



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

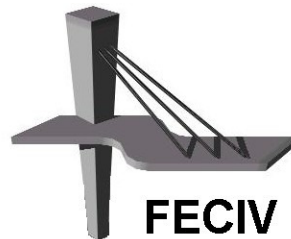
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

n.º 067

**A CONFIABILIDADE DO TRANSPORTE COLETIVO
URBANO EM CORREDORES ESTRUTURAIS DE ÔNIBUS**

THAIS CRISTINA CUNHA E SILVA

UBERLÂNDIA, 28 DE JANEIRO DE 2010.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Thais Cristina Cunha e Silva

**A CONFIABILIDADE DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO EM
CORREDORES ESTRUTURAIS DE ÔNIBUS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Urbana

Orientador: Prof. Dr. José Aparecido Sorratini

UBERLÂNDIA, 28 DE JANEIRO DE 2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- S586c Silva, Thais Cristina Cunha e, 1985-
A confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus / Thais Cristina Cunha e Silva. - 2010.
97 f. : il.
- Orientador: José Aparecido Sorratini.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Inclui bibliografia.
1. Transportes coletivos - Uberlândia (MG) - Teses. I. Sorratini, José Aparecido. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 656.132(815.1*UDI)



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 067/2010

CANDIDATA: Thaís Cristina Cunha e Silva

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Aparecido Sorratini

TÍTULO: "A confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Operação de Transportes

DATA DA DEFESA: 28 de janeiro de 2010

LOCAL: Sala de Apoio I da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 14:00 - 16:30

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

APROVADA

REPROVADA

OBS: Fazer uma revisão textual e de forma na dissertação.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

José App. Sorratini

Professor Orientador: **Prof. Dr. José Aparecido Sorratini – FECIV/UFU**

Michelle Andrade

Membro externo: **Prof.ª Dr.ª Michelle Andrade – UFG – Campus Catalão/GO**

Carlos Alberto Faria

Membro: **Prof. Dr. Carlos Alberto Faria – FECIV/UFU**

Uberlândia, 28 de janeiro de 2010.

*Aos meus pais e irmãos, pelo
apoio constante e pelo amor
incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Aparecido Serratini, pela orientação e pelo tempo dedicado à realização desse trabalho. À Faculdade de Engenharia Civil e seus docentes, pelo conhecimento acumulado ao longo desses sete anos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Aos amigos, que sempre permaneceram ao meu lado, independente de quão difícil tenha sido. Sempre me senti abençoada pela família que tenho. Mal sabia eu que a vida ainda me reservava vocês. Eu sou uma pessoa de sorte por tê-los conhecido. Vocês fazem de mim uma pessoa melhor. À Lícia Nery, pelos nove anos de paciência, amor, companhia, sinceridade, conselhos e silêncios. Nenhuma distância separa o que construímos nesse tempo e por isso serei sempre grata. À Virgínia Alves, por toda amizade, que demorou em acontecer, mas que nunca acabou. Mesmo que tenhamos nossas diferenças, sempre pude, em você, encontrar todo o amor e carinho do mundo. À Juliana Ayres, por tudo que esses dois anos nos trouxeram, pelas horas de conversa on-line, pela amizade que nem a distância impediu que acontecesse, pelos conselhos sábios, pelas risadas necessárias, pelos shows, pelas chuvas, pela lama, pela casa sempre aberta a me receber e pelo coração mais aberto ainda. À Agatha Sanabria, por todos os momentos em que me ofereceu o ombro (mesmo que seus ombros estejam 30 centímetros acima da minha cabeça), por toda a compreensão e carinho, pelas horas de consolo e pelo apoio. Ao Paulo Henrique Costa e à Marília Gabriela Sestini, mesmo que o ano atribulado tenha nos distanciado, vocês são fundamentais. Obrigada a todos os amigos que aqui não foram citados nominalmente, mas vocês sabem quanto significam pra mim. Eu os amo!

Aos meus irmãos, Ana Carolina Cunha e Silva Taylor e Marco Antonio Cunha e Silva. Durante esses 24 anos, não poderia ter contado com melhores companhias. Vocês são tão parte da minha história que não sei onde eu acabo e vocês começam. Obrigada por tudo, por toda a tolerância com a irmãzinha chatinha, chorona, cheia das reclamações e levemente inconveniente. Obrigada por serem os melhores irmãos que uma pessoa poderia ter. Ao Michael William Taylor e à Lily Patricia Silva Taylor, novos integrantes da família, que só trouxeram alegrias. Bem-vindos ao clã!

E finalmente, aos meus pais, Marisa Prado Cunha e Silva e Marco Antonio Silva. Não lhes devo só minha existência, mas tudo que sou. Foram vocês que me ensinaram o que é certo e errado, o que é ser uma pessoa boa, caridosa, gentil, amorosa, amiga, fiel e dedicada. A vocês, devo todas minhas qualidades. A vocês, dedico todas as minhas conquistas. Por todo o amor, por toda a compreensão, por todo o carinho, por todos os sacrifícios, eu agradeço. Vocês sempre nos colocaram em primeiro lugar, e eu sempre os colocarei também. Vocês são meus maiores exemplos. Eu os amo profundamente e serei eternamente grata por ser filha de vocês. É com muito orgulho que eu sou Cunha e Silva.

Cunha e Silva, T. C. A confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais de ônibus. 97 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a confiabilidade do transporte coletivo urbano por ônibus tendo como base o corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, uma das principais vias da cidade de Uberlândia, MG. Para tanto, foram utilizados os programas computacionais *Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks* – SATURN e *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* – DRACULA. Os programas, ambos desenvolvidos pela Universidade de Leeds, na Inglaterra, foram usados na execução das simulações necessárias para concluir quanto ao efeito que a implantação do corredor de ônibus acarretou sobre a linha de ônibus que percorre a avenida. É apresentada uma análise sobre a confiabilidade do transporte coletivo urbano na avenida, onde foi implantada uma faixa exclusiva para ônibus e treze estações de embarque e desembarque, por meio de indicadores como tempo de viagem, regularidade e pontualidade, entre outros. Além do cenário básico, foram propostos cenários variados a fim de verificar como os indicadores de confiabilidade seriam afetados. Por fim, esse trabalho traz a comparação entre os tempos de viagem antes e após a implantação do corredor e visa concluir sobre os benefícios reais da implantação de um corredor de ônibus em cidades médias.

Palavras-chave: Transporte coletivo urbano, Confiabilidade, Corredor estrutural, SATURN, DRACULA

Cunha e Silva, T. C. Reliability of public transport in bus structural corridors. 97 p. MSc. Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2010.

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the reliability of the urban public transport using as a study case the bus structural corridor in the João Naves de Ávila Avenue, one of the main avenues in Uberlândia, MG, Brazil. Two softwares, Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks – SATURN and Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation – DRACULA, both developed by the University of Leeds UK, were used to simulate and conclude about the influence of the deployment of the corridor on the bus route. Here it is presented an analysis on the reliability for the public transport along the avenue, where a bus-only lane and thirteen boarding and alighting stations were built, through indicators such as travel time, punctuality and regularity, among others. Through the simulation of various scenarios, this work also presents an analysis on how reliability indicators were affected by the proposed changes. Finally, a comparison between the travel time before and after the construction of the bus corridor allowed a conclusion to be reached on the actual benefits brought on by the deployment of a structural bus corridor in medium sized cities.

Keywords: Urban Public transport, Reliability, Bus Structural corridor, SATURN, DRACULA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Situação típica de <i>car-following</i>	16
Figura 2 – Tela de edição do módulo P1X – Rede de Uberlândia	19
Figura 3 – Tela de edição do módulo P1X – representação gráfica do nó 121	20
Figura 4 – Tela de simulação no DRACULA	25
Figura 5 – Simulação do cruzamento entre Avenida João Naves de Ávila e Rua Prata	26
Figura 6 – Localização dos terminais de integração de ônibus	29
Figura 7 – Bairros limitados pela Avenida João Naves de Ávila	30
Figura 8 – Esquema de localização das estações do corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, Uberlândia – MG	31
Figura 9 – Mapa utilizado como base da rede	34
Figura 10 – Pontos de referência utilizados na alocação da base	35
Figura 11 – Configuração da rede, antes da adequação do traçado	36
Figura 12 – Configuração da rede, após a adequação do traçado	36
Figura 13 – Detalhamento do traçado da avenida, antes da correção do traçado	37
Figura 14 - Detalhamento do traçado da avenida, após a correção do traçado	37
Figura 15 - Detalhamento do traçado da avenida, após a separação das pistas	38
Figura 16 – Configuração da rede, após a inserção das principais vias	38
Figura 17 – Cruzamento entre avenidas João Naves de Ávila e Rondon Pacheco em simulação do DRACULA	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento populacional na cidade de Uberlândia – MG	27
Tabela 2 – Frota de veículos da cidade de Uberlândia – MG em 2007	27
Tabela 3 – Características dos terminais de ônibus de Uberlândia – MG	28
Tabela 4 – Estações do corredor estrutural da Avenida João Naves de Ávila	32
Tabela 5 – Linhas de ônibus com ponto de parada na Avenida João Naves de Ávila	33
Tabela 6 – Características da rede final e limites do programa	39
Tabela 7 – Arquivos básicos para o DRACPREP e suas funções	40
Tabela 8 – Passageiros embarcados por hora nas estações do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila e Terminais	41
Tabela 9 – Pontos com baia e comprimentos das baias	42
Tabela 10 – Passageiros embarcados por hora nos cenários de variação de demanda	42
Tabela 11 - Arquivos básicos para o DRACSIM e suas funções	44
Tabela 12 – Arquivos com resultados das simulações realizadas pelo DRACSIM	45
Tabela 13 – Resultados das simulações para o cenário base – Tempo de viagem	47
Tabela 14 – Resultados das simulações para o cenário base – Velocidade (ônibus)	48
Tabela 15 – Resultados das simulações para o cenário base – <i>Headway</i>	48
Tabela 16 – Resultados das simulações para o cenário base – Tempo de espera	49
Tabela 17 – Resultados das simulações de todos os cenários	51
Tabela 18 – Resultados das simulações de todos os cenários	56
Tabela 19 – Resultados das simulações de todos os cenários	58

SUMÁRIO

Resumo	xi
Abstract	xii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
Sumário	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Objetivos do trabalho	3
1.2 Justificativa do trabalho	3
1.3 Estrutura do trabalho	4
Capítulo 2	6
Revisão Bibliográfica	6
2.1 Qualidade no transporte público	6
2.2 Confiabilidade no transporte público	9
2.3 O uso da simulação e o modelo “ <i>Car-following</i> ”	14
Capítulo 3	17
Estudo de caso: Avaliação da confiabilidade do transporte coletivo urbano no corredor estrutural da Avenida João Naves de Ávila da cidade de Uberlândia - MG	17
3.1 Simuladores - SATURN e DRACULA	17
3.2 Caracterização da região de estudo	26
3.3 Modelagem do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila	33
Capítulo 4	46
Resultados e Análises	46
4.1 Cenários base	46
4.2 Cenários Adicionais	50
Capítulo 5	62
Conclusões e Recomendações	62
Referências Bibliográficas	69
Apêndice	72
Resultados dos cenários simulados	72

Anexo A	81
Rotas	81
Anexo B	94
Dados dos Semáforos	94

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A mobilidade em uma cidade é um fator vital para seu desenvolvimento e crescimento, tendo influência direta na qualidade de vida de seus habitantes. As cidades necessitam de sistemas de transporte eficientes, tanto para a movimentação de bens quanto para a movimentação das pessoas e para a realização de suas atividades fundamentais. O transporte caracteriza-se, portanto, como uma das atividades básicas para o atendimento das necessidades de crescimento dos centros urbanos.

É importante que a rede de transporte intraurbano funcione de maneira eficaz, permitindo que a circulação seja realizada com a menor perda de tempo possível. A interação entre os diversos tipos de veículos que circulam pela cidade deve ser planejada para garantir a mobilidade urbana.

Segundo Polus (1978), “um dos objetivos do transporte público por ônibus é maximizar o fluxo de pessoas, minimizando atrasos”. O transporte público urbano de pessoas é, portanto, um dos serviços básicos para o funcionamento dos centros urbanos, tendo papel fundamental tanto para o desenvolvimento econômico quanto para o social de sua população.

No que tange ao desenvolvimento social, pode-se dizer que o transporte público urbano por ônibus é um modo de transporte motorizado seguro e que melhor atende às camadas sociais mais baixas, por ser o modo que oferece o menor custo por passageiro transportado para as cidades de porte médio. Além disso, na maioria dos casos, trata-se da única alternativa de transporte motorizado disponível a essa camada social. Constitui-se, também, em uma alternativa para pessoas que não desejam ou não podem fazer uso do transporte individual,

seja por não serem habilitadas a dirigir ou por não possuírem veículo próprio (FERRAZ e TORRES, 2004).

Economicamente, todos os segmentos da sociedade se beneficiam, direta ou indiretamente, pela existência de uma rede de transporte público confiável. Os trabalhadores podem chegar ao local de trabalho e os empresários dispõem de mão-de-obra vinda de todas as partes da cidade, além de facilitar o acesso dos consumidores aos diversos centros comerciais.

A implantação de um sistema de transporte público eficiente democratiza a mobilidade, assegurando que a população possa circular com facilidade pelos centros urbanos, independente de qual seja o motivo da viagem. Além disso, um sistema de transporte público eficaz reduz a necessidade de investimentos públicos em vias e estacionamentos para veículos particulares, uma vez que a implantação desse sistema também visa atrair os usuários desses veículos.

Uma rede de transporte público bem estruturada ainda apresenta como benefícios a redução dos índices de congestionamento nas vias públicas e a mitigação de vários impactos negativos, ambientais e econômicos, causados pelo uso indiscriminado de transporte individual, tais como poluição atmosférica, gasto de tempo e dinheiro em congestionamentos, alto consumo de energia derivada do petróleo e acidentes de trânsito.

No entanto, para que a rede de transporte público seja um fator de melhoria da qualidade de vida dos habitantes e para que atinja seus objetivos, como atrair os usuários de veículos particulares e diminuir os impactos negativos desses veículos, é necessário garantir a qualidade do serviço prestado.

Qualidade em transporte público se relaciona com a satisfação dos envolvidos, ou seja, se são atingidas as expectativas criadas relativas ao sistema de transporte. Entre os fatores que interferem na qualidade do transporte público está a confiabilidade, que afeta diretamente o usuário do transporte, por influenciar em seus horários de partida e de chegada, bem como nas transferências que porventura tenha que realizar.

Os conceitos de qualidade de serviço e confiabilidade serão tratados com maior profundidade em capítulos posteriores.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho tem como objetivos:

- Calcular e avaliar indicadores de confiabilidade no corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila: variabilidade no tempo de viagem, variabilidade do intervalo entre veículos (*headway*), variabilidade do tempo de espera pelos passageiros, regularidade e pontualidade;
- Calcular e avaliar os mesmos indicadores de confiabilidade supracitados para diferentes cenários: aumento no congestionamento, aumento na demanda, variação no tipo de ponto de ônibus e variação no tempo de embarque dos passageiros.
- Avaliar o impacto da implantação do corredor de ônibus na Avenida João Naves de Ávila sobre o tempo de viagem da linha T131 – Terminal Santa Luzia – Terminal Central.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Garantir a qualidade e a confiabilidade do transporte coletivo urbano é fundamental para o aumento da demanda pelo serviço. É necessário que o usuário sinta-se atraído pelas vantagens do transporte coletivo e, assim, escolha-o em detrimento do transporte individual. As características inerentes ao sistema de transporte coletivo urbano, tais como conforto, segurança, disponibilidade de horário e localização dos pontos de ônibus são de grande importância no processo de escolha do usuário, desempenhando relevante papel na atração e manutenção da demanda.

O transporte coletivo urbano desempenha o importante papel de democratizar a mobilidade em centros urbanos, dinamizando o trânsito e reduzindo os impactos negativos associados ao uso do transporte individual. No entanto, o ônibus divide o espaço de circulação com outros tipos de veículo, o que resulta em certos transtornos, como dificuldade para parar nos pontos de embarque e desembarque, por exemplo. Essas dificuldades podem gerar atrasos e desconforto para os usuários do transporte coletivo, afetando sua qualidade.

A priorização do transporte público por ônibus sobre o transporte individual pode ser vista como uma ferramenta para atrair demanda, bem como uma medida operacional visando a melhoria da eficiência do transporte coletivo urbano.

Uma das soluções adotadas para a priorização do transporte coletivo por ônibus é a implantação de corredores estruturais de ônibus. A segregação do tráfego por meio de faixas de circulação exclusiva para ônibus, com ou sem separação física do restante dos veículos que circulam pela via, visa garantir que o movimento dos outros veículos não influencie na circulação dos ônibus. Assim, sem a necessidade de esperar brechas no tráfego para retomar o movimento, a circulação se dá de maneira mais livre, minimizando a ocorrência de falhas no cumprimento de horário e melhorando a confiabilidade do transporte público.

No entanto, as obras necessárias para a adaptação das vias aos projetos de corredores estruturais demandam grandes investimentos públicos. É necessário que sejam realizados estudos sobre o impacto real que os corredores estruturais acarretam sobre a qualidade do transporte coletivo, como afetam a confiabilidade e o tempo de viagem total, ou seja, devem ser estudados quais são os benefícios reais que os usuários e os operadores de transporte obterão com a sua implantação.

A verificação de possíveis mudanças no desempenho do transporte coletivo após a implantação de um corredor estrutural de ônibus é o objetivo principal deste trabalho. Será feita também a simulação de outros cenários, possibilitando um entendimento mais abrangente acerca dos benefícios trazidos pelas modificações e como a situação atual poderia ser melhorada.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é constituído de cinco capítulos, organizados da seguinte maneira:

Capítulo 1: apresenta a introdução sobre o assunto discutido, os objetivos e a justificativa da realização do trabalho proposto.

Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica desenvolvida como embasamento teórico do trabalho. Está dividida em três tópicos: “Qualidade no transporte público”, “Confiabilidade no

transporte público” e “O uso de simulação e o modelo *car-following*”, a fim de reforçar a importância desses conceitos, fundamentais para a compreensão do trabalho.

Capítulo 3: são apresentados os programas computacionais utilizados no desenvolvimento do trabalho, bem como a caracterização da área de estudo. Finalmente, é descrita como foi feita a utilização dos programas na modelagem do corredor estrutural de ônibus estudado.

Capítulo 4: são apresentados os resultados obtidos para todos os cenários após a etapa de modelagem e realização das simulações

Capítulo 5: são feitas a análise e discussão dos resultados e a conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo trata da qualidade e da confiabilidade do transporte público, abordando os conceitos e a sua relevância no processo de decisão do usuário pelo modo de transporte a ser utilizado. Trata-se também do modelo *car-following*, utilizado pelo programa de microssimulação responsável pelo desenvolvimento da pesquisa.

2.1 QUALIDADE NO TRANSPORTE PÚBLICO

Qualidade do transporte público é definida, segundo o *Transit Capacity and Quality of Service Manual – TCQSM* (TRB, 2003), como “medida geral ou percepção do desempenho do transporte coletivo do ponto de vista do passageiro”. Percebe-se, então, que a qualidade do serviço prestado depende diretamente de uma série de decisões operacionais, tais como onde o serviço deve ser ofertado, com que frequência, por quanto tempo e que tipo de serviço é fornecido.

A qualidade, do ponto de vista operacional, é uma das medidas de desempenho do transporte coletivo urbano. Medida de desempenho é, de acordo com o *TCQSM* (TRB, 2003), “um fator qualitativo ou quantitativo utilizado para avaliar um aspecto particular da capacidade do transporte”, dentro do qual se insere, portanto, o conceito de qualidade do serviço.

A qualidade do transporte público é afetada por diversas características do sistema, uma vez que a viagem engloba não só o tempo gasto dentro do veículo, mas também o tempo de espera e possíveis tempos de transferência, caso seja necessário mudar de linha durante o trajeto. Segundo Ferraz e Torres (2004, p. 101):

De maneira geral, são doze os principais fatores que influem na qualidade do transporte público urbano: acessibilidade, frequência de atendimento, tempo de viagem, lotação, confiabilidade, segurança, características dos veículos, características dos locais de parada, sistema de informações, conectividade, comportamento dos operadores e estado das vias.

Serão discutidos brevemente os doze fatores supracitados, para estabelecer compreensão sobre como influem na qualidade do serviço de transporte.

- A acessibilidade, que neste caso refere-se à disponibilidade ou não de serviço de ônibus perto da origem e do destino do usuário, é um fator decisivo no processo de escolha. No caso desses percursos serem feitos a pé, leva-se em consideração as características do caminho que será percorrido, como existência de calçada, segurança, facilidade para cruzar as vias no caminho etc. Para serviços de ônibus, considera-se 400 metros, ou 5 minutos de caminhada, a máxima distância para avaliar o serviço como acessível. Nos sistemas estacione e viaje (*park and ride*) considera-se a existência de bolsões de estacionamento para carros e bicicletas como opções que aumentam a acessibilidade ao transporte público. A cobertura do serviço *park and ride* deve ser assegurada em ambas as extremidades da viagem (TRB, 2003).
- A frequência de atendimento é definida pelo número de veículos disponíveis num período de tempo. Quanto maior a frequência de serviço, menor é o tempo de espera quando o usuário perde um horário de ônibus ou quando não sabe os horários, e maior é a oferta de horários para que o usuário escolha o que lhe melhor atenda as necessidades. A quantidade de horas de disponibilidade do serviço também é fundamental no processo de escolha, pois não justifica o serviço ser acessível se não está disponível.
- O tempo de viagem total inclui o tempo no trajeto da origem ao ponto de ônibus, o tempo de espera no ponto, o tempo dentro do veículo, o tempo no trajeto do ponto de chegada ao destino final e o tempo envolvido em transferências, caso estas sejam necessárias. O tempo total de viagem é influenciado por várias características do sistema, como o espaçamento entre pontos, que influencia na distância de caminhada até o ponto de embarque e na quantidade de paradas do ônibus durante a rota; frequência do serviço, que influi no tempo de

espera; congestionamento das vias de circulação, semaforização e o tipo de cobrança a bordo, por exemplo.

- A lotação afeta a qualidade de serviço e a escolha do usuário à medida que o transporte se torna menos atrativo quando o passageiro sabe que terá que ficar em pé por grande período de tempo. Veículos mais cheios, onde grande parte dos passageiros deve permanecer em pé, levam mais tempo no percurso, por gastarem mais tempo para embarque e desembarque e inviabilizam a execução de outras atividades pelos passageiros que não têm assento disponível.
- A segurança dentro do veículo, não só no que diz respeito a assaltos e outros crimes, mas também em relação à propensão a acidente, é de grande importância na determinação da qualidade do serviço de transporte e em seu poder de atrair demanda, uma vez que o usuário que possa utilizar veículo particular não escolherá se submeter a riscos dentro do veículo de transporte coletivo.
- As características dos veículos são fundamentais no processo de decisão do usuário. A aparência, a idade do veículo, a largura das portas e dos corredores infundem no usuário a sensação de conforto. Portas estreitas, por exemplo, dificultam o embarque e o desembarque, gerando desconforto não só para o passageiro que realiza o movimento, mas também para todos os outros usuários que devem esperar dentro do veículo.
- As características dos locais de parada, sua localização e estado, influem na qualidade do transporte. A ausência de abrigo, de bancos e as condições de limpeza podem representar empecilho a potenciais usuários do transporte, especialmente quando o tempo de espera pelo próximo veículo é grande.
- A existência de um sistema de informação estimula o uso do transporte coletivo, uma vez que os usuários podem planejar a viagem. A disponibilização de mapas das rotas, bem como informações sobre onde podem ser feitas as transferências, divulgação dos horários das linhas, veiculação de dados por telefone e/ou pela *Internet*, entre outras formas de divulgação, são indicativos da qualidade do serviço prestado.

- A conectividade do sistema, ou seja, a facilidade de interligação de linhas que permite ao usuário deslocar-se entre dois pontos da cidade, também é fator importante na tomada de decisão dos usuários. Quanto maior a necessidade de transbordos, menos encorajado o viajante sentir-se-á a usar o transporte coletivo. Além disso, quando há necessidade de transferências, há a possibilidade de atrasos e conseqüente aumento no tempo de espera e no tempo total de viagem. A necessidade de transferências e maior complexidade da jornada podem inibir novos passageiros. (TRB, 2003)
- O comportamento dos operadores também é levado em consideração pelo usuário na percepção da qualidade do serviço prestado. Segundo Rodrigues (2006), observa-se o comportamento do motorista na direção, como realização de paradas obrigatórias, atendimento a idosos e pessoas com dificuldade de locomoção, atitudes tomadas durante a parada, postura, gestos e prestação de informações, além do modo de direção propriamente dito. O comportamento dos cobradores é observado na comunicação verbal e não verbal, na postura frente ao usuário, na maneira como presta informações e assistência e na maneira como recebe o pagamento e fornece o troco. Esses fatores comportamentais são relevantes aos potenciais passageiros, que não querem ser destratados ao usar o serviço.
- O estado das vias é relevante na medida em que influencia diretamente na velocidade do veículo, bem como na sensação de conforto do usuário do serviço. A necessidade de muitas frenagens, a existência de buracos e lombadas, poeira ou lama na via são fatores de desconforto para os passageiros e pode dissuadi-los de utilizar o transporte coletivo.

A confiabilidade é o fator contribuinte para a qualidade de serviço de maior relevância a este trabalho e será tratada de maneira mais detalhada a seguir.

2.2 CONFIABILIDADE NO TRANSPORTE PÚBLICO

O conceito de confiabilidade varia extensamente. Polus (1978) define a confiabilidade em serviços de ônibus como a habilidade de prover um serviço consistente, durante um período de tempo. Já van Oort e van Nes (2004) definem-na como a probabilidade de que uma viagem seja realizada de acordo com as características esperadas: tempo de viagem, conforto e custos. O TRB (2003) define que a confiabilidade engloba tanto o desempenho no horário programado quanto a regularidade de *headways* entre veículos consecutivos. Pode ser

definida ainda como consistência no tempo de viagem, aderência à tabela de horários ou, ainda, como a manutenção de regularidade no serviço (SORRATINI *et al.*, 2008). Levinson¹ (1991), citado por Cham (2006), define que prover serviço confiável significa manter o ônibus no horário, manter *headway* uniforme e minimizar a variabilidade do carregamento máximo de passageiros. Chapman² (1976), citado por Liu e Sinha (2007) define que o termo confiabilidade cobre todos os aspectos de serviço, como segurança, pontualidade, regularidade, limpeza dos veículos, e conforto dos passageiros.

Apesar das variações de definição, sabe-se que a confiabilidade é um dos fatores de decisão para o usuário. Segundo Bates *et al* (2001):

Dentro do campo de transporte, o impacto da falta de confiabilidade acontece primariamente no uso do tempo (...). No entanto, as consequências mais comuns da falta de confiabilidade estão nas possível chegadas com atraso, no gasto maior de tempo em certas atividades do que o planejado ou desejado, bem como no estresse associado à falta de certeza propriamente dita. (...) [Tradução do autor]

A confiabilidade é, portanto, uma característica de extrema importância na decisão do usuário sobre qual modo de transporte deve adotar, uma vez que as consequências associadas à falta de confiabilidade afetam diretamente o planejamento do usuário. Não se trata somente da perda de tempo, mas também da ansiedade causada pela incerteza de como a viagem transcorrerá (BATES *et al*, 2001).

Segundo Cham (2006), a confiabilidade é influenciada por quatro fatores:

- As condições gerais de tráfego, uma vez que o transporte público por ônibus normalmente opera com tráfego geral. As variações no tempo de viagem resultam da interação com outros veículos, incluindo acidentes, movimentos de conversão e estacionamentos irregulares;

¹ LEVINSON, H. S. **Supervision Strategies for Improved Reliability of Bus Routes**. NCTRP Synthesis of Transit Practice 15, TRB, National Research Council, Washington, DC. 1991.

² CHAPMAN, R. A. **Bus Reliability - Definition and measurement**. 1976. Report nº 18. Transport Operations Research Group, University of Newcastle upon Tyne, UK.

- A ocorrência de interseções semaforizadas ao longo da rota impede o fluxo livre e aumenta a possibilidade de atrasos. O tempo de percurso aumenta em consequência da falta de uniformidade no movimento causada pelas frenagens e com as paradas durante tempo de vermelho;
- Variações não previstas na demanda podem causar variabilidade nos tempos de parada e no tempo de viagem;
- A disponibilidade de funcionários e veículos para o cumprimento de toda a programação e para o atendimento de eventualidades são fatores relacionados às políticas de operação do transporte. Mas tais fatores contribuem para a composição do indicador de confiabilidade na medida em que, não havendo meios suficientes, não há garantia da execução da programação ou atendimento de situações imprevistas, tais como quebras, acidentes ou ausências de funcionários.

De acordo com o TRB (2003), a confiabilidade é influenciada por condições de tráfego, manutenção dos veículos e disponibilidade de equipe de manutenção, e a aderência à programação de horários. Já segundo Sorratini *et al.* (2008), a confiabilidade é afetada por quatro diferentes grupos de características: características do tráfego, tais como composição e níveis de congestionamento; características da rota, tais como comprimento, número de faixas de rolamento nas vias e existência de faixa exclusiva para ônibus; características dos passageiros, tais como volume de pessoas nos pontos e escolha de rota pelos passageiros; e, finalmente, características operacionais, tais como sistema de bilhetagem, disponibilidade e manutenção da frota e variabilidades no comportamento do motorista.

Serão considerados neste trabalho cinco grandes indicadores de confiabilidade: a variabilidade no tempo de viagem; a variabilidade do intervalo entre veículos sucessivos, ou *headway*, a variabilidade do tempo de espera pelos passageiros; regularidade e pontualidade.

A variabilidade no tempo de viagem é representada por mudanças no tempo médio de viagem, dentro de um determinado período do dia. Pode ser ainda entendida como a probabilidade de uma viagem ser completada dentro de um determinado espaço de tempo. Segundo Bates *et al.* (2001), o maior impacto da variabilidade do tempo de viagem é na escolha de horário de partida, já que o usuário pode ter que lidar com viagens que levam mais tempo para serem

completadas do que o planejado. O tempo de viagem é afetado pelo comprimento do percurso, condições meteorológicas, carregamento de passageiros, volume de tráfego e características físicas da rota (POLUS, 1978). A variabilidade no tempo de viagem será calculada como o inverso do coeficiente de variação do tempo de viagem (média/desvio padrão), mostrando a correlação positiva entre o indicador e a qualidade do serviço fornecido (STERMAN e SCHOFER, 1976).

A variabilidade de *headway* é representada por mudanças nos intervalos programados entre veículos sucessivos de uma mesma linha. Quando o intervalo entre ônibus é irregular, ocorre a falta de serviço em certos horários e o acúmulo de veículos em outros, gerando picos de demanda. Tais picos de demanda resultam em ônibus lotados e que não param em outros pontos devido à falta de capacidade para mais passageiros. A variabilidade do *headway* será computada como o coeficiente de variação (desvio padrão/média).

A variabilidade do tempo de espera pode ser entendida como a probabilidade de que o passageiro esperará menos do que um valor prefixado. No entanto, pode ser avaliado também o tempo de espera em excesso, que é o tempo a mais que o passageiro deve esperar em virtude de atraso na execução do serviço. O tempo de espera, de modo geral, tem relação mais com a confiabilidade do transporte do que com a frequência, uma vez que os usuários que conhecem a programação do transporte sabem com que antecedência devem se dirigir ao ponto de ônibus. No entanto, quando a confiabilidade do transporte é baixa, o tempo de espera no ponto aumenta, pois não se sabe ao certo quando o próximo veículo atenderá o ponto de embarque. Desta maneira, a análise do tempo de espera é fundamental na determinação da confiabilidade do transporte. Segundo van Oort e van Nes (2004):

Em áreas urbanas, passageiros tendem a chegar aleatoriamente aos pontos, pelo menos para serviços com intervalo de tempo entre veículos de 12 minutos ou menos. No caso de serviços regulares, o tempo médio de espera será igual à metade do *headway*. [Tradução do autor]

Sendo assim, será considerado o tempo programado de espera igual à metade do *headway* programado.

A regularidade e a pontualidade são características que dizem respeito à manutenção do horário programado para partida e chegada em pontos de controle ao longo da rota no horário previsto. A manutenção da regularidade afeta tanto a oferta quanto a demanda pelo transporte. Quanto à oferta, a melhor regularidade resulta em distribuição regular de passageiros e, conseqüentemente, em menores picos de ocupação dos veículos. No lado da demanda, a regularidade ajuda a manter seu nível, uma vez que o passageiro aprecia mais o transporte público quando têm menores tempos de viagem e veículos mais vazios, além de contribuir para a atração de nova demanda (van OORT e van NES, 2004).

Uma das maneiras utilizadas neste trabalho para calcular a regularidade do serviço será a porcentagem de desvio médio da regularidade (PRDM – *Percentage Regularity Deviation Mean*), expresso pela Equação (1) abaixo. Quanto menor o PRDM, melhor é a regularidade do serviço.

$$PRDM = \frac{\frac{\sum |TIT - TIA|}{TIT}}{n} \times 100 \quad (1)$$

onde TIT = *headway* programado para o ponto de parada, TIA = *headway* real no ponto e n = número de veículos no ponto.

Normalmente, quando é calculado o tempo de espera, leva-se em consideração apenas a frequência, mas a verdade é que a regularidade também influencia. Neste trabalho, será calculado o tempo médio de espera (TWM) e a frequência percebida (Fp), cujas equações (2) e (3), respectivamente, levam em conta a regularidade calculada por meio do PRDM.

$$TWM = \frac{1}{2} TITM(1 + PRDM^2) \quad (2)$$

onde TWM = tempo médio de espera e TITM = *headway* médio programado.

$$Fp = \frac{F}{(1 + PRDM^2)} \quad (3)$$

onde F = frequência programada.

A frequência percebida, por sua vez, pode ser usada para calcular o impacto na demanda, em termos de número de passageiros. Segundo van Oort e van Nes (2004), a relação entre as duas variáveis é quase linear e consideram que cada 1% de variação na frequência percebida resulta numa mudança de 0,36% no nível de demanda, ou seja, a elasticidade da frequência em relação à demanda no transporte coletivo é de 0,36.

Um dos artifícios utilizados pelos operadores de transporte para melhorar a pontualidade do transporte coletivo urbano é permitir tempo maior na programação da linha para que a viagem seja feita dentro do planejado. O tempo de viagem da rota deve ser programado com um valor ligeiramente maior que a média ou que a mediana da distribuição, a fim de assegurar que os veículos cumpram o horário. Esse tempo, denominado tempo de recuperação, permite que as atividades voltem à programação normal caso haja atraso em algum trecho do percurso. No entanto, o tempo de recuperação, mesmo melhorando pontualidade, faz com a viagem demore mais para ser completada (CAREY, 1998).

Independente de escolher a referência para o tempo de viagem como a média, a mediana ou um valor menor, o tempo de recuperação apropriado é a diferença entre a referência escolhida e o 95º percentil, de maneira que 95% das viagens ocorram dentro do programado. Serão calculados outros dois patamares, além da diferença entre o 95º percentil e a mediana, para fins de comparação. O segundo patamar será o valor normalmente associado com o contrato de operação do serviço, aqui considerado 10% da média. O terceiro valor será calculado como 18% da média, valor normalmente aplicado durante o processo de cálculo da programação da linha. (STRATHMAN *et al*, 2002).

Destarte, será analisada neste trabalho a confiabilidade da linha de ônibus que atende o corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila em Uberlândia, MG. Será também analisada a variação entre os tempos de viagem antes e depois da implantação do corredor estrutural, com a finalidade de verificar se as medidas adotadas geraram melhoria dos resultados em relação ao tempo gasto para que o ônibus percorra toda a extensão do corredor.

2.3 O USO DA SIMULAÇÃO E O MODELO “CAR-FOLLOWING”

É importante ressaltar que a simulação de tráfego é hoje o método mais comumente escolhido para avaliar e aprimorar sistemas de transporte. Segundo Portugal (2005, p.25):

O propósito principal da simulação é representar ou modelar o comportamento próprio e as interações dos elementos de um sistema para permitir uma avaliação prévia do seu desempenho. A simulação é mais um instrumento (por sinal, dos mais poderosos) do analista que pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado.

Desta maneira, a simulação se torna uma ferramenta na avaliação de sistemas de tráfego, podendo ser utilizada para teste de diversos cenários e permitindo, assim, avaliar a resposta do modelo do sistema às variações nas condições de operação sem que seja necessária sua implantação e o conseqüente investimento. O processo de simulação de tráfego apresenta outras grandes vantagens. Primeiramente, facilita a introdução de variações nas taxas de fluxo, o que torna o ambiente simulado mais verossímil por representar a flutuação da demanda que ocorre na realidade. Além disso, o processo de simulação computacional adota um processo de modelagem evolutivo, em que ocorre o aperfeiçoamento de acordo com o conhecimento adquirido (PORTUGAL, 2005).

Na microssimulação, os veículos são tratados de forma individualizada, ou seja, cada veículo conserva as características individuais que são de interesse para o sistema. Segundo Xin *et al* (2008), a microssimulação emergiu como valiosa ferramenta para pesquisadores e engenheiros de tráfego devido ao nível de detalhamento, o realismo das modelagens e facilidade de uso. Nos modelos de microssimulação, o trânsito ao longo dos arcos é regido por leis de veículos seguindo o líder – *car-following* e o comportamento nas interseções é mais complexo e detalhado. (PORTUGAL, 2005).

De acordo com Xin *et al* (2008), o modelo *car-following* é objeto de estudo desde a década de 1950, pela necessidade de modelar o movimento individual dos veículos tão realisticamente quanto possível. O modelo *car-following* representa, segundo Liu (2007), a interação longitudinal entre os veículos, ou seja, a velocidade do veículo que segue é modificada de acordo com a velocidade relativa ao veículo que o precede. O modelo *car-following* tenta reproduzir os movimentos desejados e as interações entre viajantes. Segundo Liu *et al* (1995):

Normalmente, o motorista aplica uma aceleração controlada, que é derivada da velocidade e da diferença de posição entre ele e o veículo a sua frente. No entanto, quando um veículo está muito próximo ao da frente, os motoristas preparam-se para parar caso o motorista da frente freie bruscamente, enquanto que, quando estão

longe de uma interseção e do veículo da frente, os motoristas aceleram livremente para alcançar e manter a velocidade desejada. [Tradução do autor]

Associado aos modelos *lane-changing*, a modelagem *car-following* forma a base das ferramentas de simulação microscópica. A Figura 1 apresenta um caso típico representado no modelo *car-following*.

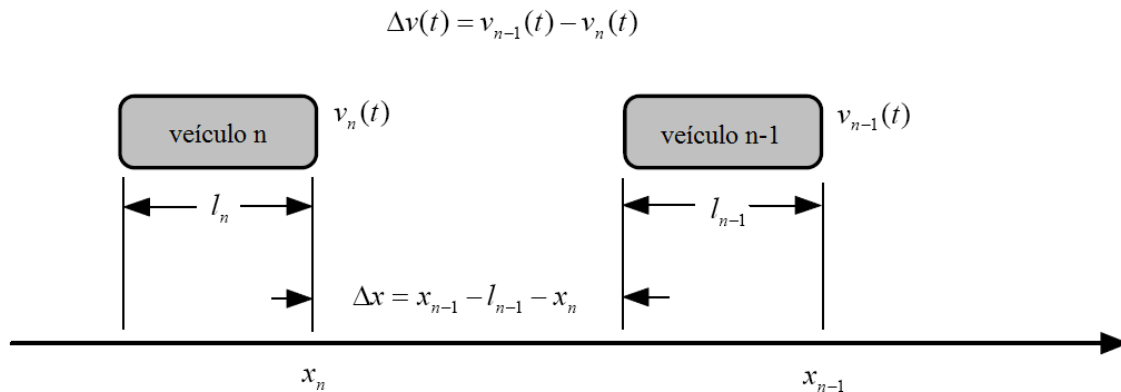


Figura 1 – Situação típica de *car-following*

Fonte: adaptada de Xin *et al* (2008)

O modelo, conforme representado na Figura 1, calcula a aceleração do veículo n de acordo com a velocidade desejada ($v_n(t)$), a velocidade relativa (Δv) e a distância entre os veículos (Δx).

Os modelos de *car-following* incorporam um atraso de reação na simulação, para representar resposta do motorista ao tráfego. Normalmente, esse atraso representa os tempos de percepção e reação do motorista, podendo levar em conta alguma possível demora mecânica na resposta do veículo. Esse tempo de resposta é padrão para todos os motoristas e deve ser definido pelo programador da simulação, bem como valores de velocidade permitida, *headway* mínimo, taxa de aceleração e de desaceleração.

No Capítulo 3 são apresentados os programas computacionais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, a cidade de Uberlândia e o corredor estrutural estudado e aplicação dos programas ao objeto de estudo..

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO NO CORREDOR ESTRUTURAL DA AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA DA CIDADE DE UBERLÂNDIA - MG

Neste capítulo são tratados tópicos concernentes ao desenvolvimento do estudo de caso de que o trabalho trata. Inicialmente são apresentados os programas computacionais utilizados para a modelagem do corredor e para a realização das simulações. Em seguida é apresentada a área de estudo e, finalmente, são descritos os procedimentos de modelagem e de simulação.

3.1 SIMULADORES - SATURN E DRACULA

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dois programas computacionais, para edição da rede viária e realização das simulações necessárias para os cálculos dos indicadores de confiabilidade. A seguir, serão apresentados os dois programas utilizados e suas características principais.

3.1.1 SATURN – SIMULATION AND ASSIGNMENT OF TRAFFIC IN URBAN ROAD NETWORKS

A montagem da rede utilizada para as simulações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho foi feita no programa *Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks* (SATURN – Simulação e alocação de tráfego em redes de vias urbanas).

O programa, desenvolvido pelo *Institute of Transport Studies*, da *University of Leeds*, é composto por uma série de programas de análise, com seis funções básicas (Institute for Transport Studies, 2009):

1. Como um modelo combinado de simulação e alocação de tráfego para a análise de investimentos em vias, desde melhorias localizadas, em redes menores, geralmente com 100 a 200 nós, até grandes melhorias em infraestrutura, nas quais os modelos podem ter mais de 1.000 nós;
2. Como um modelo convencional de alocação de tráfego, para a análise de redes maiores, podendo chegar a 6.000 nós nas versões mais básicas do programa;
3. Como um modelo de simulação para cruzamentos individuais;
4. Como editor de rede, base de dados e sistema de análise;
5. Como pacote para manipulação de matrizes;
6. Como modelo de matriz de demanda, cobrindo elementos básicos, como distribuição de viagens, distribuição modal, etc.

Neste trabalho o SATURN foi utilizado como editor de rede, base de dados e sistema de análise. O ideal para o desenvolvimento do trabalho seria que a rede desenvolvida abrangesse toda a região urbana de Uberlândia. No entanto, devido a limitações do programa, por ser um pacote educacional, só pode ser construída uma rede reduzida, com a introdução das principais vias da cidade, bem como as principais ruas próximas ao corredor da Avenida João Naves de Ávila. A versão do programa utilizada, SATURN 10.8.21, LEVEL B, apresenta as seguintes limitações relevantes ao trabalho:

- 500 nós de simulação;
- 7.500 arcos de alocação;
- 400 zonas de tráfego;
- 3.350 conversões de simulação;

- 1.094 arcos e conversões exclusivas para ônibus;
- Cada nó de simulação pode receber no máximo seis arcos.

Este trabalho partiu de rede desenvolvida previamente em projetos de pesquisa da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia - MG. O módulo de edições do SATURN utilizado para fazer a expansão dessa rede foi o PIX, que permite que as edições sejam feitas em tela, ou por meio de matrizes. Permite também que seja utilizada uma figura num arquivo com extensão *bitmap* (.bmp) como base para a construção e edição da rede. A Figura 2 mostra como a tela de edição do PIX é apresentada ao usuário.

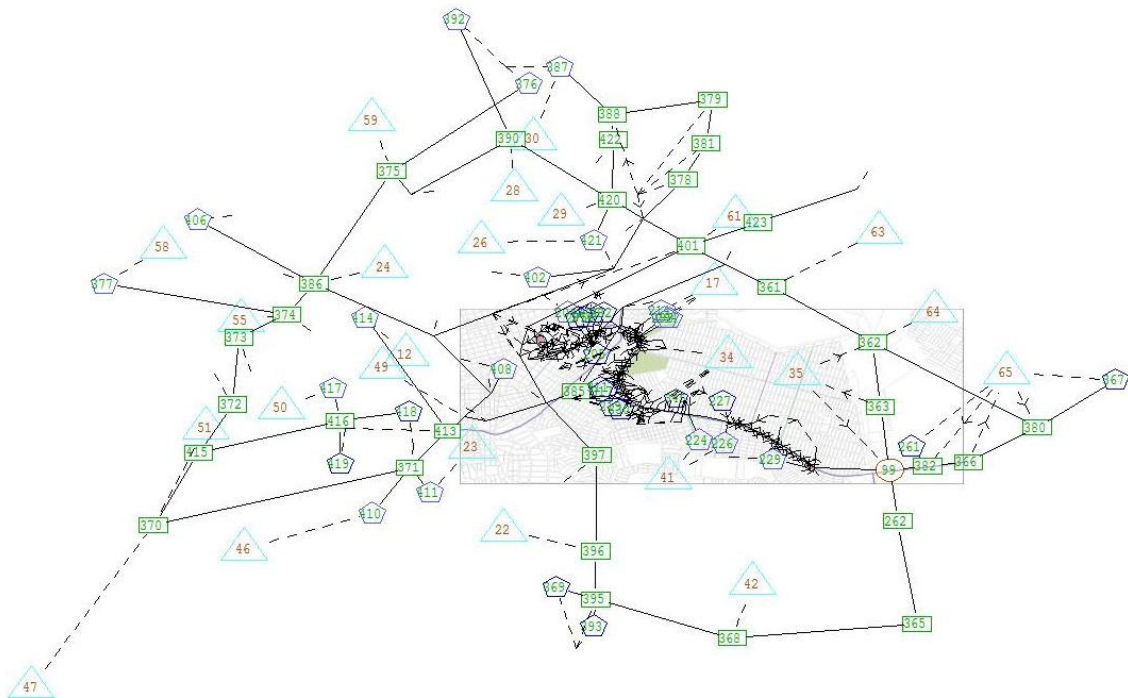


Figura 2 – Tela de edição do módulo PIX – Rede de Uberlândia

As zonas de tráfego, representadas pelos triângulos, foram inseridas na rede de acordo com a distribuição das 65 zonas de tráfego da cidade de Uberlândia, MG. Foram reservados para essas zonas os números de 1 a 98, caso haja a necessidade futura de expansão da rede.

Os nós da rede, que representam as interseções ou pontos em que haja geração de tráfego, aparecem representados por pentágonos, círculos ou retângulos. Representados por pentágonos estão os nós externos, ou seja, os nós que fazem a ligação das zonas de tráfego

com os demais nós, ou nós de simulação. Os círculos representam as rotatórias. Os retângulos representam os nós de simulação. Para os nós, foram reservados os números de 99 a 9.999.

Os arcos fazem a ligação entre os nós e as zonas. As ligações entre zonas e nós externos aparecem representadas por linhas tracejadas. Já os arcos entre nós contíguos aparecem representados por linhas cheias. Estes últimos arcos podem ter suas características, tais como sentido, número de faixas e velocidade máxima permitida, editados na simulação dos nós. A Figura 3 mostra a tela de edição de nós onde é apresentado o nó de simulação 121.

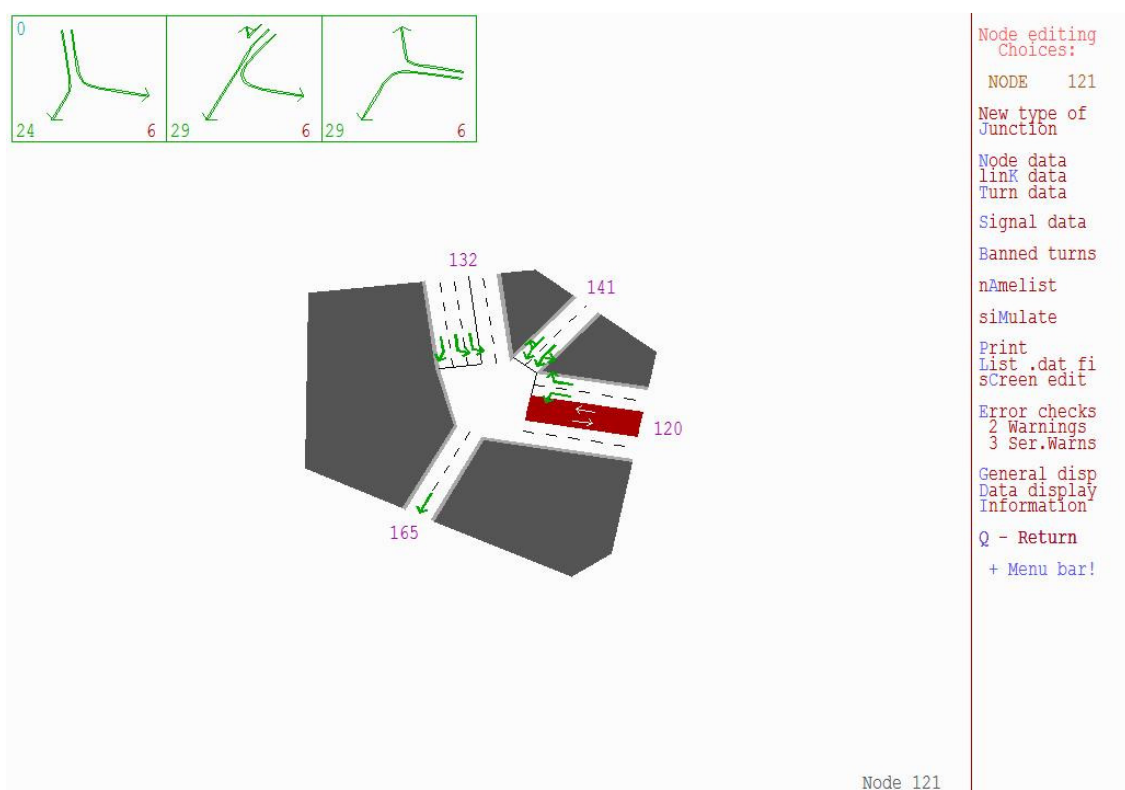


Figura 3 – Tela de edição do módulo PIX – representação gráfica do nó 121

Dentro do módulo PIX pode ser realizada a configuração dos nós de simulação, tais como tipo de interseção e a alteração de dados do semáforo, se for o caso, e dos arcos que neles chegam. A aba na lateral apresenta as opções de edição possíveis para o nó selecionado. São também mostrados nessa aba os erros que existem nas configurações do nó.

Os erros na configuração da rede podem ser classificados de cinco maneiras: erro fatal, erro semifatal, erro não fatal, aviso grave e aviso.

Os erros fatais (*fatal errors*) levam o programa a se encerrar de maneira anormal. Podem não ser fatais durante a execução do programa atual, mas gerarão algum problema que impedirá a evolução do arquivo em outras etapas da programação. Quando encontrado, esse tipo de erro impede que o arquivo seja editado no PIX, havendo a necessidade de utilização de um editor de textos.

Os erros semifatais (*semi-fatal errors*) impedem que os procedimentos de atribuição e simulação sejam executados normalmente, mas ainda permite que a rede seja acessada através do módulo PIX, onde serão feitas as correções necessárias;

Os erros não-fatais (*non-fatal errors*) ocorrem quando o SATURN identifica nos dados de entrada valores suspeitos, mas que não impedem que a simulação continue. O programa prevê que esses dados gerarão resultados inconsistentes, mas não interrompe os procedimentos.

Os avisos graves (*serious warnings*) são semelhantes aos erros não fatais, mas com menor probabilidade de gerar resultados sem consistência, enquanto os avisos (*warnings*) referem-se a dados de entrada que pareçam suspeitos, mas que possam estar corretos.

Desta maneira é prudente corrigir os erros fatais e semifatais tão logo apareçam na rede, e verificar os erros não-fatais e os avisos para identificar se existem ou não valores de entrada inconsistentes.

3.1.2 DRACULA – DYNAMIC ROUTE ASSIGNMENT COMBINING USER LEARNING AND MICROSIMULATION

O programa computacional *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* (DRACULA – Alocação dinâmica de rota, combinando aprendizado do usuário e microssimulação) também foi desenvolvido pelo *Institute of Transport Studies*, da *University of Leeds*.

O objetivo principal do programa, como modelo de microssimulação, é representar as escolhas individuais dos motoristas em tempo real, uma vez que esse comportamento evolui à medida que o motorista adquire conhecimento da rede em que se insere. Associado a essa

representação está a simulação dos movimentos dos veículos individualmente, segundo por segundo, seguindo as regras de mudança de faixa e sofrendo as influências dos controles de tráfego. Desta maneira, consegue-se, por meio do DRACULA, modelar a evolução do sistema de tráfego de modo que as variações de demanda em um mesmo dia e entre dias diferentes sejam incluídas e que a interação entre a demanda e a oferta seja modelada.

A versão atual do programa, produzida em 2006 e utilizada no desenvolvimento deste trabalho, inclui um modelo de simulação de tráfego e um modelo simplificado de escolha de horário de partida. A versão é utilizada por permitir a interface da microssimulação do DRACULA com a atribuição de tráfego do SATURN. Essa versão do programa apresenta funções para escolha de horário de partida e vasta gama de variações na rede e dinâmicas de tráfego (LIU, 2007). Isso inclui a modelagem de:

- Variação na demanda da rede (tais como flutuação diária e distribuição temporal da demanda) e condições de oferta na rede (tais como as causadas pelas condições climáticas e incidentes);
- Vários fenômenos dinâmicos, tais como formação de congestionamento na via de circulação, espaçamento aceitável entre veículos e confluência de tráfego, de maneira mais realista;
- Controles de tráfego complexos, tais como aproximações afuniladas, faixas compartilhadas e sinais atuados de tráfego;
- Operação de transporte público e medidas de priorização aos ônibus;
- Medidas dinâmicas para gerenciamento de demanda (tais como tarifação em áreas propensas a congestionamento).

O modelo de tráfego do DRACULA realiza uma microssimulação dos movimentos dos veículos através da rede. Os motoristas seguirão rotas pré-definidas e em seu caminho encontrarão semáforos, filas e interagirão com os outros veículos da rede. Uma propriedade essencial da microssimulação é que os veículos se movem em tempo real. A simulação é

baseada em incrementos fixos de tempo e as velocidades e posições dos veículos são atualizadas individualmente com o incremento de tempo de um segundo. Espacialmente, a simulação é contínua, podendo o veículo ser localizado em qualquer ponto do arco que percorre. O modelo de tráfego inclui também uma animação dos veículos dentro da rede. O primeiro passo é o carregamento dos parâmetros, dos dados da rede e informações das viagens (demanda e rotas), e então é realizado o processo de iteração, com incrementos fixos de tempo.

A rede, assim como no SATURN, é representada por zonas, nós, arcos e faixas. Uma zona é a fonte ou o dreno do tráfego da rede. Um nó pode ser externo, conectado a uma zona, ou um cruzamento, quando conectado a outros nós da rede. No DRACULA não existe restrição no número de vias que chegam aos nós. No entanto, como já dito anteriormente, essa restrição existe no SATURN, onde só é possível a chegada de seis arcos em cada nó de simulação.

Um arco é uma via direcional, composta por duas ou mais faixas, caracterizado pelos nós anterior e posterior, velocidade máxima, número de faixas, conversões permitidas e acessos restritos (por exemplo, faixas exclusivas para ônibus). Para as conversões permitidas, são especificadas e marcadas as faixas que podem ser utilizadas e os movimentos preferenciais da faixa. As faixas podem ser reservadas para um tipo específico de veículo, do começo ao fim do arco ou por trechos, permanentemente ou por horário de operação.

Como se trata de um programa de microsimulação, os veículos são representados individualmente, cada qual com suas características, como tipo de veículo (automóvel particular, ônibus, táxi etc.), seu comprimento, distância mínima desejada entre veículos, acelerações normal e máxima, desacelerações normal e máxima e velocidade desejada. Essas características são escolhidas aleatoriamente a partir das distribuições normais representativas para cada tipo de veículo. Sobre os veículos de transporte público constam ainda informações adicionais, como número de serviço, frequência de serviço, pontos de parada e número médio de passageiros em cada ponto de parada.

Os movimentos dos veículos na rede são definidos de acordo com os movimentos planejados (velocidade desejada e escolha de faixa, por exemplo), as respostas às regras de trânsito e as interações com os veículos adjacentes. A simulação mantém o controle dos veículos em cada

faixa e os movimentos de acordo com um modelo de fila e um modelo de mudança de faixa e suas respostas aos controles em interseções.

O modelo de *car-following* calcula a aceleração do veículo em resposta à velocidade desejada para ele e a sua velocidade relativa e distância do veículo que o precede. Dependendo da magnitude da distância entre veículos, eles são classificados em um dos três regimes seguintes: movimento livre, fila ou fila próxima. O modelo de mudança de faixa desenvolve-se em três passos. Primeiramente, obtêm-se as mudanças de faixa desejadas e se define qual tipo de mudança precisa ser realizada. Então, seleciona-se a faixa desejada e, a seguir, executa-se a mudança de faixa caso todos os intervalos sejam aceitos.

Desta maneira, o modelo categoriza o desejo de mudança de faixa em seis tipos, de acordo com o propósito da mudança:

- Chegar a um ponto de ônibus no arco;
- Evitar uma faixa de uso restrito ou um incidente;
- Fazer uma conversão no próximo cruzamento;
- Entrar em uma faixa reservada ao seu tipo de veículo;
- Ganhar velocidade para ultrapassar um veículo mais lento, mudando para outra faixa de mesma direção;
- Ultrapassar um veículo mais lento usando uma faixa de direção oposta.

Realizada a simulação, o programa fornece os resultados padrões de medidas específicas da rede, dos arcos e da rota, tais como veículo-hora total, veículo-km total, tempo médio de viagem, velocidade média, comprimento de fila, consumo de combustível e emissão de poluentes durante um período regular de tempo. O tempo de simulação e relatório pode ser definido pelo usuário. Ainda há a opção, segundo a necessidade do usuário, de que sejam

gerados relatórios de localização segundo por segundo e de velocidade para cada veículo, para definição de sua trajetória tempo-espaço.

Além dos resultados supracitados, o programa também dispõe de animações gráficas dos movimentos dos veículos paralelamente à simulação, dando ao usuário uma visão direta das condições do tráfego na rede. A Figura 4 mostra a tela do programa, durante a realização da simulação.

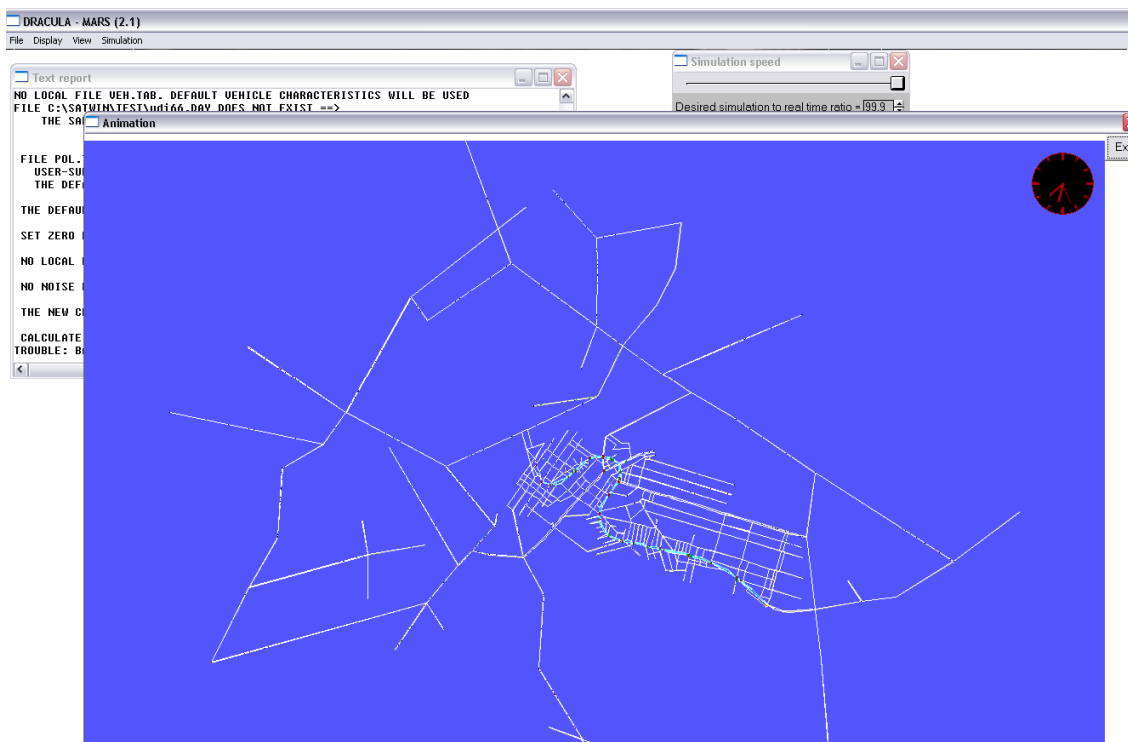


Figura 4 – Tela de simulação no DRACULA

O relógio, apresentado no canto superior direito da tela principal (*Animation*), permite o acompanhamento da passagem do tempo na simulação em andamento. A caixa de texto (*Text report*), que se localiza atrás da tela principal, à esquerda, exibe informações sobre o encaminhamento da simulação e indica quando começa e termina o tempo principal de simulação. A última caixa de diálogo, atrás da tela principal, à direita (*Simulation speed*) permite que o usuário defina a velocidade desejada para a realização da simulação. É possível, no menu de visualização (*view*), aumentar o nível de detalhamento da tela até a visualização de cruzamentos, conforme mostra a Figura 5.

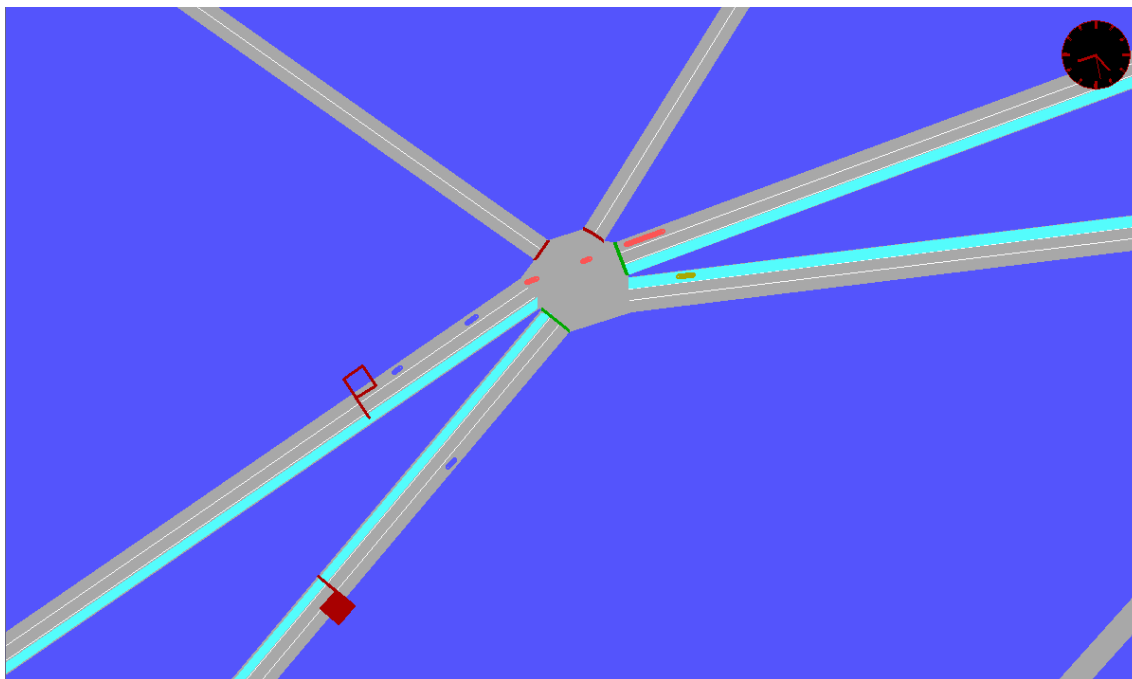


Figura 5 – Simulação do cruzamento entre Avenida João Naves de Ávila e Rua Prata

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os programas apresentados na seção anterior foram utilizados para a simulação das condições no corredor estrutural da Avenida João Naves de Ávila, na cidade de Uberlândia - MG. A seguir, será feita a apresentação da cidade e seu sistema de transporte, a fim de esclarecer o estudo de caso desenvolvido neste trabalho.

3.2.1 UBERLÂNDIA E O SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO

A cidade de Uberlândia, em Minas Gerais, fundada em 31 de agosto de 1888, localiza-se na região do Triângulo Mineiro, a cerca de 560 quilômetros de distância da capital do Estado, Belo Horizonte.

Segundo dados da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Urbano da Prefeitura Municipal de Uberlândia (UBERLÂNDIA, 2008), a população estimada de Uberlândia, em 2007, era de 608.369 habitantes e o município tinha área de 4.115,822 km², dos quais 219 km² são de área urbana e 3.896,822 km² de área rural A

Tabela 1 apresenta a evolução da população, de 1996 a 2007, de acordo com Banco de Dados Integrados (BDI) de 2008.

Ainda segundo o BDI, a frota da cidade, como descrita na Tabela 2, era de 231.980 veículos. Para o cálculo da frota admitem-se todos os tipos de veículos cadastrados pelo Departamento Estadual de Trânsito de Minas Gerais (UBERLÂNDIA, 2008).

Tabela 1 – Crescimento populacional na cidade de Uberlândia – MG

Crescimento populacional/anos									
Área	1996 ¹	2000 ²	2001 ³	2002 ³	2003 ³	2004 ³	2005 ³	2006 ³	2007 ³
Urbana	431.744	488.982	505.167	521.888	539.162	556.133	570.982	585.719	593.525
Rural	7.242	12.232	12.637	13.055	13.487	13.909	14.280	14.649	14.844
Total	438.986	501.214	517.804	534.943	552.649	570.042	585.262	600.368	608.369

Fonte: Banco de Dados Integrados da Prefeitura Municipal de Uberlândia (UBERLÂNDIA, 2008)

Nota: 1. Contagem populacional/IBGE/1996
2. Censo Demográfico/IBGE/ 2000
3. Estimativa Populacional

Tabela 2 – Frota de veículos da cidade de Uberlândia – MG em 2007

Categorias	Quantidades	(%)	Categorias	Quantidades	(%)
Automóvel	123.764	53,35	Caminhão trator	2.553	1,10
Caminhonete	14.121	6,09	Caminhão	8.548	3,68
Caminhoneta	4.546	1,96	Ciclomotor	3.313	1,43
Experiência	24	0,01	Fabricante	1	0,00
Micro-ônibus	785	0,34	Motocicleta	53.095	22,89
Motoneta	10.754	4,64	Reboque	6.123	2,64
Serviço reboque	3.048	1,31	Side-car	8	0,00
Trator esteira	14	0,01	Tr. Misto	17	0,01
Trator rodas	98	0,04	Triciclo	25	0,01
Utilitário	148	0,06	Ônibus	995	0,43
Total				231.980	100,00

Fonte: Banco de Dados Integrados da Prefeitura Municipal de Uberlândia (UBERLÂNDIA, 2008)

O sistema de transporte coletivo de Uberlândia, antes de 1997, não possuía integração física ou tarifária. Naquele sistema, as linhas de ônibus faziam as rotas ligando dois bairros, geralmente passando pelo centro da cidade e, no caso de haver necessidade de transbordo, o usuário pagava uma nova tarifa.

Com o propósito de aperfeiçoar o transporte coletivo na cidade, a Prefeitura Municipal de Uberlândia implantou em 1997 o Sistema Integrado de Transporte – SIT. O SIT visava diminuir o número de transferências realizadas, bem como reduzir os gastos dos usuários mediante a integração tarifária. Para tanto, foram construídos cinco terminais de ônibus: Terminais Central, Umuarama, Santa Luzia, Planalto e Industrial. Segue na Tabela 3 as características físicas de cada um dos terminais.

Tabela 3 – Características dos terminais de ônibus de Uberlândia – MG

Terminal	Berços de embarque e desembarque	Área (m ²)			
		Terreno	Construção	Plataforma	Estocagem
Central	30	15.742,62	23.922,00	3.310,00	0,00
Umuarama	13	14.223,27	4.135,50	1.790,00	2.700,00
Santa Luzia	10	9.438,77	2.751,84	1.710,00	6.100,00
Planalto	08	11.760,00	2.785,50	803,00	2.400,00
Industrial	04	7.087,50	1.440,00	473,00	0,00
Total	65	58.255,16	35.034,84	8.086,00	11.200,00

Fonte: Banco de Dados Integrados da Prefeitura Municipal de Uberlândia (UBERLÂNDIA, 2008)

A Figura 6 mostra a localização dos terminais de integração, dentro da cidade de Uberlândia - MG.

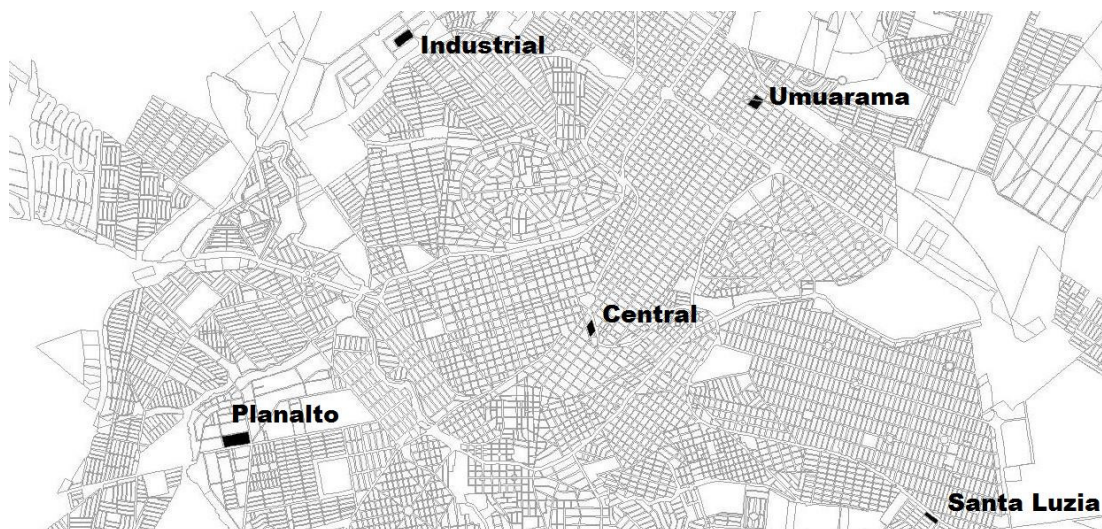


Figura 6 – Localização dos terminais de integração de ônibus

O Sistema Integrado de Transporte é composto por linhas troncais, interbairros, alimentadoras e distritais, que podem ser de serviço expresso, semiexpresso ou parador, dependendo do tipo de demanda do trecho.

Linhas troncais: veículos identificados pela cor amarela e designados pela letra T (no caso de linhas paradoras) ou E (no caso de linhas expressas), são os ônibus que fazem a conexão direta entre o Terminal Central e os terminais periféricos.

Linhas interbairros: veículos identificados pela cor vermelha e designados pela letra I, são os ônibus que interligam diretamente terminais periféricos sem necessidade de passar pelo Terminal Central.

Linhas alimentadoras: veículos identificados pela cor verde e designados pela letra A, são os ônibus cuja função é transportar o usuário do interior dos bairros até um dos terminais.

Linhas distritais: veículos identificados pela cor verde e designados pela letra D, são os ônibus com rota entre os distritos do Município de Uberlândia e a área urbana.

Existem ainda os ônibus que executam linhas radiais, ou seja, ligam os bairros à região central da cidade. No caso da cidade de Uberlândia, MG, as linhas radiais, ônibus de cor cinza,

designados pela letra B, não usam os terminais para embarque e desembarque, e, portanto, não participam da integração tarifária.

3.2.2 AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA E O CORREDOR ESTRUTURAL DE ÔNIBUS

A Avenida João Naves de Ávila é uma das principais vias da cidade de Uberlândia, MG. Ligando o centro da cidade à Rodovia BR 050, a avenida passa pelos bairros Cazeca, Nossa Senhora Aparecida, Tibery, Santa Mônica, Saraiva, Lagoinha, Carajás, Pampulha, Segismundo Pereira e Santa Luzia, conforme a Figura 7.

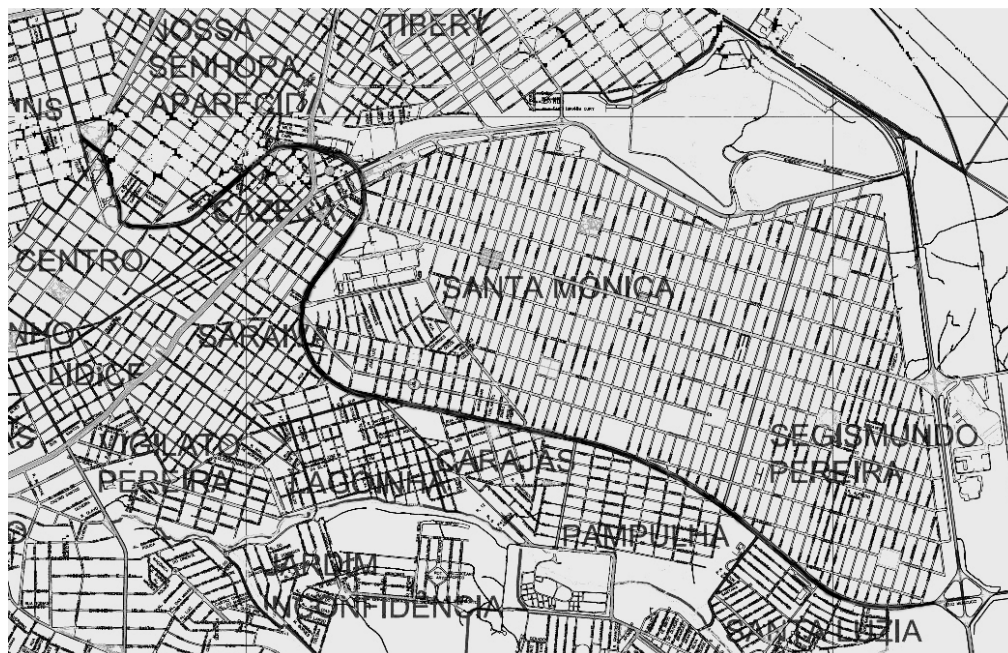


Figura 7 – Bairros limitados pela Avenida João Naves de Ávila

O traçado da avenida é bastante peculiar, com curvas longas e majoritariamente planas. Isso se deve ao fato de que, originalmente, o percurso da avenida era parte da linha Catalão, pertencente à Companhia Mogiana de Estradas de Ferro. Em 1970, os trilhos da Mogiana no local foram removidos, um novo traçado foi dado à linha férrea e o antigo foi pavimentado, dando origem à avenida em estudo.

A movimentação de ônibus na Avenida João Naves de Ávila ocorria na faixa da direita e, entre o Terminal Central e o Terminal Santa Luzia, havia 16 pontos de parada distribuídos na

extensão do percurso. Os pontos de parada eram, na maioria, dotados de abrigos com bancos em concreto.

Como expansão do sistema de transporte coletivo urbano já existente, foram planejados corredores estruturais de ônibus, com estações fechadas para transferência, que funcionam como pequenos terminais, ou seja, o usuário pode fazer a transferência de linha usufruindo da integração física e tarifária do sistema. No dia 09 de setembro de 2006 entrou em operação o primeiro corredor de ônibus da cidade com estações fechadas, localizado ao longo da Avenida João Naves de Ávila.

O corredor estrutural, que liga o Terminal Central ao Terminal Santa Luzia, tem extensão total de 15.130 m (7.334 m no sentido Centro – Bairro e 7.796 m no sentido Bairro – Centro) e treze estações de embarque e desembarque. A Figura 8 apresenta um esquema com a localização das estações.

Para sua implantação, foram realizadas algumas intervenções na avenida, com a instalação de sete novos semáforos e a reorganização do tráfego para eliminar as conversões à esquerda, uma vez que o ônibus passou a circular em faixa exclusiva à esquerda.

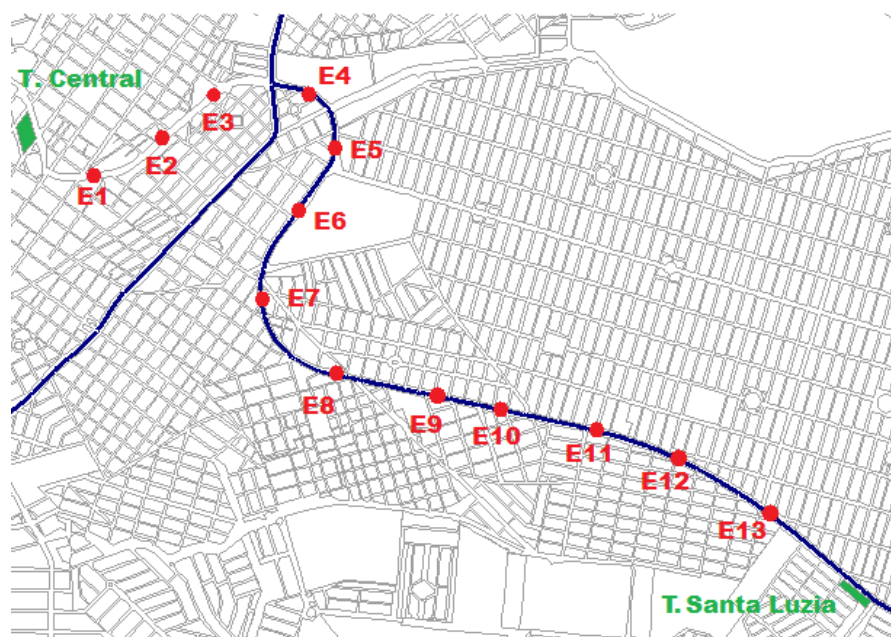


Figura 8 – Esquema de localização das estações do corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, Uberlândia – MG

Existem, conforme a Figura 8, treze estações ao longo do corredor estrutural. Construídas em pórticos metálicos paralelos intertravados, com apoios intermediários em pilares metálicos e fechadas lateralmente por vidros laminados e painéis *brises*, as estações foram idealizadas em duas tipologias básicas: 18 ou 36 metros de comprimento, para acomodar um ou dois ônibus articulados. Cada estação foi adaptada ao trecho em que se localiza, levando em consideração a topografia e o desnível entre as pistas em cada ponto da avenida.

As estações foram projetadas para o pagamento adiantado da passagem, ou seja, cada estação conta com roletas de entrada e saída, sistema de bilhetagem eletrônica e um funcionário para a venda da passagem em dinheiro. Além disso, as estações são adaptadas às necessidades de pessoas com deficiência, dispondo de rampas ou elevadores, sinais sonoros, que indicam quando as portas da estação estão abertas, e piso tátil direcional. A Tabela 4 apresenta a relação das estações, com suas identificações, e as distâncias entre estações adjacentes.

Tabela 4 – Estações do corredor estrutural da Avenida João Naves de Ávila

Estação		Distância (m) (sentido Centro – Bairro)	Distância (m) (sentido Bairro – Centro)
Terminal Central		-	731
E1	Cesário Alvim	650	488
E2	Pereiras	464	374
E3	SESC	367	524
E4	Shopping	519	400
E5	Prefeitura ¹	378	423
E6	UFU	367	588
E7	Nicodemos	600	621
E8	São Francisco ¹	646	506
E9	Lagoinha	506	522
E10	Carajás	522	567
E11	UAI ¹	566	512
E12	Pampulha	508	617
E13	João Balbino	617	923
Terminal Santa Luzia		624	-

1 – Estação de transferência: Acesso a outras linhas que não percorrem o corredor de ônibus

Das treze estações, três permitem a transferência. Nelas, o usuário pode trocar para outras linhas sem a necessidade de ir ao Terminal Central. Entre as linhas de ônibus da cidade, doze têm parada em pelo menos uma das estações localizadas na Avenida João Naves de Ávila. Essas linhas estão apresentadas na Tabela 5, com respectivos *headways* e número de veículos que compõem a frota. Os dados foram retirados do sítio da Prefeitura Municipal de Uberlândia (UBERLÂNDIA, 2009).

Tabela 5 – Linhas de ônibus com ponto de parada na Avenida João Naves de Ávila

	Linha	Headway¹ (min)	Frota²
A105	Santa Mônica – Terminal Central	20	3
A115 ³	Saraiva – Terminal Central	18	3
A116	Santa Mônica – Terminal Central	44	2
A117	Griff Shop – Terminal Central	40	1
A118	Pampulha – Terminal Central	33	2
E111 ³	Granada – Estação UAI	26	1
E131	Terminal Santa Luzia - Terminal Central (Expresso)	07	6
E801 ³	Setor Universitário – Estação São Francisco	45	1
T101	Morumbi – Terminal Central	17	5
T103	Morumbi – Terminal Central	16	5
T131	Terminal Santa Luzia - Terminal Central	05	12
T132	Terminal Santa Luzia - Terminal Central	07	10

1 – Pico da manhã: *Headway* médio entre veículos calculado entre 6h00min e 9h00min.

2 – Veículos que circulam em dias úteis.

3 – Linhas que fazem transferência no corredor

3.3 MODELAGEM DO CORREDOR ESTRUTURAL DE ÔNIBUS DA AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA

Procedeu-se então à modelagem do corredor estrutural apresentado na seção anterior por meio dos programas já apresentados na seção 3.1 deste Capítulo. Inicialmente, foi utilizado o SATURN, a fim de adequar e expandir a rede da cidade de Uberlândia - MG, bem como alterar as características das vias e das interseções. Após a finalização desta etapa, as

simulações foram realizadas no DRACULA. As etapas do processo de modelagem seguem descritas nas próximas seções.

3.3.1 ETAPA DE MODELAGEM: SATURN

A rede necessária para o desenvolvimento do trabalho foi editada no SATURN e seu módulo de edição PIX. A partir de uma rede básica, em que apenas a Avenida João Naves de Ávila estava representada, iniciou-se um trabalho de reestruturação e expansão.

O primeiro passo foi produzir uma imagem de base, de extensão bitmap (.bmp), para que fossem feitos os ajustes no traçado da avenida. A figura utilizada foi gerada a partir dos mapas georreferenciados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Uberlândia em seu sítio na *Internet* (UBERLÂNDIA, 2009). A imagem utilizada está representada na Figura 9.

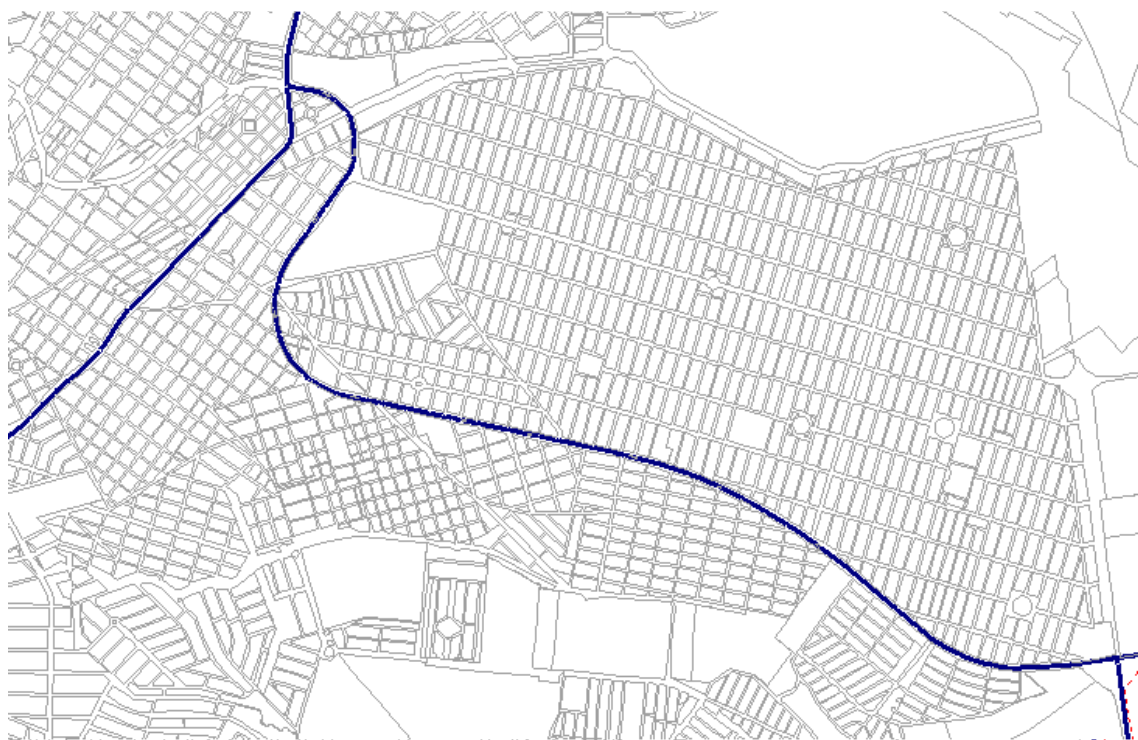


Figura 9 – Mapa utilizado como base da rede

Note-se que para a edição da rede, a figura adotada como base recebeu edições, a fim de destacar os pontos mais importantes, como as avenidas e as ruas principais, os terminais existentes nesta parte do mapa, a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Prefeitura de

Uberlândia (PMU), conforme mostra a Figura 10. Esses pontos permitiram o posicionamento ótimo da base e se tornaram, durante a adequação e expansão da rede, pontos de referência para melhor configuração do traçado da via.

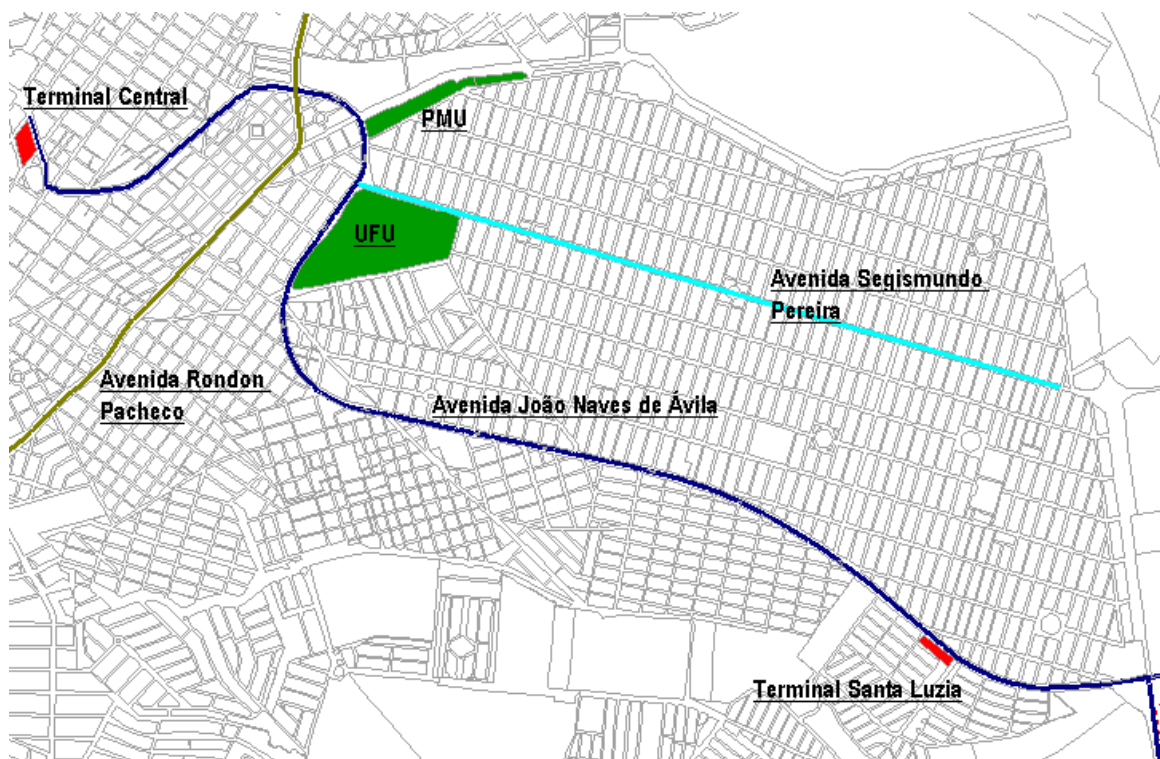


Figura 10 – Pontos de referência utilizados na alocação da base

Como mostra a Figura 11, a rede inicial não estava em acordo com o traçado das ruas e avenidas localizadas na região. Houve, portanto, a necessidade de mover os nós (fazendo uso do comando *move nodes*, que permite que os nós já existentes da rede sejam deslocados no plano de trabalho) até que todos os traçados, tanto da avenida principal quanto das ruas adjacentes, estivessem coerentes com o mapa da cidade.



Figura 11 – Configuração da rede, antes da adequação do traçado

A Figura 12 mostra como a rede ficou após a modificação dos traçados das avenidas e ruas.

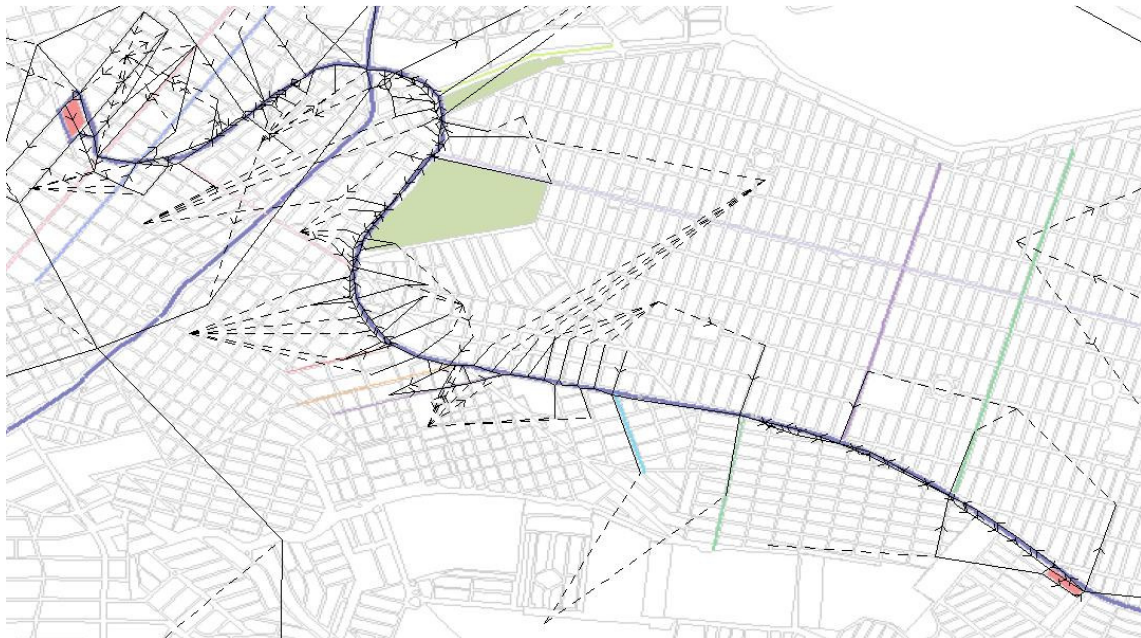


Figura 12 – Configuração da rede, após a adequação do traçado

Após a correção do traçado das vias, procedeu-se à separação das pistas da Avenida João Naves de Ávila e da Avenida Segismundo Pereira, com a inserção dos retornos existentes, a

fim de montar uma rede virtual mais próxima da realidade. As Figura 13, Figura 14 e Figura 15 mostram, em detalhe, um trecho da Avenida João Naves de Ávila, antes e após a correção do seu traçado e após a separação das pistas, respectivamente.



Figura 13 – Detalhamento do traçado da avenida, antes da correção do traçado



Figura 14 - Detalhamento do traçado da avenida, após a correção do traçado

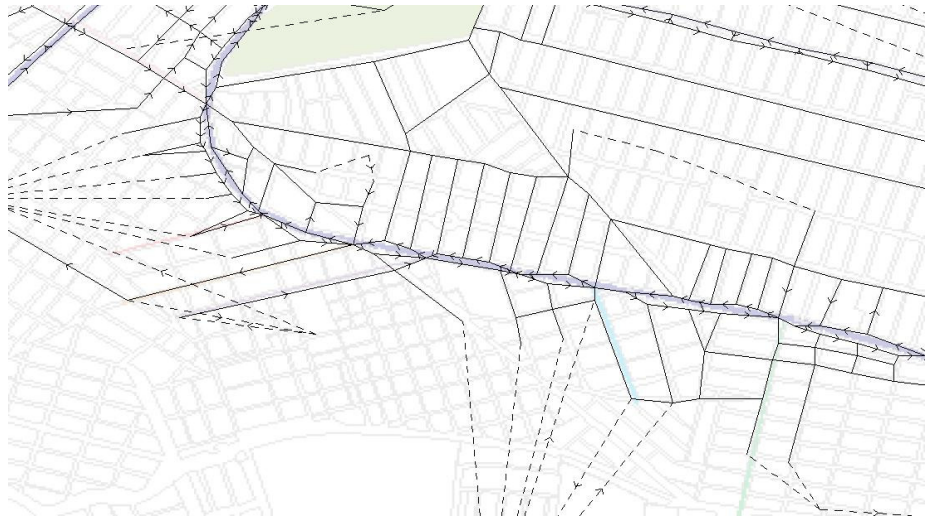


Figura 15 - Detalhamento do traçado da avenida, após a separação das pistas

A partir daí, procedeu-se à expansão da rede, com a inserção das principais vias do centro da cidade, bem como as ruas e avenidas de maior movimento nos arredores da Avenida João Naves de Ávila, desde o Terminal Central até o Terminal Santa Luzia. A escolha das vias secundárias a serem consideradas na rede baseou-se nas rotas dos ônibus que seriam inseridas na rede. Desta maneira, a Figura 16 apresenta como ficou configurada a rede final, utilizada para os estudos propostos.



Figura 16 – Configuração da rede, após a inserção das principais vias

Após a finalização da rede, foram ajustados os cruzamentos, com a definição dos movimentos permitidos e a inserção dos dados de tempo de semáforo, se fosse o caso. Os dados dos

semáforos foram fornecidos pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, mediante pedido protocolado junto à Secretaria de Trânsito e Transporte, em uma planilha de dados conforme constante no Anexo B. Foram também caracterizadas as vias, com informações tais como número de faixas, faixas exclusivas para ônibus e velocidade máxima permitida.

Quando terminada a edição dos cruzamentos, a rede se apresentava com as características apresentadas na Tabela 6 abaixo. A edição da rede se deu até que o limite de conversões simuláveis fosse atingido, impedindo mais modificações.

Tabela 6 – Características da rede inicial, final e limites do programa

	Inicial	Final	Limite
Número de cruzamentos de simulação	243	483	500
Número de arcos de simulação	600	1.436	1.680
Número de conversões simuláveis	1.197	3.345	3.350
Números de estágio de semáforo	125	149	1.960

Procedeu-se então a introdução de dados relativos às rotas dos ônibus citados na Tabela 5. No entanto, devido às limitações da versão acadêmica do programa, a rede ficou restrita à região da Avenida João Naves de Ávila e, conseqüentemente, as rotas foram consideradas somente em trechos próximos à avenida. As rotas completas, como fornecidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, são mostradas no Anexo A.

3.3.2 ETAPA DE MODELAGEM: DRACULA

Terminadas as edições no SATURN, o arquivo gerado foi exportado para o DRACULA. Para isso, foi necessário converter manualmente o arquivo da rede utilizado pelo SATURN (.dat) para a extensão utilizada pelo DRACULA (.net). Além disso, outros arquivos de entrada são necessários para que o primeiro módulo do DRACULA, o DRACPREP, seja executado com sucesso.

O DRACPREP é o primeiro módulo do DRACULA a ser executado, pois sua função básica é preparar os arquivos e a rede, bem como gerar um banco de dados para a simulação que será realizada pelo segundo módulo, o DRACSIM. Seguem na Tabela 7 as descrições dos arquivos de entrada do DRACPREP.

Tabela 7 – Arquivos básicos para o DRACPREP e suas funções

Extensão	Função
.net	Arquivos que contêm a descrição da rede, constando zonas, nós e arcos.
.trp	Demanda, em termos de rotas e fluxos.
.par	Parâmetros de controle da simulação, como horário de início e de término da simulação e o tempo para embarque, por exemplo.
.bus	Descrição do serviço de ônibus. Linhas, suas rotas e pontos de parada, bem como carregamento de passageiros em cada ponto.

O programa DRACPREP foi utilizado em todas as simulações realizadas, uma vez que os arquivos de parâmetros de controle e serviço de ônibus foram modificados de acordo com o cenário.

O arquivo (.par) controla a simulação, determinando o horário de início e fim da simulação, além de introduzir os números aleatórios da simulação. Segundo Portugal (2005), “na medida em que a aleatoriedade está intrínseca no mundo real, o processo de simulação, ao tentar reproduzi-la, necessita de números aleatórios”. No caso do DRACULA, isso se dá através de dois números randômicos, designados NSEED e NSEED2, que levam em conta a variação existente no volume de tráfego num mesmo dia e entre dias diferentes da semana, respectivamente. Esse números, ambos com mais de três dígitos, são diferentes em cada simulação e, por isso, o arquivo (.par) foi modificado cada vez que o programa foi executado. Além disso, é no arquivo (.par) em que se determina o sentido de circulação (o programa inglês considera trânsito pela faixa da esquerda como padrão), a porcentagem de veículos pesados e táxis, a porcentagem de embarque rápido, o tempo de manobra das portas e o tempo de embarque por passageiro.

O arquivo (.bus) foi modificado para os cenários em que houve variação nas características do transporte, seja por aumento de demanda ou por variação do tipo de ponto de parada dos ônibus.

Foram simulados cinco grandes cenários: o cenário base, o cenário em que houve variação na demanda, o cenário que considera variação no congestionamento da via de circulação, o cenário em que há alteração no tipo de ponto de parada e o cenário em que foi considerada uma variação no tempo de embarque.

O cenário base visou representar a realidade, a fim de analisar a confiabilidade do corredor em sua operação normal. Portanto, além dos dados de entrada exportados do SATURN, os dados de entrada no DRACULA foram baseados em pesquisa de campo. O número de passageiros por ponto por hora foi obtido através de pesquisa embarque-desembarque realizada, no dia 06 de novembro de 2008 durante o pico do período da manhã, na linha T131. Os dados de passageiros por ponto por hora estão na Tabela 8 abaixo. Vale ressaltar que o programa só aceita dados de entrada por ponto de ônibus e não especificamente por linha.

Tabela 8 – Passageiros embarcados por hora nas estações do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila e Terminais

	Passageiros /hora		Passageiros /hora
Terminal Central	1.118	Terminal Santa Luzia	941
Estação 01	38	Estação 13	36
Estação 02	6	Estação 12	48
Estação 03	12	Estação 11	60
Estação 04	7	Estação 10	36
Estação 05	62	Estação 09	12
Estação 06	12	Estação 08	24
Estação 07	12	Estação 07	120
Estação 08	12	Estação 06	12
Estação 09	7	Estação 05	34
Estação 10	3	Estação 04	25
Estação 11	5	Estação 03	64
Estação 12	13	Estação 02	7
Estação 13	12	Estação 01	34
Total	1.319	Total	1.453

Para o cenário base, foi considerado que cada passageiro necessita de 4 segundos para embarcar, considerando a diversidade de passageiros. Além disso, o cenário base leva em consideração as estações de parada com baia, conforme a Tabela 9 abaixo. A configuração das baias é inserida no arquivo (.bus), onde consta sua existência ou não, bem como seu comprimento.

Tabela 9 – Pontos com baia e comprimentos das baias

Ponto com baia	Comprimento da baia (m)
Estação 03 (sentido Centro – Bairro)	50
Estação 07 (sentido Bairro – Centro)	70
Estação 08 (sentido Bairro – Centro)	80
Estação 12 (sentido Bairro – Centro)	60
Estação 13 (sentido Bairro – Centro)	60

Para a variação de demanda, foram testados três cenários, com acréscimos de 10%, 15% e 20% sobre a demanda inicial, apresentada na Tabela 8. Segue, na Tabela 10 abaixo, os valores utilizados para cada um dos cenários. O aumento na demanda foi simulado somente no cenário base e trabalhos futuros podem ser feitos para os outros cenários testados neste trabalho.

Tabela 10 – Passageiros embarcados por hora nos cenários de variação de demanda

	Inicial	10%	15%	20%
Terminal Central	1.118	1.230	1.286	1.341
Estação 01	38	42	44	45
Estação 02	6	7	7	7
Estação 03	12	13	14	15
Estação 04	7	8	8	9
Estação 05	62	68	71	74
Estação 06	12	13	14	14
Estação 07	12	13	14	14
Estação 08	12	13	14	14
Estação 09	7	8	8	8
Estação 10	3	3	3	3
Estação 11	5	5	5	6
Estação 12	13	14	15	15
Estação 13	12	13	14	14

	Inicial	10%	15%	20%
Terminal Santa Luzia	941	1035	1082	1130
Estação 13	36	40	41	43
Estação 12	48	53	55	58
Estação 11	60	66	69	72
Estação 10	36	40	41	43
Estação 09	12	13	14	14
Estação 08	24	26	28	29
Estação 07	120	132	138	144
Estação 06	12	13	14	14
Estação 05	34	37	39	41
Estação 04	25	27	28	29
Estação 03	64	71	74	77
Estação 02	7	8	8	8
Estação 01	34	37	39	41

No cenário de aumento de congestionamento, foram simuladas quatro variações: 1%, 2,5%, 5% e 10%. Essas variações foram inseridas no arquivo de parâmetros (.par), através da introdução da variável GONZO. Além dessa variável, nenhuma outra modificação foi realizada nos parâmetros da simulação e foi mantida a demanda do cenário base.

No cenário de variação do tipo de ponto, foi simulada a existência de baia em todos os pontos, sendo todas as baias padronizadas com 80 metros de comprimento, inclusive as baias que existem no cenário base. Para isso, a alteração foi feita no arquivo (.bus), somente em relação ao tipo de ponto, mantendo-se a demanda original do cenário base.

No cenário de variação no tempo de embarque, dois tempos de embarque alternativos foram simulados: 2 segundos por passageiros, representando o caso de embarque em nível, em que o passageiro não precisa subir degraus, e 8 segundos por passageiros, simulando o embarque lento dos passageiros. Essa modificação também foi realizada a partir do cenário base, não havendo alterações em outros parâmetros.

Para cada simulação feita, os arquivos modificados de acordo com o cenário utilizado foram inseridos no DRACPREP, gerando os arquivos de entrada necessários para que o DRACSIM realize as simulações. Seguem as descrições dos arquivos utilizados pelo DRACSIM na Tabela 11.

Tabela 11 - Arquivos básicos para o DRACSIM e suas funções

Extensão	Função
(.sup)	Arquivo que contém informações sobre a demanda na rede, gerado pelo DRACPREP.
(.dem)	Lista de rotas e respectivos fluxos gerada pelo DRACPREP.
(.par)	Parâmetros de controle da simulação, o mesmo arquivo utilizado pelo DRACPREP.

A simulação feita pelo DRACSIM gera uma animação para que o usuário acompanhe a evolução do tráfego na rede. A Figura 17 abaixo mostra o cruzamento entre as avenidas João Naves de Ávila e Rondon Pacheco.

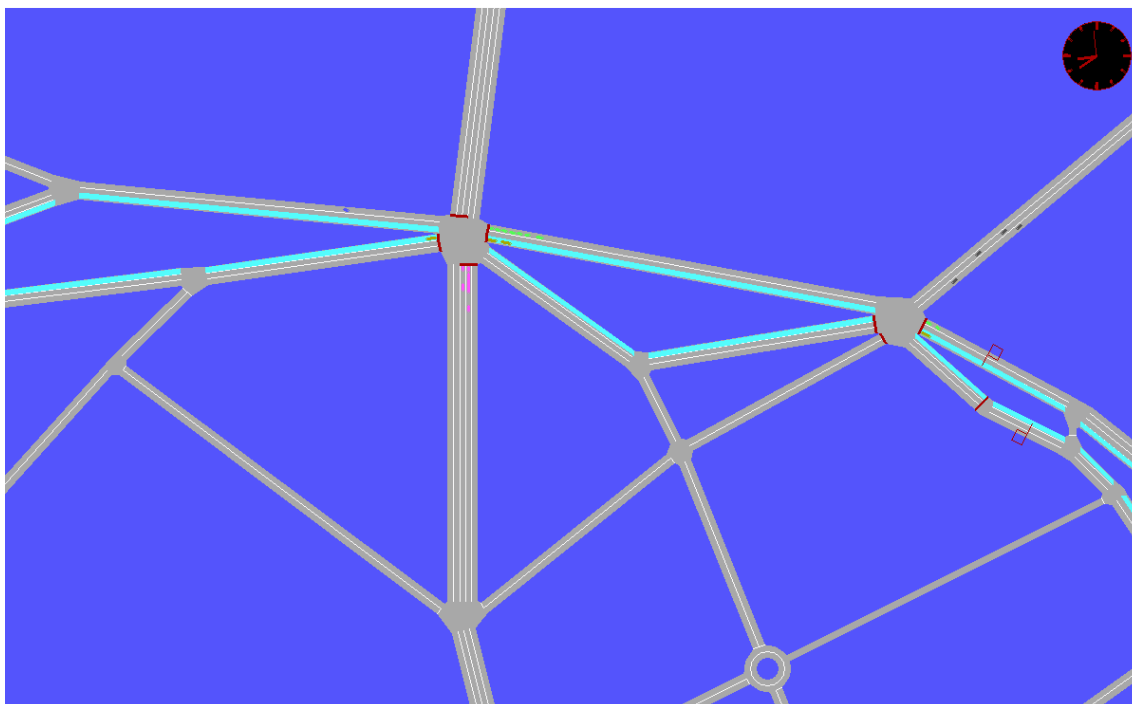


Figura 17 – Cruzamento entre avenidas João Naves de Ávila e Rondon Pacheco em simulação do DRACULA

A simulação, que leva em torno de 20 minutos para ser completada, gera arquivos de saída, dos quais foram extraídas as informações para os cálculos da confiabilidade do corredor estrutural de ônibus. Os arquivos gerados pela simulação e utilizados nos procedimentos de cálculo estão discriminados na Tabela 12.

Tabela 12 – Arquivos com resultados das simulações realizadas pelo DRACSIM

Extensão	Informações
(.out)	Resumo das estatísticas de desempenho das viagens.
(.pas)	Resumo dos atrasos dos passageiros e tempos de espera dos ônibus.
(.ptt)	Tempo de viagem por arco para cada viagem realizada pelo serviço de ônibus.

A partir dos arquivos supracitados, foram elaboradas as planilhas de cálculo dos indicadores de confiabilidade. No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos após as simulações.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISES

O programa simulou, durante 90 minutos, 18 viagens da linha T131 e as tabelas geradas apresentam os valores médios, para cada simulação, calculados a partir destas 18 viagens. Foram realizadas cinco simulações para cada cenário. A seguir, são apresentados os valores médios obtidos para cada cenário.

4.1 CENÁRIO BASE

O primeiro cenário simulado foi o cenário base. Dois números aleatórios (comando NSEED) são introduzidos no arquivo de parâmetros (.par) para representar a variabilidade no volume de tráfego que ocorre num mesmo dia e entre dias diferentes da semana. Além disso, o número NSEED é diferente para cada uma das cinco simulações de maneira a representar essa variabilidade e para testá-la nos resultados do modelo de simulação.

A Tabela 13 mostra os resultados das cinco simulações e a média, separados por sentido de movimento, para o tempo de viagem de linha T131 ao longo do corredor de ônibus. Para o cálculo da proporção entre a simulação e o tempo real de viagem, foi utilizado o tempo de viagem medido em campo, no dia 06 de novembro de 2008, durante o período de pico da manhã. A viagem sentido Centro – Bairro foi realizada em 18 minutos e 45 segundos (18,75 minutos) e, no sentido Bairro – Centro, foi realizada em 22 minutos e 42 segundos (22,70 minutos). Os tempos considerados incluem todas as paradas nas estações e em terminais, uma vez que a simulação gera dados de tempo de viagem incluindo tais paradas.

Tabela 13 – Resultados das simulações para o cenário base – Tempo de viagem

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de viagem (minutos)	20,77	21,63	20,53	21,30	21,45	21,14
Desvio Padrão (minutos)	2,07	2,18	2,41	2,58	2,10	2,27
Confiabilidade (média/desvio padrão)	10,04	9,93	8,53	8,25	10,24	9,40
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,11	1,15	1,10	1,14	1,14	1,13

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de viagem (minutos)	18,47	18,55	18,72	19,24	18,66	18,73
Desvio Padrão (minutos)	1,64	1,67	1,58	1,93	1,26	1,62
Confiabilidade (média/desvio padrão)	11,24	11,14	11,84	9,95	14,82	11,80
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	0,81	0,82	0,82	0,85	0,82	0,82

No sentido Centro – Bairro, a simulação estimou que a viagem dura em média 21 minutos e 8 segundos, estabelecendo uma proporção de 112,7 % com o tempo de viagem medido em campo. O desvio padrão das viagens simuladas em relação à média foi de 2 minutos e 16 segundos. No sentido bairro centro, estimou-se que a viagem seria realizada em 18 minutos e 44 segundos em média, o que representa 82,5% do tempo de viagem real. O desvio padrão das viagens simuladas em relação à média foi de 1 minuto e 37 segundos.

Os resultados da simulação para os tempos de viagem ficaram invertidos, ou seja, maior no sentido Centro – Bairro do que no sentido Bairro – Centro, o que não seria o esperado para o pico da manhã, quando a demanda de passageiros é maior em direção ao centro do que em direção ao bairro, conforme pôde ser visto na Tabela 8. Isso pode ter ocorrido devido aos *headways*, que foram maiores em direção ao bairro do que no sentido inverso.

A Tabela 14 mostra as velocidades médias para cada simulação, bem como a média global. O programa DRACULA não fornece esses dados em seus arquivos de saída, apenas dados de velocidade abrangendo toda a rede. Conforme dito no capítulo anterior, o percurso é de 7.334 m, no sentido Centro – Bairro, e de 7.796 m no sentido Bairro – Centro e os tempos de viagem simulados foram apresentados na Tabela 13.

Tabela 14 – Resultados das simulações para o cenário base – Velocidade (ônibus)

Sentido Centro – Bairro					
Velocidade (km/h)					
1	2	3	4	5	Média
21,18	20,35	21,43	20,66	20,52	20,83

Sentido Bairro – Centro					
Velocidade (km/h)					
1	2	3	4	5	Média
25,33	25,22	24,98	24,31	25,07	24,98

Considerando as medidas de tempo de viagem já citadas, a velocidade pesquisada em campo foi de 23,47 km/h no sentido Centro – Bairro e de 20,61 km/h no sentido Bairro – Centro. Desta maneira, verifica-se que a simulação subestimou a velocidade Centro – Bairro em 11,3% e superestimou em 21,2% no sentido Bairro – Centro.

Os resultados da simulação não condizem com a realidade, apesar de serem coerentes, pois velocidades menores indicam tempos de viagem e de espera maiores, já que a distância a ser percorrida é praticamente a mesma nos dois sentidos.

A

Tabela 15 mostra os resultados obtidos em relação ao *headway* nas simulações. O *headway* programado para a linha T131 durante o horário de pico matutino é de 5 minutos, conforme mostrado na Tabela 5. Novamente, os dados obtidos foram separados por sentido de movimento da linha.

Tabela 15 – Resultados das simulações para o cenário base – *Headway*

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Headway médio (minutos)	5,42	4,75	5,00	5,02	4,93	5,02
Desvio Padrão (minutos)	0,16	0,21	0,04	0,05	0,07	0,10
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	1,08	0,95	1,00	1,00	0,99	1,00

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Headway médio (minutos)	4,83	5,03	4,99	4,96	4,95	4,95
Desvio Padrão (minutos)	0,11	0,05	0,08	0,07	0,06	0,07
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Proporção (simulação/headway programado)	0,97	1,01	1,00	0,99	0,99	0,99

No sentido Centro – Bairro, o *headway* médio simulado foi de 5 minutos e 1 segundo, divergindo do programado em menos de 1%. Nota-se também que o desvio padrão das viagens simuladas é de 0,105 minuto, ou 6,3 segundos. No sentido Bairro – Centro, o *headway* médio simulado foi de 4 minutos e 57 segundos, diferindo do programado por 1%. O desvio padrão da amostra, no entanto, foi menor que o do sentido Centro – Bairro, com o valor de 0,07 minuto, ou 4,2 segundos.

Nota-se que os *headways* calculados diferem pouco do *headway* programado, de 5 minutos. Além disso, em ambas as situações, o desvio padrão foi pequeno, com o valor máximo de 6,3 segundos. Em conformidade com o resultado obtido para o tempo de viagem, o percurso Bairro – Centro se mostrou mais confiável, uma vez que quanto menor o valor do coeficiente de variação, menor é a proporção de desvio em relação à média.

A Tabela 16 mostra os resultados do tempo de espera. O arquivo (.pas) traz, como dados, o atraso de passageiros, gerado no procedimento de embarque, e quantidade de passageiros por ponto. Os dados apresentados abaixo são os valores médios para cada simulação, ao longo de toda a rota, ou seja, é a média do atraso total dos passageiros por ponto dividido pelo número de passageiros embarcados por ponto.

Tabela 16 – Resultados das simulações para o cenário base – Tempo de espera

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de espera (minutos)	3,23	2,78	3,00	2,83	2,84	2,94
Tempo de espera em excesso (minutos)	1,26	0,95	1,03	0,98	0,95	1,03

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de espera (minutos)	2,50	2,42	2,63	2,51	2,54	2,52
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,41	0,35	0,48	0,43	0,42	0,42

Como já foi dito anteriormente, para *headway* menor que 12 minutos, em áreas urbanas, considera-se que os passageiros chegam aos pontos aleatoriamente, resultando em tempo de espera médio programado de 2,50 minutos. O parâmetro “Tempo de espera em excesso” foi calculado usando a média das diferenças entre o tempo de espera simulado e o programado (2,50 minutos).

No sentido Centro – Bairro, encontrou-se um tempo médio de espera de 2,94 minutos e a média do tempo de espera em excesso foi de 1 minuto e 2 segundos. Já no sentido Bairro – Centro, o tempo médio de espera foi de 2 minutos e 31 segundos, com o tempo médio de espera em excesso de 25 segundos. Para os dois sentidos, o tempo de espera médio foi maior do que o esperado, mas se percebe mais uma vez que o sentido Bairro – Centro apresentou melhor desempenho nesse parâmetro, com menor tempo de espera em excesso.

4.2 CENÁRIOS ADICIONAIS

As próximas tabelas apresentam os valores de todos os cenários simulados, a fim de permitir que seja feita a comparação entre estes e o cenário base. Os valores obtidos para cada cenário seguem em planilha no Apêndice.

A Tabela 17 mostra os cálculos de tempo de viagem, *headway* e tempo de espera em excesso. Os valores da coluna “confiabilidade” foram calculados, conforme dito anteriormente, por meio da divisão da média pelo desvio padrão. Desta maneira, quanto maior o valor, mais confiável é o transporte, uma vez que é menor o desvio padrão em relação ao valor da média. Na coluna “Não confiabilidade”, os valores foram calculados dividindo-se o desvio padrão pela média, de modo que quanto menor o valor, mais confiável é o transporte.

Tabela 17 – Resultados das simulações de todos os cenários

Sentido Centro – Bairro								
		Medidas						
		Tempo de viagem (minutos)			Headway (minutos)			Tempo de espera em excesso (min)
Cenários		Média (min)	Desvio padrão (min)	Confiabilidade	Média (min)	Desvio padrão (min)	Não Confiabilidade	
Cenário Base		21,14	2,27	9,40	5,02	0,10	0,02	1,03
Aumento na demanda	10%	21,28	1,87	11,51	4,33	0,11	0,03	1,08
	15%	21,29	1,89	11,47	4,86	0,14	0,03	1,01
	20%	21,59	1,63	13,84	4,56	0,11	0,02	1,27
Aumento no congestionamento	1%	21,31	1,99	11,58	4,97	0,13	0,03	1,00
	2,5%	21,32	2,27	9,72	5,06	0,10	0,02	1,04
	5%	20,99	2,14	9,82	5,02	0,09	0,02	1,03
	10%	21,49	2,12	10,58	5,00	0,08	0,02	1,07
Tempo de embarque	2 seg	20,39	1,90	10,81	5,18	0,15	0,03	0,96
	8 seg	21,76	2,10	10,49	4,98	0,15	0,03	1,07
Tipo de ponto		21,18	1,73	12,88	5,45	0,27	0,05	1,97

Sentido Bairro – Centro								
	Medidas							
	Tempo de viagem (minutos)			Headway (minutos)			Tempo de espera em excesso (min)	
Cenários	Média (min)	Desvio padrão (min)	Confiabilidade	Média (min)	Desvio padrão (min)	Não Confiabilidade		
Cenário Base	18,73	1,62	11,80	4,95	0,07	0,01	0,42	
Aumento na demanda	10%	18,85	1,75	10,93	4,98	0,06	0,01	0,33
	15%	19,25	1,92	10,10	4,89	0,12	0,02	0,33
	20%	19,50	1,83	11,04	4,86	0,12	0,02	0,31
Aumento no congestionamento	1%	18,57	1,38	13,84	4,96	0,08	0,02	0,40
	2,5%	19,06	1,53	13,39	4,95	0,08	0,02	0,43
	5%	18,47	1,72	10,99	4,92	0,09	0,02	0,46
	10%	18,67	1,44	13,83	4,97	0,02	0,02	0,44
Tempo de embarque	2 seg	17,66	0,85	21,68	5,00	0,07	0,01	0,34
	8 seg	20,86	2,35	9,20	4,90	0,15	0,03	0,44
Tipo de ponto	18,33	1,39	13,63	4,91	0,09	0,02	0,44	

4.2.1 Tempo de viagem: sentido Centro – Bairro

No sentido Centro – Bairro, o cenário de aumento de demanda se mostrou consistente nos resultados no que diz respeito ao tempo médio de viagem. Espera-se que o aumento de passageiros embarcando resulte em aumento de tempo de viagem, uma vez que a simulação considera que cada passageiro leva 4 segundos para embarcar. Com o aumento de 10% na demanda, o tempo de viagem aumentou em 8,4 segundos em relação ao cenário base. Quando o aumento do número de passageiros foi de 15%, a viagem foi mais longa por 9 segundos e quando a demanda aumentou 20%, o tempo de viagem teve acréscimo de 27 segundos, em relação ao cenário base. O aumento do tempo de viagem não reduziu o indicador de confiabilidade, uma vez que o desvio padrão para cada um dos três cenários de aumento de demanda foi menor do que o obtido no cenário base resultando, portanto, em situações de maior confiabilidade. No que diz respeito ao *headway* médio, o cenário de aumento de demanda não mostrou um padrão de variação, assim como ocorreu na coluna “Não confiabilidade”, não permitindo uma conclusão clara sobre como o aumento de demanda afeta o *headway*. Finalmente, para o cenário de aumento de demanda, o tempo de espera em excesso não varia diretamente com os incrementos na demanda, observando-se uma redução em relação ao cenário base quando o aumento de demanda foi de 15%, e aumento nesse índice para as outras duas variações.

No cenário de aumento de congestionamento, em todos os parâmetros analisados na Tabela 17, pode-se perceber que as variações ocorreram sem padrão, aumentando e diminuindo sem relação com o aumento da taxa de congestionamento. Infere-se que o aumento da taxa de congestionamento não afeta diretamente o desempenho do transporte público no corredor de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, por haver separação de tráfego com a faixa exclusiva para ônibus, que só pode ser utilizada por veículos particulares onde as conversões à esquerda são permitidas. No entanto, talvez seja necessário um número maior de simulações e variações mais amplas no percentual de congestionamento para confirmar os resultados obtidos nesse trabalho.

Para o cenário de variação no tempo de embarque, considerando-se que cada passageiro demoraria dois segundos para embarcar, o tempo médio de viagem sofreu uma redução de 45 segundos, o que é coerente, uma vez que o tempo de viagem é influenciado pelo tempo de parada do ônibus. O cenário mostrou-se mais confiável que o cenário base, devido ao menor

desvio padrão obtido. O *headway* e a não confiabilidade desse quesito aumentaram, mas o tempo de espera em excesso diminuiu, atingindo o menor valor entre todos os cenários. Quando o tempo de embarque passou para 8 segundos por passageiro, o tempo de viagem aumentou, condizendo com o esperado. Nota-se que a viagem levou 37,25 segundos a mais para ser concluída. No entanto, o cenário também apresentou confiabilidade maior do que o cenário base, por apresentar um desvio padrão menor em relação à sua média. O cenário apresentou queda do *headway* médio e piora na confiabilidade em relação ao cenário base. O tempo de espera em excesso neste cenário aumentou, passando para 1 minuto e 4 segundos.

No último cenário, onde foi considerado que todos os pontos de parada dos ônibus dispõem de baias de 80 metros de comprimento, o tempo médio de viagem aumentou em 2,4 segundos, mantendo-se muito próximo ao tempo médio de viagem para o cenário base. A confiabilidade deste cenário, em relação ao cenário base, também aumentou, devido ao desvio padrão menor. O *headway* aumentou, mas o parâmetro neste cenário se mostrou menos confiável que o inicial. A existência de baias em todos os pontos de parada gerou aumento no tempo de espera em excesso, em relação ao cenário base.

4.2.2 Tempo de viagem: sentido Bairro – Centro

No sentido Centro – Bairro, o cenário de aumento de demanda se mostrou consistente no que diz respeito ao tempo médio de viagem. A Tabela 17 mostra que, para o sentido Bairro – Centro, com um acréscimo de 10% na demanda, o tempo de viagem aumentou em 7,2 segundos em relação ao cenário base. Quando o aumento do número de passageiros foi de 15%, a viagem foi mais longa por 31,2 segundos e quando a demanda aumentou 20%, o tempo de viagem teve acréscimo de 46,2 segundos. Para todos os cenários, a confiabilidade do transporte diminuiu em relação ao cenário base, o que é consistente com a realidade. Na medida de *headway*, o cenário em que houve aumento de 10% na demanda difere dos outros resultados, apresentando *headway* maior do que os dos cenários com aumento de 15% e 20%. Nos outros dois cenários, o *headway* diminuiu com o aumento a demanda. Na coluna “Não confiabilidade”, percebe-se novamente que o cenário com 10% de aumento na demanda apresentou um resultado diferente dos demais, com o mesmo índice de não confiabilidade que o cenário base. O tempo de espera em excesso foi, para todos os cenários, menor do que o encontrado no cenário base.

No cenário de aumento de congestionamento, percebe-se que, em sua maioria, as variações ocorreram sem relação com o aumento da taxa de congestionamento. Existe, no entanto, consistência na coluna “Não confiabilidade”, em que todos os cenários se mostraram menos confiáveis que o cenário base. No que diz respeito ao tempo de espera em excesso, exceto pelo cenário de aumento de 1%, os resultados foram maiores do que os do cenário base. Conforme analisado no sentido Centro – Bairro, não se pode concluir sobre o cenário como um todo, devido à inconsistência dos resultados.

Quando foi simulada a redução no tempo de embarque para 2 segundos, o tempo médio de viagem diminuiu em 1 minuto e 4 segundos, apresentando a maior confiabilidade entre todos os cenários, inclusive o cenário base. O *headway* médio obtido iguala-se ao *headway* programado, a não confiabilidade do cenário mantém-se igual à do cenário base e o tempo de espera cai, figurando entre os mais baixos para o sentido Bairro – Centro. Quando o tempo de embarque passou para 8 segundos, percebe-se que houve aumento no tempo de viagem em 2 minutos e 8 segundos. Ocorreu, nesse cenário, redução da confiabilidade, ao contrário do que houve no sentido Centro – Bairro. O *headway* do cenário é menor do que o do cenário base, mas a não confiabilidade do cenário aumentou, assim como o tempo de espera em excesso.

O último cenário, em que todos os pontos são dotados de baía de 80 metros de comprimento, o tempo de viagem foi reduzido em 24 segundos e a confiabilidade aumentou em relação ao cenário base. O *headway* diminuiu em relação ao cenário base e houve aumento da falta de confiabilidade, o que é consistente com a realidade. No entanto, o tempo de espera em excesso aumentou em relação ao cenário base.

4.2.3 Parâmetros de confiabilidade

A Tabela 18 mostra os resultados dos cálculos de regularidade. A porcentagem de desvio médio da regularidade (PRDM) será calculada como mostra a Equação (1). Quanto menor a PRDM, melhor é a regularidade do serviço.

$$PRDM = \frac{\sum |TIT - TIA|}{n \cdot TIT} \times 100 \quad (1)$$

onde $TIT = headway$ programado para o ponto de parada, $TIA = verdadeiro headway$ no ponto e $n = número$ de veículos no ponto. O tempo médio de espera (TWM) será calculado como mostra a Equação (2), considerando o efeito que o PRDM tem sobre essa variável.

$$TWM = \frac{1}{2}TITM(1 + PRDM^2) \tag{2}$$

onde TWM = tempo de espera médio e TITM = *headway* médio programado. A frequência percebida (Fp) é calculada conforme a Equação (3), considerando o efeito que a PRDM tem sobre a percepção de frequência para o usuário.

$$Fp = \frac{F}{(1+PRDM^2)} \tag{3}$$

onde F = frequência programada.

Na Tabela 18 encontram-se os valores de todos os cenários simulados. Cada célula da coluna “Mudança na frequência” foi calculada fazendo referência à frequência do cenário base e a coluna “Mudança no nível de demanda” foi calculada equivalendo cada 1% de mudança na frequência a 0,36% de mudança no nível de demanda.

Tabela 18 – Resultados das simulações de todos os cenários

Sentido Centro – Bairro						
Cenários		PRDM (%)	TWM (minutos)	Frequência percebida (ônibus/hora)	Mudança na frequência (%)	Mudança no nível de demanda (%)
Cenário Base		33,65	2,84	10,63	-	0,36
Aumento na demanda	10%	44,05	3,03	9,99	-6,06	-2,18
	15%	37,29	2,92	10,39	-2,30	-0,83
	20%	42,76	3,00	10,08	-5,17	-1,86
Aumento no congestionamento	1%	33,60	2,87	10,61	-0,22	-0,08
	2,5%	35,17	2,87	10,54	-0,86	-0,31
	5%	28,57	2,77	10,92	2,67	0,96
	10%	34,68	2,87	10,55	-0,75	-0,27
Tempo de embarque	2 seg	52,37	3,21	9,41	-11,54	-4,15
	8 seg	34,27	2,86	10,58	-0,53	-0,19
Tipo de ponto		58,49	3,58	8,89	-16,43	-5,92

Sentido Bairro – Centro						
Cenários		PRDM (%)	TWM (minutos)	Frequência percebida (ônibus/hora)	Mudança na frequência (%)	Mudança no nível de demanda (%)
Cenário Base		27,04	2,73	11,04	-	0,36
Aumento na demanda	10%	26,86	2,73	11,06	0,13	0,05
	15%	28,01	2,75	10,99	-0,49	-0,18
	20%	24,28	2,69	11,21	1,49	0,54
Aumento no congestionamento	1%	24,99	2,69	11,20	1,41	0,51
	2,5%	26,86	2,73	11,06	0,13	0,05
	5%	28,01	2,75	10,99	-0,49	-0,18
	10%	24,28	2,69	11,21	1,49	0,54
Tempo de embarque	2 seg	18,19	2,60	11,56	4,72	1,70
	8 seg	33,27	2,86	10,62	-3,83	-1,38
Tipo de ponto		27,91	2,73	11,04	-0,06	-0,02

Pode-se perceber, por meio da análise da PRDM, no sentido Centro – Bairro, que a variação se dá de maneira inconsistente. Observa-se, por exemplo, que a PRDM é menor para quando o congestionamento aumentou 5% do que para o cenário base, ou que é maior para o cenário em que foi considerado que os passageiros levam 2 segundos para embarcar do que a PRDM para quando o tempo de embarque é de 8 segundos. No sentido Bairro – Centro, nota-se que o valor da PRDM diminuiu para todos os cenários, sinalizando maior regularidade nesse sentido de movimento. Algumas inconsistências persistem, tal como a ausência de um padrão de variação para os cenários com aumento de demanda e aumento de congestionamento. No entanto, percebe-se que o cenário em que o embarque foi realizado em dois segundos por passageiro, a PRDM caiu e o cenário se mostrou mais regular e confiável que o cenário base, com consequente aumento de frequência percebida e redução do tempo de espera.

Em ambos os sentidos de movimento, todos os cenários avaliados resultaram em tempos de espera e frequência percebida bem próximos aos do cenário base, o que indica que esse dois parâmetros não foram importantes na avaliação da confiabilidade.

A Tabela 19 mostra os cálculos de pontualidade, aqui representado pelo tempo ótimo de recuperação.

Tabela 19 – Resultados das simulações de todos os cenários

Sentido Centro – Bairro								
Minutos por viagem								
Cenários		Tempo de viagem médio	Tempo de viagem mediano	Excesso em tempo de viagem	95° percentil	Tempo ótimo de recuperação	10% da média	18% da média
Cenário Base		21,14	20,85	-2,10	23,98	3,13	2,11	3,80
Aumento na demanda	10%	21,28	21,87	-3,12	23,90	2,04	2,13	3,83
	15%	21,29	21,86	-3,11	24,01	2,15	2,13	3,83
	20%	21,59	21,93	-3,18	24,00	2,08	2,16	3,89
Aumento no congestionamento	1%	21,31	21,79	-3,04	24,07	2,28	2,13	3,83
	2,5%	21,32	21,90	-3,15	24,08	2,18	2,13	3,84
	5%	20,99	21,69	-2,94	23,90	2,21	2,10	3,78
	10%	21,49	21,88	-3,13	24,04	2,16	2,15	3,87
Tempo de embarque	2 seg	20,39	20,27	-1,52	23,27	3,00	2,04	3,67
	8 seg	21,76	21,98	-3,23	24,29	2,30	2,18	3,92
Tipo de ponto		21,18	21,35	-2,60	23,81	2,46	2,12	3,81

Sentido Bairro – Centro								
Minutos por viagem								
Cenários		Tempo de viagem médio	Tempo de viagem mediano	Excesso em tempo de viagem	95° percentil	Tempo ótimo de recuperação	10% da média	18% da média
Cenário Base		18,73	18,76	3,94	21,56	2,80	1,87	3,37
Aumento na demanda	10%	18,85	18,85	3,85	21,52	2,67	1,89	3,39
	15%	19,25	19,01	3,69	23,10	4,09	1,92	3,46
	20%	19,50	19,28	3,43	22,35	3,07	1,95	3,51
Aumento no congestionamento	1%	18,57	18,79	3,91	20,84	2,05	1,86	3,34
	2,5%	19,06	18,89	3,81	22,03	3,14	1,91	3,43
	5%	18,47	18,72	3,98	21,16	2,44	1,85	3,32
	10%	18,67	18,86	3,84	20,83	1,98	1,87	3,36
Tempo de embarque	2 seg	17,66	17,34	5,36	19,23	1,89	1,77	3,18
	8 seg	20,86	20,64	2,06	24,11	3,47	2,09	3,75
Tipo de ponto		18,33	18,72	3,98	20,61	1,90	1,83	3,30

Na Tabela 19, a coluna “Excesso em tempo de viagem” foi calculada por meio da diferença entre o tempo de viagem real medido em campo e o tempo mediano de viagem e representa o tempo de recuperação detectado na rota. A coluna “Tempo ótimo de recuperação” foi calculada como a diferença entre o 95º percentil e a mediana da distribuição. A mediana da distribuição dos tempos de viagem obtidos nas simulações foi considerada o tempo ótimo de viagem, sendo a referência para os cálculos de excesso de tempo de viagem e de tempo ótimo de recuperação.

No sentido Centro – Bairro, o valor do tempo ótimo de recuperação ficou, na maioria dos casos, entre 10% e 18% da média, sinalizando que o patamar calculado está adequado aos limites normalmente adotados para tempo de recuperação. As exceções se deram no cenário de aumento de demanda, para as variações em 10% e 20%. Nesses casos, o tempo ótimo de recuperação foi menor que 10% da média, o que sinaliza a possibilidade de que o valor esteja subestimado. No sentido Bairro – Centro, o valor do tempo ótimo de recuperação calculado ficou entre 10% e 18% da média em todos os cenários.

Conforme colocado anteriormente, os tempos de viagem resultantes da simulação ficaram invertidos e, conseqüentemente, os valores calculados na coluna “excesso em tempo de viagem”, no sentido Centro – Bairro, foram negativos, e no sentido Bairro – Centro, assumiram valores maiores que 18% da média, exceto quando houve aumento da demanda em 20% e aumento do tempo de embarque para 8 segundos.

Finalmente, faz-se necessário avaliar como a implantação afetou o tempo de viagem da linha T131, que percorre o corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila. Segundo Borges (2009), a implantação desse corredor estrutural reduziu o tempo de viagem Terminal Central – Terminal Santa Luzia – Terminal Central em cinco minutos, e o tempo de embarque foi reduzido, em horário de pico, em 3 minutos e 30 segundos.

Em pesquisa de campo, verificou-se que, antes da implantação do corredor estrutural, o tempo de viagem durante o período de pico da manhã, no sentido Centro – Bairro, foi de 17 minutos e 26 segundos (17,43 minutos) e a volta, no sentido Bairro – Centro, foi realizada em 22 minutos e 55 segundos (22,92 minutos). Quando comparado ao tempo medido em campo após a sua implantação (18,75 minutos no sentido Centro – Bairro e 22,70 minutos no sentido Bairro – Centro), percebe-se que os tempos de viagem mantiveram-se muito próximos. Desta

maneira, o tempo para que o percurso Terminal Central – Terminal Santa Luzia – Terminal Central aumentou de 40 minutos e 21 segundos para 41 minutos e 27 segundos.

Segue no Capítulo 5 a conclusão do trabalho, com apresentação de sugestões para melhora do sistema.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho apresentou uma avaliação da confiabilidade do transporte coletivo no corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila, em Uberlândia – MG. Para tanto, foram utilizados dois programas computacionais: SATURN, com o qual foi montada a rede viária da região em que o corredor de ônibus está situado, e DRACULA, onde foram executadas as simulações dos cenários.

O corredor foi inserido na rede de trabalho em toda a sua extensão, unindo dois dos terminas de ônibus da cidade, e com as 13 estações de embarque e desembarque. Todas as simulações foram divididas em dois sentidos de movimento: Centro – Bairro e Bairro – Centro. Para avaliar a confiabilidade do corredor estrutural, foram analisados cinco indicadores: tempo de viagem, *headway*, tempo de espera, regularidade e pontualidade.

Para o cenário base, foram consideradas as características reais do corredor estrutural e da demanda, a fim de calcular, por meio dos resultados obtidos nas simulações, os indicadores de confiabilidade do corredor como foi implantando na realidade.

Os indicadores calculados para aferir a variabilidade do tempo de viagem mostram que o movimento no sentido Bairro – Centro tem maior confiabilidade que o sentido Centro – Bairro, apresentando menor variabilidade em relação ao tempo médio de viagem. No entanto, a simulação resultou em tempos de viagem contrários aos esperados. Esperava-se que o sentido Bairro – Centro obtivesse maior tempo de viagem do que o sentido oposto, uma vez que o carregamento de passageiros é maior em direção ao centro no pico da manhã. Há de se

considerar também que as limitações das versões acadêmicas dos programas utilizados impediram maiores avanços na implantação da rede e, conseqüentemente, afetaram os resultados das simulações. As proporções entre tempo de viagem simulado e o tempo de viagem real, superestimando a viagem no sentido Centro – Bairro em 12,7 % e subestimando a viagem no sentido Bairro – Centro em 17,5%, sinalizam que ocorreu uma inversão dos tempos de viagem.

Os indicadores de confiabilidade calculados para aferir sobre a variabilidade do *headway* mostraram, novamente, que a rota Bairro – Centro tem maior confiabilidade que a rota Centro – Bairro. No entanto, a proporção entre o *headway* obtido na simulação e o *headway* programado, de 5 minutos, teve melhor resultado no sentido Centro – Bairro (+0,5%) do que no sentido Bairro – Centro (-1,0%). Percebe-se que as proporções obtidas em relação aos *headways* foram melhores do que as proporções obtidas nos tempos de viagem, demonstrando que a rede configurada no SATURN está adequada à realidade.

Os indicadores de tempo de espera mostram que a espera média calculada na simulação é maior que o tempo médio de espera programado, de 2,50 minutos (metade do *headway* programado) para os dois sentidos de movimento. O tempo de espera em excesso é maior no sentido Centro – Bairro, mostrando mais uma vez que o sentido Bairro – Centro apresenta maior confiabilidade.

Os indicadores de regularidade calculados apontam para menor porcentagem de desvio médio da regularidade (PRDM) na rota sentido Bairro – Centro. Como consequência, os passageiros têm a percepção de menor tempo de espera e de maior frequência de ônibus nesse sentido do que no sentido oposto, confirmando a maior confiabilidade do sentido Bairro – Centro.

Os indicadores de pontualidade não foram suficientes para concluir se o transporte é ou não pontual, uma vez que houve a inversão dos tempos médios de viagem resultantes das simulações em relação aos tempos reais de viagem.

Os demais cenários foram simulados com a finalidade de testar como as variações afetariam a confiabilidade do transporte coletivo no corredor de ônibus. Foram simulados quatro cenários: aumento de demanda, aumento de congestionamento, variação no tempo de embarque e todos os pontos de parada com baia de 80 metros de comprimento.

Os indicadores de tempo de viagem apontaram que existe uma relação positiva entre o aumento de demanda e o aumento de tempo de viagem, ou seja, conforme aumenta a demanda, aumenta o tempo de viagem, o que é coerente com o esperado. Para a confiabilidade relacionada ao tempo de viagem não fica clara uma relação direta, uma vez que, no sentido Centro – Bairro, a confiabilidade aumenta em relação ao cenário base, mas não aumenta conforme aumenta a demanda, e no sentido Bairro – Centro, a confiabilidade diminui em relação ao cenário base, novamente sem relação direta com o aumento da demanda.

Em relação ao *headway*, a variação ocasionada pelo aumento de demanda não segue um padrão, apenas pode-se dizer que o *headway* diminui em relação ao do cenário base em quase todos os cenários de aumento de demanda, exceção feita quando o aumento foi de 10%, no sentido Bairro – Centro. A não confiabilidade desse cenário também varia sem consistência, podendo ser menor ou igual à do cenário base. Para o tempo de espera em excesso também não pode ser concluído qual o efeito da variação de demanda, já que, no sentido Centro – Bairro, o tempo de espera em excesso varia aleatoriamente e no sentido Bairro – Centro, há queda desse indicador.

Os indicadores de regularidade apontam que tanto a PRDM quanto o tempo de espera aumentam, enquanto a frequência percebida cai, mas em todos os casos, sem padrão definido. Isso ocorre em todos os cenários no sentido Centro – Bairro, mas apenas quando o aumento da demanda é de 10% no sentido Bairro – Centro, uma vez que os outros dois cenários desse sentido de movimento apresentam melhora da regularidade em relação ao cenário base.

Os indicadores de pontualidade foram afetados pela inversão dos tempos de viagem e, portanto, não são conclusivos sobre como o aumento da demanda afeta a pontualidade.

Para o cenário em que foi considerado o aumento de congestionamento, os indicadores de tempo de viagem e confiabilidade, *headway* e não confiabilidade, e de tempo de espera em excesso não apresentaram resultados consistentes, não permitindo conclusões claras sobre a influência da variação do congestionamento no desempenho da linha T131. Da mesma maneira, a porcentagem de desvio médio da regularidade, o tempo de espera e frequência percebida pelos usuários não apresentam variação coerente, não permitindo que sejam emitidas conclusões sobre a influência do cenário na regularidade. Os indicadores de

pontualidade também não se mostraram conclusivos. Uma das possíveis causas para que as análises da confiabilidade do cenário não tenham surtido resultados é que o uso da faixa exclusiva para ônibus minimize a influência do tráfego geral sobre o transporte público. No entanto, pode-se recomendar para trabalhos futuros que seja feito um número maior de simulações para esse cenário.

Para o cenário de variação em tempo de embarque, quando houve a redução para 2 segundos por passageiro, o tempo de viagem diminuiu e a confiabilidade aumentou para os dois sentidos de movimento, mostrando o cenário mais favorável de todos no sentido Bairro – Centro. O *headway* médio e a não confiabilidade aumentaram no sentido Centro – Bairro, mas no sentido Bairro – Centro houve melhora dos índices, com o *headway* médio se igualando ao programado, e a não confiabilidade mantendo o valor do cenário base. Em ambos os sentidos de movimento, houve redução do tempo de espera em excesso que, no sentido Centro – Bairro, registrou o menor valor entre todos os cenários simulados.

Os indicadores de regularidade diferiram nos dois sentidos de movimento. Enquanto no sentido Centro – Bairro, a PRDM aumentou em relação ao cenário base, com consequente aumento de tempo de espera e redução da frequência percebida, no sentido Bairro – Centro, o cenário teve os melhores resultados entre todos os cenários, inclusive o cenário base, com menor porcentagem de desvio médio da regularidade, menor tempo de espera e maior frequência percebida. Nenhuma conclusão foi tirada dos indicadores de pontualidade, que foram afetados pela inversão nos tempos de viagem na simulação.

Quando o tempo de embarque foi aumentado para 8 segundos, o tempo de viagem aumentou nos dois sentidos de movimento da linha conforme era a expectativa, mas não houve consistência na confiabilidade, que aumentou no sentido Centro – Bairro, o que não é coerente, e diminuiu no sentido Bairro – Centro. O aumento da confiabilidade no sentido Centro – Bairro se deve provavelmente ao alto desvio padrão obtido no cenário base, que resultou em baixa confiabilidade. O *headway* para este cenário diminuiu e a sua falta de confiabilidade aumentou. O tempo de espera em excesso aumentou significativamente.

Em ambos os sentidos de movimento, os indicadores de regularidade apontam piora para esse cenário em relação ao cenário base, com aumento da PRDM, do tempo de espera e

consequente redução da frequência percebida. Novamente, nenhuma conclusão foi tirada dos indicadores de pontualidade, devido à inconsistência na simulação.

Quando foi simulado o cenário em que se considerou que todos os pontos de parada têm baixa com comprimento de 80 metros, o tempo de viagem simulado aumentou poucos segundos no sentido Centro – Bairro e diminuiu nas viagens Bairro – Centro, mas a confiabilidade relacionada ao tempo de viagem aumentou nos dois sentidos de movimento, sinalizando que o cenário apresenta melhora em relação ao cenário base. O *headway* para esse cenário aumenta para o sentido Centro – Bairro e diminui para o sentido Bairro – Centro, mas a falta de confiabilidade aumenta em ambos os casos, levando à conclusão de que o cenário piora a confiabilidade do *headway*. O tempo de espera em excesso aumenta em relação ao cenário base para ambos os sentidos de viagem.

Os indicadores de regularidade apontam para aumento na porcentagem de desvio médio da regularidade em ambos os sentidos de movimento, porém de maneira mais acentuada no sentido Centro – Bairro, levando à conclusão de que houve piora na regularidade. A pontualidade do cenário não pode ser aferida devido à inversão dos tempos de viagem durante a simulação.

O tempo de viagem antes e após a implantação do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila não sofreu grande variação, aumentando em 1 minuto e 19 segundos no sentido Centro – Bairro e reduzindo em 13 segundos no sentido Bairro – Centro, resultando em uma viagem completa 1 minuto e 6 segundos mais longa após a implantação do corredor estrutural de ônibus.

O objetivo da implantação do corredor de ônibus era reduzir o tempo de viagem ao reduzir o tempo de embarque, por meio do pagamento antecipado da tarifa, e segregação do tráfego dos ônibus em faixa exclusiva. No entanto, as obras de implantação do corredor incluíram a instalação de sete novos semáforos na avenida, aumentando o número de paradas realizadas no itinerário.

Apesar de o tempo de viagem da linha T131 ter aumentado, o corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila aumentou a qualidade do serviço prestado pela linha T131:

- Os pontos de parada, antes formados por marquises de concreto, foram substituídos por estações fechadas, aumentando o conforto, ao oferecer um ponto de parada com mobiliário bem mantido e protegido de intempéries, e a segurança dos passageiros, pois a estação fechada permite o controle do acesso aos usuários;
- Veículos novos e mais modernos foram alocados para as linhas que têm ponto de parada no corredor, pela necessidade de portas na lateral esquerda do ônibus, aumentando o conforto dos passageiros e a segurança da viagem. Além disso, alguns veículos de piso baixo circulam no corredor;
- Novas possibilidades de conexão com outras linhas foram criadas, uma vez que em três das estações podem ser realizadas transferências para outras linhas de ônibus sem necessidade de ir ao Terminal Central, aumentando a conectividade do sistema para os usuários;

O corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila foi o primeiro a ser implantado na cidade, mas outros quatro projetos de corredores estruturais estão em desenvolvimento. Deve-se, portanto, considerar a experiência com o primeiro corredor a fim de melhorar os próximos projetos.

A partir dos resultados obtidos nas simulações realizadas, é sugerido que os veículos que circulam pelos corredores sejam de piso baixo, para que o embarque seja realizado sem que os passageiros precisem subir degraus. A utilização de ônibus de piso baixo melhora a mobilidade para pessoas com deficiência e com dificuldade de locomoção e reduz o tempo de embarque necessário para cada passageiro. Conforme mostrado pelo cenário em que houve redução do tempo de embarque para 2 segundos por passageiro, essa mudança gera redução no tempo médio de viagem e melhora os indicadores de confiabilidade analisados (*headway*, regularidade e tempo de espera em excesso), aumentando a qualidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais.

Sugere-se também que todas as estações dos próximos projetos sejam dotadas de baia associada à faixa exclusiva para ônibus. Apesar de, nas simulações, os indicadores de confiabilidade não terem apresentado melhoras, a implantação de baias é sugerida para corredores que sejam utilizados também por serviços expressos, para que não haja

necessidade de parar quando outros ônibus estiverem no ponto, nem a necessidade de utilizar as faixas de tráfego geral para realizar as viagens como programado. Além disso, como as estações são projetadas para que dois ônibus parem simultaneamente para embarque e desembarque, as baias permitem que um ônibus parado atrás de outro possa retornar ao tráfego sem a necessidade de esperar o movimento do primeiro ônibus, e sem sair da faixa exclusiva.

O desenvolvimento desse trabalho abre precedente para que outros trabalhos na mesma linha sejam iniciados. Para trabalhos futuros, sugere-se a expansão da rede, para representar toda a cidade de Uberlândia. Como os programas computacionais foram utilizados em suas versões acadêmicas e carregam, portanto, várias limitações, a rede não pôde ser ampliada completamente. No entanto, é importante expandir a rede para todo o município, permitindo que possam ser simuladas outras rotas de ônibus e que novas pesquisas, até mesmo em outras áreas da cidade, sejam desenvolvidas.

Sugere-se também que em próximos trabalhos seja executado um número maior de simulações para o cenário com variação de taxa de congestionamento. Como o programa simula variações entre dias consecutivos, bem como variações durante o dia, é necessário que mais simulações sejam feitas para esse cenário, a fim de confirmar as conclusões quanto à influência do aumento do congestionamento na confiabilidade do transporte coletivo urbano em corredores estruturais. Finalmente, sugere-se que novos cenários, diferentes dos apresentados nesse trabalho, sejam simulados a fim de permitir conhecimento mais amplo acerca dos benefícios da implantação desses corredores estruturais de transporte coletivo urbano.

O uso de simulação permitiu uma visão mais ampla da implantação do corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila e seu reflexo na qualidade do transporte coletivo urbano que o percorre. Espera-se que a análise aqui apresentada possa auxiliar no aprimoramento dos próximos projetos de corredores estruturais, a fim de assegurar a melhoria da qualidade do transporte público urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATES, J.; POLAK, J.; JONES, P.; COOK, A. **The Valuation of Reliability for Personal Travel**. *Transportation Research Part E*, p. 191 – 229, 2001.

BORGES, A. **Estatísticas do Sistema de Transporte Integrado: Dados Técnicos do CTA Estatísticas**. 2009. 69 f. Relatório. SETTRAN – Secretaria de Trânsito e Transporte da Prefeitura Municipal de Uberlândia. Disponível em <http://www3.uberlandia.mg.gov.br/midia/documentos/transporte/sist_int_transp.pdf>. Acesso em 14 dez 2009.

CAREY, M. **Optimizing Scheduled Times, Allowing for Behavioural Response**. *Transportation Research B*, v 32,nº 5, p. 329 – 342, 1998.

CHAM, L. C. **Understanding Bus Service Reliability: A Practical Framework Using AVL/APC Data**. 2006. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Estados Unidos. 2006.

FERRAZ, A. C. P; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2ª Ed. São Carlos: Rima Editora, 2004. 410 p.

ITS – INSTITUTE FOR TRANSPORT STUDIES, The University of Leeds and ATKINS Planning Consultants Ltd. **SATURN – Simulation and Assignment of Traffic in Urban Road Networks. Manual – Version 10.8**. Leeds, Reino Unido: ITS/ATKINS, 2009. 1218 p.

LIU, R. **DRACULA 2.4 User Manual**. Leeds, Reino Unido: Institute for Transport Studies, University of Leeds, 2007. 149 p.

LIU, R.; SINHA, S. **Modelling Urban Bus Service and Passenger Reliability**. In: International Symposium on Transportation Network Reliability, Países Baixos, Jul, 2007. Disponível em <<http://www.its.leeds.ac.uk/software/dracula/pubs.html>>. Acesso em 25 ago 2009.

LIU, R.; VAN VILET, D.; WATLING, D. P. **DRACULA: Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation.** In: PTRC Proceedings 23rd European Transport Forum, Seminar E, p. 143 – 152, 1995. Disponível em <<http://www.its.leeds.ac.uk/software/dracula/pubs.html>>. Acesso em: 09 dez 2009.

POLUS, A. **Modelling and Measurements of Bus Service Reliability.** *Transport Research*, v. 12, p. 253 – 256, 1978

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. v. 1. 198 p.

RODRIGUES, M. O. **Avaliação da qualidade do transporte coletivo da cidade de São Carlos.** 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 2006.

SORRATINI, J. Ap.; LIU, R; SINHA, S. **Assessing Bus Transport Reliability Using Microsimulation.** *Transportation Planning and Technology*, v. 31, n. 3, p. 303-324, jun. 2008.

STERMAN, B. P.; SCHOFER, J. L. **Factors Affecting Reliability of Urban Bus Services.** *Transportation Engineering Journal*, p 147 – 159, fev 1976.

STRATHMAN, J. G.; KIMPEL, T. J.; DUEKER, K.; J.GERHART, R. L.; CALLAS, S. **Evaluation of Transit Operations: Data Application of Tri-Met's Automated Bus Dispatching System.** *Transportation*, 29 (3), p. 321-345. 2002.

TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Kittelson & Associates, Inc. **TCQSM – Transit Capacity Quality of Service Manual.** TRCP Report 100, 2nd edition, May, 2003. Disponível em: <http://gulliver.trb.org/publications/tcrp/trcp_webdoc_6-e.pdf>. Acessado em 27 ago 2009.

UBERLÂNDIA. Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente. **Banco de Dados Integrados. BDI (2008).** 3 volumes. Disponível em: <http://www3.uberlandia.mg.gov.br/home_bdi.php>. Acesso em: 20 ago 2009.

UBERLÂNDIA. Prefeitura Municipal (2009). Disponível em <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/>>. Acesso em 18 set 2009.

van OORT, N.; van NES, R. **Service Regularity Analysis for Urban Transit Network Design.** In: Transportation Research Board, 83rd TRB annual Meeting, Washington, DC, 2004, 1 CD.

XIN, W.; HOURDOS, J.; MICHALOPOULOS, P. **Enhanced Micro-Simulation Models for Accurate Safety Assessment of Traffic Management ITS Solutions.** 2008. 107 f. Relatório – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Minnesota, Estados Unidos, 2008. Disponível em <<http://www.its.umn.edu/Publications/ResearchReports/reportdetail.html?id=1704>>. Acesso em 08 dez 2009.

APÊNDICE

RESULTADOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS

1. Aumento no congestionamento

Tempo de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Tempo médio de viagem (minutos)	21,31	21,32	20,99	21,49
Desvio Padrão (minutos)	1,99	2,27	2,14	2,12
Confiabilidade (média/desvio padrão)	11,58	9,72	9,82	10,58
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,14	1,14	1,12	1,15

Sentido Bairro – Centro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Tempo médio de viagem (minutos)	18,57	19,06	18,47	18,67
Desvio Padrão (minutos)	1,38	1,53	1,72	1,44
Confiabilidade (média/desvio padrão)	13,84	13,39	10,99	13,83
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	0,82	0,84	0,81	0,82

Headway da Linha T131

Sentido Centro – Bairro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Headway médio (minutos)	4,97	5,06	5,02	5,00
Desvio Padrão (minutos)	0,13	0,10	0,09	0,08
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,03	0,02	0,02	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	0,99	1,01	1,00	1,00

Sentido Bairro – Centro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Headway médio (minutos)	4,96	4,95	4,92	4,97
Desvio Padrão (minutos)	0,08	0,08	0,09	0,12
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,02	0,02	0,02	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	0,99	0,99	0,98	0,99

Tempo de espera dos passageiros da Linha T131

Sentido Centro – Bairro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Tempo médio de espera (minutos)	2,91	2,93	2,94	2,94
Tempo de espera em excesso (minutos)	1,00	1,04	1,03	1,07

Sentido Bairro – Centro				
Parâmetros	Simulação			
	1%	2,50%	5%	10%
Tempo médio de espera (minutos)	2,52	2,51	2,72	2,57
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,40	0,43	0,46	0,44

Velocidade de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro			
Velocidade (km/h)			
1%	2,50%	5%	10%
20,65	20,64	20,97	20,47

Sentido Bairro – Centro			
Velocidade (km/h)			
1%	2,50%	5%	10%
25,19	24,54	25,32	25,06

2. Aumento na demanda

Tempo de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Tempo médio de viagem (minutos)	21,28	21,29	21,59
Desvio Padrão (minutos)	1,87	1,89	1,63
Confiabilidade (média/desvio padrão)	11,51	11,47	13,84
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,13	1,14	1,15

Sentido Bairro – Centro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Tempo médio de viagem (minutos)	18,85	19,25	19,50
Desvio Padrão (minutos)	1,75	1,92	1,83
Confiabilidade (média/desvio padrão)	10,93	10,10	11,04
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	0,83	0,85	0,86

Headway da Linha T131

Sentido Centro – Bairro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Headway médio (minutos)	4,33	4,86	4,56
Desvio Padrão (minutos)	0,11	0,14	0,11
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,03	0,03	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	0,87	0,97	0,91

Sentido Bairro – Centro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Headway médio (minutos)	4,98	4,89	4,86
Desvio Padrão (minutos)	0,06	0,12	0,12
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,01	0,02	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	1,00	0,98	0,97

Tempo de espera dos passageiros da Linha T131

Sentido Centro – Bairro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Tempo médio de espera (minutos)	2,96	2,89	3,13
Tempo de espera em excesso (minutos)	1,08	1,01	1,27

Sentido Bairro – Centro			
Parâmetros	Simulação		
	10%	15%	20%
Tempo médio de espera (minutos)	2,33	2,35	2,30
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,33	0,33	0,31

Velocidade de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro		
Velocidade (km/h)		
10%	15%	20%
20,68	20,67	20,38

Sentido Bairro – Centro		
Velocidade (km/h)		
10%	15%	20%
24,81	24,30	23,98

3. Pontos de parada dos ônibus com baia de 80 metros de comprimento

Tempo de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de viagem (minutos)	20,56	21,00	21,54	21,20	21,57	21,18
Desvio Padrão (minutos)	2,18	1,69	1,63	1,96	1,16	1,73
Confiabilidade (média/desvio padrão)	9,43	12,40	13,18	10,81	18,56	12,88
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,10	1,12	1,15	1,13	1,15	1,13

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de viagem (minutos)	17,83	18,18	18,49	18,66	18,50	18,33
Desvio Padrão (minutos)	1,58	1,44	1,64	1,06	1,20	1,39
Confiabilidade (média/desvio padrão)	11,29	12,60	11,25	17,65	15,36	13,63
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	0,79	0,80	0,81	0,82	0,81	0,81

Headway da Linha T131

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Headway médio (minutos)	4,94	4,83	6,19	4,93	6,34	5,45
Desvio Padrão (minutos)	0,08	0,08	1,04	0,09	0,05	0,27
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,02	0,02	0,17	0,02	0,01	0,05
Proporção (simulação/headway programado)	0,99	0,97	1,24	0,99	1,27	1,09

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Headway médio (minutos)	4,92	5,04	4,79	4,93	4,88	4,91
Desvio Padrão (minutos)	0,10	0,05	0,14	0,10	0,09	0,09
Coefficiente de variação (desvio padrão/média)	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02
Proporção (simulação/headway programado)	0,98	1,01	0,96	0,99	0,98	0,98

Tempo de espera dos passageiros da Linha T131

Sentido Centro – Bairro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de espera (minutos)	2,77	2,91	6,24	2,71	5,02	3,93
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,93	1,02	3,85	0,89	3,17	1,97

Sentido Bairro – Centro						
Parâmetros	Simulação					Média
	1	2	3	4	5	
Tempo médio de espera (minutos)	2,53	2,60	2,51	2,50	2,52	2,53
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,50	0,47	0,40	0,38	0,43	0,44

Velocidade de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro					
Velocidade (km/h)					
1	2	3	4	5	Média
21,41	20,95	20,43	20,75	20,40	21,18

Sentido Bairro – Centro					
Velocidade (km/h)					
1	2	3	4	5	Média
26,23	25,73	25,30	25,07	25,28	25,98

4. Variação no tempo de embarque por passageiros

Tempo de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de viagem (minutos)	20,39	21,76
Desvio Padrão (minutos)	1,90	2,10
Confiabilidade (média/desvio padrão)	10,81	10,49
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,09	1,16

Sentido Bairro – Centro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de viagem (minutos)	17,66	20,86
Desvio Padrão (minutos)	0,85	2,35
Confiabilidade (média/desvio padrão)	21,68	9,20
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	0,78	0,92

Headway da Linha T131

Sentido Centro – Bairro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de viagem (minutos)	5,18	4,98
Desvio Padrão (minutos)	0,15	0,15
Confiabilidade (média/desvio padrão)	0,03	0,03
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,04	1,00

Sentido Bairro – Centro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de viagem (minutos)	5,00	4,90
Desvio Padrão (minutos)	0,07	0,15
Confiabilidade (média/desvio padrão)	0,01	0,03
Proporção (simulação/tempo real de viagem)	1,00	0,98

Tempo de espera dos passageiros da Linha T131

Sentido Centro – Bairro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de espera (minutos)	2,75	2,93
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,96	1,07

Sentido Bairro – Centro		
Parâmetros	Simulação	
	2 segundos	8 segundos
Tempo médio de espera (minutos)	2,46	2,50
Tempo de espera em excesso (minutos)	0,34	0,44

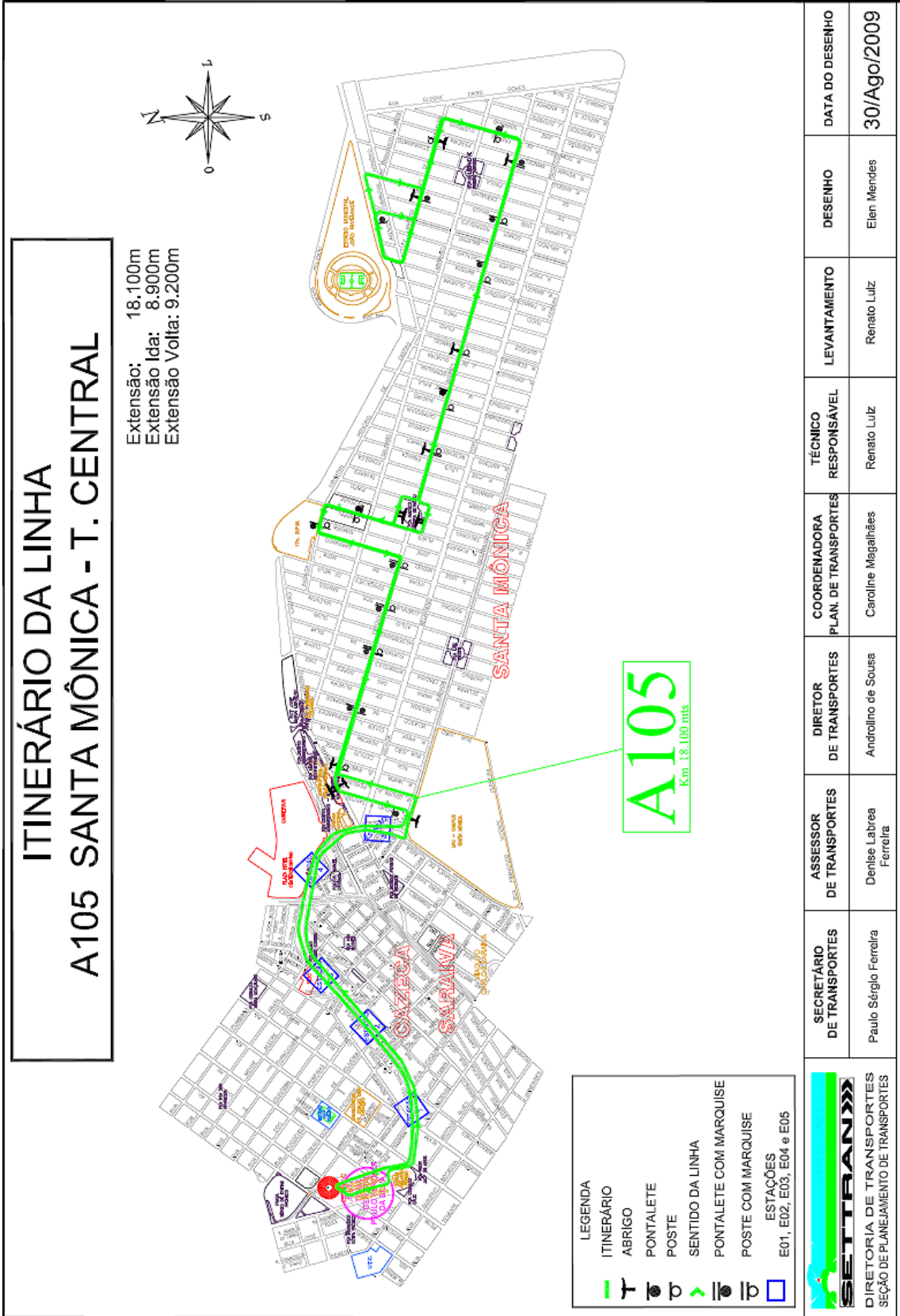
Velocidade de viagem da Linha T131

Sentido Centro – Bairro	
Velocidade (km/h)	
2 segundos	8 segundos
21,58	20,23

Sentido Bairro – Centro	
Velocidade (km/h)	
2 segundos	8 segundos
26,49	22,43

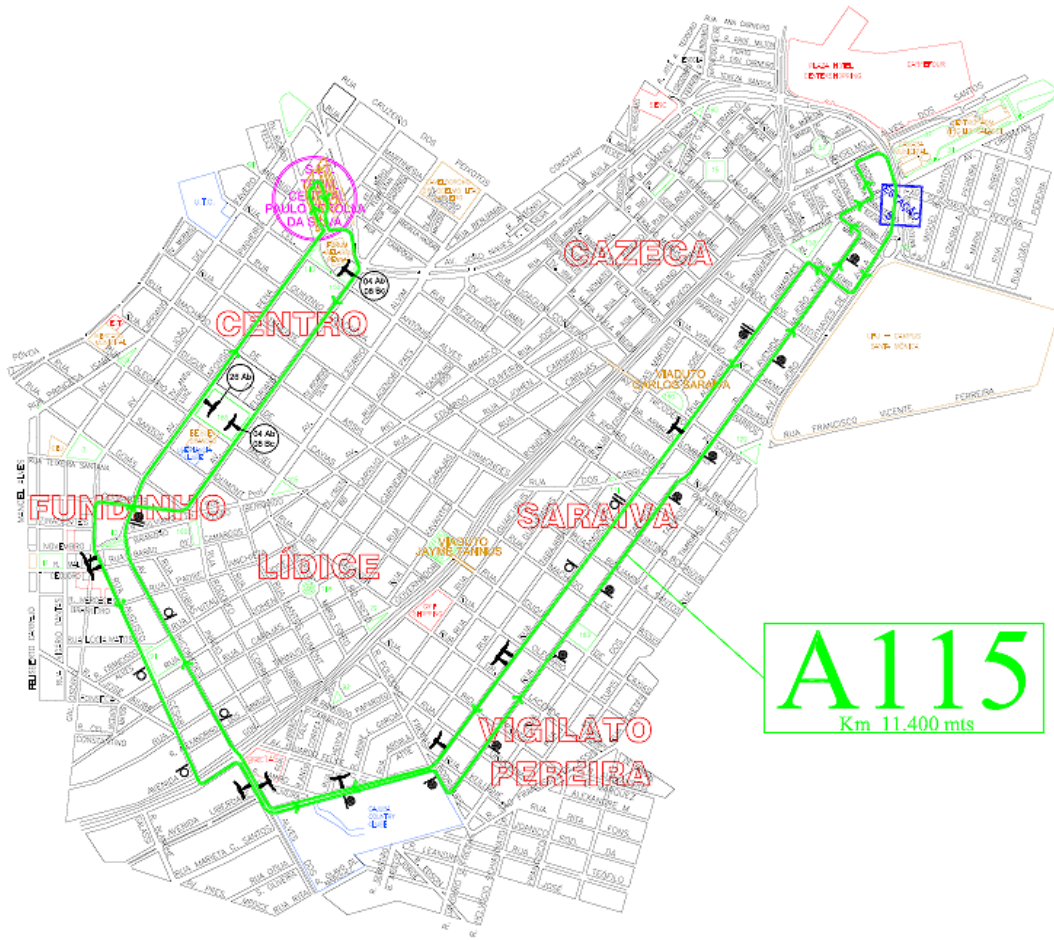
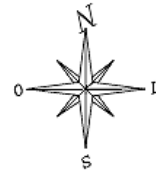
ANEXO **A**

ROTAS



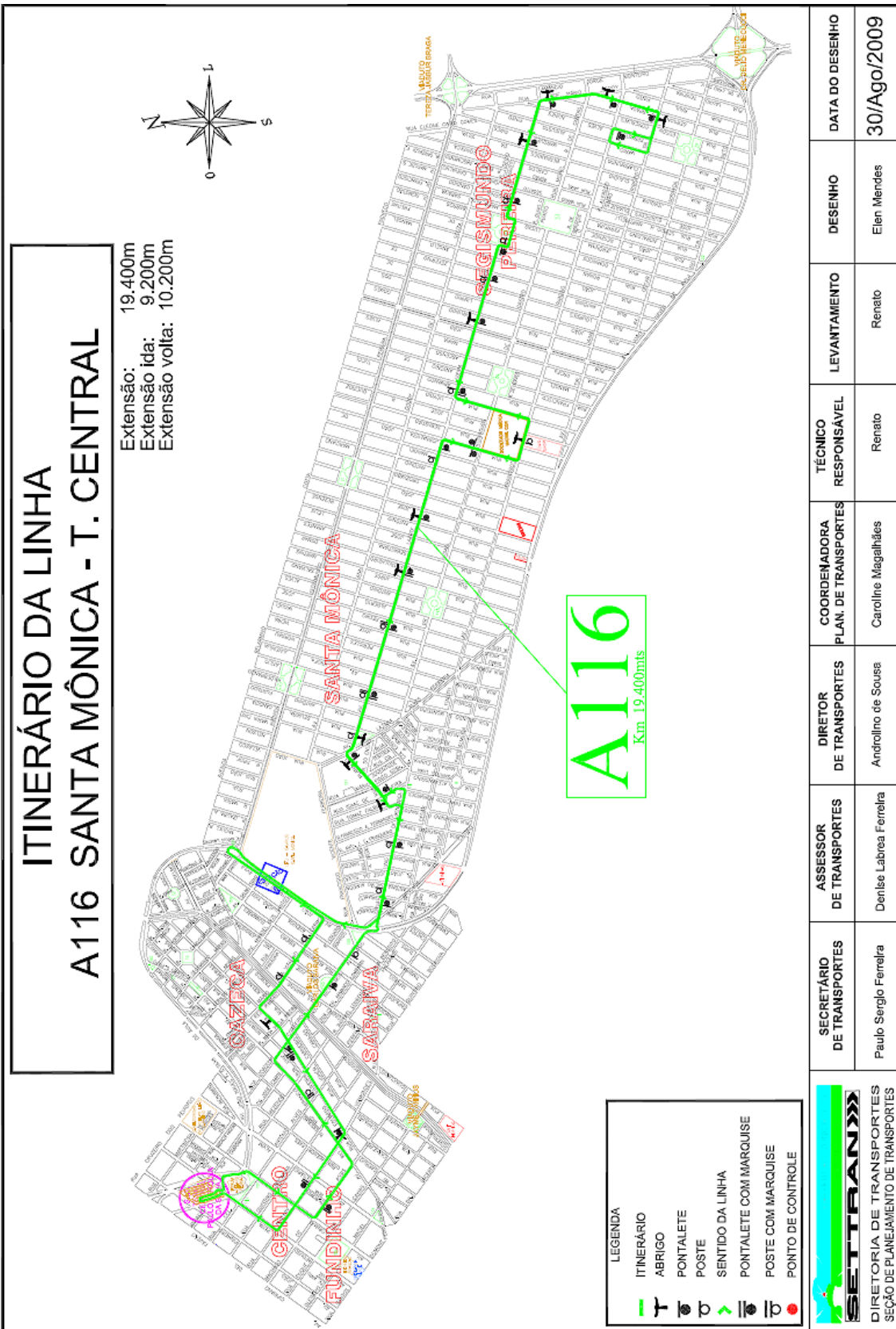
ITINERÁRIO DA LINHA A115 T. CENTRAL-SARAIVA-EST. PREFEITURA

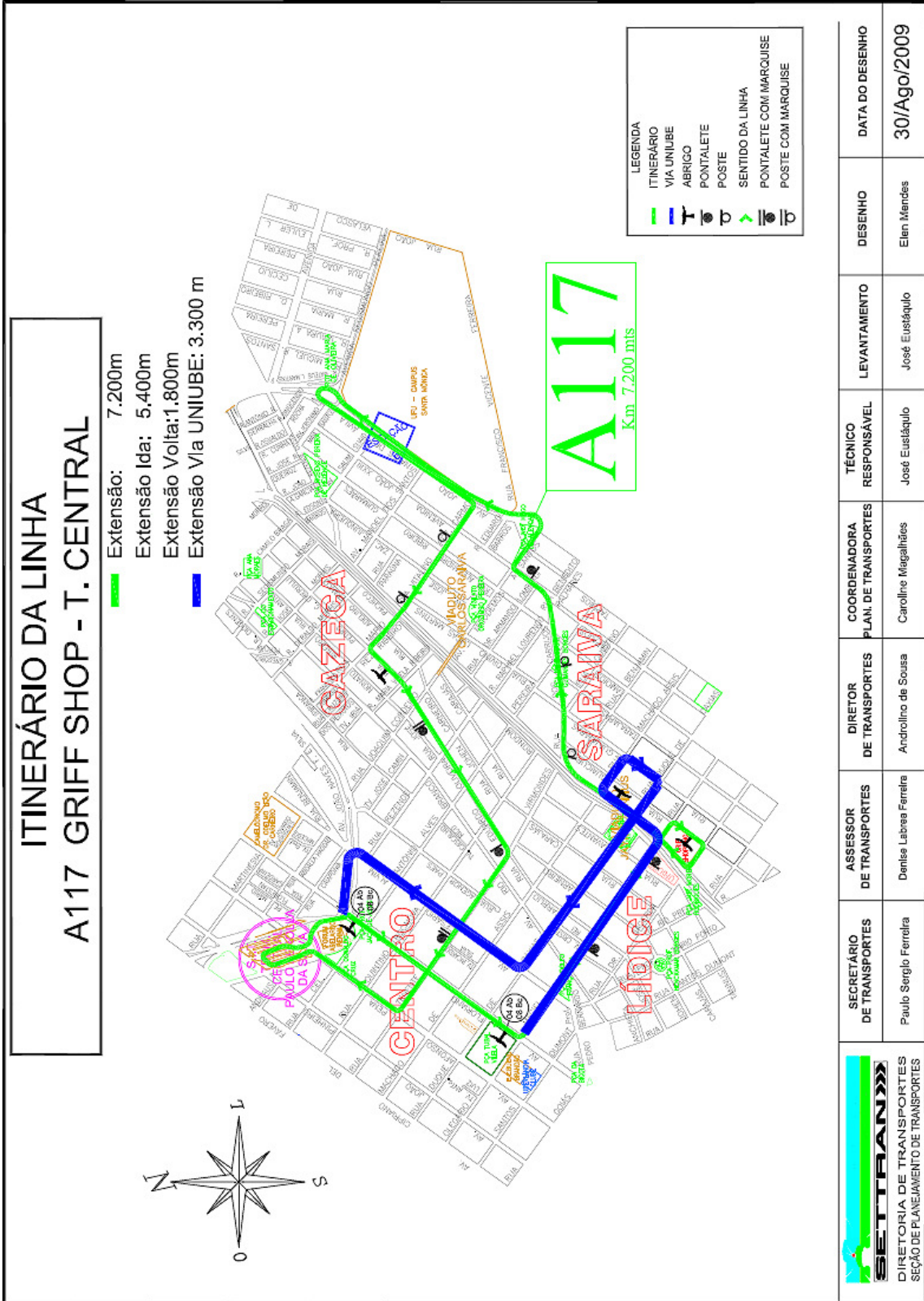
— Extensão: 11.400 m
 Extensão Ida: 6.300 m
 Extensão Volta: 5.100 m

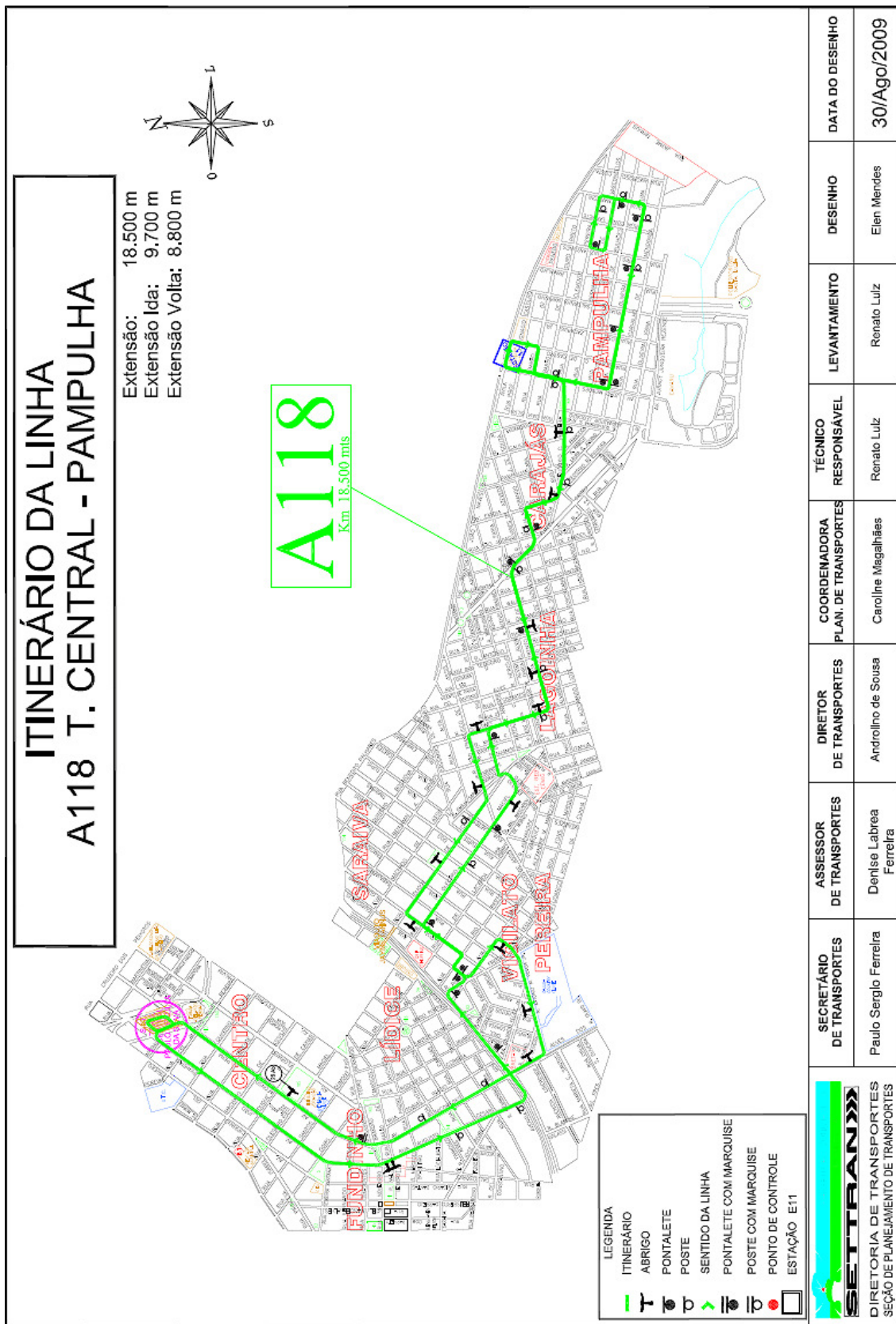


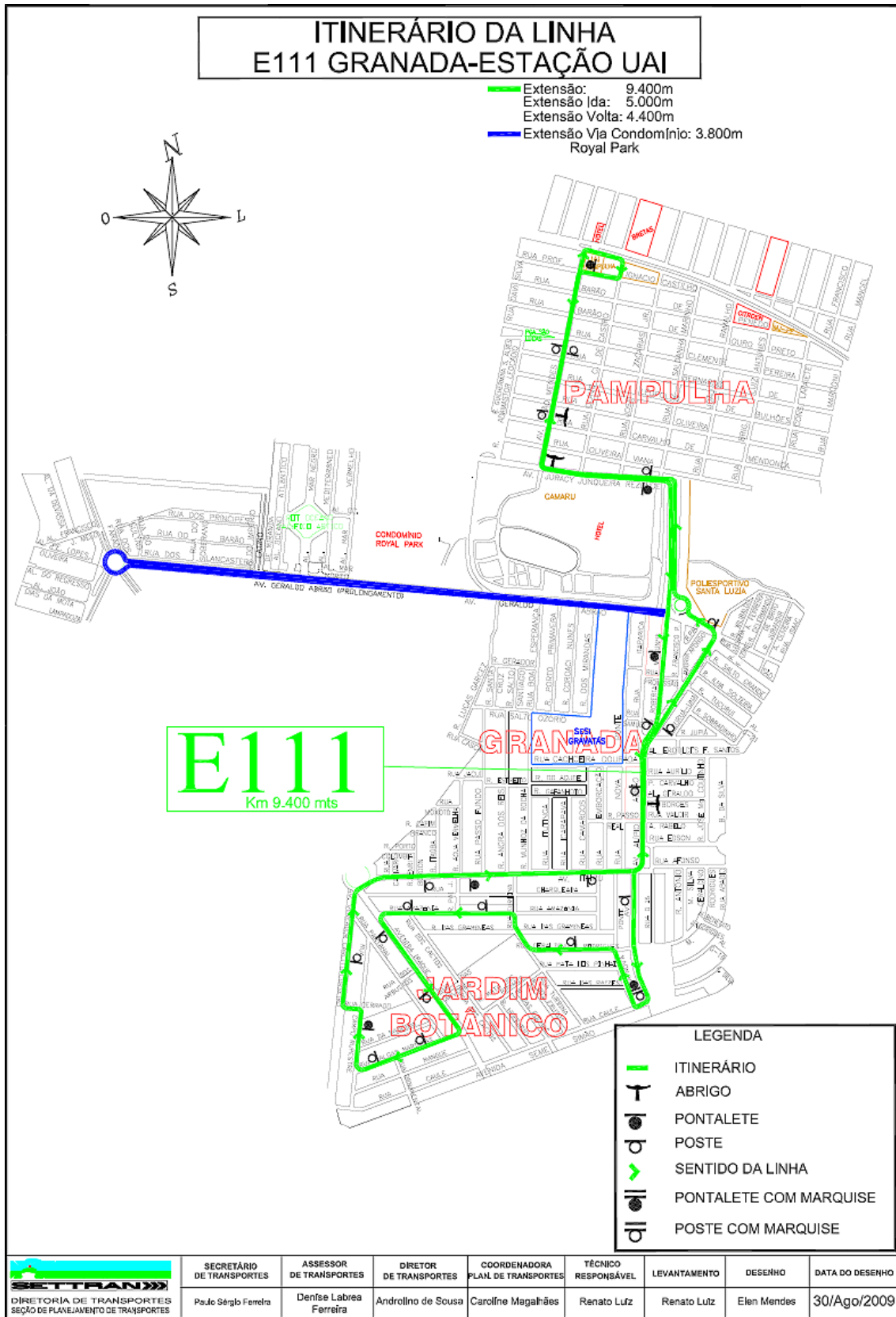
LEGENDA	
—	ITINERÁRIO
	ABRIGO
	PONTALETE
	POSTE
	SENTIDO DA LINHA
	PONTALETE COM MARQUISE
	POSTE COM MARQUISE

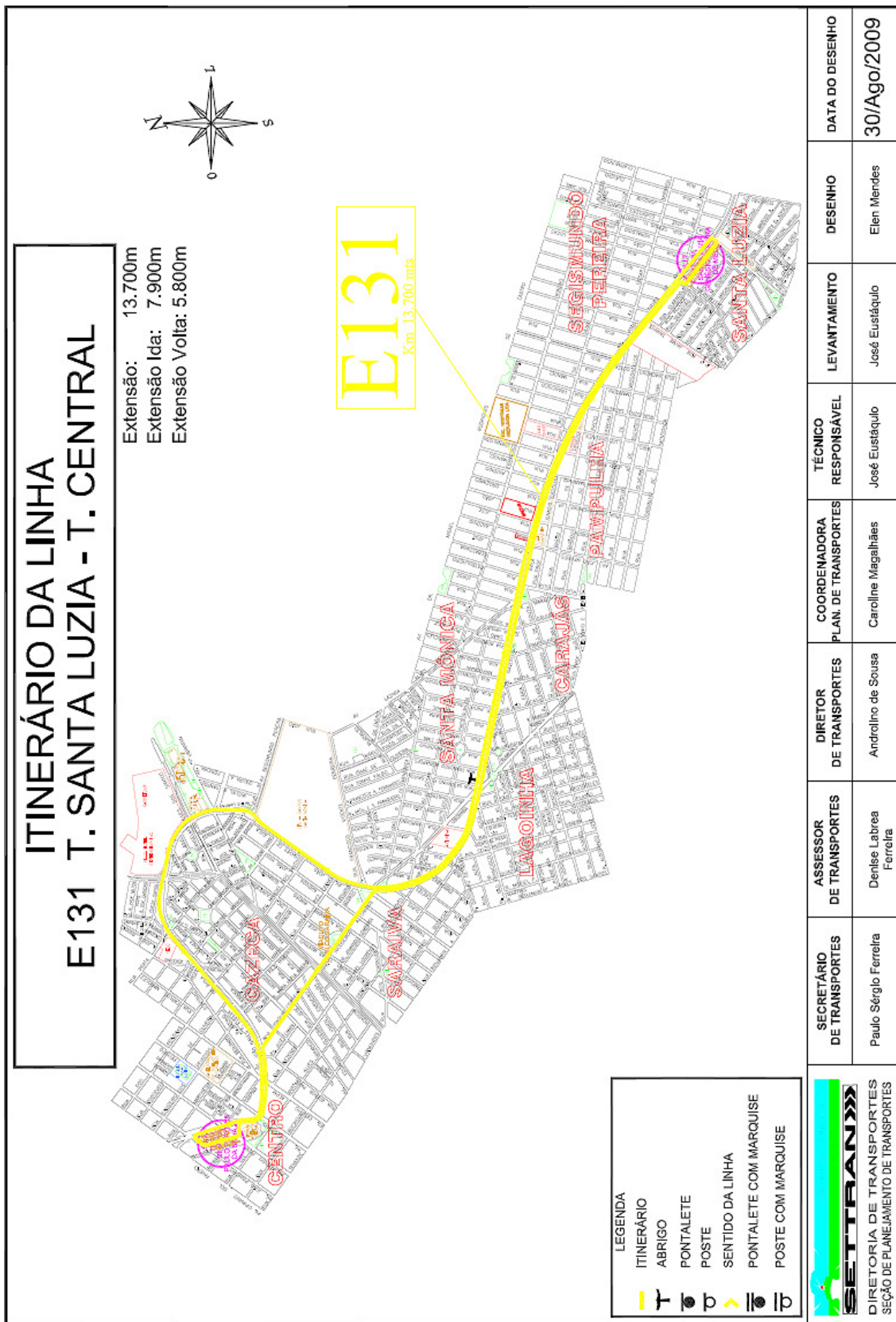
DIRETORIA DE TRANSPORTES SEÇÃO DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	SECRETÁRIO DE TRANSPORTES	ASSESSOR DE TRANSPORTES	DIRETOR DE TRANSPORTES	COORDENADORA PLAN. DE TRANSPORTES	TÉCNICO RESPONSÁVEL	LEVANTAMENTO	DESENHO	DATA DO DESENHO
	Paulo Sérgio Femeira	Denise Labros Ferreira	Andrélio de Sousa	Caroline Magalhães	Renato Luiz	Renato Luiz	Elián Mendes	30/Ago/2009





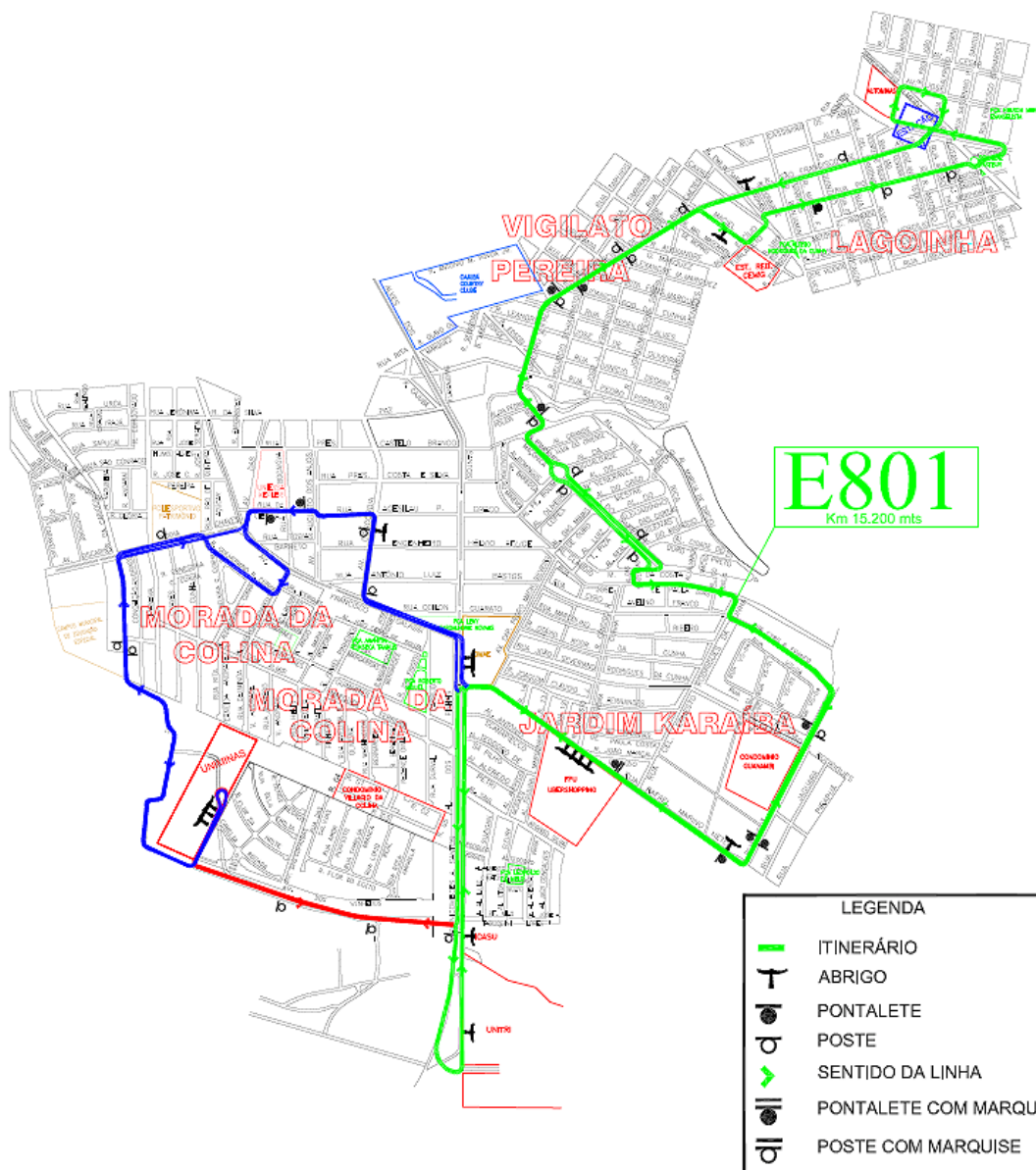
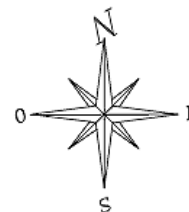






ITINERÁRIO DA LINHA E801 SETOR UNIVERSITÁRIO-EST. SÃO FRANCISCO

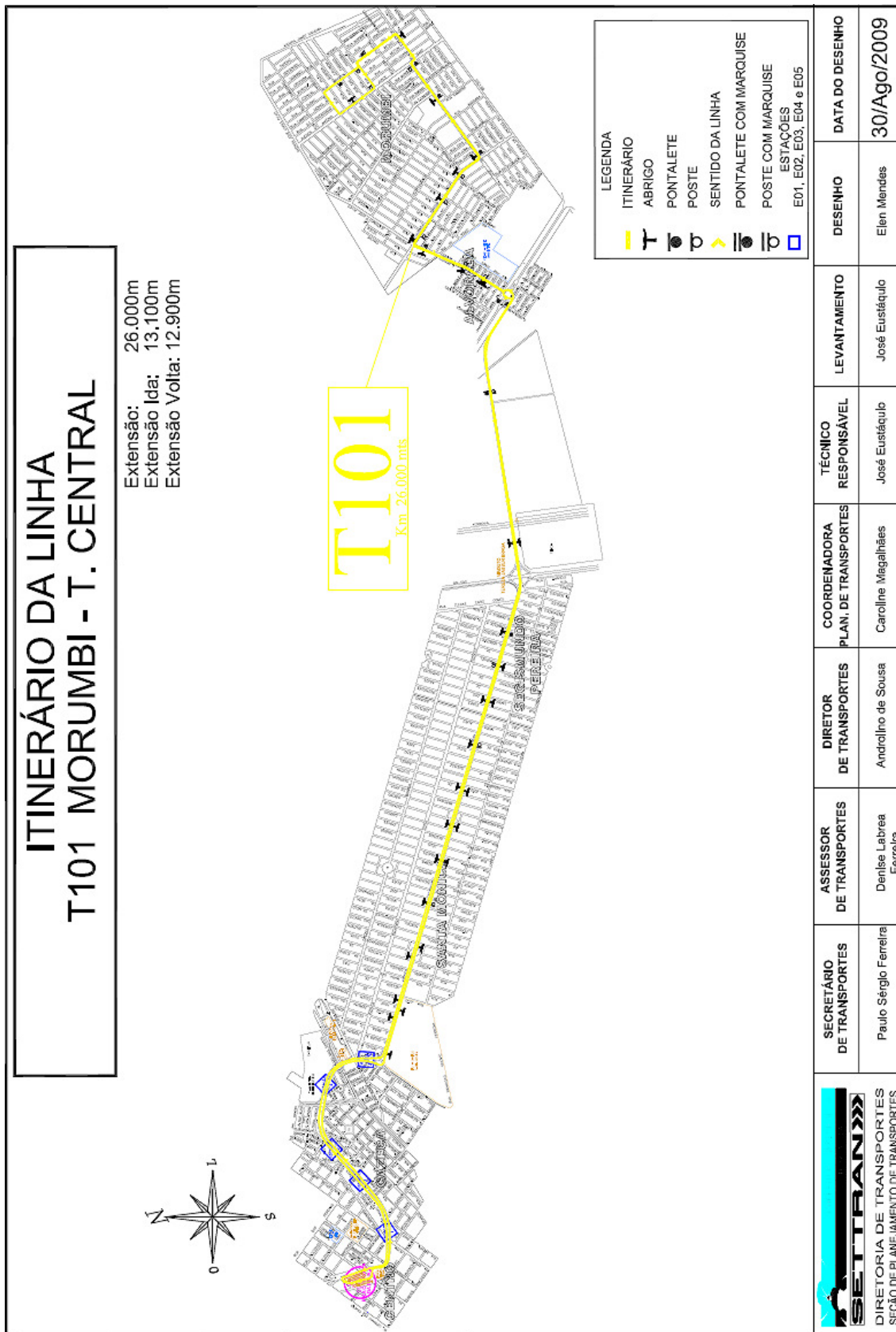
Extensão: 15.200 m
 Extensão Ida: 7.400 m
 Extensão Volta: 7.800 m
█ Uniminas: 2.400 m
█ Via Kepler/Uniminas: 10.600m
 Extensão sentido Kepler/Uniminas: 5.600 m
 Extensão sentido Uniminas/Kepler: 5.000 m

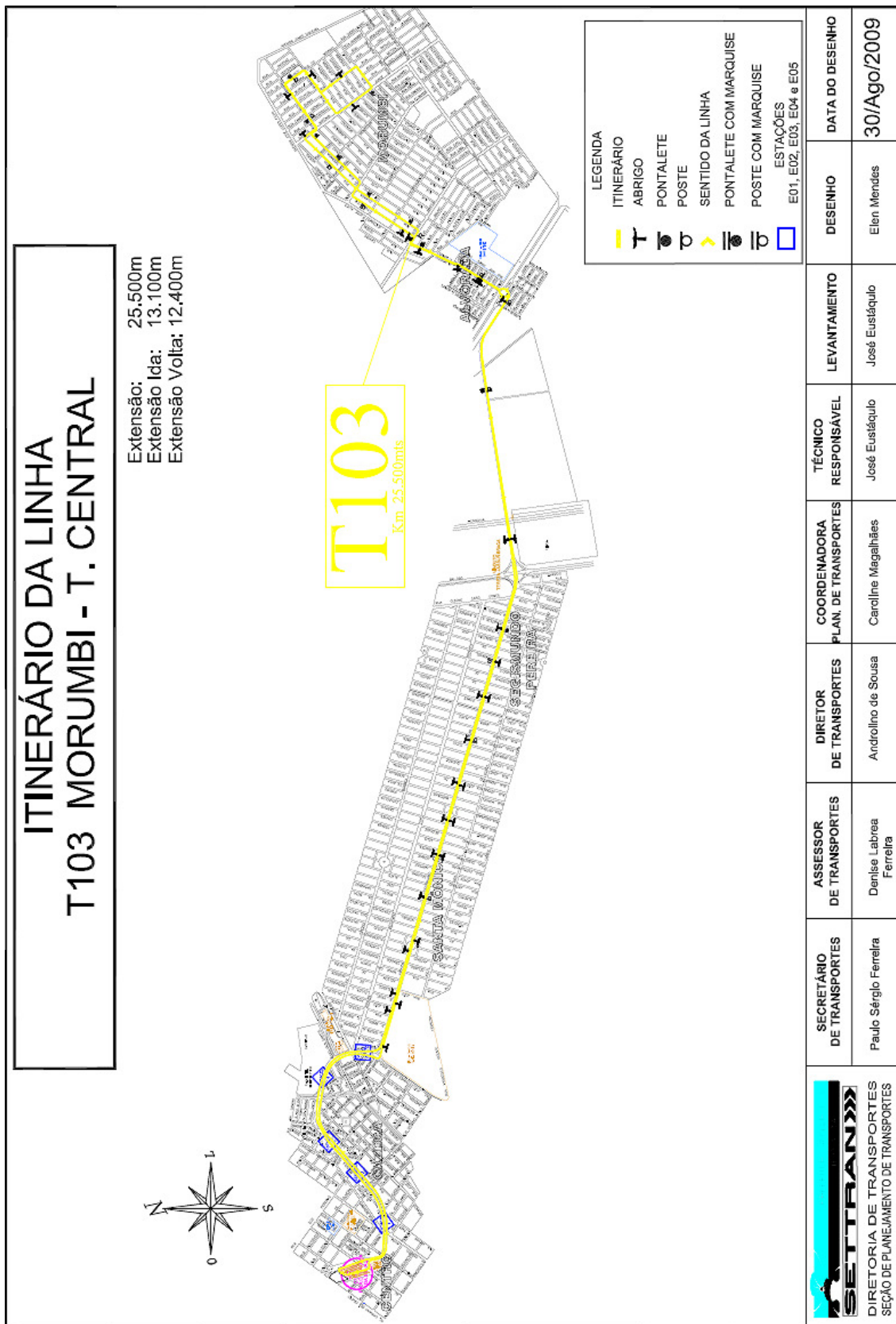


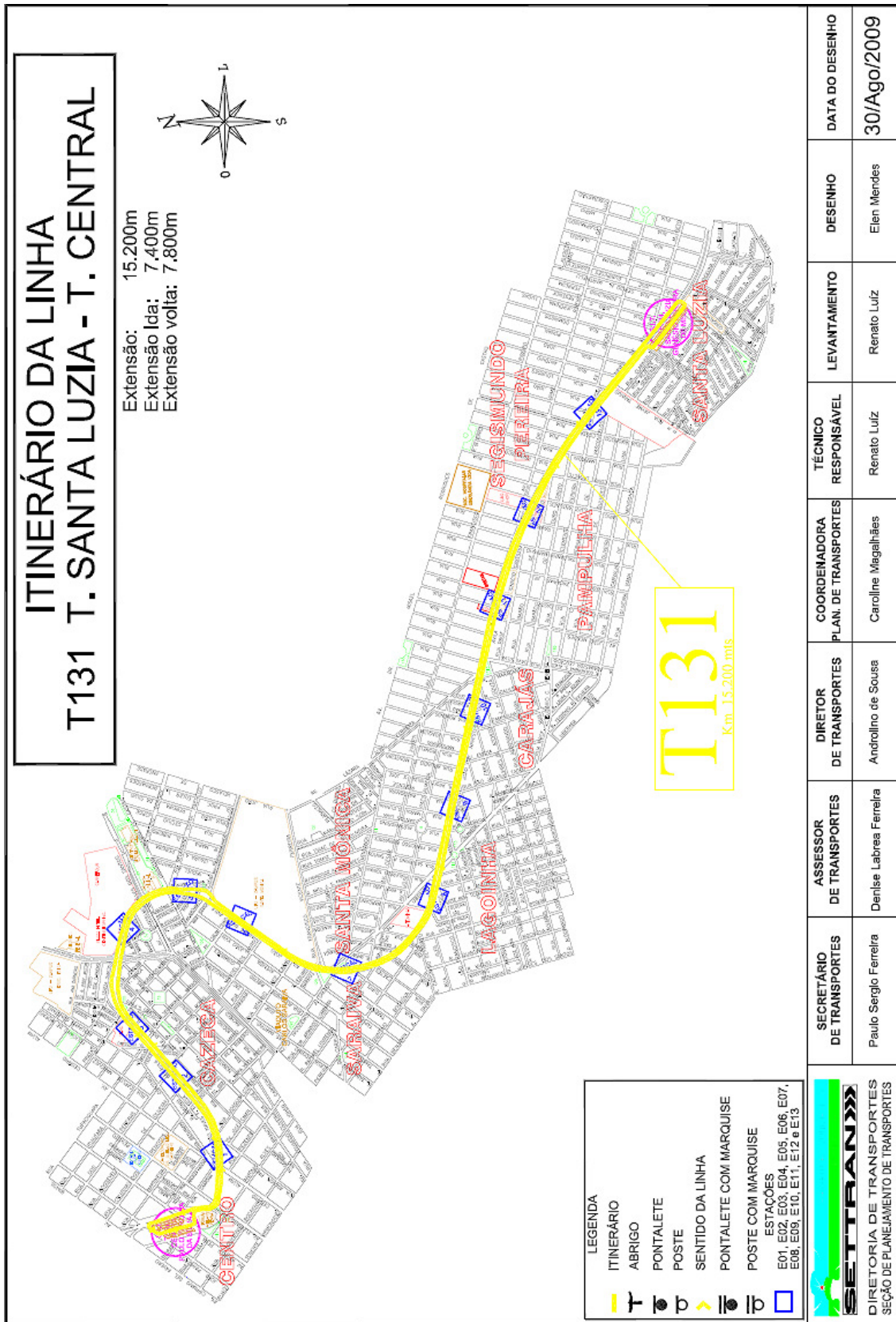
E801
Km 15.200 mts

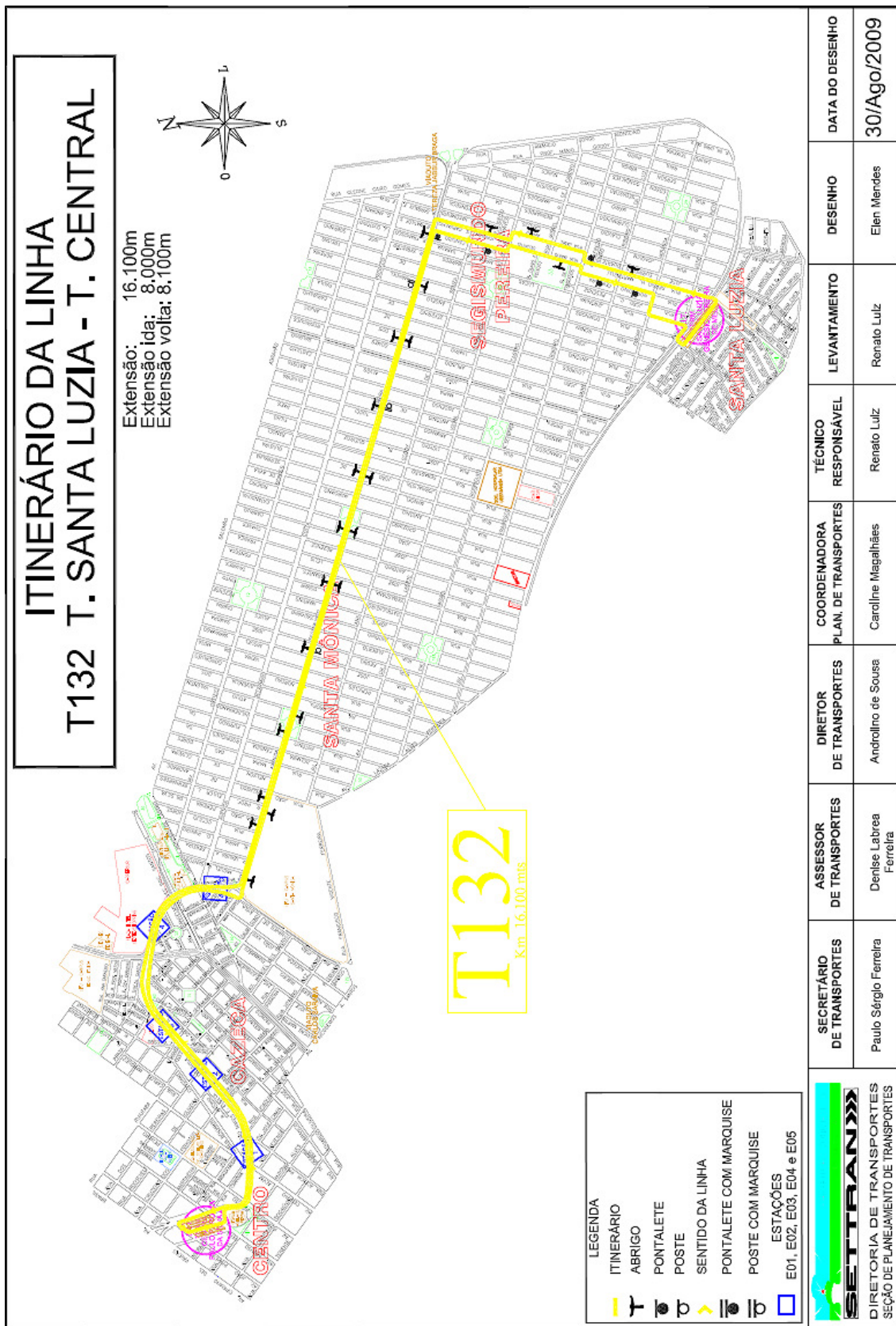
LEGENDA	
—	ITINERÁRIO
	ABRIGO
	PONTALETE
	POSTE
	SENTIDO DA LINHA
	PONTALETE COM MARQUISE
	POSTE COM MARQUISE

 DIRETORIA DE TRANSPORTES SEÇÃO DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	SECRETÁRIO DE TRANSPORTES	ASSESSOR DE TRANSPORTES	DIRETOR DE TRANSPORTES	COORDENADORA PLAN. DE TRANSPORTES	TÉCNICO RESPONSÁVEL	LEVANTAMENTO	DESENHO	DATA DO DESENHO
	Paulo Sérgio Ferreira	Denise Labres Ferreira	Andrcilno de Sousa	Caroline Magalhães	José Eustáquio	José Eustáquio	Elen Mendes	30/Ago/2009









ANEXO **B**

DADOS DOS SEMÁFOROS

Uberlândia, 26 de maio de 2009

Prefeitura Municipal de Uberlândia
Secretaria de Trânsito e Transporte
a/c Divonei Gonçalves do Santos

Como aluna do Mestrado em Planejamento e Operação de Tráfego, na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, solicito à Secretaria de Trânsito e Transporte de Uberlândia o fornecimento dos seguintes dados:

- Ciclos (tempos de verde, amarelo e vermelho para todas as aproximações) de todos os semáforos instalados ao longo da Avenida João Naves de Ávila.
 1. Nos cruzamentos entre a Avenida João Naves de Ávila e outras vias;
 2. Nos pontos de travessia de pedestres;
- Ciclos (tempos de verde, amarelo e vermelho para todas as aproximações) de todos os semáforos instalados ao longo da Avenida Rondon Pacheco.
- Caso não seja possível a disponibilização de dados de todas as programações dos semáforos, dá-se preferência a dados relativos ao horário de pico da manhã.

Os dados serão utilizados na dissertação em andamento "A Confiabilidade do Transporte Coletivo Urbano em corredores estruturais de ônibus", desenvolvida sob a orientação do Professor José Aparecido Serratini, da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, para a simulação das condições de tráfego na Avenida João Naves de Ávila.

Atenciosamente,

Thaís Cristina Cunha e Silva
Thaís Cristina Cunha e Silva

Número de matrícula - 94654
(34) 3237-6313 – (34) 8821-8327
thaisccs@gmail.com

Prefeitura Municipal de Uberlândia
Secretaria de Trânsito e Transportes
Recebia
Responsável pelo Recebimento
Data: 26/05/09

LOCAL	NÓ¹	Avenida João Naves de Ávila Sentido Bairro			Avenida João Naves de Ávila Sentido Centro			Transversal Sentido UNITRI			Transversal Sentido Umuarama			CICLO
		VD	AM	VMS	VD	AM	VMS	VD	AM	VMS	VD	AM	VMS	
JN x Ipinheiro	133	25	5	2	25	5	2	29	5	2				100
JNxFloriano	121	24	4	2	29	4	2	29	4	2				100
JNxCesário	120	30	4	2	31	4	2	21	4	2				100
JNxPereiras	119	52	4	2				10	4	2	20	4	2	100
JNxPrata	118	61	4	2				7	3	2	15	4	2	100
JNxRondon	117	28	3	4				29	3	4	22	3	4	100
JNxModesta	116	68	5	2							20	3	2	100
JNxBelarmino	115	36	5	2				36	5	2	14			100
JNxSegismundo	114/125	48	5	2	38	5	2							100
JNxManoel	112	53	5	2				14			19	5	2	100
JNxNicodemos	111	34	5	2				11	5	2	34	5	2	100
JNxCasemiro	110	71	5	2							15	5	2	100
JNxSFrancisco	109	29	5	2	37	5	2	13	5	2				100
JNxPioXII	108	63	5	2							23	5	2	100
JNxPampulha	106	59	5	2				10	5	2	10	5	2	100
JNxJMendes	104	53	5	2				11	5	2	15	5	2	100
JNxJornalista	102	56	5	2				13	5	2	17			100
JNxJBalbino	101	54	5	2				15	5	2	10	5	2	100

Sequência de abertura		
1	2	3
1	2	3

OBS: Onde existe somente o valor de VD, existe um semáforo exclusivo para pedestres. As outras travessias de pedestres não especificadas ocorrem junto com os movimentos veiculares. Os valores da Avenida João Naves de Ávila, no sentido centro, que não estão informados indicam que os movimentos em ambos os sentidos da avenida ocorrem simultaneamente.

VD = Verde, em segundos

AM = Amarelo, em segundos

VMS = Vermelho de segurança, em segundos

1 – Os números dos nós na rede do SATURN foram inserido na tabela fornecida pela Prefeitura Municipal de Uberlândia.