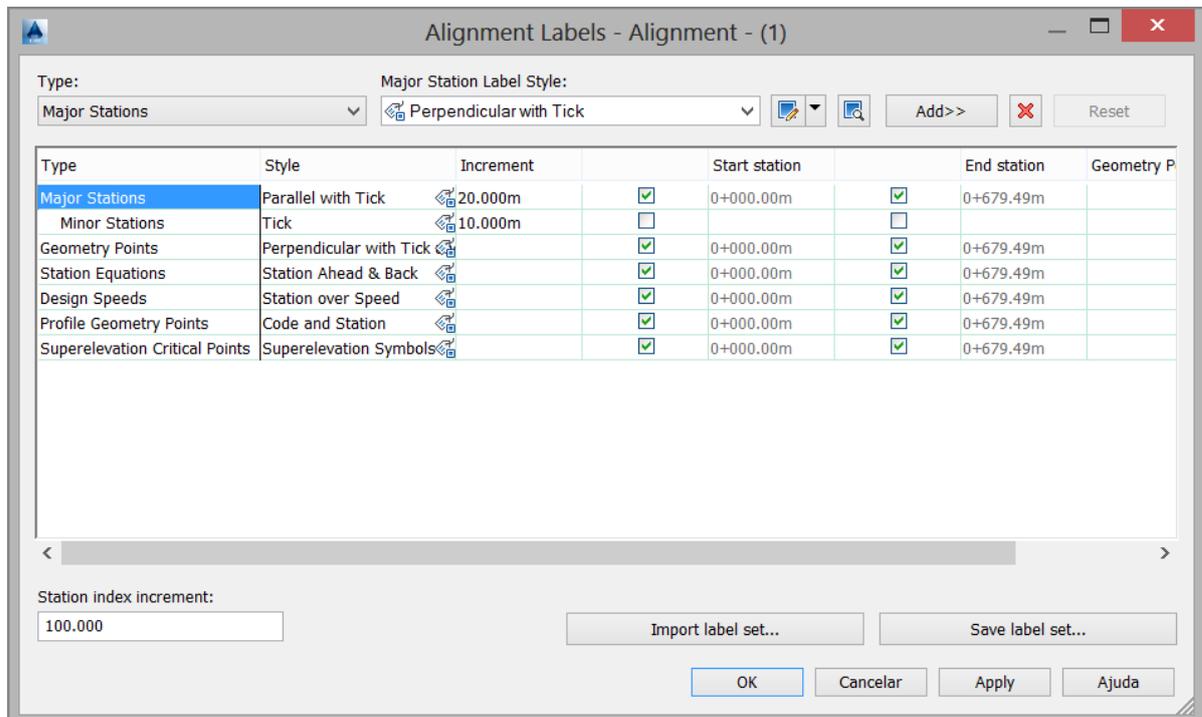
Para proceder a esta modificação, primeiramente é necessário selecionar o eixo, então, com o uso do botão direito do mouse na área de trabalho, escolher a opção de edição das “Labels” do alinhamento (figura 20). Então selecionar o estilo correspondente as estacas (figura 21), modificar o incremento para 20 m e editá-lo modificando sua formatação para “*station format*” (figura 22). Para fins de simplificação as telas intermediárias para chegar às configurações de formatação foram omitidas.

Figura 20 – Menu de contexto da seleção do alinhamento



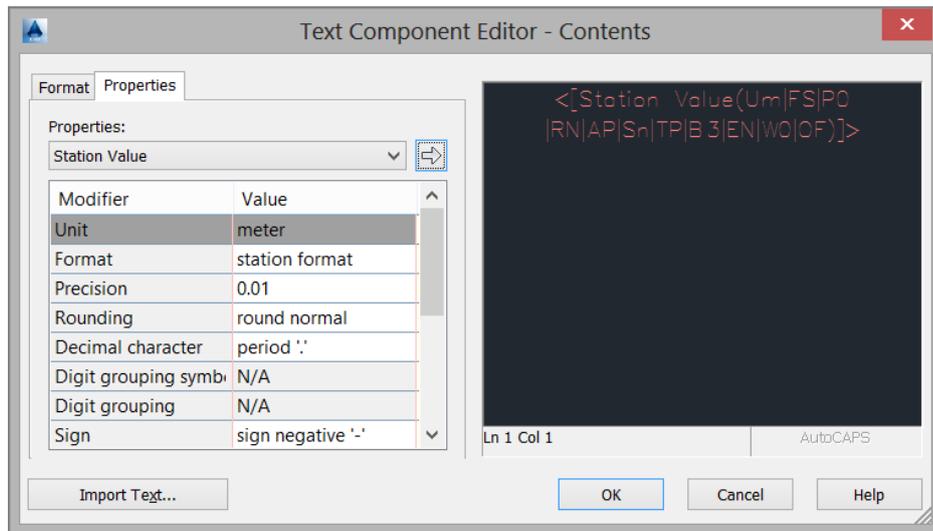
(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 21 – Janela de edição dos rótulos do alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 22 – Editor de texto das informações das estacas



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

O eixo é representado na área de trabalho conforme ilustrado na figura 23. Para representar esse formato foi necessário modificar, além dos estilos das estacas, a nomenclatura dos pontos notáveis conforme apresentado no subcapítulo anterior.

Figura 23 – Representação do eixo planimétrico no AutoCAD® Civil 3D®

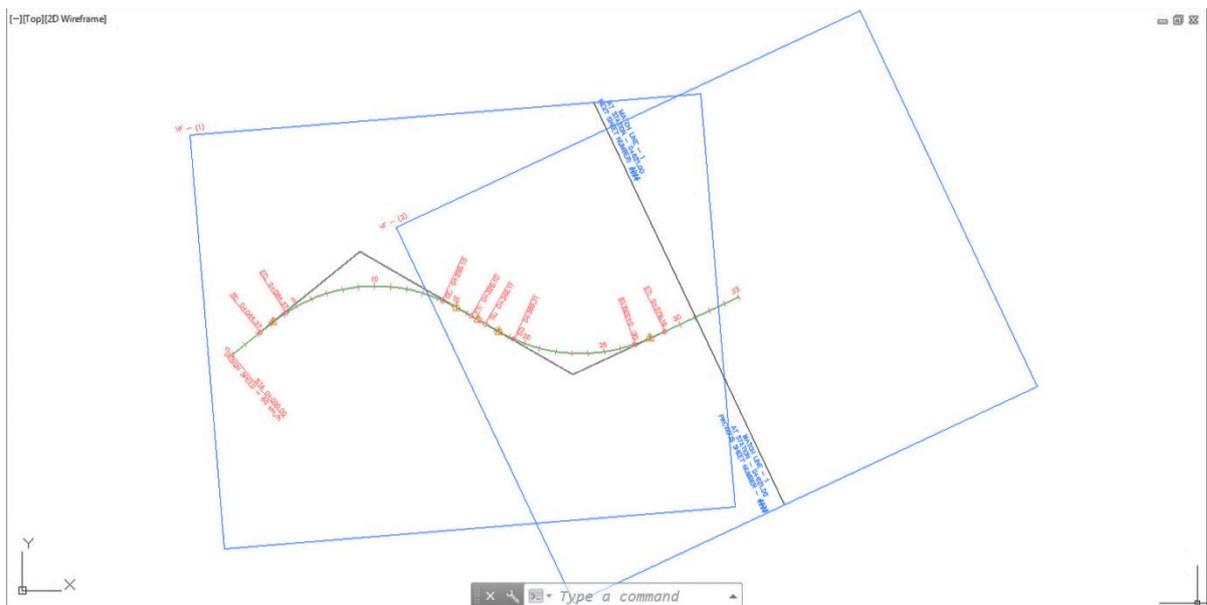


(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

A partir da criação do eixo e da modificação do estilo de representação, é possível preparar as pranchas para impressão de forma automática. Para isso é necessário criar grupos de quadros, nas quais se faz a divisão das pranchas do projeto, e definir os estilos de folhas e escalas a ser utilizados pelo sistema. A versão padrão não contém estilos aplicáveis ao ambiente nacional e

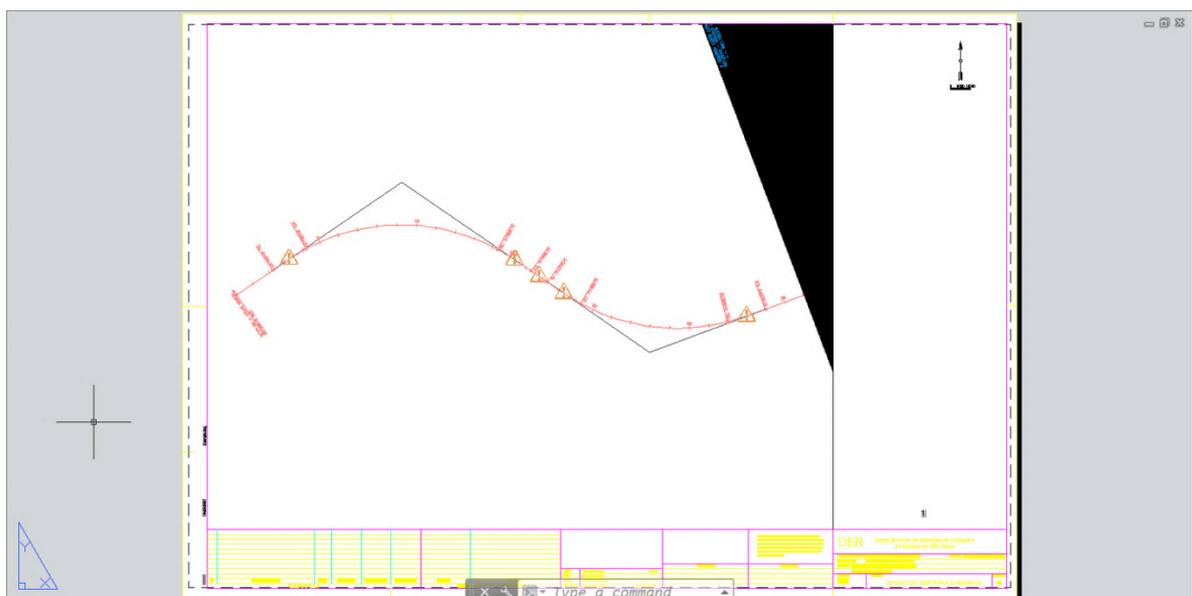
a versão do pacote Brasileiro contém apenas os padrões do DER-SP. Utilizando os padrões do pacote brasileiro, para uma prancha em escala 1:1000 em folha de tamanho A1, os quadros são representados na área de trabalho conforme figura 24 e aparecem no ambiente de impressão conforme figura 25. A figura 26 mostra o detalhe do selo do padrão utilizado pelo pacote Brasileiro, enfatizando a questão da representação pelo padrão DER-SP.

Figura 24 – Representação dos quadros de impressão sobre o eixo planimétrico



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 25 – Prancha planimétrica do pacote Brasileiro do AutoCAD® Civil 3D®



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

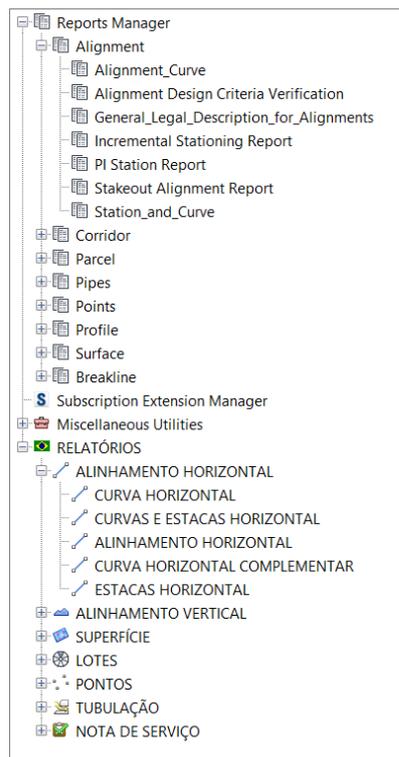
Figura 26 – Detalhe do selo padrão do pacote Brasileiro do AutoCAD® Civil 3D®

<b>DER</b> Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo		
EMPREENDIMENTO: <CÓDIGO E NOME DA RODOVIA>		TRECHO: <TRECHO DE PROJETO>
SUB-TRECHO: <SUBTRECHO DE PROJETO>		
OBJETO: PROJETO EXECUTIVO DE XXXXXXXXX		
<TÍTULO DO DESENHO>		
ESCALA: H=1:xxxx V=1:xxxx	CÓDIGO:  <b>CODIGO DO DER PARA O DESENHO</b>	REVISÃO  A1

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Já para os relatórios em texto, estes estão disponíveis para acesso no painel esquerdo, conforme mostrado na figura 27, em que aparecem os relatórios dos alinhamentos padrões do sistema e os implantados no pacote brasileiro (listagem em português).

Figura 27 – Relação de relatórios disponíveis no AutoCAD® Civil 3D®



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

O pacote padrão do AutoCAD® Civil 3D® cria relatórios em texto contendo as informações das concordâncias horizontais, figura 28, as coordenadas por estaca (figura 29) e as estacas dos PI com o rumo e a distância entre eles (figura 30). Todos esses relatórios são criados em arquivos no formato XML e podem ser abertos em sistemas como o Microsoft Excel®.

Figura 28 – Relatório de curvas do alinhamento

<b>Alignment Curve Report</b>		<b>Client:</b> Client Company	
<b>Project Name:</b> C:\Users\Fernando\Documents\Dropbox\UFRGS-2013-2\tcc-2\TCC v1.0\Analise Sistemas\AutoCAD Civil 2014\Exemplo.dwg		<b>Project Description:</b>	
<b>Report Date:</b> 18/10/2013 16:42:13		<b>Prepared by:</b> Preparer	
<b>Alignment: Alignment - (1)</b>			
<b>Description:</b>			
<u>Tangent Data</u>			
Length:	44.375	Course:	N 50° 51' 49.5107" E
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	40.000	L Tan:	26.681
Radius:	200.000	S Tan:	13.346
Theta:	05° 43' 46.4806"	P:	0.333
X:	39.960	K:	19.993
Y:	1.332	A:	89.443
Chord:	39.982	Course:	N 52° 46' 24.4221" E
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	57° 47' 21.8873"	Type:	RIGHT
Radius:	200.000		
Length:	201.723	Tangent:	110.382
Mid-Ord:	24.898	External:	28.438
Chord:	193.281	Course:	N 85° 29' 16.9350" E

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 29 – Relatório de estacas incrementais do alinhamento

<b>Alignment Incremental Station Report</b>			
<b>Client:</b> Client Client Company Address 1 Date: 18/10/2013 16:41:19		<b>Prepared by:</b> Preparer Your Company Name 123 Main Street	
Alignment Name: Alignment - (1)			
Description: Station Range: Start: 0+000.00, End: 67+949.00 Station Increment: 20.00			
Station	Northing	Easting	Tangential Direction
0+000.00	3,137.1526m	1,675.3139m	N50° 51' 50"E
0+020.00	3,149.7759m	1,690.8269m	N50° 51' 50"E
0+040.00	3,162.3992m	1,706.3398m	N50° 51' 50"E

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 30 – Relatório das estacas dos PI

## Alignment PI Station Report

**Client:** Client  
**Client Company:** Your Company Name  
**Address 1:** 123 Main Street  
**Date:** 18/10/2013 16:37:50

**Prepared by:** Preparer  
**Your Company Name:** Your Company Name  
**123 Main Street:** 123 Main Street

---

**Alignment Name:** Alignment - (1)  
**Description:**  
**Station Range:** Start: 0+000.00, End: 67+949.00

PI Station	Northing	Easting	Distance	Direction
0+000.00	3,137.1526m	1,675.3139m		
			71.055m	N50° 51' 50"E
0+071.06	3,182.0002m	1,730.4277m		

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

No pacote destinado ao Brasil é possível criar três relatórios que são mais compatíveis com os padrões de projeto nacional. São estes o relatório de alinhamento horizontal (figura 31) e o relatório de alinhamento horizontal complementar (figura 32) e o relatório de alinhamento horizontal por estaca (figura 33). Ambos são criados no formato XLS e podem ser abertos diretamente no Microsoft Excel®.

Figura 31 – Relatório de alinhamento horizontal

**Relatório de Alinhamento Horizontal**

Alinhamento: Alignment - (1)

CURVA Nº	COORDENADAS PI	AZIMUTE	COORDENADAS					ESTACA				
			CC	TE ou PC	EC	CE	ET ou PT	INICIAL/TE/PC	EC	CE	ET/PT/FIM	
INICIO	Y	3137,1525734										
	X	1675,3139305							0+0,000			
1	Y	3265,0861604	50°51'49,51"	3022,3915054	3165,1602897	3189,3482621	3204,5531125	3185,6579675				
	X	1832,5328522		1851,6843215	1709,7329057	1741,5687395	1934,2503491	1969,4859566	2+4,375	4+4,375	14+6,098	16+6,098
2	Y	3112,9178536	120°06'44,35"	3338,8849617	3175,6185997	3156,7233547	3150,3233742	3166,1325814				
	X	2094,9068910		2104,5976565	1986,7960214	2022,0316289	2171,2649475	2207,9888809	17+6,108	19+6,108	26+19,188	28+19,188
FIM	Y	3208,8402550	64°47'56,44"									
	X	2298,7432438										33+19,489

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 32 – Relatório de alinhamento horizontal complementar

**Relatório de Alinhamento Horizontal Complementar**

Alinhamento: Alignment - (1)

Curva Nº	Deflexão	Curva de Transição							Curva Circular			
		Lc	Ang. Espiral	Xc	Yc	TI	Tc	Ts	R	Ac	T	D
1	110°45'05,15"	40	5°43'46,48"	39,960019	1,332381	26,680648	13,346045	13,21236				
		40	5°43'46,48"	39,960019	1,332381	26,680648	13,346045	13,21236	200,0000	57°47'21,88"	110,381824	201,723106
2	124°41'12,8"	40	5°43'46,48"	39,960019	1,332381	26,680648	13,346045	13,21236				
		40	5°43'46,48"	39,960019	1,332381	26,680648	13,346045	13,21236	200,0000	43°51'14,95"	80,509297	153,079877

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 33 – Relatório de alinhamento horizontal por estaca

## Relatório de Alinhamento Horizontal por Estaca

Alinhamento: Alignment - (1)

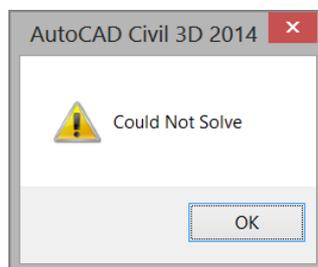
Estaca	Norte	Este
0+0,000	3137,1525734	1675,3139305
1+0,000	3149,7759060	1690,8268759
2+0,000	3162,3992386	1706,3398212
2+4,375 TE	3165,1602897	1709,7329057
3+0,000	3174,9606940	1721,9026488
4+0,000	3186,9014449	1737,9426080
4+4,375 EC	3189,3482621	1741,5687395
5+0,000	3197,4332731	1754,9352669
6+0,000	3206,2175820	1772,8936269
7+0,000	3213,1651616	1791,6392375
8+0,000	3218,2065938	1810,9847987
9+0,000	3221,2915064	1830,7370161
10+0,000	3222,3890760	1850,6985321
11+0,000	3221,4883359	1870,6698977
12+0,000	3218,5982861	1890,4515657

(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

### 4.1.3 Análises dos elementos característicos

Sob a ótica das análises das inconformidades quando da concepção do eixo planimétrico, o AutoCAD® Civil 3D® trata de forma diferente erros e alertas. Os erros são proibitivos, ou seja, no momento da inserção dos parâmetros, como raio de curvatura horizontal, se este não puder ser ajustado no espaço disponível, o sistema retorna um erro informando que não pode calcular o eixo e pede uma nova entrada, conforme representado na figura 34.

Figura 34 – Janela indicativa de erro

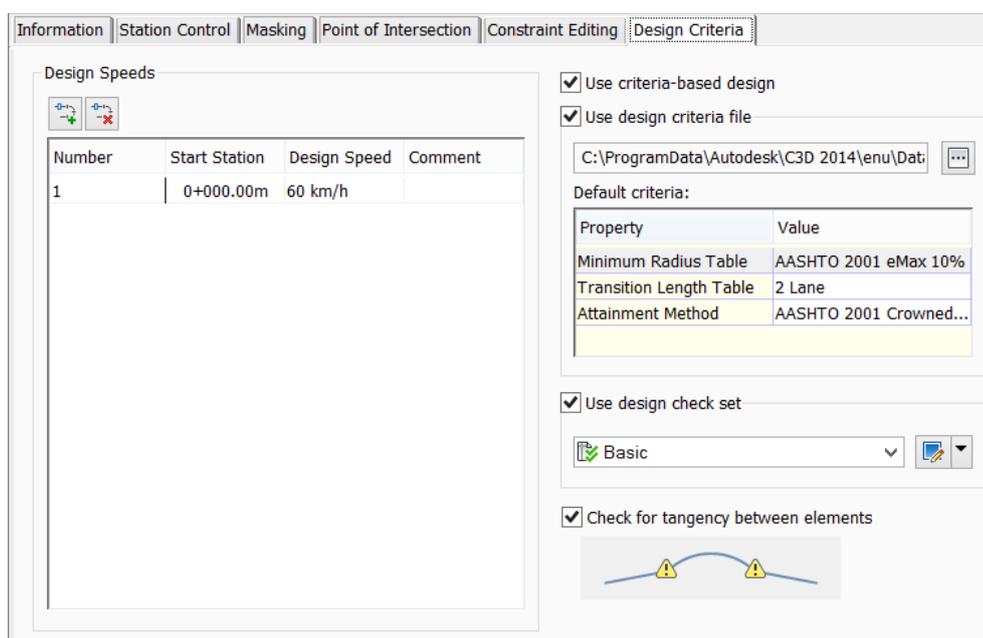


(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

De forma diferente, os alertas somente são ativados após a escolha de um critério de projeto que, para esta análise foi configurado conforme mostrado na figura 35. Utilizando o exemplo

criado para essa análise, foi possível verificar os alertas gerados pelo sistema quando da concepção do eixo. Na ocasião da criação do alinhamento, como visto em 4.1.1, é possível identificar os elementos fora de padrão por meio de um símbolo triangular amarelo de alerta inserido no desenho, conforme pode ser observado na figura 23 do subcapítulo 4.1.2, todavia esse alerta pode ser melhor visualizado em uma opção de visualização por tabela do eixo no momento da criação (figura 36).

Figura 35 – Janela de edição do critério de análise



(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Figura 36 – Painel de visualização do eixo planimétrico em forma de tabela

No.	Type	Length	Minimum Spiral Length	Radius	Minimum Radius	Design Speed	Start Station	End Station	Delta angle	Chord length	External Tangent	PI Station	
1	Line	44.375m				60 km/h	0+000.00m	0+044.37m					
⚠	2.1	Spiral-Curve-Spiral	⚠ 40.000m	49.000m		60 km/h	0+044.37m	0+084.3...	5.7296 (d)				
⚠	2.2	Spiral-Curve-Spiral	201.723m		200.000m	115.000m	60 km/h	0+084.37m	0+286.10m	57.7894 (d)	193.281m	110.382m	0+194.76m
⚠	2.3	Spiral-Curve-Spiral	⚠ 40.000m	49.000m		60 km/h	0+286.10m	0+326.1...	5.7296 (d)				
⚠	3	Line	20.011m			60 km/h	0+326.10m	0+346.1...					
⚠	4.1	Spiral-Curve-Spiral	⚠ 40.000m	49.000m		60 km/h	0+346.11m	0+386.1...	5.7296 (d)				
⚠	4.2	Spiral-Curve-Spiral	153.080m		200.000m	115.000m	60 km/h	0+386.11m	0+539.19m	43.8542 (d)	149.370m	80.509m	0+466.62m
⚠	4.3	Spiral-Curve-Spiral	⚠ 40.000m	49.000m		60 km/h	0+539.19m	0+579.1...	5.7296 (d)				
5	Line	100.301m				60 km/h	0+579.19m	0+679.49m					

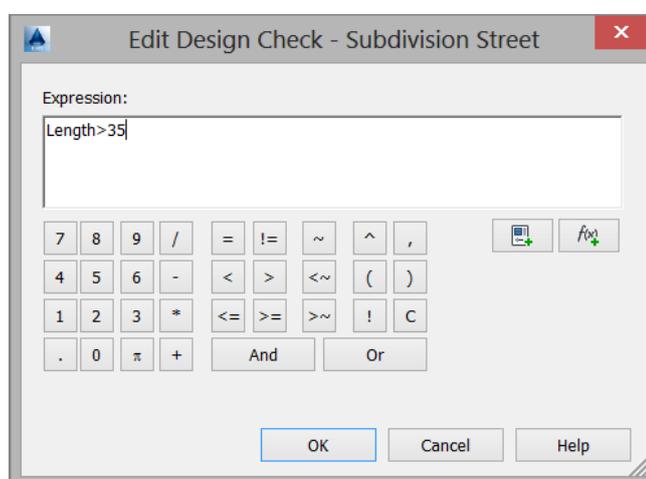
(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Na figura 36, pode-se perceber células com o símbolo de alerta indicando uma inconformidade relacionada ao manual de projetos selecionado. Também é possível observar que o valor mínimo do comprimento da espiral de transição é maior do que o mínimo permitido segundo os manuais nacionais para as mesmas condições. Já, se utilizar o padrão do

DER-SP, que segue a AASHTO de 2004, além do comprimento mínimo da transição diferir dos manuais nacionais, o raio mínimo permitido é de 105 m, 10 m abaixo do permitido.

Outro ponto importante a destacar sobre os alertas é o cálculo da intertangente mínima que deveria ser com base nas concordâncias posterior e anterior, porém, no AutoCAD® Civil 3D® esta não é calculada, e sim especificada com o valor padrão e 35 m, conforme a figura 37 capturada da configuração da checagem de projeto.

Figura 37 – Janela de configuração de variáveis para checagem das distâncias



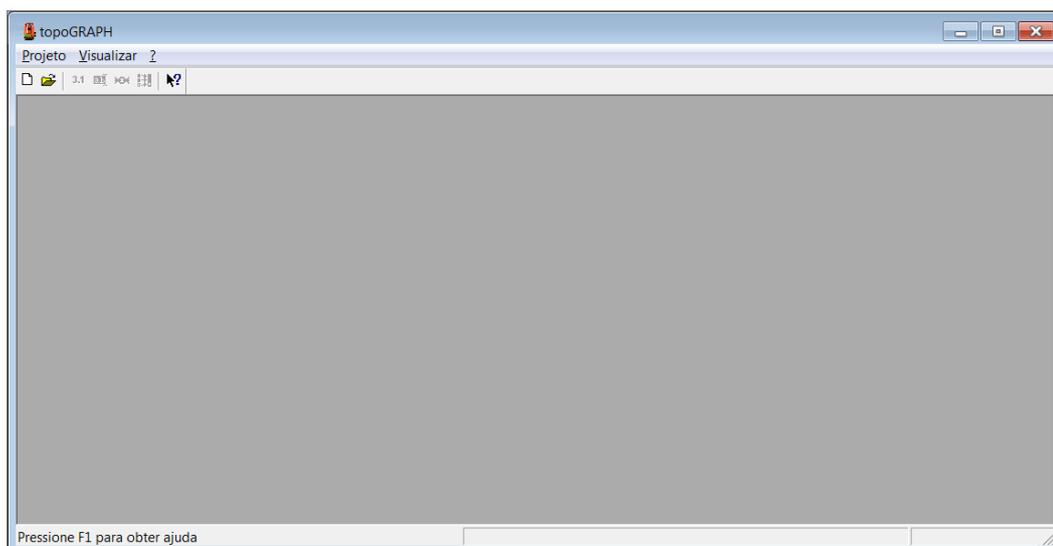
(fonte: elaborada pelo autor com base no AutoCAD® Civil 3D®)

Considerando o exemplo, a intertangente mínima calculada é de 20 m, os comprimentos em espiral, 40 m e o raio mínimo de 115 m. Com os parâmetros de projeto inseridos no sistema, conforme visto na figura 37, se o sistema utilizasse os manuais correspondentes ao ambiente nacional de projetos, não seriam necessários alertas de inconformidades.

## 4.2 TOPOGRAPH®

O versão do sistema Topograph® analisada é a 98 SE que foi desenvolvida em 1998 e é a última comercializada no mercado atualmente. Apesar de ser uma versão defasada em termos temporais, ela recebe algumas atualizações para melhoria de compatibilidade com os sistemas operacionais mais recentes, todavia ainda não é compatível com a última versão do Windows. Por ser uma versão mais antiga, a interface gráfica é mais simples em comparação com o AutoCAD® Civil 3D® que é um sistema com versões atualizadas anualmente. O formulário de abertura do sistema é mostrado na figura 38 e ilustra as informações supracitadas.

Figura 38 – Interface do sistema Topograph®



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Um ponto positivo nesse sistema é o idioma nativo em português do Brasil, o que torna o manuseio mais facilitado. Todavia, este é um sistema pouco intuitivo e os procedimentos necessários para o projeto nem sempre são triviais. Para iniciar um novo projeto no Topograph® é necessário entrar com algumas informações deste (figura 39), como o nome, Autor, Local e data. Ainda é possível inserir informações e selecionar a pasta do sistema operacional em que os arquivos do projeto são armazenados.

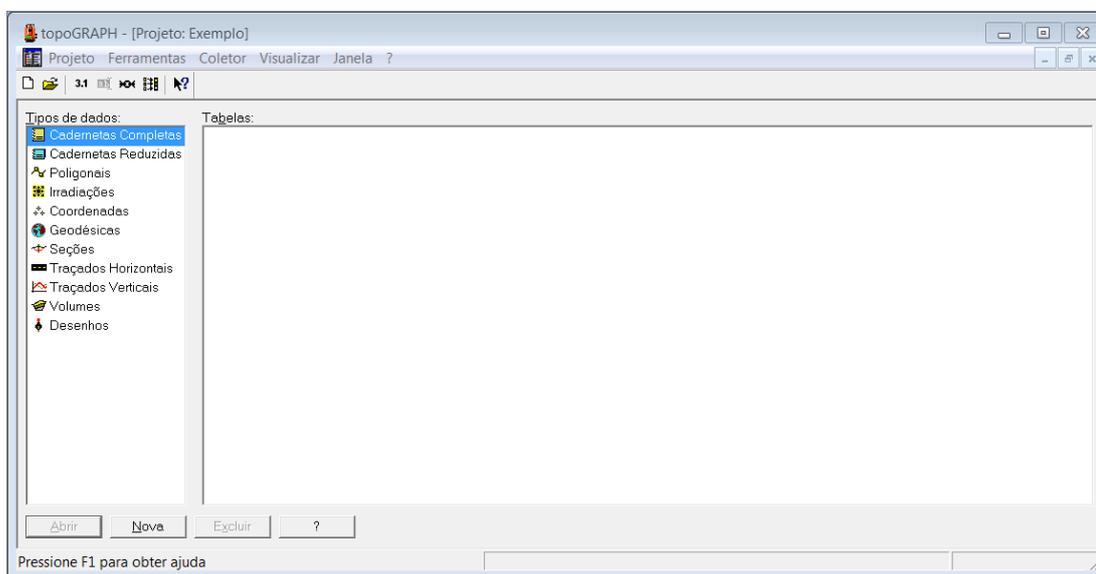
Figura 39 – Janela de informações de um projeto novo

(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Após essa primeira configuração, a interface de trabalho é modificada, incorporando três painéis. Um à esquerda, compreendendo as diversas seções do projeto, com ênfase nas questões topográficas, um painel principal, em que são mostradas tabelas com a listagem dos

objetos de sistema, como por exemplo, os eixos planimétricos existentes, e um menu superior, no qual se encontram opções e ferramentas referentes ao projeto como um todo (figura 40).

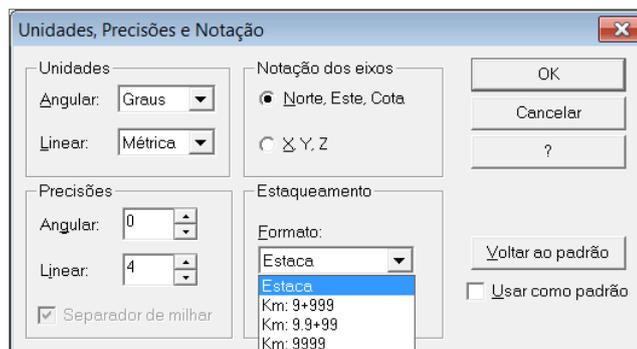
Figura 40 – Interface do sistema com um projeto carregado



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

No menu superior, na seção de Projeto, é possível, dentre outras opções, configurar a forma de trabalho com unidades (figura 41). Cabe salientar que se configurar o formato de trabalho do estaqueamento para estacas ou quilômetros. Essas modificações são bastante úteis, pois é possível trabalhar em formato estacas, nas fases iniciais do projeto, e, posteriormente, modificar para quilômetros, todavia, um mesmo eixo, quando iniciado em estacas não pode ser modificado para quilômetros, tendo que o projetista criar um novo eixo, no mesmo local, configurado da outra forma.

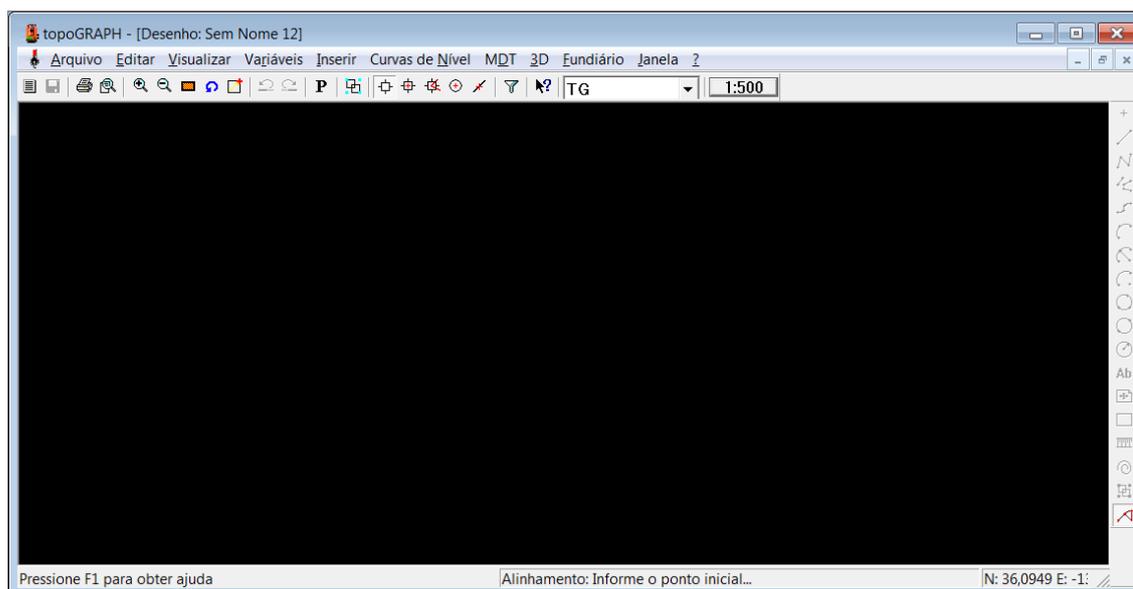
Figura 41 – Janela de configuração das unidades, precisões e notação



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Outro aspecto importante visto nesse sistema é que se trabalha com diversas plataformas dentro do mesmo ambiente, variando, dependendo da seção do projeto, totalmente a interface com o usuário. Essa variação pode causar confusão e implica em uma ineficiência para o acesso à informação. A figura 42 mostra essa interface no ambiente de CAD do sistema.

Figura 42 – Interface gráfica



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

A partir das definições iniciais do projeto e conhecendo a interface do sistema é possível iniciar o projeto. Nesse estudo é feito o lançamento do eixo planimétrico seguindo os parâmetros dados pelo exemplo inicial e utilizando as ferramentas próprias para a definição de um eixo planimétrico disponibilizadas pelo sistema.

#### 4.2.1 Definição dos elementos característicos

O lançamento de um eixo planimétrico no sistema Topograph® pode ser realizado de duas maneiras. A primeira é por meio de tabelas, inserindo as coordenadas dos pontos de interseção e após, as concordâncias. O outro método de criação é baseado na interface gráfica, o que torna o trabalho mais interessante do ponto de vista de projetos, tendo em vista que o projetista deve estudar, observando as condições necessárias, qual é o melhor traçado e, sob uma interface gráfica, em que é possível inserir informações cadastrais do ambiente, a escolha do melhor traçado é facilitada.

No método gráfico, cria-se o eixo planimétrico inserindo diretamente os trechos em tangente e as concordâncias. Os pontos de interseção são criados pelo sistema. Para proceder a este método é necessário entrar na interface gráfica, escolher a ferramenta para criação de alinhamentos e inserir o ponto inicial, com o uso do *mouse* na área gráfica. Feita a seleção, o sistema mostra uma tela como na figura 43, na qual é possível editar a coordenada referente ao primeiro ponto. Para o segundo ponto basta clicar novamente na tela e novamente é mostrada uma janela (figura 44), todavia, as informações passíveis de edição são o Azimute e a Distância em tangente.

Figura 43 – Janela de inserção do ponto inicial do alinhamento

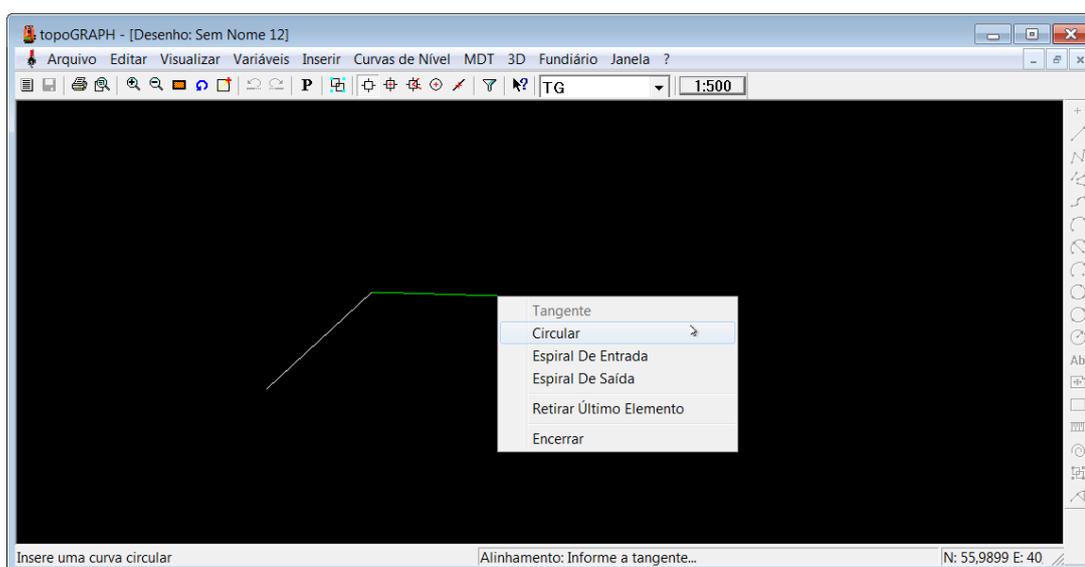
(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Figura 44 – Janela de inserção da tangente do alinhamento

(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

A figura 45 ilustra o procedimento seguinte, no qual é possível inserir diretamente os parâmetros da concordância horizontal antes do próximo trecho em tangente. Para isso é necessário, após a definição da primeira tangente, pressionar o botão direito do mouse na tela gráfica e selecionar em um menu de contexto que aparece, a opção referente ao tipo de curva a ser inserida no eixo.

Figura 45 – Menu de contexto para inserção de concordâncias no alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

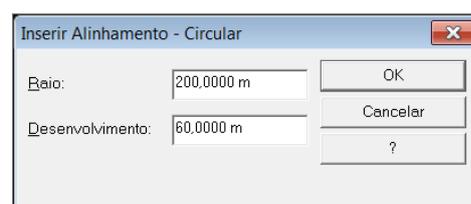
Para seguir o exemplo sugerido no início do capítulo 4, foi escolhida a opção de inserção de uma espiral de entrada. Os parâmetros necessários aparecem na figura 46 e são o raio da parte circular, ou seja, o raio final da espiral e o comprimento desta. O próximo passo é definir a curva circular (figura 47). Pede-se o raio, que recebe o parâmetro inserido anteriormente de forma automática, e o desenvolvimento circular. Por fim, para a espiral de saída, os parâmetros são os mesmos da espiral de entrada.

Figura 46 – Janela de parâmetros de espiral do alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Figura 47 – Janela de parâmetros da curva circular do alinhamento



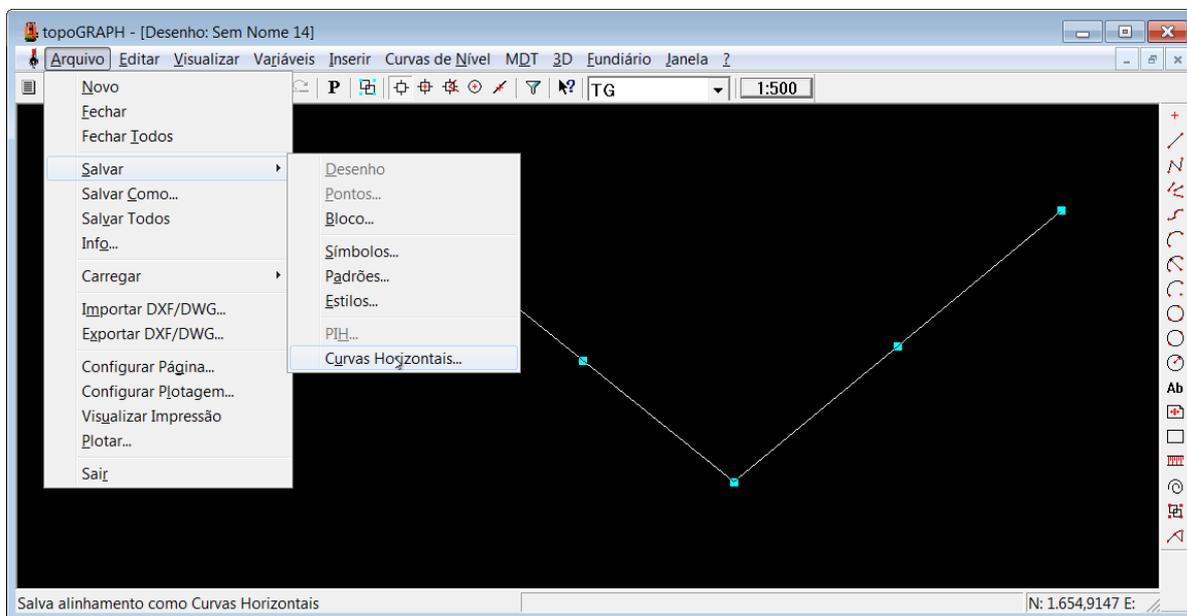
(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Esse método é útil quando se tem previamente estabelecido todos os parâmetros das concordâncias, mas no processo de concepção do eixo planimétrico, esquematizado na Figura 3 no subcapítulo 3.1, procede-se primeiramente ao lançamento de uma poligonal básica composta apenas por trechos em tangente. Todavia é possível criar um alinhamento apenas por tangentes, omitindo o passo inicial para a criação das concordâncias e continuando na inserção de trechos em tangente.

Seguindo então, o processo de concepção do eixo planimétrico de forma tradicional, foi criada uma poligonal com esta ferramenta, sem concordâncias horizontais. O procedimento a seguir é o mesmo utilizado para a consolidação do eixo criado pelo método gráfico com ou sem concordâncias.

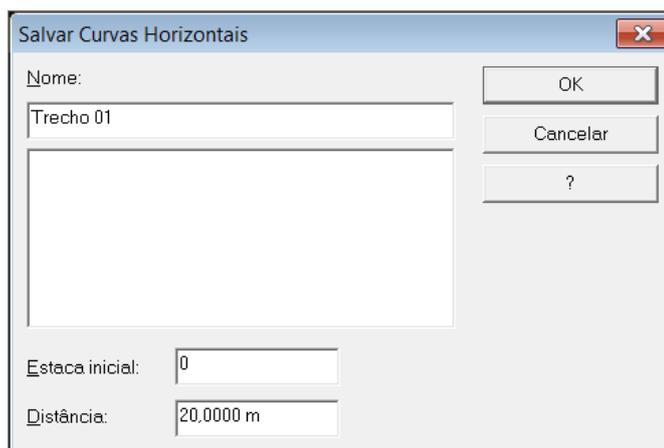
Para consolidar um eixo criado graficamente no sistema Topograph<sup>®</sup>, após sua concepção, é necessário acessar o menu arquivo na barra de ferramentas superior e a opção salvar “curvas horizontais”, como mostrado na figura 48. Então deve-se informar o nome do trecho, a estaca inicial e a distância entre estacas como ilustrado na figura 49.

Figura 48 – Menu para salvar o alinhamento criado



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph<sup>®</sup>)

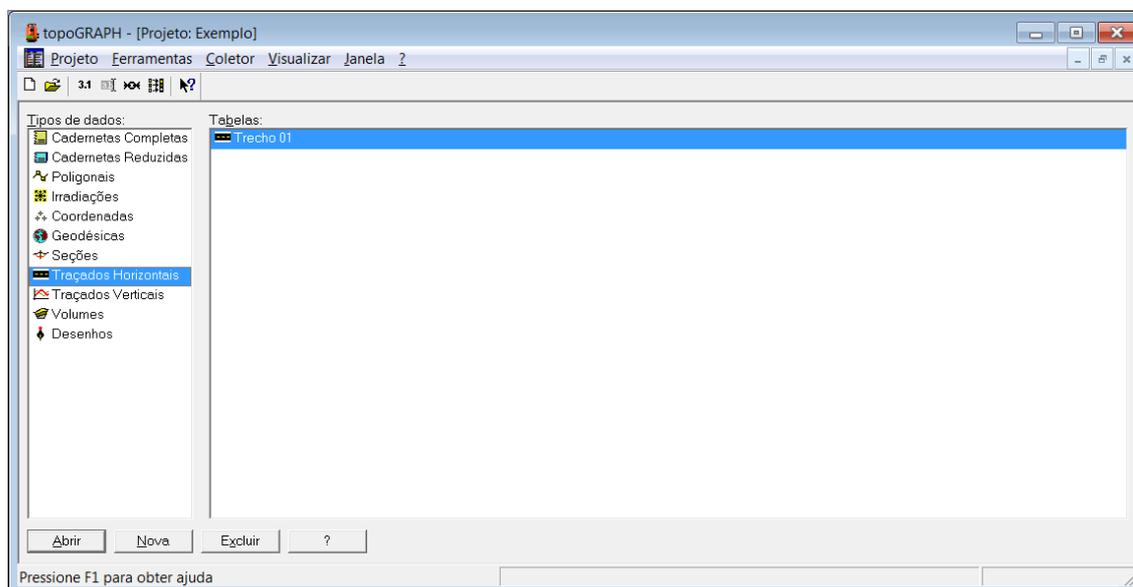
Figura 49 – Janela de salvamento do alinhamento



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Após, fecha-se a interface gráfica e o sistema retorna para sua tela inicial. Nela é possível selecionar a seção de traçados horizontais em que é mostrado o trecho criado, conforme a figura 50. Para acessar as informações referentes a esse trecho é necessário selecioná-lo e clicar no botão abrir na parte inferior da tela.

Figura 50 – Listagem dos alinhamentos criados

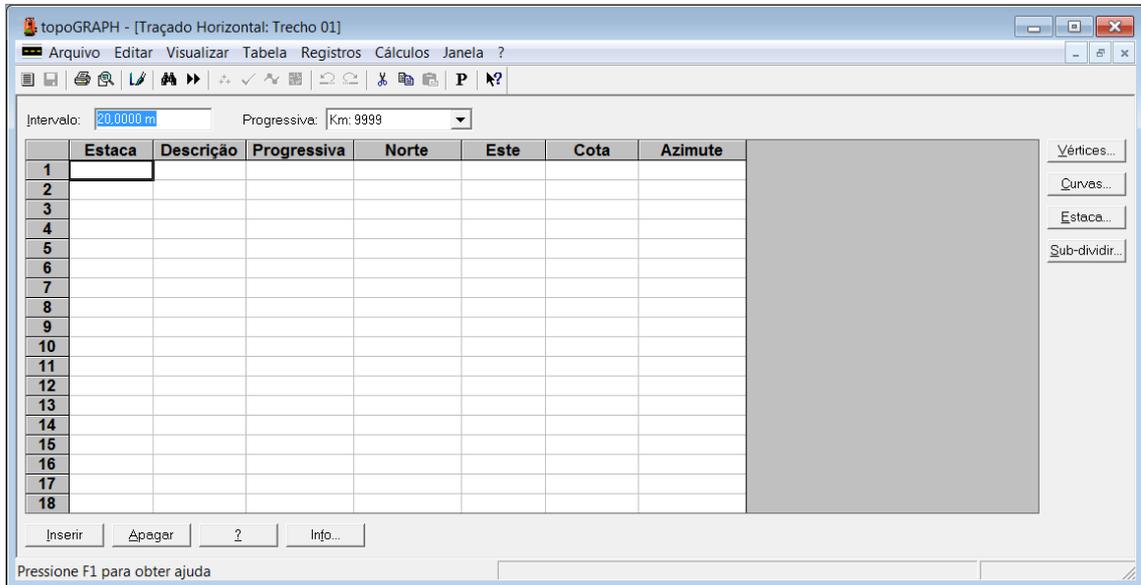


(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Ao acessar o eixo selecionado, a interface se modifica novamente, entrando no modo tabela no qual é possível visualizar a listagem das estacas do eixo. Todavia, no primeiro acesso a este ambiente (figura 51), essa tabela é mostrada vazia, dando a impressão de que não existem informações do eixo criado. Para que essas informações apareçam é necessário acessar a

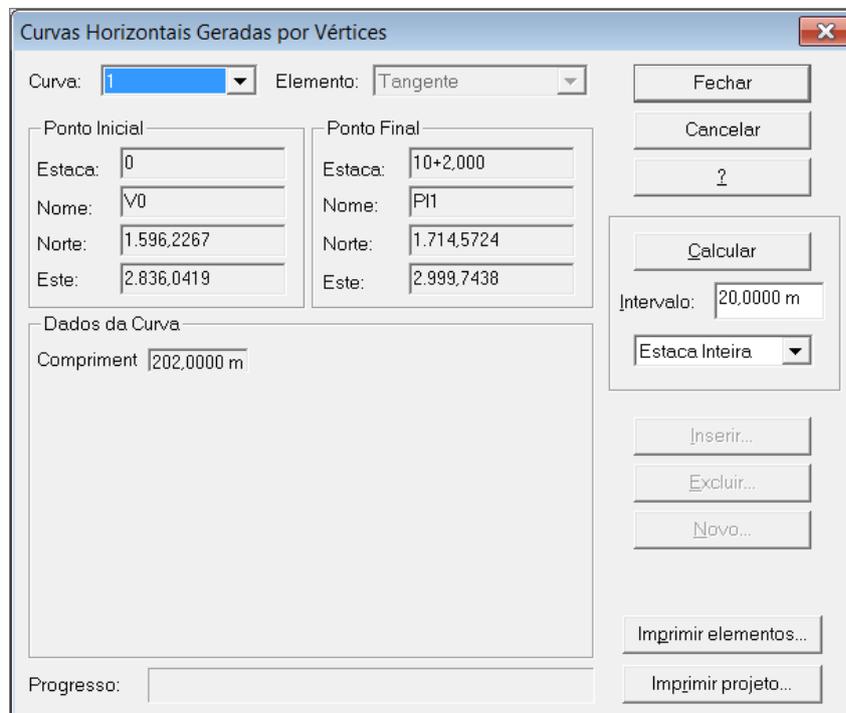
ferramenta “curvas” localizada à direita na tela (figura 52) e selecionar a opção Calcular. Esse procedimento, apesar de simples, não se mostra trivial tampouco intuitivo.

Figura 51 – Interface do modo tabela



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Figura 52 – Janela de curvas horizontais



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Se o projetista optou por criar a poligonal básica pelo método gráfico, a criação das concordâncias horizontais deve ser feita extritamente pela tabela, pois não há a opção de criar posteriormente essas concordâncias. Logo, para proceder a essa edição do eixo, ainda no ambiente de tabela é necessário acessar a opção “Vertices” à direita na tela. O sistema então mostra outra tela em que é possível selecionar o PI onde são inseridos os parâmetros das curvas, conforme mostrado na figura 53. Nessa tela é possível identificar que o Topograph® permite que o projetista escolha diversos tipos de concordâncias horizontais, tornando bastante flexível o projeto destas. Por fim é necessário clicar em “Calcular” para que as alterações tenham efeito na tabela, antes de selecionar a opção para fechar a tela.

Figura 53 – Janela de vértices horizontais

(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Dessa forma é possível criar uma poligonal e modificá-la, tornando-a um eixo planimétrico por meio da inserção de concordâncias horizontais. O resultado do estaqueamento pode ser visto na figura 54, que mostra a tabela preenchida com as estacas no intervalo de 20 m e os pontos notáveis das concordâncias.

Figura 54 – Interface do modo tabela preenchida

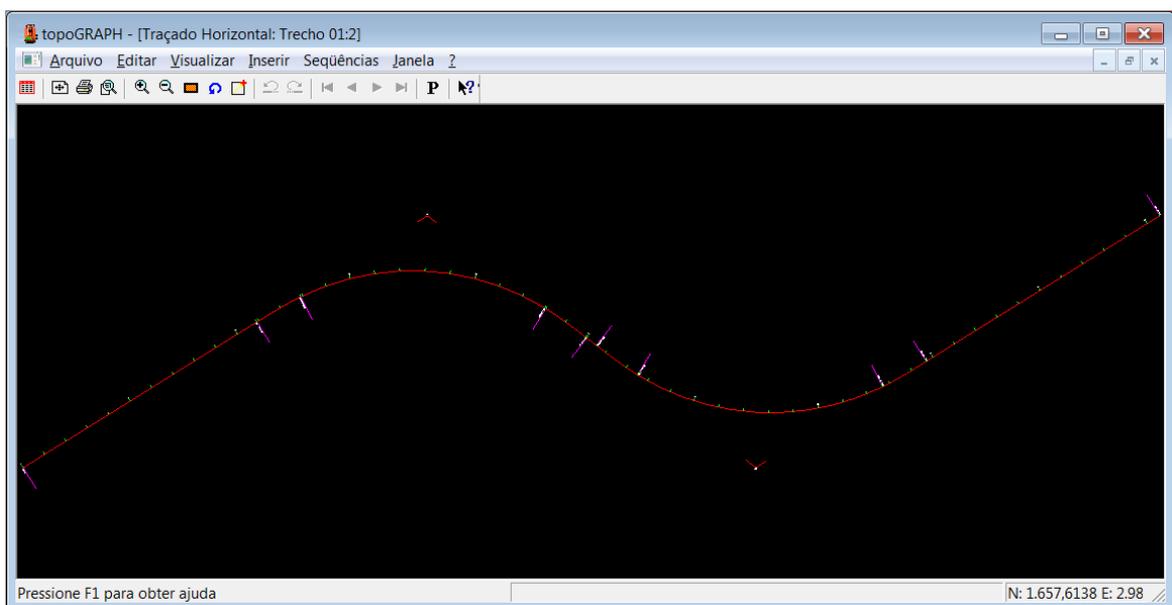
	Estaca	Descrição	Progressiva	Norte	Este	Cota	Azimute
1	0	PI0	0,000	1.596,2267	2.836,0419		324°08'08"
2	1		20,000	1.607,9441	2.852,2501		324°08'08"
3	1+8,665	TE1	28,665	1.613,0206	2.859,2721		324°08'08"
4	2		40,000	1.619,6368	2.868,4758		324°35'44"
5	3		60,000	1.630,8526	2.885,0321		327°39'06"
6	3+8,665	EC1	68,665	1.635,3522	2.892,4365		329°51'54"
7	4		80,000	1.640,7620	2.902,3956		333°06'45"
8	5		100,000	1.648,9006	2.920,6557		338°50'31"
9	6		120,000	1.655,1756	2.939,6370		344°34'18"
10	7		140,000	1.659,5243	2.959,1500		350°18'04"
11	8		160,000	1.661,9032	2.978,9996		356°01'51"
12	9		180,000	1.662,2886	2.998,9875		1°45'37"
13	10		200,000	1.660,6765	3.018,9141		7°29'24"
14	11		220,000	1.657,0832	3.038,5802		13°13'10"
15	12		240,000	1.651,5445	3.057,7893		18°56'56"
16	13		260,000	1.644,1158	3.076,3495		24°40'43"
17	14		280,000	1.634,8712	3.094,0753		30°24'29"
18	14+9,987	CE1	289,987	1.629,6032	3.102,5589		33°16'10"

(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

## 4.2.2 Representação dos elementos característicos

A representação gráfica do eixo planimétrico criado é acessada por uma opção no menu superior da interface de tabela do eixo selecionado. Novamente a interface do usuário modifica-se, transformando-se em uma visualização gráfica, porém diferente da interface analisada no subcapítulo anterior, como pode ser visto na figura 55.

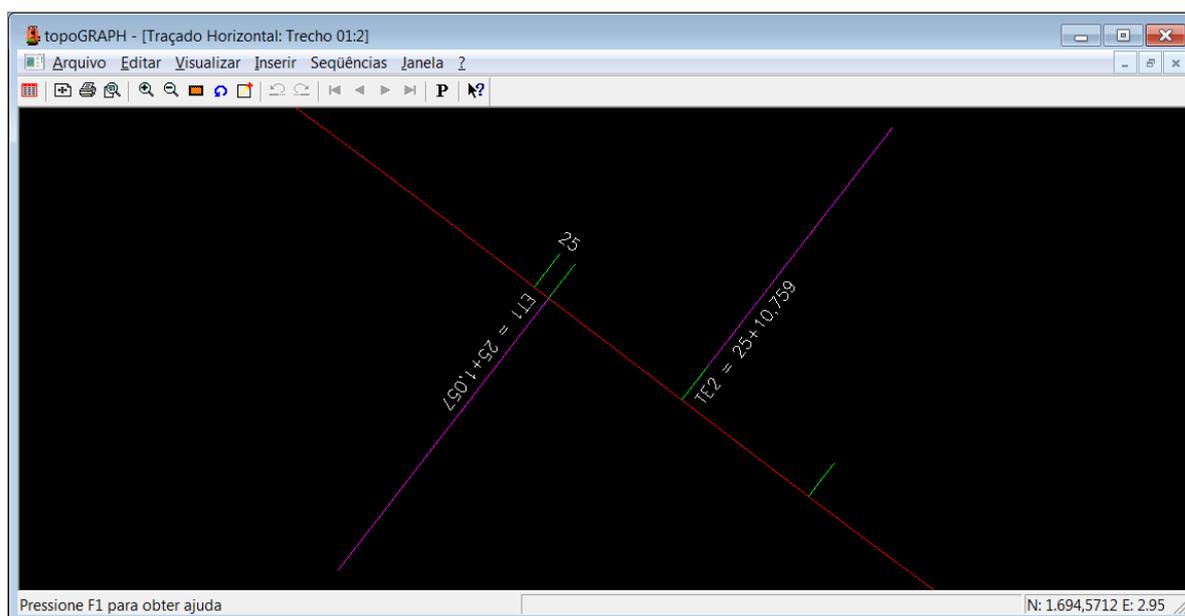
Figura 55 – Interface gráfica do traçado



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Quanto à representação, o Topograph<sup>®</sup> apresenta um padrão bem estruturado, porém sem muita abertura a edições. É possível perceber que os elementos necessários para a representação do eixo planimétrico em planta estão presentes – o eixo planimétrico em destaque, o estaqueamento com a identificação do número da estaca no intervalo de 100 m, os pontos notáveis do eixo e os pontos de interseção numerados – porém, como pode ser visto na figura 56, o estaqueamento é representado por linhas perpendiculares ao eixo lateralmente o que não é usual (linhas perpendiculares cruzando o eixo na metade de seu comprimento). Cabe salientar que uma vez definido para um alinhamento que a representação do estaqueamento é por estacas, este não pode ser convertido, diretamente, para quilômetros, tendo que criar outro eixo, após modificar a configuração do programa.

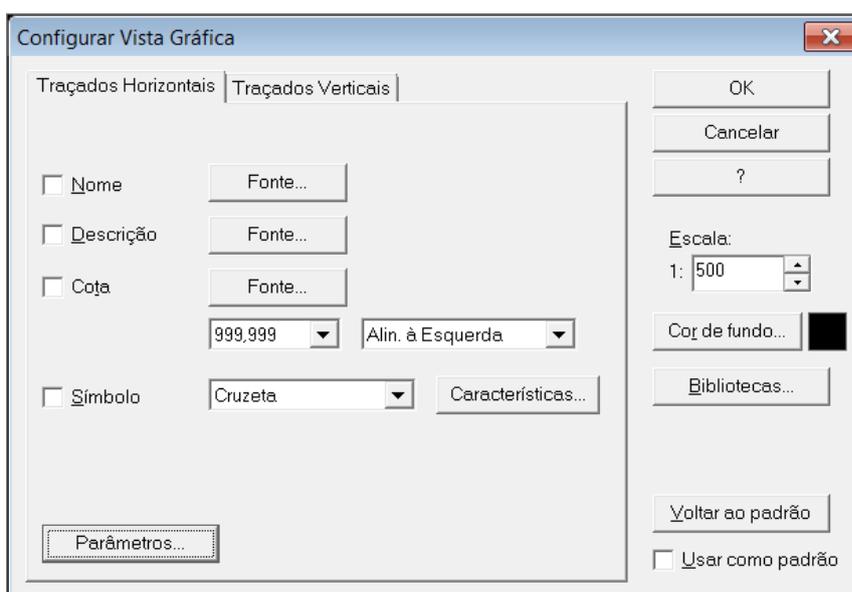
Figura 56 – Interface gráfica do traçado (detalhe da representação dos elementos)



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph<sup>®</sup>)

Um ponto negativo é a impossibilidade da edição do comportamento dos elementos do eixo, como a posição das linhas que representam as estacas. Todavia é possível editar a cor e o tamanho de todos os elementos e a visibilidade destes. A figura 57 ilustra o ambiente de edição da vista gráfica dos traçados horizontais, onde em “Parâmetros” é possível editar os elementos específicos deste.

Figura 57 – Janela de configuração da vista gráfica

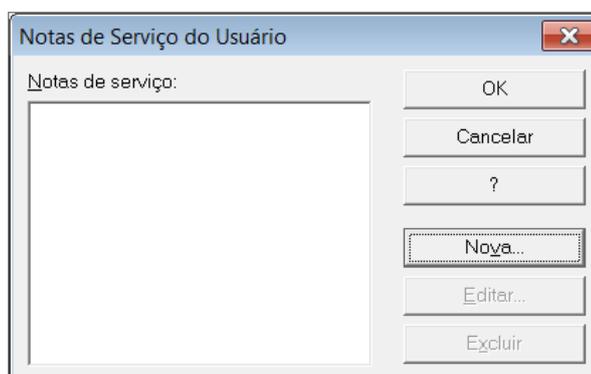


(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Finalizando a edição dos elementos característicos do eixo, para proceder à impressão deste em pranchas, é necessário inserir os quadros referentes as folhas de plotagem manualmente, escolhendo o tamanho e posteriormente a posição. Para editar o selo da prancha e demais informações é necessário exportar a representação do eixo para outro ambiente gráfico, o mesmo visto em 4.2.1.

Já para a impressão de relatórios, estando no módulo padrão do Topograph®, é necessário criar todos os modelos, pois não existe um padrão existente. Essa criação é feita pela ferramenta Notas de Serviço do Usuário acessada na interface inicial, no menu superior. Quando do acesso (figura 58) é possível inserir novos relatórios.

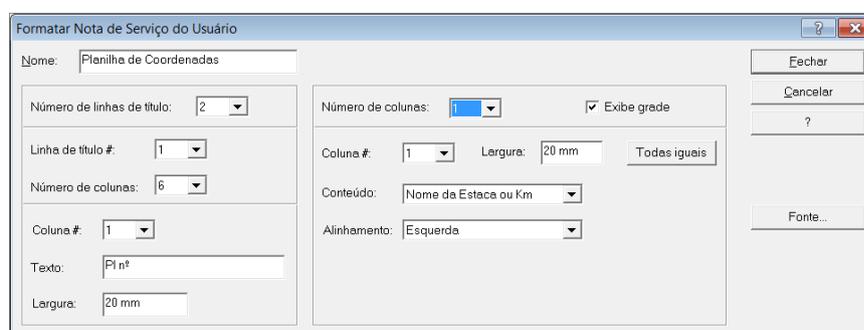
Figura 58 – Janela de inserção das notas de serviço do usuário



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Acessando a opção para criar um novo relatório é mostrada a janela, conforme a figura 59, na qual é necessário inserir o nome do relatório e nos painéis inferiores é possível criar o relatório por meio da definição das colunas de título e de dados. No painel esquerdo são inseridos os parâmetros referentes aos títulos iniciando com o número de linhas que este ocupa. Definido isto, procede-se a escolha da linha a ser editada e o número de colunas que esta ocupa, então, definindo uma coluna é possível editar o texto desta e a largura que esta ocupa. Para editar os dados do relatório, é necessário editar os parâmetros do painel localizado à direita, primeiramente definindo o número de colunas e, com a seleção de cada coluna, definir sua largura e seu conteúdo.

Figura 59 – Janela de formatação dos relatórios



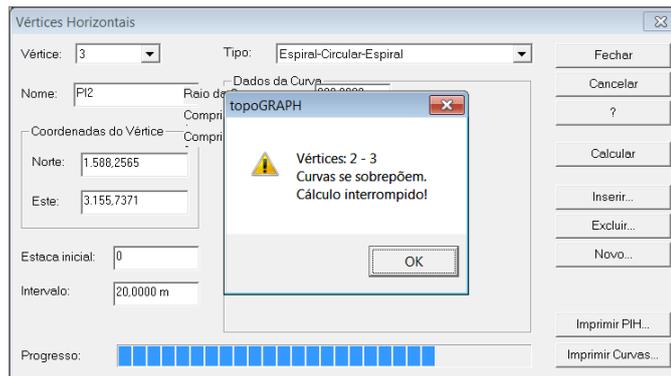
(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Também é possível exportar as planilhas geradas nos ambientes de projeto, como a tabela do estaqueamento (figura 54), para o Microsoft Excel® e montar, com os dados desta, os relatórios pertinentes. A partir dessas informações, torna-se evidente que o sistema Topograph®, apesar de não apresentar relatórios padronizados, oferece uma ferramenta que torna possível a criação de qualquer tipo de relatório de texto.

### 4.2.3 Análises dos elementos característicos

No que tange ao aspecto das análises de inconformidades que o sistema Topograph® realiza quando da concepção do eixo planimétrico, do mesmo modo que o AutoCAD® Civil 3D®, este se refere aos erros de forma proibitiva. Na figura 60, é mostrado um exemplo de erro, em que se inserida uma concordância que se sobreponha às outras, este interrompe o cálculo, salientando que o Topograph®, ao contrário do AutoCAD® Civil 3D®, só procede ao cálculo dos elementos se pressionado o botão de Calcular nas janelas pertinentes.

Figura 60 – Janela de indicação de erro no cálculo



(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

Um aspecto interessante desse sistema é o cálculo interativo da velocidade diretriz possível do trecho quando da definição do raio e comprimento da espiral de entrada de uma concordância no momento da concepção na forma gráfica (figura 46 do subcapítulo anterior). Todavia essa informação não é um alerta propriamente dito, tendo em vista que não é especificada uma referência de valores padrões para o trecho.

Outra consideração a ser feita é sobre o cálculo da intertangente mínima entre duas concordâncias. A figura 61 ilustra essa ideia, pois não existe nenhum alerta sobre os pontos de final e início de concordâncias estarem, para o mesmo exemplo calculado, a menos de 10 m de distância, quando o mínimo deveria ser de 20 m.

Figura 61 – Interface do modo tabela (detalhe da intertangente)

	Estaca	Descrição	Progressiva	Norte	Este	Cota	Azimute
23	20		400,000	1.750,1212	2.857,7226		14°20'51"
24	21		420,000	1.744,2054	2.876,8189		20°04'37"
25	22		440,000	1.736,4128	2.895,2293		25°48'24"
26	23		460,000	1.726,8211	2.912,7697		31°32'10"
27	23+1,057	CE1	461,057	1.726,2658	2.913,6693		31°50'20"
28	24		480,000	1.715,6414	2.929,3471		35°58'51"
29	25		500,000	1.703,6023	2.945,3169		37°33'53"
30	25+1,057	ET1	501,057	1.702,9578	2.946,1549		37°34'07"
31	25+10,759	TE2	510,759	1.697,0422	2.953,8451		37°34'07"
32	26		520,000	1.691,4212	2.961,1794		37°15'46"
33	27		540,000	1.679,6318	2.977,3328		34°30'24"
34	27+10,759	EC2	550,759	1.673,7342	2.986,3307		31°50'20"
35	28		560,000	1.669,0426	2.994,2907		29°11'30"
36	29		580,000	1.660,1764	3.012,2088		23°27'44"
37	30		600,000	1.653,1433	3.030,9225		17°43'57"
38	31		620,000	1.648,0137	3.050,2449		12°00'11"
39	32		640,000	1.644,8387	3.069,9828		6°16'24"
40	33		660,000	1.643,6500	3.089,9391		0°32'38"

(fonte: elaborada pelo autor com base no Topograph®)

## 5 DIRETRIZES

Nos capítulos anteriores foram realizados os estudos dos elementos referentes a definição, representação e análise do eixo planimétrico sob a ótica da literatura técnica nacional e do comportamento dos sistemas computacionais mais difundidos para a finalidade de projetos viários. Com base nesses estudos verificou-se a necessidade da criação de diretrizes para o desenvolvimento de sistemas avançados, ou seja, especializados, para estudos e projetos viários que traduzam a prática nacional e tenham características comuns que possibilitem uma migração facilitada dos profissionais entre plataformas.

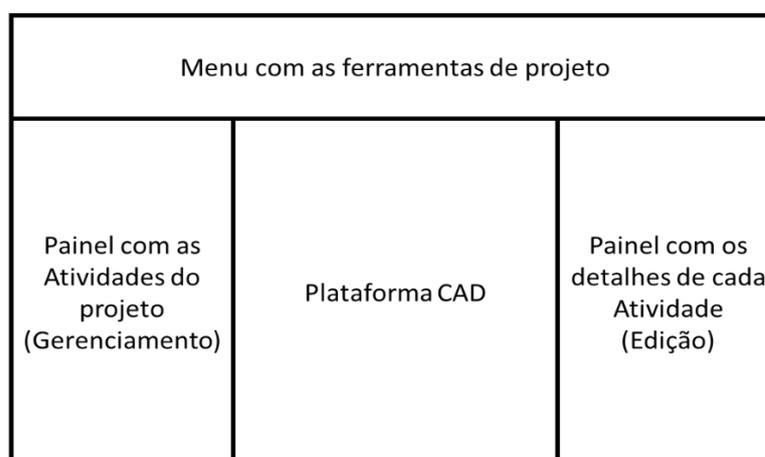
Os subcapítulos que seguem definem essas diretrizes em quatro momentos distintos. Primeiramente são definidos conceitos para a interface geral do sistema e, após, os aspectos relativos à definição, representação e análise que devem existir no momento da concepção do eixo planimétrico.

### 5.1 INTERFACE DE PROJETOS

Seguindo o conceito de facilidade de manuseio pelos profissionais da área, é imprescindível que o tempo de aprendizado necessário para operar os sistemas seja o mínimo possível. Isso só pode existir se o sistema em questão tem uma interface amigável e intuitiva, ou seja, que com poucas operações se possa chegar ao fim desejado e que contenha as informações importantes para o projeto em locais fáceis de encontrar. Na figura 62 é representado um esquema de interface composto de quatro painéis destinados a atender as características de facilidade e rapidez de acesso à informação.

Com a ampla utilização de técnicas computacionais para representar os diversos modelos de ambiente para as diversas áreas de projetos, é necessário que um sistema para essa finalidade tenha uma base que permita a interoperabilidade de informações. No caso dos projetos viários a base na qual os modelos são criados, em sua maioria, é a plataforma CAD. Com isso, para uma utilização dinâmica e visando uma otimização em termos de tempo, e na concepção do eixo planimétrico, é imprescindível a existência de uma Plataforma CAD.

Figura 62 – Esquema de interface do sistema



(fonte: elaborada pelo autor)

Para gerenciar com facilidade as diversas seções de projeto é necessário um local onde essas informações estejam permanentemente presentes. No caso do projeto viário é interessante que os diversos eixos que compõe o projeto estejam acessíveis de forma rápida em um painel de gerenciamento, o qual de a opção de nomear, criar novos eixos, excluir e copiar um eixo.

Quando da seleção do eixo de trabalho, ou eixo corrente, o detalhamento das etapas de concepção deve estar presente para o usuário de forma que qualquer modificação de características de projeto se torne rápida. Para isso deve existir um painel destinado a essas opções e dividido em opções de projeto e desenho, além das seções referentes às etapas de concepção.

Um menu onde apareçam as ferramentas necessárias para cada etapa dependendo da seção de projetos é essencial. É interessante que essas ferramentas sejam mostradas de forma dinâmica, conforme a necessidade pois, como em um projeto viário, existem diversas ferramentas para cada etapa, essa diversidade pode causar poluição visual e até mesmo confusão no usuário.

Também é necessário um local onde possam ser definidos os padrões a serem seguidos, como o manual de projetos, a classe da rodovia e o tipo de terreno. É interessante que todas as características calculadas a partir dessas definições possam ser editadas, como velocidade diretriz e raios mínimos, para possibilitar uma flexibilidade para um projeto que siga outros padrões.

Um local adequado para a modificação das características supracitadas é o painel de edição que pode ser dividido em seções genéricas e específicas da atividade. Em uma seção genérica, deve ser possível editar as características citadas anteriormente, e, nas seções específicas, os dados referentes, por exemplo, ao lançamento do eixo planimétrico. Os parâmetros que devem existir nessa seção genérica são descritos a seguir e dizem respeito a identificação do trecho, classificação e dados planimétricos.

Quanto aos padrões de identificação, estes devem ser o nome do eixo, a estaca de início e seu tipo (se rodovia, ferrovia ou outro). Além de dados não editáveis (calculados a partir da definição do eixo) como a estaca de término e sua extensão.

Nos parâmetros para classificação do trecho, devem ser relacionados o manual utilizado (DAER, DNIT, ou outro), a classe da rodovia, o tipo de região, a unidade de estaqueamento e o intervalo entre estacas. Também deve conter dados calculados a partir desses parâmetros como a velocidade diretriz correspondente.

No que tange ao aspecto dos dados planimétricos, estes devem ser calculados a partir das informações da classificação da via e da definição do eixo. São estes os raios mínimos das concordâncias, os raios que dispensam curvas de transição, a distância em diretriz com o cálculo do acréscimo sobre esta e as tortuosidades média e total do trecho. Todos estes parâmetros necessários para as análises do trecho.

Em resumo, as diretrizes referentes a plataforma para um sistema de projetos devem ser:

- a) plataforma com características constantes para facilitar o manuseio;
- b) menu superior dinâmico com ferramentas para o projeto;
- c) painel de gerenciamento das atividades do projeto;
- d) painel de edição para cada atividade selecionada dividido em seções genérica e específicas.

## 5.2 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO

Um sistema para estudos e projetos viários deve possibilitar que o projetista tenha total liberdade para definir o eixo planimétrico por, pelo menos, duas maneiras. A primeira, pelo

lançamento da poligonal diretamente na plataforma CAD e a segunda por inserção dos PI em forma de tabelas.

Em todo esse processo é importante que o projetista tenha acesso às informações do alinhamento de forma dinâmica. O painel de edição, visto no subcapítulo anterior, possibilita essa interação. Isso se torna interessante visto que, logo após o lançamento, qualquer alteração de coordenadas dos PI podem ser feitas de forma rápida e a atualização da representação do eixo deve acontecer de forma automática para que o resultado seja perceptível.

No painel de edição, então, deve ser locada a tabela com a listagem dos PI. Cada linha dessa tabela deve corresponder a um PI e deve ter basicamente cinco colunas principais:

- a) o número do PI inserido;
- b) duas colunas contendo cada componente das coordenadas do PI (X e Y);
- c) o raio da parcela circular da concordância horizontal (se 0, não existe concordância);
- d) o comprimento da espiral de transição (como é usual utilizar o mesmo comprimento para a espiral de entrada e de saída, por padrão, o valor inserido é o mesmo para as duas espirais).

Para complementar as informações da tabela dos PI, deve existir um quadro, localizado preferencialmente no mesmo painel, com as demais informações do PI selecionado. Nesse quadro deve ser possível modificar as propriedades editáveis do PI selecionado como, por exemplo, a inserção de comprimentos diferentes para a espiral de entrada e saída. Os itens necessários para a composição desse quadro são:

- a) os elementos de projeto (dados editáveis), como o número do PI, suas coordenadas, o raio da parte circular da concordância, os comprimentos da espiral de entrada e saída e o BD (para ser possível o ajuste da concordância a partir dessa distância);
- b) dados do estaqueamento (em quilômetro ou estaca) do PI e pontos notáveis se existir, informando, nos pontos pertinentes, a direção da concordância (esquerda ou direita), sua estaca e coordenadas;
- c) os elementos angulares, contendo o azimute ou rumo do PI, o ângulo central da concordância e o ângulo central da curva circular, se concordância composta com transição em espiral;
- d) as distâncias calculadas, como o desenvolvimento circular (o desenvolvimento em espiral já aparece nos elementos de projeto), as tangentes anterior e posterior da concordância, bem como a corda;

- e) informações complementares como os raios, comprimentos em espiral e intertangente mínimos calculados com base nas informações dadas pelo projetista antes do início do projeto, conforme comentado em 5.3;
- f) as distâncias com os PI vizinhos e as intertangentes anterior e posterior;
- g) e um campo de informações no qual é possível inserir observações referentes ao PI.

A figura 63 ilustra como pode ser definido este conjunto (tabela e quadro) no painel de detalhes. A inserção de um elemento divisor entre a tabela e o quadro pode facilitar a visualização de forma que o projetista possa definir o tamanho de cada visualização.

Figura 63 – Conjunto tabela de PI e quadro de propriedades do PI no painel de detalhes

PI			Concordância Horizontal	
Id	X	Y	Raio	De
PP	0,0000	200,0000	0,000	
1	300,0000	50,0000	200,000	40,000
2	500,0000	200,0000	200,000	40,000
PF	800,0000	50,0000	0,000	

.....	
<b>A. Elementos de Projeto</b>	
1. Nome (Id)	2
2. Coordenada X	500,0000
3. Coordenada Y	200,0000
4. Raio	200,000
5. Espiral (De)	40,000
a. Espiral anterior	40,000
b. Espiral posterior	40,000
6. BD	35,506
<b>B. Estaqueamento</b>	
1. TED (km)	0+415,422
1.1. TE coord. X	384,9551
1.2. TE coord. Y	113,7164
2. EC km	0+455,422
2.1. EC coord. X	417,7226
2.2. EC coord. Y	136,6265
3. CE km	0+636,851
3.1. CE coord. X	592,2869
3.2. CE coord. Y	152,3669
4. ET (km)	0+676,851
4.1. ET coord. X	628,6241
4.2. ET coord. Y	135,6880
<b>C. Elementos Angulares</b>	
1. Azimute	116°33'54,18"
2. AC	63°26'05,82"
3. Lado	D
4. Grau da curva (G20)	5°43'55,08"
<b>D. Distâncias</b>	
1. Desenvolvimento circular	181,430
2. Tangente anterior	143,806
3. Tangente posterior	143,806
4. Corda	175,273

(fonte: elaborada pelo autor)

A criação do eixo planimétrico pelo lançamento da poligonal no desenho possibilita uma rápida visualização do local onde o eixo é locado. Essa qualidade é muito útil nas etapas de estudo de traçado, visto que o projetista realiza inúmeras tentativas de poligonais até encontrar uma que atenda as especificações técnicas pertinentes.

Para proceder a este método são necessárias algumas ferramentas disponíveis no menu superior. Essas devem ser de fácil acesso e visualização, tendo como destaque a de criação de alinhamento, que possibilita a definição dos alinhamento por meio de cliques na interface gráfica. Outras ferramentas de criação secundárias, como a criação de alinhamentos por outros métodos (linhas desenhadas ou mesmo ajuste de pontos) também devem estar localizadas nesse menu.

Quanto à criação do eixo por meio de tabela, esta deve ser a mesma citada anteriormente, no qual há a listagem dos PI. Isto deve ocorrer pelo fato de que o projetista tem o mesmo referencial, independente da forma que deseje projetar. No momento da inserção o projetista tem apenas que inserir as informações necessárias para o projeto da poligonal.

A partir da criação da poligonal por ambas as formas, pela visualização simultânea do projeto na interface gráfica e no painel de detalhes, o projetista pode inserir as informações das concordâncias horizontais, simplesmente preenchendo os campos na tabela, sem a necessidade de outras operações.

A diferenciação entre concordâncias circulares simples e compostas com transição em espiral é feita pelo sistema no momento em que o comprimento em espiral é ou não igual a zero. Sendo este zero e o raio diferente, é caracterizada uma curva circular simples, no entanto, no momento da inserção de um comprimento em espiral, a concordância torna-se composta. Se esses dois parâmetros forem nulos, é caracterizado um PI simplesmente.

Por fim, para modificar qualquer característica do eixo planimétrico criado, o sistema deve possibilitar a edição tanto na tabela e quadro de propriedades do PI, bem como na interface gráfica. Esta última pode ser feita a partir da seleção do eixo no desenho e modificação dos pontos de interseção ou pontos nas concordâncias.

Em resumo, as diretrizes referentes a definição dos elementos do eixo planimétrico devem ser:

- a) menu superior com as opções pertinentes para a definição do eixo no modo gráfico;
- b) painel de edição com a tabela de relação dos PI contendo as informações do número, coordenada, raio da curva e comprimento da transição;
- c) quadro de detalhamento das propriedades do PI selecionado, localizado abaixo da tabela com a relação dos PI no painel de detalhes;
- d) atualização automática dos elementos na interface gráfica e na tabela de listagem dos PI;
- e) possibilidade de modificação do eixo planimétrico tanto por meio da interface gráfica, como por meio da tabela ou quadro de propriedades do PI.

### 5.3 REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO

Quanto à representação dos elementos do eixo planimétrico, o sistema deve conter parâmetros editáveis para cada categoria do eixo. O local adequado para a configuração desses parâmetros é no painel de edição, na seção de parâmetros genéricos, dividindo a posição dos parâmetros de projeto, com os de representação.

Para a planimetria, as propriedades necessárias para essa seção do sistema podem ser divididas em representação gráfica e de relatórios. Como os relatórios são padronizados, suas definições podem estar ligadas a um editor de relatórios inserido em um ambiente separado. Por outro lado, como a representação gráfica está intimamente ligada a etapa de concepção do eixo, os parâmetros gráficos devem estar no painel de detalhes.

Como o trabalho gráfico é feito em uma base CAD, cada elemento do eixo planimétrico deve estar em uma camada de desenho separada, para que seja possível atribuir cores e espessuras diferenciadas para cada um. As propriedades relacionadas ao eixo planimétrico devem ser, para cada elemento, o nome da camada de desenho, a cor e a espessura. Ainda é interessante ter, nas opções, uma caixa de seleção para exibir ou não o elemento no desenho. Fora essas configurações, propriedades referentes ao tamanho da prancha de impressão, escala utilizada, intervalo de projeto representado por prancha e a possibilidade de representar as tabelas de curvas também devem estar neste painel. A figura 64 ilustra esses conceitos, mostrando um exemplo de divisão possível das seções desse painel.

Figura 64 – Parâmetros de desenho do painel de detalhes

Geométrico		
A. Planimetria		Parâmetros
1. Gerais		
a. Prefixo do Layer		Planimetria
b. Sufixo do Layer		
2. Alinhamento	<input checked="" type="checkbox"/>	
a. Layer	PLA-ALIN	Altimetria
b. Cor	4	
c. Espessura	0	
3. Eixo	<input checked="" type="checkbox"/>	Seções
a. Layer	PLA-EDXO	
b. Cor	1	
c. Espessura	1	Seções
4. Elementos	<input checked="" type="checkbox"/>	
a. Layer	PLA-ELEM	
b. Cor	7	Seções
c. Espessura	0	
5. Estaqueamento	<input checked="" type="checkbox"/>	
a. Cor	252	Seções
b. Espessura	0,5	
c. Layer	PLA_ESTQ	
6. Offsets	<input type="checkbox"/>	Seções
a. Layer	PLA_OFFS	
b. Cor offsets aterro	5	
c. Cor offsets corte	1	
d. Cor offsets sem talude	2	
e. Espessura		Seções
7. Faixa de Domínio	<input type="checkbox"/>	
a. Layer	PLA_FDOM	
b. Cor	4	Seções
c. Espessura	0	
8. Layout + Outros	<input type="checkbox"/>	
a. Formato de Papel	A1	Seções
b. Escala 1 :	2000	
c. Views / Prancha	1	
d. Largura da View (m)	1600,00	
e. Altura da View (m)	400,00	
f. km / View (m)	1500,00	
g. Coordenadas	200	
h. Desenhar Tabelas	<input type="checkbox"/>	
B. Altimetria		
Eixo	Desenho	

(fonte: elaborada pelo autor)

Com a definição das propriedades supracitadas é possível representar o eixo conforme a necessidade do projetista, tanto no momento da concepção deste, como para a impressão das plantas. É recomendável também que o sistema contenha uma base de desenhos de pranchas nos padrões do DNIT e DAER, além da possibilidade da customização dessas pelo usuário.

Para a representação dos pontos notáveis do eixo, é necessário que estes estejam com a nomenclatura correspondente ao abordado no subcapítulo 3.2.2.1, onde para os pontos iniciais das concordâncias, após o nome, seja inserido a letra referente ao sentido da curva. Para o

estaqueamento, este deve ser representado conforme configurado nos parâmetros gerais e, no momento da modificação da unidade de estaqueamento, de quilômetros para estacas ou vice-versa, que o eixo seja redesenhado, representando a mudança. Também deve ser possível modificar o intervalo de representação do número ou quilômetro do estaqueamento, estando como padrão a representação no intervalo de 100 m.

Para o processo de impressão, o sistema deve criar, a partir dos parâmetros configurados, automaticamente as pranchas, por meio do acesso de uma opção no menu superior. Nesse mesmo local deve conter uma seção com as opções para criação dos relatórios planimétricos, como listagem indicada em 3.3.2.

Os relatórios impressos devem ser apresentados em uma interface distinta contendo as ferramentas necessárias para impressão e exportação para os diversos tipos de arquivos utilizados no mercado, como arquivos DOC, XLS e PDF. Quando da finalização dos trabalho com esses relatórios deve ser possível voltar para o ambiente de projetos de forma rápida.

Em resumo, as diretrizes referentes a representação dos elementos do eixo planimétrico devem ser:

- a) conter no painel de edição as configurações de camada de desenho, cor e espessura dos traços para cada elemento do eixo planimétrico, bem como uma opção para visibilidade destes;
- b) prever opções no painel de edição para a configuração das pranchas de projeto, bem como os intervalos para a representação do eixo em cada prancha;
- c) conter no sistema pranchas padronizadas seguindo a cultura de projetos nacional;
- d) representação dos pontos notáveis e estaqueamento do eixo, conforme os manuais de projeto;
- e) relatórios impressos seguindo o padrão estabelecido pela prática de projetos e gerados em interface compatível com arquivos utilizados no mercado.
- f) menu superior com as ferramentas consolidadas para acesso rápido à criação das pranchas e relatórios de projeto.

## 5.4 ANÁLISE DOS ELEMENTOS DO EIXO PLANIMÉTRICO

Para que o projetista tenha liberdade no momento da concepção do eixo planimétrico, é necessário que as inconformidades geradas pela inserção de parâmetros de projeto errados não

causem um bloqueio do sistema. Tanto para os erros como para os alertas é mais prudente sinalizar essas inconformidades, pelo fato de que a engenharia trabalha com níveis de precisão diferentes maiores que zero, ou seja, com erros aceitáveis.

Dessa maneira, é necessário que um sistema para estudos e projetos viários contenha uma área relacionada com as inconformidades do projeto. O painel de gerenciamento se presta para esse fim, dado que, no momento da concepção de um eixo planimétrico (já selecionado no painel de gerenciamento), o projetista utiliza somente o painel de edição.

O painel de gerenciamento deve conter uma seção referente as inconformidades que, conforme o projetista lance ou modifique o eixo, seja atualizada de forma dinâmica, informando, com diferentes símbolos, os erros ou alertas analisados. Os símbolos que melhor representam as inconformidades podem ser semelhantes ao utilizado nos sistemas operacionais, os erros são ícones vermelhos com um “X” branco no centro e os alertas, triângulos amarelos com o símbolo de exclamação no centro.

Um formato interessante para a listagem das inconformidades geradas é uma tabela, na qual cada linha representa uma inconformidade. Para cada informação de inconformidade contida nessa tabela, os principais itens – traduzidos em forma de colunas – devem ser:

- a) o escopo do erro, ou seja, o nome do eixo referente a este;
- b) a atividade a qual a inconformidade pertence (no caso do eixo planimétrico, é o projeto geométrico);
- c) o tipo da inconformidade, se erro ou alerta;
- d) a descrição dessa inconformidade, localizando onde ocorreu;
- e) um campo destinado a observações.

Com relação aos itens supracitados, estes são necessários para que o usuário possa localizar onde ocorreu a inconformidade. O nome do eixo a qual a inconformidade pertence é essencial quando no trabalho em interseções, por exemplo, quando existem diversos eixos, já a atividade a qual a inconformidade está associada é necessária, visto que, dependendo da atividade de projeto, as ferramentas disponíveis são diferentes.

No caso do tipo da atividade, é interessante que essa tabela possa ser agrupada por esse item, para que o projetista consiga percorrer todos os erros ou alertas de forma rápida. A descrição é necessária para que esta possa ser verificada e resolvida ou, justificada, no item de

observação, pelo projetista. Tanto os erros como os alertas, além de serem apontados no painel de gerenciamento devem ser visualizados, na forma de ícones, na interface gráfica, tornando o alerta redundante e minimizando a chance de que o projetista não o veja.

O apontamento dos erros deve ser realizado no momento do cálculo dos elementos, quando concebidos, da mesma forma que os alertas. Todavia alguns alertas só podem ser verificados a partir de um conjunto maior de informações, como no caso das intertangente, só sendo possível saber se está dentro do aceitável após as informações de duas concordâncias consecutivas.

De uma forma geral, um sistema computacional para estudos e projetos viários, em seu módulo planimétrico, deve reconhecer e apontar basicamente dois tipos de erros. O primeiro, refere-se a sobreposição de uma concordância sobre outra, ocasionando uma intertangente negativa. O segundo ocorre quando, para uma curva de transição, os desenvolvimentos espirais apresentam valores incompatíveis para a deflexão e raio da curva, ocasionando um desenvolvimento circular negativo.

É importante ressaltar, que para os sistemas anteriormente estudados, mesmo existindo o alerta de intertangente mínima, essa utiliza um critério não compatível com os manuais de projeto. No caso do sistema Topograph<sup>®</sup>, a análise dessa inconformidade não está presente, enquanto o sistema AutoCAD<sup>®</sup> Civil 3D<sup>®</sup> utiliza como parâmetro de referência uma constante atribuída pelo usuário. Outro alerta recomendado pelos manuais de projeto, mas que não está presente nos sistemas estudados, é a intertangente máxima. Na análise das inconformidades, os critérios que se enquadram como alertas são:

- a) raio mínimo da concordância com transição em espiral;
- b) raio mínimo da concordância para curvas de raio simples;
- c) tangente mínima entre concordâncias horizontais;
- d) tangente mínima para concordâncias horizontais de mesmo sentido;
- e) tangente máxima entre concordâncias horizontais.

Com esses apontamentos é possível mapear as principais inconformidades geradas no lançamento do eixo planimétrico, de forma que o projetista tenha todas as ferramentas necessárias para analisar seu projeto eficientemente. Reduzindo assim, os tempos de análises e retornos de projeto, fruto de descuidos na concepção.

Em resumo, as diretrizes referentes as análises das inconformidades do eixo planimétrico devem ser:

- a) seção de inconformidades localizada no painel de gerenciamento do projeto;
- b) apontamentos de erros e alertas em forma tabelada na seção de inconformidades;
- c) representação das inconformidades no ambiente gráfico para redundância de informação;
- d) não tornar os erros impeditivos e utilizar o mesmo tratamento para os alertas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se, no ambiente de projetos nacional, uma adequação forçada dos projetistas a sistemas computacionais estrangeiros criados para estudos e projetos viários, pelo fato de que, sem essas ferramentas, os profissionais da área se tornariam menos competitivos no mercado. A problemática envolvida com este fato é a inadequação desses sistemas aos manuais de projeto e representações definidas pela prática nacional, além da heterogeneidade entre as plataformas, de forma que é muito oneroso para um profissional dominar um sistema, e no advento de uma migração entre plataformas os conhecimentos anteriormente obtidos são inutilizados.

A partir da informação extraída dos manuais de projetos do Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGENS, 1991), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1999) e da literatura técnica consultada, foi possível obter o embasamento necessário para entender a estruturação do processo de concepção geométrica de um eixo planimétrico viário. Conforme essa estruturação, traduzida sobre três bases principais (definição, representação e análise do eixo planimétrico), se conseguiu mesclar o estado da arte com o estado da prática de projetos geométricos exercida no Brasil.

Assim, na etapa da consolidação do referencial teórico da pesquisa, foi possível identificar os objetivos secundários do trabalho. Dessa forma foram apresentados, descritos e indicados os elementos necessários para a definição, representação e análise do eixo planimétrico.

Com base nos fatos supracitados, foi realizado o estudo com os dois principais sistemas para estudos e projetos viários (o AutoCAD Civil 3D e o sistema Topograph), sob o ponto de vista do projeto do eixo planimétrico, para entender como é realizada a fase de definição, representação e análise deste. A partir disso, verificou-se pontos positivos e negativos, presentes ou ausentes, em cada base de estudo, possibilitando o conhecimento da mecânica de projetos das plataformas.

Unindo as informações do referencial teórico, com os estudos dos sistemas computacionais escolhidos, foi possível atribuir características para um sistema computacional de estudos e projetos viários, sob a ótica do projeto do eixo planimétrico, as quais estão apresentadas de forma resumida no quadro 1. Essas características são necessárias para que um sistema que venha a ser desenvolvido para este fim permita, aos profissionais da área que ingressem na plataforma, uma fácil adequação a este.

Quadro 1 - Diretrizes para o módulo planimétrico de um sistema avançado para estudos e projetos viários.

ESCOPO	DIRETRIZES
Interface de Projetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plataforma com características constantes para facilitar o manuseio;</li> <li>- menu superior dinâmico com ferramentas para o projeto;</li> <li>- painel de gerenciamento das atividades do projeto;</li> <li>- painel de edição para cada atividade selecionada dividido em seções genérica e específicas.</li> </ul>
Definição dos Elementos do Eixo Planimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- menu superior com as opções pertinentes para a definição do eixo no modo gráfico;</li> <li>- painel de edição com a tabela de relação dos PI contendo as informações do número, coordenada, raio da curva e comprimento da transição;</li> <li>- quadro de detalhamento das propriedades do PI selecionado, localizado abaixo da tabela com a relação dos PI no painel de detalhes;</li> <li>- atualização automática dos elementos na interface gráfica e na tabela de listagem dos PI;</li> <li>- possibilidade de modificação do eixo planimétrico tanto por meio da interface gráfica, como por meio da tabela ou quadro de propriedades do PI.</li> </ul>
Representação dos Elementos do Eixo Planimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- conter no painel de edição as configurações de camada de desenho, cor e espessura dos traços para cada elemento do eixo planimétrico, bem como uma opção para visibilidade destes;</li> <li>- prever opções no painel de edição para a configuração das pranchas de projeto, bem como os intervalos para a representação do eixo em cada prancha;</li> <li>- conter no sistema pranchas padronizadas seguindo a cultura de projetos nacional;</li> <li>- representação dos pontos notáveis e estaqueamento do eixo, conforme os manuais de projeto;</li> <li>- relatórios impressos seguindo o padrão estabelecido pela prática de projetos e gerados em interface compatível com arquivos utilizados no mercado.</li> <li>- menu superior com as ferramentas consolidadas para acesso rápido à criação das pranchas e relatórios de projeto.</li> </ul>
Análise dos Elementos do Eixo Planimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- seção de inconformidades localizada no painel de gerenciamento do projeto;</li> <li>- apontamentos de erros e alertas em forma tabelada na seção de inconformidades;</li> <li>- representação das inconformidades no ambiente gráfico para redundância de informação;</li> <li>- não tornar os erros impeditivos e utilizar o mesmo tratamento para os alertas.</li> </ul>

(fonte: elaborado pelo autor)

Um sistema de estudos e projetos deve ser intuitivo, rápido e que o projetista tenha acesso às ferramentas de projeto, para cada atividade relacionada, de forma a otimizar seu tempo, sem desperdiçá-lo em operações que não agregam valor. Assim, as diretrizes desenvolvidas intentaram promover todas essas características, tornando os sistemas que venham a ser desenvolvidos com base nessas, plataformas ágeis e, do ponto de vista do projetista, intercambiáveis com perda mínima de eficiência.

De forma geral os sistemas, desenvolvidos a partir dessas diretrizes, podem apresentar diversas características distintas, sendo o fator para tomada de decisão do profissional ou empresa do ramo para adquirir um ou outro. Entretanto, independentemente da plataforma, como seguem os procedimentos ditados pela literatura técnica nacional, o acesso as informações mais importantes para o projeto estão consolidadas em locais específicos e de forma a facilitar o entendimento pelo projetista.

Como este estudo se baseia no eixo planimétrico que, para muitos projetistas é a “certidão de nascimento” da via, e todos os esforços empregados para a definição dessas diretrizes foram nesse contexto, o presente trabalho pretende ser a base para futuros estudos que abordem as diferentes atividades de projeto viário. Assim, é necessário realizar pesquisas para que se possa consolidar uma plataforma multidisciplinar que atenda aos projetos viários como um todo, oferecendo para o mercado nacional uma maior competitividade, reduzindo as ineficiências nos processos de projeto. Isto possibilita o desenvolvimento de sistemas integrados, focados em estudos e projetos viários com uma base nacional e competitiva.

## REFERÊNCIAS

- ALBANO, J. F. **Rodovias: introdução ao projeto geométrico, projeto de terraplenagem e sinalização**. Porto Alegre, RS: FEEng/UFRGS, 2009. 1 CD-ROM \*
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Geometric Design of Highways and Streets**. Washington, D.C., 2004.
- AUTODESK® AUTOCAD® CIVIL 3D 2014 for Windows, version 2014. Autodesk, Inc., 2013. Programa de computador. 1 DVD-ROM.
- CARVALHO, M. P. **Curso de estradas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Científica, 1967. v. 2.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM. **Normas de Projetos Rodoviários**. Porto Alegre, 1991. v. 1.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro, 1999.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos/instruções de serviço**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- GARCÍA, D. S. P.; ALBANO, J. F. Um relato sobre o ensino de estradas na UFRGS. In: SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES, 4., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 2.
- GARCÍA, D. S. P.; WANDSCHEER, M. A.; TEIXEIRA, F. G.; FREITAS, F. F.; D'AZEVEDO, Z.; DI RADO, G. R., DEVINCENZI, G. H. Diretrizes para desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: modelagem digital do terreno e projeto. In: CONGRESO ARGENTINO DE MECÁNICA COMPUTACIONAL, 10., 2012, Salta. **Anais...** Salta: Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2012. Não paginado.
- LEE, S. H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 3. ed. Rev. e Ampl. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008.
- NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples**. 2003. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- PANITZ, M.A. **Dicionário de Engenharia Rodoviária e de Logística: português-inglês**. 1 ed. Porto Alegre: Editora Alternativa, 2007.
- PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2004.

---

\* Foi utilizada uma versão revisada em 2013 que será publicada posteriormente.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de projetos rodoviários**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008.

SISTEMA TOPOGRAPH<sup>®</sup> 98SE para Windows, versão 4.0. Bentley Systems Brasil, 2013.  
Programa de computador. 1 CD-ROM