



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAÍSA PEREIRA DE SOUSA

**USO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADO EM
AGENTES NA MODELAGEM DE UMA ROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DA
CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ

2019

RAÍSA PEREIRA DE SOUSA

**USO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADO EM
AGENTES NA MODELAGEM DE UMA ROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DA
CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. David Custódio de Sena

MOSSORÓ

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725 Sousa, Raísa Pereira de.
u USO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL
BASEADO EM AGENTES NA MODELAGEM DE UMA ROTA DE
TRANSPORTE PÚBLICO DA CIDADE DE MOSSORÓ-RN / Raísa
Pereira de Sousa. - 2019.
64 f. : il.

Orientador: David Custódio de Sena.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Produção, 2019.

1. Modelagem por agentes. 2. MATSim. 3.
Simulação de transporte público. I. Sena, David
Custódio de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAÍSA PEREIRA DE SOUSA

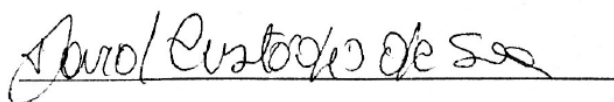
**USO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL BASEADO EM
AGENTES NA MODELAGEM DE UMA ROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DA
CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. David Custódio de Sena

Defendida em: 20/03/2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. David Custódio de Sena
Presidente



Prof. Dr. Fábio Francisco da Costa Fontes
Membro Examinador



Prof. Dr. Eric Amaral Ferreira
Membro Examinador

*Dedico este trabalho a todos os meus
familiares e amigos, pelo incentivo e
compreensão. A contribuição de todos foi de
suma importância para essa realização.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me iluminar nessa longa caminhada, por ouvir minhas orações e ter me dado forças para nunca desistir, agradecer, sobretudo as oportunidades que me apresentou e as pessoas maravilhosas que cruzaram no meu caminho durante essa jornada.

Em segundo, a minha mãe Maria (Dona Cota), por nunca desistir dos meus sonhos, pois esses também eram seus, por fazer do impossível a força para lutar pela nossa família, por nunca nos deixar faltar amor e carinho, acima de tudo, por ser uma mulher excepcional e exemplo de força e dedicação.

A minha irmã Ramilda, pelo seu extinto protetor e por sempre procurar me ajudar quando precisei, pelo seu carinho e também por sempre acreditar em mim. A minha sobrinha Ellen Cristiny, por me ter como um espelho e alguém em quem ela possa se inspirar, essa admiração foi sem dúvidas o que nunca me fez desistir.

Ao meu orientador David por compreender minhas dificuldades e por se dispor em me orientar e contribuir com seus ensinamentos. A banca examinadora por aceitarem o convite e acreditarem na realização desse trabalho. Ao colega Igor Fernandes por contribuir em cada etapa deste trabalho.

A todos os meus amigos pelas dicas, conversas, companhias e estudo. Especialmente pela energia diária que me deram forças para seguir adiante.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

(Ayrton Senna)

RESUMO

O modelo de simulação baseado em agentes tem sido cada vez mais utilizado ao longo dos tempos, não só pelas suas características, mas também pelas potencialidades do seu uso quanto à aplicabilidade nas diferentes áreas. Este trabalho teve como objetivo elaborar a modelagem de uma linha de ônibus do transporte público urbano na cidade de Mossoró-RN por meio da simulação computacional. A ferramenta utilizada no estudo foi o Multi-Agent Transport Simulation (MATSim), um software de simulação baseada em agentes que permite realizar análises de sistemas de transportes com base em modelos de atividades, disponibilizado de forma gratuita e que pode representar uma alteração substancial da forma de análise dos sistemas de transporte no futuro. Para comprovar a aplicabilidade da ferramenta à modelação de transporte público foi construído um modelo em MATSim para uma linha de ônibus na cidade de Mossoró-RN. O modelo proposto consegue simular as viagens dos agentes com origem ou destino na região de estudo. Os resultados desse modelo foram visualizados e analisados através do software independente de visualização Simunto Via. Os resultados demonstram que o MATSim é uma ferramenta flexível e suficiente para servir de base para o desenvolvimento de um modelo de tráfego de transporte público na cidade de Mossoró.

Palavras-chave: Modelagem por agentes, MATSim, Simulação de transporte público.

ABSTRACT

The model of agent-based simulation has been increasingly used over time, not only for its characteristics, but also for the potentialities of its use as the applicability in the different areas. This work aimed to elaborate the urban public transport modeling of a bus line in the city of Mossoró-RN through computational simulation. The tool used in the study was Multi-Agent Transport Simulation (MATSim), an agent-based simulation software that allows the analysis of transport systems based on activity models, available free of charge and which can represent a substantial change in the way transportation systems are analyzed in the future. In order to prove the applicability of the tool to public transport modeling, a MATSim model was built for a bus line in the city of Mossoró-RN. The proposed model can simulate the trips of agents with origin or destination in the region of study. The results of this model were visualized and analyzed through Simundo Via independent visualization software. The results demonstrate that MATSim is a flexible enough tool to serve as a basis for the development of a public transport traffic model in the city of Mossoró.

Keywords: Modeling by agents, MATSim, Simulation of public transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de Simulação no MATSim	24
Figura 2: Mapa da área de cobertura das rotas de ônibus.....	27
Figura 3: Itinerário da linha Vingt Rosado.....	28
Figura 4: Etapas do trabalho	29
Figura 5: Etapas da Modelagem no MATSim.....	31
Figura 6: Arquivo GTFS2MATSim.	32
Figura 7: Arquivo de rede (network.xml).....	33
Figura 8: Arquivo de população (population.xml)	35
Figura 9: Arquivo de configuração (config.xml).....	36
Figura 10: Arquivo veículos de trânsito (transitVehicles.xml)	37
Figura 11: Arquivo cronograma de trânsito (transitSchedule.xml).....	38
Figura 12: Simulação do modelo no MATSim.	39
Figura 13: Arquivos de saída do MATSim	39
Figura 14: Visualização do modelo no Simunto Via.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Linhas de ônibus de Mossoró-RN	27
Quadro 2: Dados dos usuários acompanhados.	34

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	Considerações Iniciais	14
1.2.	Descrição do Problema Abordado	15
1.3.	Justificativa do Trabalho	16
1.4.	Objetivos	16
1.4.1.	<i>Objetivo Geral</i>	<i>16</i>
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>16</i>
1.5.	Estrutura do Trabalho	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	O Trânsito Brasileiro	18
2.2.	O Transporte Público Urbano.....	18
2.3.	Simulação Computacional.....	20
2.3.1.	<i>Quando utilizar a simulação</i>	<i>21</i>
2.3.2.	<i>Classificação dos modelos de simulação</i>	<i>22</i>
2.3.3.	<i>A simulação de transportes baseada em agentes.....</i>	<i>22</i>
2.3.4.	<i>O Software MATSim.....</i>	<i>23</i>
2.3.5.	<i>A simulação de transporte público – Trabalhos relacionados</i>	<i>24</i>
3.	METODOLOGIA	26
3.1.	Classificação da Pesquisa	26
3.2.	Área de Estudo	26
3.3.	Etapas da Pesquisa.....	28
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
4.1.	Extensões do MATSim	30
4.2.	Desenvolvimento da Modelagem.....	31
4.3.	Dados de entrada	31
4.3.1.	<i>Arquivo de rede (network.xml).....</i>	<i>32</i>
4.3.2.	<i>Arquivo de população (population.xml).....</i>	<i>33</i>
4.3.3.	<i>Arquivo de configuração (config.xml)</i>	<i>35</i>
4.3.4.	<i>Arquivo de descrição do veículo (transitVehicles.xml).....</i>	<i>36</i>
4.3.5.	<i>Arquivo cronograma de trânsito (transitSchedule.xml).....</i>	<i>37</i>
4.4.	Dados de saída.....	38
5.	CONCLUSÃO	42
5.1.	Considerações Finais	42
5.2.	Fatores críticos na elaboração do trabalho	43
5.3.	Indicações e perspectivas de trabalhos futuros.....	43
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICE A - ARQUIVO DE REDE	47

APÊNDICE B - ARQUIVO DE POPULAÇÃO	52
APÊNDICE C - ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO.....	56
APÊNDICE D - ARQUIVO DE DESCRIÇÃO DO VEÍCULO	58
APÊNDICE E - ARQUIVO DE CRONOGRAMA DE TRÂNSITO	59

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será abordada a contextualização da temática discutida, a apresentação da problemática, justificativa e objetivos que levaram ao desenvolvimento desta pesquisa e, por fim, é apresentada a estrutura do trabalho, descrevendo resumidamente o conteúdo de cada capítulo.

1.1. Considerações Iniciais

O trânsito é um complexo sistema, composto por diversas variáveis que interagem entre si. Essa relação pode gerar consequências positivas, como agilidade e rapidez nos deslocamentos e consequências negativas, como os acidentes de trânsito. As estatísticas apresentadas pelos órgãos competentes no assunto revelam grandes problemas ocasionados pelo trânsito (SANTOS, 2006).

Num contexto geral, pode-se classificar o transporte em duas categorias: individuais (carros, motos, bicicletas, etc.) e coletivos (trem, metrô, ônibus, etc.). Para Antunes (2009), o transporte público é de suma importância para o deslocamento das pessoas e tem como objetivo descongestionar os grandes centros e oferecer mobilidade para todas as classes sociais.

Segundo Ferraz e Torres (2004), o planejamento e a gestão adequada do sistema de transporte público por parte das prefeituras, são atividades fundamentais para obter qualidade e eficiência nesse tipo de transporte e nas atividades urbanas. As atenções dos usuários do transporte público estão voltadas principalmente para o valor cobrado, o conforto proporcionado pelo serviço, o tempo de espera em pontos de parada de ônibus e o tempo da viagem.

A simulação apresenta-se como uma poderosa ferramenta de análise de processos e sistemas complexos, pois através dela torna-se possível o estudo, análise e avaliação de situações que na vida real não seriam possíveis. Devido à necessidade de se obter uma resposta rápida a simulação tem se tornado uma metodologia indispensável de resolução de problemas para os tomadores de decisões nas mais diversas áreas.

O número de pesquisas que utilizam a simulação baseada em agentes tem crescido nos últimos anos. Sendo uma opção metodológica importante aos tradicionais métodos de simulação ao apresentar o agente como objeto fundamental e a partir de suas interações com os demais agentes e com o ambiente, é possível observar a emergência de resultados complexos e muitas vezes inesperados.

A mobilidade urbana é um tema recorrente nos debates políticos e frequentemente é incluída entre os maiores desafios de planejamento urbano no Brasil. No entanto, apesar da importância do assunto para o bem-estar da população e das inúmeras propostas apresentadas é difícil não notar uma carência de qualidade de estudos confiáveis no país sobre a demanda por transporte público.

Diante do contexto, este estudo busca por meio da simulação computacional utilizando como ferramenta o software MATSim¹, elaborar a modelagem do transporte público urbano em uma linha de ônibus na cidade de Mossoró-RN.

1.2. Descrição do Problema Abordado

Para o IPEA² (2011), os problemas relacionados à mobilidade das pessoas nos centros urbanos afetam diretamente a qualidade de vida da população, com as externalidades geradas na produção do transporte e, também, o desempenho econômico das atividades urbanas. Somado a isso, sistemas de mobilidade ineficientes pioram as desigualdades e pressionam as frágeis condições de equilíbrio ambiental no espaço urbano, o que demanda, por parte dos governantes, a adoção de políticas públicas alinhadas com o grande objetivo de se construir uma mobilidade urbana sustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Sabe-se que o transporte público por ônibus é um dos principais elementos do tráfego por ser utilizado por grande parte dos habitantes brasileiros que vivem em áreas urbanas. Nesta mesma linha de pensamento, Gwilliam (2003, p.23), procura mostrar que o transporte é um componente do desenvolvimento urbano, diz ele:

o transporte é um bem intermediário, ao facilitar a produção de bens e de serviços finais, que satisfazem as necessidades humanas. Como tal, é um elemento essencial de uma estratégia de desenvolvimento da cidade, mas não é totalmente independente. E esse elemento é capaz de agregar valor somente quando há a integração de suas estratégias com as dos demais setores na resposta aos problemas e oportunidades de desenvolvimento.

As graves deficiências do setor de transporte coletivo no Brasil causam grandes prejuízos e constituem como um importante obstáculo para o desenvolvimento econômico. Sendo assim, faz-se necessário a utilização de mecanismos de aperfeiçoamento que estimulem a sua melhor qualificação e a criação de políticas urbanas que visem à modificação deste quadro tendenciosamente negativo. É necessário que sejam definidos os padrões que auxiliem no planejamento e na execução do serviço, satisfazendo, desta forma, a maiorias dos habituais usuários do coletivo.

¹ MATSim - Multi-Agent Transport Simulation

² IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

1.3. Justificativa do Trabalho

O transporte público representa um dos meios de integração necessária ao desenvolvimento das atividades econômicas e sociais no contexto urbano. Tem como principal objetivo fazer a ligação entre as várias regiões, proporcionando, principalmente para população com menos recursos, alternativas de deslocamento dentro dos padrões mínimos aceitáveis de qualidade e custo e reduzindo de maneira significativa os congestionamentos, a poluição ambiental, o número de acidentes e o consumo de combustível.

Neste contexto, torna-se necessário o estudo por meio do uso de ferramentas de apoio que possam auxiliar na tomada de decisão. Dentre essas ferramentas, entende-se que a simulação computacional é processo amplo que engloba, não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, a qual busca: descrever o comportamento do sistema; construir teorias e hipóteses de relacionamentos entre as partes do mesmo, considerando as observações efetuadas; e usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação (PARAGON, 2015).

Diante do cenário de inúmeras problemáticas no tocante da mobilidade urbana da cidade de Mossoró-RN, principalmente com relação ao transporte público urbano, tem-se a importância da utilização de modelos de simulação computacional para efetuar a análise do transporte público. Desse modo, a pesquisa proposta se justifica como a introdução de uma eficiente ferramenta de simulação computacional na proposição de melhorias no funcionamento do transporte urbano da cidade.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Elaborar um modelo de simulação computacional baseado em agentes aplicado à demanda por transporte público urbano considerando uma linha de ônibus na cidade de Mossoró-RN.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Apresentar o software MATSim como uma ferramenta de análise do transporte público em Mossoró;
- Utilizar o software MATSim para modelar uma linha de ônibus em Mossoró;

- Criar um modelo base para o mapeamento de transporte público na cidade de Mossoró-RN.

1.5. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo exhibe as considerações iniciais relacionadas ao tema estudado, bem como a identificação do problema abordado, os objetivos do trabalho e a justificativa.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica acerca dos estudos básicos sobre as principais temáticas abordadas.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

No quarto capítulo, mostra-se os resultados do estudo através da aplicação da ferramenta de Simulação, o software MATSim.

O quinto capítulo apresenta as conclusões do estudo desenvolvido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico foi estruturado de modo a revisitar a literatura quanto aos aspectos que suportam a presente pesquisa: o trânsito brasileiro, o transporte público urbano e simulação computacional.

2.1. O Trânsito Brasileiro

No Brasil o trânsito é regido pelas leis do Código de Trânsito Brasileiro, que em seu artigo segundo afirma que este, em suas condições seguras, é um direito de todo e qualquer cidadão e deve ser administrado pelos órgãos e entidades que compõem o Sistema Nacional de Trânsito cabendo a estes, nas suas respectivas competências adotarem medidas destinadas que assegure este direito.

Para Machado (2003), o trânsito é uma disputa pelo espaço físico entre o tempo e o acesso aos equipamentos urbanos, e pode ser considerada como uma relação permanente do espaço, conflituosa e coletiva. Essa relação, não se dá entre pessoas iguais, pois além da disputa pelo espaço ter uma base ideológica e política, depende de como as pessoas se veem na sociedade e de seu acesso real ao poder.

Em outra visão, Mitidiero (2005) analisa que o termo trânsito, exposto no Código de Trânsito Brasileiro, é caracterizado pela imobilização e movimentação de pessoas sejam elas pedestres, condutores de veículos ou animais, em vias terrestres abertas para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga. O autor ainda ressalta que deve ser considerado, para conceituar o termo trânsito, a ocupação natural e involuntária dos animais, nessas referidas vias estando eles em movimento ou parados.

2.2. O Transporte Público Urbano

Para Ferraz e Torres (2004), transporte é o deslocamento de pessoas e de produtos. O deslocamento de pessoas é referido como transporte de passageiros e o de produtos, como transporte de cargas. O termo transporte urbano é empregado para designar os deslocamentos de pessoas e produtos realizados nas cidades. Ainda segundo os autores, o transporte público ou coletivo se refere ao transporte de massa, ou seja, utilizado por várias pessoas ou não simultaneamente, por isso o preço unitário é baixo, sendo que o veículo pertence à empresa ou outra pessoa. Não existe flexibilidade de uso e percurso, pois seus horários e itinerários são fixos.

Segundo Schein (2003), a utilização massiva do ônibus no transporte coletivo está relacionada com sua flexibilidade, sua capacidade de adaptar-se às diferentes demandas, sua tecnologia simples e sua facilidade em trocar de rotas. O autor complementa que o ônibus, comparado a outros modos de transporte motorizados, apresenta baixo custo de fabricação, implementação e operação.

No Brasil, de acordo com Silva (2000), o início do transporte coletivo urbano se deu no século XIX, com o surgimento dos bondes a tração animal, seguidos pelos bondes a vapor e elétricos. Com a implantação da indústria automobilística nacional consolidou-se a adoção do modelo norte-americano de transporte urbano de pessoas, baseado no consumo do petróleo. Como resultado, os bondes foram perdendo espaço para os automóveis, sendo, ao mesmo tempo, substituídos pelo ônibus a diesel, até a sua total desativação.

O transporte coletivo de passageiros é um serviço público de competência da Prefeitura e também do Estado quando em áreas metropolitanas, explorado na maioria dos casos por empresas municipais, através de concessão, permissão ou autorização. Essa transferência para o setor privado obriga a Prefeitura a redefinir o seu papel, passando de executor a regulador e fiscalizador, aumentando sua responsabilidade sobre a qualidade dos serviços prestados aos usuários (CORDEIRO *et al.*, 2005).

O Ministério das Cidades através de uma proposta de mobilidade urbana sustentável busca programar ações de melhoria para as condições de mobilidade das pessoas, também se fundamenta na diminuição das crises econômicas das cidades seguindo quatro princípios que são: inclusão social, sustentabilidade ambiental, gestão participativa e democratização do espaço público. Esses quatro princípios definem o seu conceito como,

[...] entendida como um conjunto de políticas de transporte e de circulação que visam proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, por meio da priorização dos modos de transporte coletivo e os não-motorizados, de forma efetiva, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável; apoiar o desenvolvimento institucional, regulatório e de gestão do setor; coordenar ações para a integração das políticas de mobilidade urbana e destas com as demais políticas de desenvolvimento urbano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006, p. 18).

Nesse cenário então, o transporte público, especialmente o transporte público por ônibus, entra para a discussão das políticas públicas, onde se identifica como sendo uma alternativa mais adequada para a nova organização das cidades e às novas exigências relacionadas à sustentabilidade, à inclusão social e à democratização do espaço público.

2.3. Simulação Computacional

A utilização dos métodos de simulação iniciou nos anos 80 à medida que os computadores foram ficando mais rápidos e acessíveis. Segundo Kelton *et al.* (2004) a simulação era usada principalmente como uma ferramenta para determinar a causa de acidentes e a quem culpar. A simulação computacional tem se tornado uma ferramenta bastante conhecida e utilizada, uma vez que apresenta capacidade de avaliar sistemas complexos e considerar seu comportamento dinâmico.

Para Camelo (2010) a simulação é um instrumento poderoso que possibilita a análise e pretende determinar o melhor sistema a ser implementado ou melhorado. Pegden (1995) afirma que a simulação pode ser definida como um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e desta forma fazer experiências com este modelo com o intuito de compreender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.

A simulação tem se tornado uma das mais populares técnicas para analisar problemas complexos em sistemas de manufatura. De acordo com Harrel *et al.* (2000), simulação é o processo de projetar um sistema real, modelado computacionalmente, para entender o comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. A metodologia de simulação computacional faz uso, em uma de suas fases, da modelagem conceitual de processos. O uso de técnicas de modelagem aumenta a qualidade dos modelos de simulação e ainda reduz o tempo necessário para a construção destes modelos computacionais.

Para modelar uma simulação, são necessários alguns elementos básicos, que segundo Banks e Carson II (2004) são definidos como:

- Entidades – representa um objeto que necessita de uma clara e explícita definição. Ela pode ser dinâmica, movendo-se através do sistema, ou estática, servindo a outras entidades;
- Atributos - são características próprias da entidade, ele é comum a todas as entidades, porém pode assumir valores diferentes diferenciando cada uma. Um exemplo de atributo é o horário de entrada no sistema, cada entidade terá seu próprio horário de chegada;
- Variáveis - são informações que refletem algumas características do sistema, independente das entidades circulando. As variáveis podem ser números reais, vetores ou matrizes, de acordo com a necessidade de organizar as informações;

- Recursos - fornecem serviços às entidades. No geral, as entidades competem entre si para ocupar os recursos que geralmente representam pessoas, máquinas ou espaço em área de estocagem;
- Filas - locais ocupados pelas entidades enquanto elas esperam por um recurso ocupado com outra atividade ou entidade. A fila pode ser processada de acordo com diferentes regras como prioridades e ordem de chegada, entre outros;
- Eventos – Eventos são acontecimentos, ocorrências, programados ou não, os quais, quando ocorrem, provocam uma mudança de estado em um sistema.

2.3.1. Quando utilizar a simulação

A simulação tem sido cada vez mais vista e colocada como uma técnica que permite aos analistas dos mais variados seguimentos encontrar soluções, aos problemas com os quais enfrentam no dia a dia. O aumento da utilização dessa ferramenta está associado, à facilidade de uso e aprimoramento dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais. Com interfaces gráficas mais fáceis de compreensão e, fazendo um maior uso de animação dos processos que estão sendo analisada, a simulação deixou de ser aplicada apenas “quando tudo mais já foi tentado” (FILHO, 2008).

Ainda segundo o autor, a simulação computacional permite analisar sistemas que ainda não foram montados, ajudando no desenvolvimento de projetos antes que estes estejam prontos. Um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido, diferindo-se dos modelos de otimização. Na simulação, permitem-se análises a todo o momento do sistema, de acordo com que novas percepções sobre este são descobertas.

Segundo Aragão (2011), o uso da simulação computacional vem demonstrando ser uma ferramenta indispensável na tomada de decisão de problemas reais, apresentando vantagens e desvantagens.

As principais vantagens da simulação computacional, segundo Dias (2011):

- Aplicabilidade para análise de problemas complexos, que não podem ser resolvidos por técnicas tradicionais de gestão de operações;
- É flexível com relação às limitações impostas aos modelos;
- Permite a análise de longos períodos reais em um curto intervalo de tempo.

Frigeri, Bianchi e Backes (2007), citam como principais desvantagens:

- A complexidade dos modelos de simulação;

- Necessidade de potentes equipamentos de software e hardware para realização de simulação.

2.3.2. Classificação dos modelos de simulação

Existem diversas formas de se classificar modelos. Quanto à sua natureza, quanto à sua evolução no tempo, quanto à forma como representa o comportamento interno do sistema, bem como quanto aos valores que as variáveis que definem o modelo podem assumir. Os modelos de simulação podem ser classificados, segundo Law e Kelton (1991), como:

- Modelos estáticos e dinâmicos: Denominam-se como modelos estáticos os que visam representar o estado de um sistema em um instante, ou que, em suas formulações, a variável tempo não é considerada; enquanto os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação.
- Modelos determinísticos e estocásticos: São modelos determinísticos os que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais variáveis aleatórias.
- Modelos discretos e contínuos: São modelos discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo, nesses casos só é possível determinar os valores das variáveis de estado do sistema nos instantes de atualização da contagem de tempo; enquanto para os modelos contínuos o avanço da contagem de tempo na simulação dá-se de forma contínua, o que possibilita determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante.

2.3.3. A simulação de transportes baseada em agentes

Segundo Weiss (1999), um agente é “um sistema computacional situado em algum ambiente, que é capaz de ação autônoma nesse ambiente de modo a atingir seus objetivos designados”. Ferber (1999) descreve um sistema multi-agentes como um sistema composto de uma sociedade de agentes em um ambiente compartilhado que age sobre esse ambiente e interage entre si.

Um modelo de simulação de transporte baseado em agentes é constituído por três tipos de elementos: agentes, ambiente e regras. De um modo simplificado, pode-se assumir que os agentes representam “indivíduos” que “habitam” num determinado ambiente e que se têm

determinadas características e se regem segundo regras específicas e objetivos a alcançar (ZHANG e LEVINSON 2004).

No contexto do agente, portanto, existem duas realidades, uma interna que pode ser denominado plano estratégico e outra externa que pode ser denominada plano físico. O plano estratégico é onde o agente planeja sua ação sobre o ambiente externo e o plano físico é o ambiente no qual o agente irá colocar em prática essas estratégias (RIESER, 2010, p. 20).

Para a aplicação de um modelo baseado em agentes é necessária, primeiramente, a definição de quais os agentes envolvidos (incluindo os seus atributos e características), a definição dos métodos de interação e relação entre agentes (sendo definidos, por uma topologia subjacente, como e com quem os agentes interagem) e ainda a definição do ambiente em que os agentes irão operar. Estes agentes podem ser classificados segundo Macal e North (2010), em três tipos distintos: arcos, nós e utilizadores da rede.

2.3.4. O Software MATSim

O mapeamento referido será executado a partir de uma ferramenta que tem sido desenvolvida nos últimos anos e que implementa a abordagem baseada em agentes, o MATSim. O software apresenta-se como modelo de afetação de tráfego, sendo o seu ambiente desenvolvido em linguagem java8, possibilitando a sua utilização na maioria dos sistemas operativos. O tutorial disponibilizado gratuitamente no site³ do MATSim foi utilizado como base para a construção desse trabalho.

De acordo com Raney e Nagel (2006), o software é uma plataforma de simulação de transportes baseada em agentes e de larga escala. Segundo Rieser (2010, p. 22), as etapas de Simulação no MATSim se configuram da seguinte forma:

Ele começa com a demanda inicial que descreve um conjunto inicial de planos do dia para a população simulada. Este conjunto inicial de planos do dia é então executado pelo simulador de tráfego [...]. O desempenho dos planos é avaliado durante a etapa de avaliação, tal que os agentes podem tentar otimizar seus planos durante a etapa de replanejamento. Os planos são então executados novamente. Este ciclo iterativo continua até que algum critério seja atingido. No final, é possível realizar a análise dos dados no que diz respeito ao estado do tráfego ou ao comportamento dos agentes.

³ Site do MATSim: <https://matsim.org/>

Figura 1: Etapas de Simulação no MATSim



Fonte: Rieser et al. (2014, adaptado)

A demanda inicial corresponde ao comportamento da população, que será simulado (RIESER et al., 2014). Cada agente dessa população deverá ter ao menos um plano, que representa as intenções do agente para o dia. O conjunto dos agentes com seus respectivos planos descreve o comportamento da população. Os dados na população são dispostos de forma hierárquica, onde a população contém uma lista de agentes, um agente contém uma lista de planos e um plano contém uma lista de atividades e modos (RIESER et al., 2014). O MATSim oferece seus resultados no formato de eventos, que identifica tudo que um agente faz ao longo de sua rotina. Os eventos podem ser sair de casa, entrar e sair de um arco, iniciar ou terminar uma atividade, etc. Eles contêm todos os dados da etapa de execução, nenhuma atividade de agregação é feita (RANEY, 2005, p. 27).

Assim, o resultado da simulação é genérico e desagregado e, para extrair informações de interesse é necessário que se faça sua agregação. O MATSim realiza algumas rotinas de agregação e o usuário também pode fazê-lo por conta própria (RIESER, 2010).

2.3.5. A simulação de transporte público – Trabalhos relacionados

O trabalho de Bicudo (2015) teve como objetivo a criação e simulação de um modelo de tráfego da cidade de Joinville/SC com o uso da ferramenta MATSim, buscou compreender as características da construção de um modelo multi-agentes e que tipo de resultados poderiam ser alcançados com a sua simulação. Ao longo do processo, estudaram-se as etapas necessárias à sua construção de modo que esse abrangesse toda a cidade, de forma simplificada. Ao fim, verificou-se que tipo de informações poderia ser obtido na simulação.

O trabalho de Bicudo teve grande contribuição na aplicação de um simulador multi-agentes para modelar e simular o trânsito da cidade de Joinville a partir de dados de fontes e formatos diversos. A análise dos dados permitiu a verificação da versatilidade de informações

que um modelo baseado em agentes pode fornecer, evidenciando assim sua potencial aplicação no planejamento de transportes.

Farinha (2013) teve como motivação para a escolha do seu tema a possibilidade de criação de um modelo para servir de apoio à análise de sistemas de transporte. O modelo foi criado através do MATSim, que já foi testado e aplicado em vários cenários, com características e propriedades diferentes entre eles. O principal objetivo do trabalho foi de analisar as vantagens, potencialidades e desvantagens da aplicação de modelos de simulação baseados em agentes, com abordagens indutivas do tipo bottom-up à modelação e análise de sistemas de transportes em meio urbano, em áreas com uma extensão ao nível da zona da cidade, cidade ou região metropolitana.

O trabalho de Farinha serviu como base teórica acerca do funcionamento do software MATSim. O modelo proposto consegue simular além de todas as viagens estudadas, também fazer uma previsão de alteração de comportamento dos agentes do modelo, como por exemplo, o encerramento de uma linha, aumento ou diminuição da demanda, mudança na duração inicial das atividades, mudança do local de estudo ou comportamento relacionado ao congestionamento.

Santana (2015) possui uma preocupação acerca da mobilidade urbana sustentável. O autor tem como objetivo definir um modelo de simulação baseado em agentes para o transporte colaborativo na UnB⁴. As simulações foram realizadas para auxiliar na análise das rotas colaborativas dos membros da comunidade acadêmica fazendo o melhor uso das variáveis tempo e espaço do modelo real.

Para tanto, Santana utilizou do software MATSim para aumentar as possibilidades de um crescimento notável nas caronas, viabilizando a implantação do Plano Diretor de Mobilidade Urbana Sustentável da UnB.

⁴ UNB - Universidade de Brasília.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a solução do problema de pesquisa formulado.

3.1. Classificação da Pesquisa

Andrade (2006) define pesquisa como o conjunto de procedimentos sistemáticos baseados no raciocínio lógico que tem por objetivo encontrar soluções para problemas propostos mediante a utilização de métodos científicos.

Segundo Turrioni e Mello (2012), quanto à natureza de estudo, esta pesquisa se classifica como aplicada, uma vez que utiliza da teoria e de técnicas encontradas na literatura em problemas de situações reais.

Em relação aos objetivos da pesquisa, de acordo com Gil (2002), a pesquisa é de caráter exploratório, pois foram feitas hipóteses e simulações de programações para propor melhorias sobre os problemas enfrentados no local em que foi realizado o estudo. A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com a finalidade de torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses.

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi feita a implementação de um sistema de modelagem computacional, onde os dados podem ser transformados em estatísticas utilizáveis, sendo, portanto, um estudo de abordagem quantitativa.

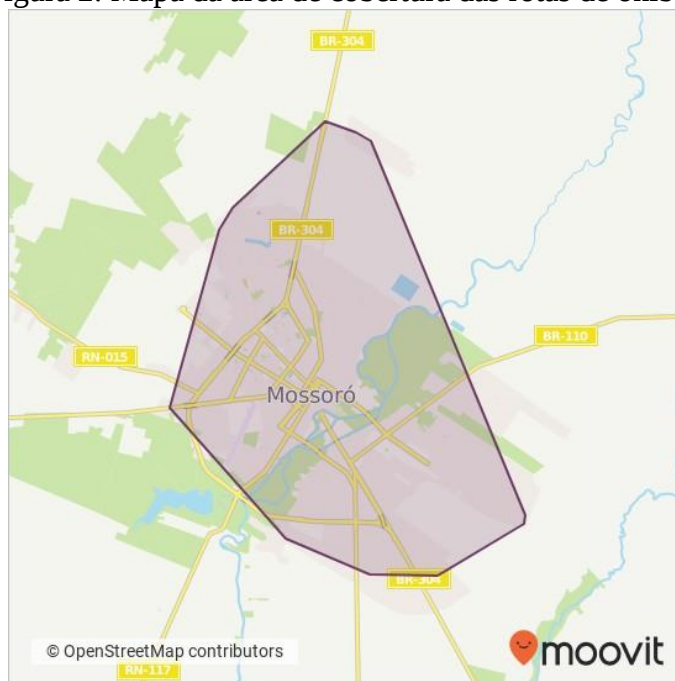
Segundo Laville e Dionne (1999), esse tipo de pesquisa tem como característica principal a aplicação de conhecimentos já disponíveis para a solução de problemas, podendo, todavia, tanto contribuir para ampliar a compreensão do problema quanto sugerir novas questões a serem investigadas.

3.2. Área de Estudo

A área de estudo fica localizada no município de Mossoró-RN, situado no Oeste Potiguar. De acordo com o IBGE⁵, no ano de 2018 a população estimada é de 294.076 habitantes, densidade demográfica 2010 (hab/km²) é 123,76, distribuídos em uma área territorial de 2.099,333 km², é a segunda cidade mais populosa, e o maior município do estado, estando a 281 km de distância da capital, Natal-RN.

⁵ IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Figura 2: Mapa da área de cobertura das rotas de ônibus.



Fonte: Moovit (2019)

O estudo foi aplicado baseado no sistema de transporte público urbano da cidade de Mossoró-RN, onde o único meio de transporte público coletivo na cidade é o ônibus. Atualmente, apenas uma empresa opera com o serviço de transporte urbano responsável pelas rotas de ônibus com 21 rotas e 550 paradas de ônibus. As rotas são listadas conforme o Quadro 1 abaixo:

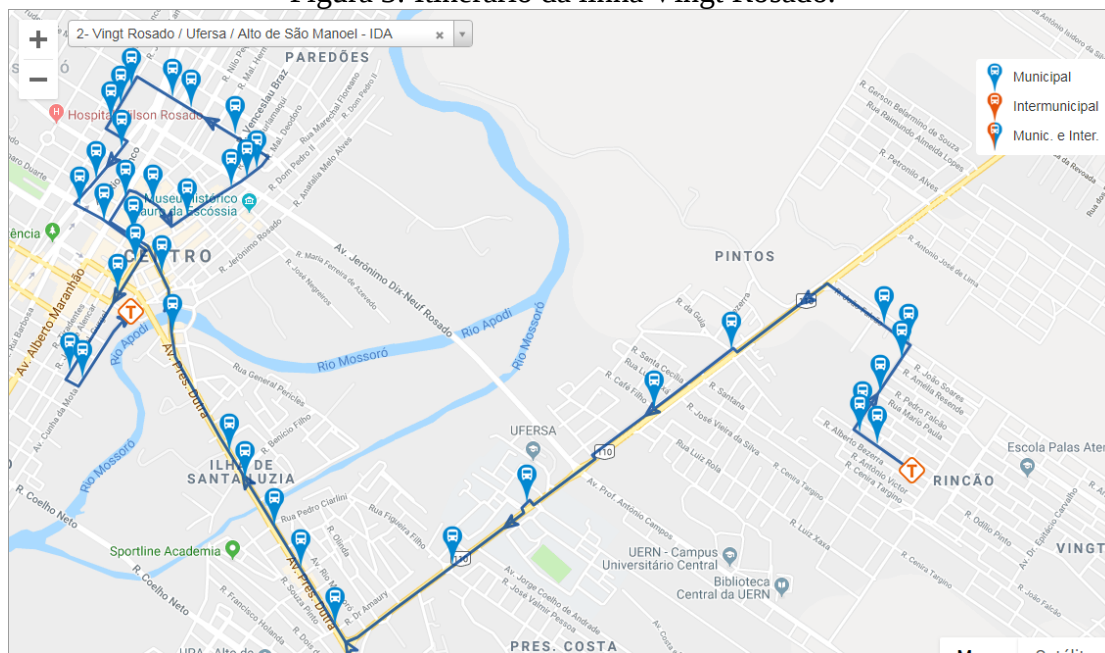
Quadro 1: Linhas de ônibus de Mossoró-RN

Nº	LINHA	Nº	LINHA	Nº	LINHA
1	Abolições Unificados Domingo	8	Vingt Rosado /Universidades	15	Nova Vida/Sumaré
2	Abolições/Santa Delmira/Redenção	9	Universidades	16	Boa Vista /Aeroporto/Shopping
3	Abolições Unificados	10	Nova Vida	17	Nova Mossoró/Santo Antônio
4	Santo Antônio/Barrocas	11	Nova Vida/Sumaré	18	Aeroporto/Rodoviária
5	Abolição V	12	Sumaré/Planalto/Liberdade	19	Shopping/Rodoviária
6	Vingt Rosado	13	Belo Horizonte/Bom Jesus/Monte Olimpo	20	Macarrão/Boa Vista
7	Vingt Rosado/ IFRN Domingo	14	Shopping/UNP	21	Odete Rosado

Fonte: Moovit (2019)

A linha escolhida para a realização deste estudo foi a Vingt Rosado. Esta linha possui 4 itinerários, funcionando de segunda-feira até sexta-feira das 05:10 até as 22:00. O itinerário estudado é o mostrado na Figura 3 abaixo:

Figura 3: Itinerário da linha Vingt Rosado.



Fonte: Cittamobi (2019)

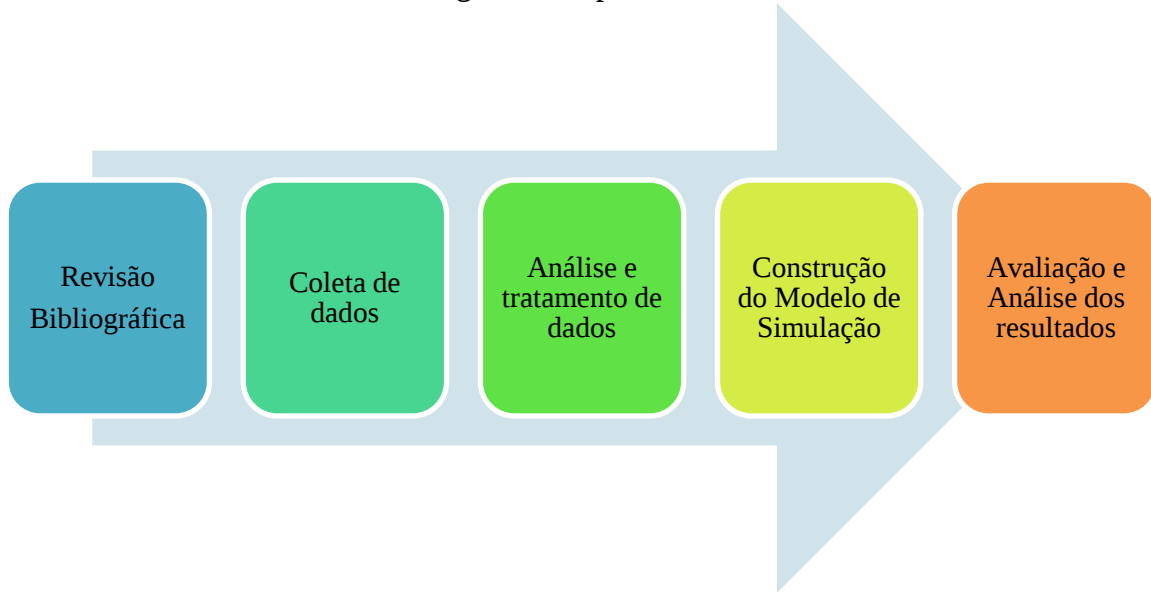
3.3. Etapas da Pesquisa

O objetivo deste trabalho é o estudo e a definição de um modelo de simulação baseado em agentes para o transporte público em uma linha na cidade de Mossoró. Para atender os objetivos do estudo, será adotado como procedimentos técnicos, a pesquisa bibliográfica, a coleta de dados e a modelagem de simulação computacional.

O estudo teve início através da análise bibliográfica, com o intuito de obter informações teóricas, através de conceitos, comentários e definições. A revisão de literatura envolveu tanto a busca no acervo bibliográfico disponível, como através do uso da internet: livros, sites, monografias, dissertações.

A última etapa é a simulação e o tratamento dos dados através do uso do Software MATSim, elaborando a construção do mapeamento do transporte público urbano em uma linha na cidade de Mossoró. O simulador MATSim forma populações de agentes através da similaridade das agendas de indivíduos.

Figura 4: Etapas do trabalho



Fonte: Autora (2019)

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será exposto o experimento feito através dos dados obtidos durante o estudo, aplicando os tratamentos das classes do MATSim que formatam a entrada dos dados para que a simulação possa ser executada. Em seguida, uma breve análise dos resultados emitidos pelo MATSim, em conjunto com uma descrição do ambiente no qual foi realizado a simulação.

O software apresenta-se como modelo de afetação de tráfego, sendo o seu ambiente desenvolvido em linguagem java8, possibilitando a sua utilização na maioria dos sistemas operativos. O tutorial disponibilizado gratuitamente no site do MATSim, foi utilizado como base para a construção desse trabalho.

A instalação do software MATSim é simples e possui um tutorial bem detalhado no site do mesmo. Existem diversos trabalhos desenvolvidos com o MATSim, em sua maioria, os dados utilizados para a geração das simulações são oriundos de fontes públicas, logo a única dificuldade real está na implementação das configurações, pois os parâmetros afetarão de maneira crítica as avaliações de utilidade. A versão do MATSim utilizada para o desenvolvimento desse estudo foi a 0.9.0.

4.1. Extensões do MATSim

Os padrões do MATSim contêm toda a funcionalidade normalmente usada para modelar o comportamento do agente e simular o tráfego. Mas às vezes, isso não é suficiente. As extensões do MATSim fornecem funcionalidades adicionais para tarefas específicas e podem ser usadas ao longo do modelo. O site do MATSim oferece uma visão geral das extensões atualmente disponíveis.

A seguir seguem as principais extensões utilizadas para a construção desse trabalho:

- GTFS2MATSim: o GTFS⁶ é um padrão de descrição do arquivo de rotas criado pelo site Google. O software converte os dados do GTFS em um arquivo formato do MATSim;
- Simunto Via: O Software Simunto Via é um software independente que permite visualizar e analisar dados do MATSim, bem como conjuntos de dados espaciais e temporais genéricos. A versão utilizada neste estudo foi a 1.8.2.

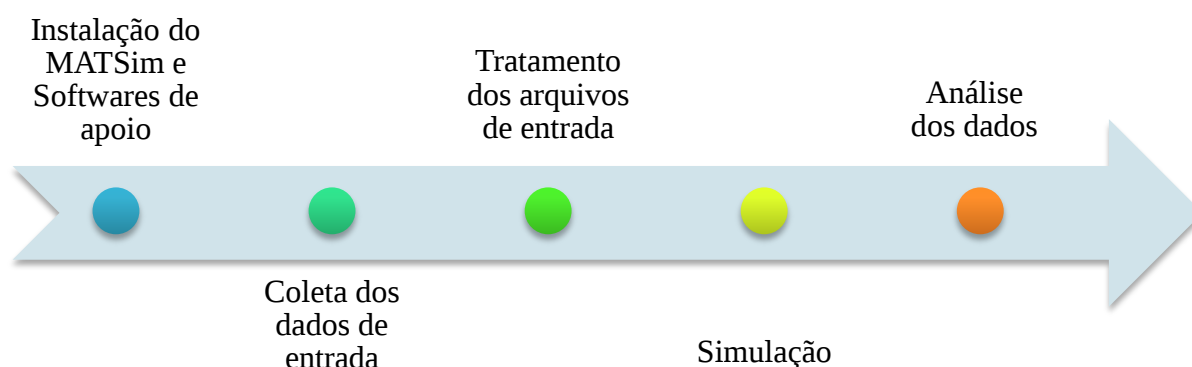
⁶GTFS - Google transit feed specification.

4.2. Desenvolvimento da Modelagem

A modelagem foi realizada seguindo as etapas a seguir:

A primeira etapa foi a instalação do MATSim e dos Softwares de apoio conforme o tutorial disponibilizado no site. Na segunda etapa foi feita a coleta dos dados para a criação dos arquivos de entrada no formato xml⁷. Em seguida, na terceira etapa foi realizado o tratamento dos arquivos de entrada e criação de agentes, mantendo os parâmetros adequados para o MATSim. Na etapa 4 foi realizada a simulação do transporte público baseada em uma linha de ônibus na cidade de Mossoró. E por fim, na etapa cinco foi feita a verificação da integridade dos arquivos de saída através da abertura com o Simunto Via. As etapas descritas podem ser mais bem visualizadas na Figura 5:

Figura 5: Etapas da Modelagem no MATSim



Fonte: Autora (2019)

4.3. Dados de entrada

Para efetuar a simulação do modelo utilizando o software MATSim são necessários alguns arquivos base: um contendo a caracterização da rede; um com a população da área de estudo; um com as configurações do programa e dois utilizados basicamente para a construção da modelagem para transporte público, os quais servem de entrada para o simulador, conforme listados abaixo:

- Network.xml – mapas, linhas de transportes;
- Population.xml – agentes da modelagem;
- Config.xml – utilizado para ligar todos os arquivos de entrada;
- Transitvehicles.xml – descrição do veículo;

⁷ XML - eXtensible Markup Language - é uma linguagem de marcação recomendada para a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente.

- Transitschedule.xml: indicação de rotas, pontos e paradas;

Para criar os arquivos de entrada do modelo foram extraídos os dados de rota do site Cittamobi e usou-se um script em linguagem python para criar um conjunto de arquivos GTFS. Depois de criado o arquivo GTFS, foi configurado um programa em Java chamado GTFS2MATSim. Este programa fez a conversão dos arquivos GTFS no formato padrão ao MATSim e criou os arquivos network.xml, transitvehicles.xml e o transitschedule.xml, os arquivos population.xml e config.xml são criados manualmente. A figura 6 a seguir mostra o código do programa GTFS2MATSim criado.

Figura 6: Arquivo GTFS2MATSim.

```

50 // http://www.vbb.de/de/article/fahrplan/webservices/datensaetze/1186967.html
51
52 //input data
53 String gtfsZipFile = "Mossoro.zip";
54 CoordinateTransformation ct = TransformationFactory.getCoordinateTransformation(TransformationFactory.WGS84, "EPSG:32724");
55 LocalDate date = LocalDate.parse("2019-03-12");
56
57 //output files
58 String scheduleFile = "transitSchedule.xml.gz";
59 String networkFile = "network.xml.gz";
60 String transitVehiclesFile = "transitVehicles.xml.gz";
61
62 //Convert GTFS
63 RunGTFS2MATSim.convertGtfs(gtfsZipFile, scheduleFile, date, ct, false);
64
65 //Parse the schedule again
66 Scenario scenario = ScenarioUtils.createScenario(ConfigUtils.createConfig());
67 new TransitScheduleReader(scenario).readFile(scheduleFile);

```

Markers Properties Servers Data Source Explorer Snippets Console Progress

```

<terminated> RunGTFS2MATSimExample [Java Application] /usr/lib/jvm/java-8-oracle/bin/java (14 de mar de 2019 08:03:57)
2019-03-14 08:04:00,536 WARN LinkImpl:108 FromNode=toNode=[id=pt_3949855][coord=[x=687446.1752425245][y=9424779.69021074]][type=null][nof_inlinks=0][no
2019-03-14 08:04:00,536 WARN LinkImpl:110 Future occurrences of this logging statement are suppressed.
2019-03-14 08:04:00,537 WARN NodeImpl:87 [id=pt_3949855][coord=[x=687446.1752425245][y=9424779.69021074]][type=null][nof_inlinks=0][nof_outlinks=1]: in
2019-03-14 08:04:00,537 WARN NodeImpl:88 This message given only once.
2019-03-14 08:04:00,537 INFO NetworkImpl:163 link # 1
2019-03-14 08:04:00,539 INFO Counter:61 vehicles # 1
2019-03-14 08:04:00,540 INFO NetworkWriter:68 Writing network to file: network.xml.gz...
2019-03-14 08:04:00,542 INFO NetworkWriter:71 done.
2019-03-14 08:04:00,545 INFO VehicleWriterV1:55 Vehicles written to: transitVehicles.xml.gz

```

Writable Smart Insert 53:38

Fonte: Autora (2019)

4.3.1. Arquivo de rede (network.xml)

Network é a infraestrutura de rede na qual os agentes podem se movimentar. A network.xml apresenta-se como uma representação da linha. Consiste dos nós e ligações, contendo a informação acerca do par de coordenadas no caso dos nós e no caso dos arcos apresenta informação relativa ao comportamento de cada arco, sentido, origem, destino. A estrutura de rede desenvolvida para esse trabalho se encontra no [Apêndice A](#) e pode ser visualizada na Figura 7 a seguir.

Figura 7: Arquivo de rede (network.xml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE network SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/network_v2.dtd">
- <network>
  <!-- =====
  - <nodes>
    <node y="9426109.511932697" x="683620.5216932986" id="pt_3949605"> </node>
    <node y="9426020.26591497" x="683917.4155097281" id="pt_3949607"> </node>
    <node y="9426206.394747123" x="684207.7144183167" id="pt_3949610"> </node>
    <node y="9426544.823302971" x="683940.9635389632" id="pt_3949613"> </node>
    <node y="9426648.54373652" x="683648.5398997631" id="pt_3949615"> </node>
    <node y="9426488.786201399" x="683549.1161445178" id="pt_3949616"> </node>
    <node y="9426351.41039113" x="683602.3067174198" id="pt_3949712"> </node>
    <node y="9426200.236660793" x="683476.6298835551" id="pt_3949713"> </node>
    <node y="9426074.937316857" x="683394.2597891791" id="pt_3949714"> </node>
    <node y="9425935.798457308" x="683656.4319218926" id="pt_3949715"> </node>
    <node y="9425802.627500368" x="683666.2831586705" id="pt_3949716"> </node>
    <node y="9425656.436566764" x="683580.5321693807" id="pt_3949717"> </node>
    <node y="9425279.516727354" x="683343.8417656074" id="pt_3949719"> </node>
    <node y="9425240.208414184" x="683405.3809637725" id="pt_3949720"> </node>
    <node y="9425554.993975196" x="683649.0045025368" id="pt_3949721"> </node>
    <node y="9425490.790886138" x="687305.4995372184" id="pt_3949766"> </node>
    <node y="9425033.156739946" x="687198.1751443163" id="pt_3949768"> </node>
    <node y="9424915.702958047" x="687268.0409826188" id="pt_3949769"> </node>
    <node y="9424972.43534847" x="687184.9303906527" id="pt_3949792"> </node>
    <node y="9425159.72291993" x="687285.5453588818" id="pt_3949793"> </node>
    <node y="9425325.320377639" x="687391.7570870742" id="pt_3949794"> </node>
    <node y="9425406.409299651" x="687422.5738027617" id="pt_3949795"> </node>
    <node y="9424636.352858296" x="685567.5829311043" id="pt_3949796"> </node>
    <node y="9424336.635263342" x="685202.3698062699" id="pt_3949797"> </node>
    <node y="9424526.765170686" x="684339.9985506352" id="pt_3949799"> </node>
    <node y="9424753.544886082" x="684196.8016574731" id="pt_3949800"> </node>
    <node y="9424882.359574396" x="684119.5337233939" id="pt_3949801"> </node>
    <node y="9425462.726164833" x="683845.4417852069" id="pt_3949802"> </node>
    <node y="9425745.714498436" x="683795.0735638542" id="pt_3949803"> </node>
    <node y="9425369.2802142" x="686562.130752218" id="pt_3949844"> </node>
    <node y="9425086.68707494" x="686183.3176145381" id="pt_3949845"> </node>
    <node y="9424048.659387918" x="684632.6436707187" id="pt_3949847"> </node>
    <node y="9424324.978807088" x="684465.8543000376" id="pt_3949848"> </node>
    <node y="9424779.69021074" x="687446.1752425245" id="pt_3949855"> </node>
    <node y="9426159.254533404" x="684135.0824960738" id="pt_3949949"> </node>
    <node y="9426249.059996875" x="684257.8282941179" id="pt_3949950"> </node>
    <node y="9426415.547309596" x="684152.385068342" id="pt_3949951"> </node>
    <node y="9426597.26034681" x="683849.0792702211" id="pt_3949952"> </node>
    <node y="9426562.249695998" x="683595.0970890964" id="pt_3950191"> </node>
```

Fonte: MATSim (2019)

4.3.2. Arquivo de população (population.xml)

Para dar início ao ciclo iterativo da simulação, o MATSim precisa de um arquivo de população sintética representativa da área de estudo. Por ser um software de simulação de modelo baseado em agentes, também é necessário que se estabeleçam quais são os possíveis planos de atividades desenvolvidas pelos indivíduos modelados. Esses parâmetros são definidos nessa etapa do tratamento de dados.

A construção da população foi baseada a partir do acompanhamento de 20 usuários da linha estudada. A linha possui 41 paradas descritas conforme a Figura 3 já demonstrada neste trabalho. As informações a respeito da linha foram extraídas do site Cittamobi e os dados coletados sobre os usuários estão contidos no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2: Dados dos usuários acompanhados.

Parada	Entrada	Saída	Horário
Parada 1	Usuário 1	-	10:40:15
Parada 2	Usuário 2	-	10:42:50
Parada 3	Usuário 3	-	10:43:25
Parada 4	Usuário 4	-	10:47:00
Parada 5	Usuário 5	-	10:49:03
Parada 6	Usuário 6	-	10:52:15
Parada 7	Usuário 7	-	10:54:01
Parada 8	Usuário 8	-	10:56:17
Parada 9	Usuário 9	-	10:57:58
Parada 10	Usuário 10	Usuário 2	10:59:00
Parada 11	Usuário 11	-	11:00:01
Parada 12	-	-	11:01:16
Parada 13	Usuário 12	-	11:02:21
Parada 14	Usuário 13	-	11:03:51
Parada 15	Usuário 14	Usuário 7	11:05:08
Parada 16	-	Usuário 5	11:06:59
Parada 17	Usuário 15	Usuário 1	11:08:00
Parada 18	-	Usuário 9	11:09:17
Parada 19	Usuário 16	-	11:10:00
Parada 20	Usuário 17	-	11:11:16
Parada 21	-	Usuário 8	11:13:00
Parada 22	Usuário 18	-	11:14:05
Parada 23	-	Usuário 11	11:15:19
Parada 24	-	-	11:16:57
Parada 25	Usuário 19	Usuário 4	11:18:06
Parada 26	-	Usuário 15	11:19:03
Parada 27	Usuário 20	-	11:20:11
Parada 28	-	Usuário 6	11:21:22
Parada 29	-	Usuário 14	11:22:59
Parada 30	-	Usuário 12	11:24:03
Parada 31	-	-	11:25:22
Parada 32	-	Usuário 3	11:26:09
Parada 33	-	Usuário 13	11:27:00
Parada 34	-	Usuário 10	11:29:15
Parada 35	-	-	11:30:27
Parada 36	-	-	11:31:49
Parada 37	-	Usuário 18	11:33:01
Parada 38	-	Usuário 20	11:34:12
Parada 39	-	Usuário 16	11:36:11
Parada 40	-	Usuário 19	11:37:00
Parada 41	-	Usuário 17	11:38:13

Fonte: Autora (2019)

Após coletados os dados dos usuários, as informações das coordenadas de cada parada fornecidas pelo arquivo network.xml são utilizadas para a criação do arquivo population.xml, conforme ilustrada na Figura 8 e se encontra disponível na íntegra no [Apêndice B](#).

Figura 8: Arquivo de população (population.xml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE plans SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/plans_v4.dtd">
<plans>
  - <person id="1" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="683620.5216932986" y="9426109.511932697" end_time="10:40:15"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="687198.1751443163" y="9425033.156739946" end_time="11:08:00"/>
    </plan>
  </person>
  - <person id="2" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="683917.4155097281" y="9426020.26591497" end_time="10:42:50"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="683656.4319218926" y="9425935.798457308" end_time="10:59:00"/>
    </plan>
  </person>
  - <person id="3" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="684207.7144183167" y="9426206.394747123" end_time="10:43:25"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="684632.6436707187" y="9424048.659387918" end_time="11:26:09"/>
    </plan>
  </person>
  - <person id="4" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="683940.9635389632" y="9426544.823302971" end_time="10:47:00"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="684339.99855063527" y="9424526.765170686" end_time="11:18:06"/>
    </plan>
  </person>
  - <person id="5" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="683648.5398997631" y="9426648.54373652" end_time="10:49:03"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="687305.4995372184" y="9425490.790886138" end_time="11:06:59"/>
    </plan>
  </person>
  - <person id="6" employed="no">
    - <plan selected="yes">
      <act type="home" x="683549.1161445178" y="9426488.786201399" end_time="10:52:15"/>
      <leg mode="pt"/>
      <act type="home" x="683845.4417852069" y="9425462.726164833" end_time="11:21:22"/>
    </plan>
  </person>

```

Fonte: Autora (2019)

4.3.3. Arquivo de configuração (config.xml)

O controlador necessita de um método que faça a ligação entre os dados inseridos e a forma de executar o modelo. Esta ligação é feita através de um arquivo de configuração. Neste arquivo é configurada a forma e tipo de simulação dos planos dos agentes integrantes no modelo, bem como da utilização de extensões desenvolvidas por utilizadores e da especificação dos caminhos relativos de todos os arquivos da rede, planos dos agentes e de todas as localizações de cada uma das linhas. O arquivo config.xml contém as configurações básicas para o modelo, locais dos demais arquivos para a simulação, iterações, valores de variáveis para o cálculo de utilidade de cada rota processada em cada iteração de cada agente,

valores das atividades com seus respectivos tipos. A Figura 9 mostra a representação do arquivo de configuração do modelo proposto.

A geração do arquivo config.xml demanda o uso de algumas funções nativas do MATSim, portanto, o script utilizado nessa etapa é feito em linguagem Java. O código desse script, na íntegra, é apresentado no [Apêndice C](#), a Figura 9 mostra a representação do arquivo de configuração do modelo proposto.

Figura 9: Arquivo de configuração (config.xml)

```
<?xml version="1.0"?>
<!DOCTYPE config SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/config_v2.dtd">
- <config>
-   <module name="global">
      <param name="randomSeed" value="4711"/>
      <param name="coordinateSystem" value="WGS84"/>
    </module>
-   <module name="network">
      <param name="inputNetworkFile" value="network.xml"/>
    </module>
-   <module name="plans">
      <param name="inputPlansFile" value="population.xml"/>
    </module>
-   <module name="transit">
      <param name="useTransit" value="true"/>
      <param name="transitScheduleFile" value="transitschedule.xml"/>
      <param name="vehiclesFile" value="transitVehicles.xml"/>
      <param name="transitModes" value="pt"/>
    </module>
-   <module name="TimeAllocationMutator">
      <param name="mutationRange" value="7200.0"/>
    </module>
-   <module name="controler">
      <param name="firstIteration" value="0"/>
      <param name="lastIteration" value="0"/>
      <param name="eventsFileFormat" value="xml"/>
      <param name="writeEventsInterval" value="1"/>
      <param name="writePlansInterval" value="50"/>
    </module>
-   <module name="qsim">
      <!-- "start/endTime" of MobSim (00:00:00 == take earliest activity time/ run as long as active vehicles exist) -->
      <param name="startTime" value="05:00:00"/>
      <param name="endTime" value="18:00:00"/>
      <param name="snapshotPeriod" value="00:00:00"/>
      <param name="removeStuckVehicles" value="false"/>
      <param name="vehicleBehavior" value="wait"/>
      <param name="flowCapacityFactor" value="1.0"/>
      <param name="storageCapacityFactor" value="1.0"/>
      <param name="snapshotStyle" value="queue"/>
    </module>
```

Fonte: Autora (2019)

4.3.4. Arquivo de descrição do veículo (transitVehicles.xml)

Para simular o transporte público no MATSim, são necessários dois arquivos de entrada adicionais. Um é o transitvehicles.xml, que descreve os veículos contidos nas linhas, especificando quantos passageiros um veículo pode transportar. A figura 10 a seguir mostra o arquivo de descrição de um veículo. A estrutura completa do transitvehicles.xml se encontra disponível no [Apêndice D](#).

Figura 10: Arquivo veículos de trânsito (transitVehicles.xml)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <vehicleDefinitions xsi:schemaLocation="http://www.matsim.org/files/dtc
xmlns="http://www.matsim.org/files/dtd">
  - <vehicleType id="defaultTransitVehicleType">
    - <capacity>
      <seats persons="101"/>
      <standingRoom persons="0"/>
    </capacity>
    <length meter="7.5"/>
    <width meter="1.0"/>
    <accessTime secondsPerPerson="1.0"/>
    <egressTime secondsPerPerson="1.0"/>
    <doorOperation mode="serial"/>
    <passengerCarEquivalents pce="1.0"/>
  </vehicleType>
  <vehicle id="tr_0" type="defaultTransitVehicleType"/>
</vehicleDefinitions>
```

Fonte: Autora (2019)

4.3.5. Arquivo cronograma de trânsito (transitSchedule.xml)

O segundo arquivo necessário para simular o transporte público é o transitSchedule.xml, ele contém informações sobre as instalações das paradas de ônibus e serviços. Inicialmente, as instalações da parada devem ser definidas; cada uma recebe uma coordenada, um identificador e uma referência a um link da rede. Após as instalações de uma parada, é necessário descrever as linhas de trânsito e suas rotas. A Figura 11 a seguir mostra a estrutura de trânsito do modelo. A estrutura completa se encontra no [Apêndice E](#).

Figura 11: Arquivo cronograma de trânsito (transitSchedule.xml)

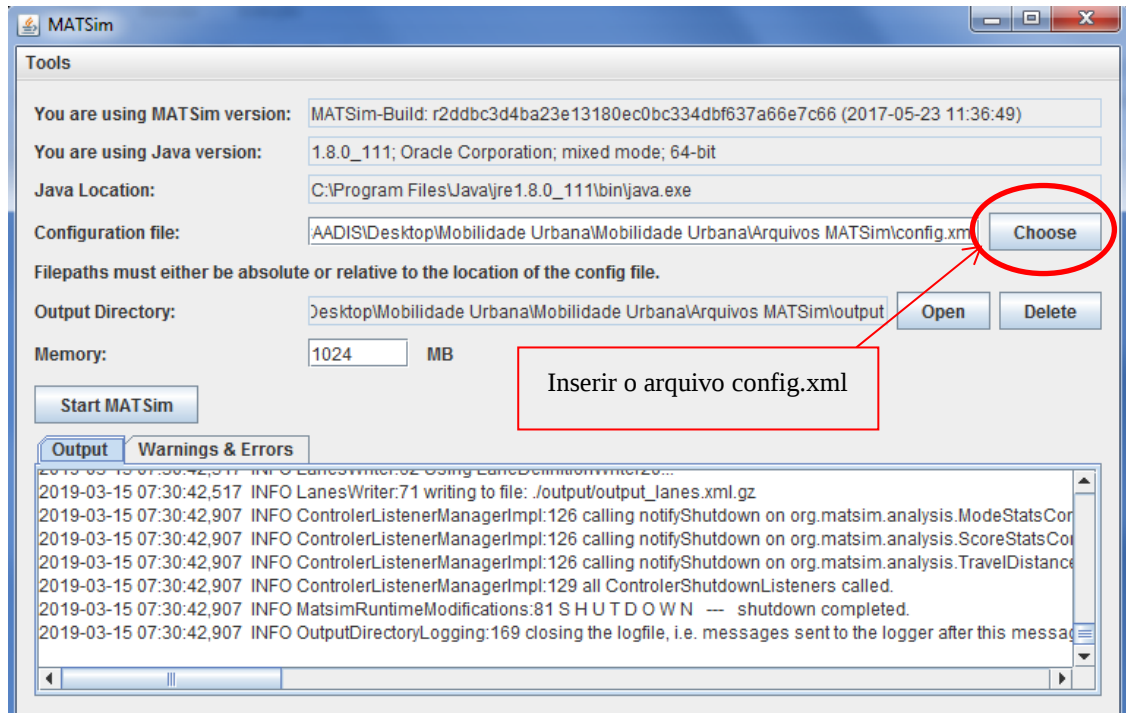
```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE transitSchedule SYSTEM "http://www.matsim.org/files/dtd/transitSchedule_v2.dtd">
<transitSchedule>
  - <transitStops>
    <stopFacility linkRefId="pt_20" y="9426109.511932697" x="683620.5216932986" id="3949605"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_22" y="9426020.26591497" x="683917.4155097281" id="3949607"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_24" y="9426206.394747123" x="684207.7144183167" id="3949610"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_27" y="9426544.823302971" x="683940.9635389632" id="3949613"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_29" y="9426648.54373652" x="683648.5398997631" id="3949615"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_31" y="9426488.786201399" x="683549.1161445178" id="3949616"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_32" y="9426351.41039113" x="683602.3067174198" id="3949712"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_33" y="9426200.236660793" x="683476.6298835551" id="3949713"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_34" y="9426074.937316857" x="683394.2597891791" id="3949714"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_19" y="9425935.798457308" x="683656.4319218926" id="3949715"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_36" y="9425802.627500368" x="683666.2831586705" id="3949716"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_37" y="9425656.436566764" x="683580.5321693807" id="3949717"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_38" y="9425279.516727354" x="683343.8417656074" id="3949719"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_39" y="9425240.208414184" x="683405.3809637725" id="3949720"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_40" y="9425554.993975196" x="683649.0045025368" id="3949721"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_7" y="9425490.790886138" x="687305.4995372184" id="3949766"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_3" y="9425033.156739946" x="687198.1751443163" id="3949768"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_1" y="9424915.702958047" x="687268.0409826188" id="3949769"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_2" y="9424972.43534847" x="687184.9303906527" id="3949792"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_4" y="9425159.72291993" x="687285.5453588818" id="3949793"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_5" y="9425325.320377639" x="687391.7570870742" id="3949794"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_6" y="9425406.409299651" x="687422.5738027617" id="3949795"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_10" y="9424636.352858296" x="685567.5829311043" id="3949796"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_11" y="9424336.635263342" x="685202.3698062699" id="3949797"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_14" y="9424526.765170686" x="684339.9985506352" id="3949799"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_15" y="9424753.544886082" x="684196.8016574731" id="3949800"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_16" y="9424882.359574396" x="684119.5337233939" id="3949801"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_17" y="9425462.726164833" x="683845.4417852069" id="3949802"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_18" y="9425745.714498436" x="683795.0735638542" id="3949803"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_8" y="9425369.2802142" x="686562.130752218" id="3949844"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_9" y="9425086.68707494" x="686183.3176145381" id="3949845"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_12" y="9424048.659387918" x="684632.6436707187" id="3949847"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_13" y="9424324.978807088" x="684465.8543000376" id="3949848"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_0" y="9424779.69021074" x="687446.1752425245" id="3949855"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_23" y="9426159.254533404" x="684135.0824960738" id="3949949"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_25" y="9426249.059996875" x="684257.8282941179" id="3949950"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_26" y="9426415.547309596" x="684152.385068342" id="3949951"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_28" y="9426597.26034681" x="683849.0792702211" id="3949952"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_30" y="9426562.249695998" x="683595.0970890964" id="3950191"/>
    <stopFacility linkRefId="pt_35" y="9425998.247135483" x="683512.3557492663" id="3950199"/>
  </transitStops>
</transitSchedule>
```

Fonte: Autora (2019)

4.4. Dados de saída

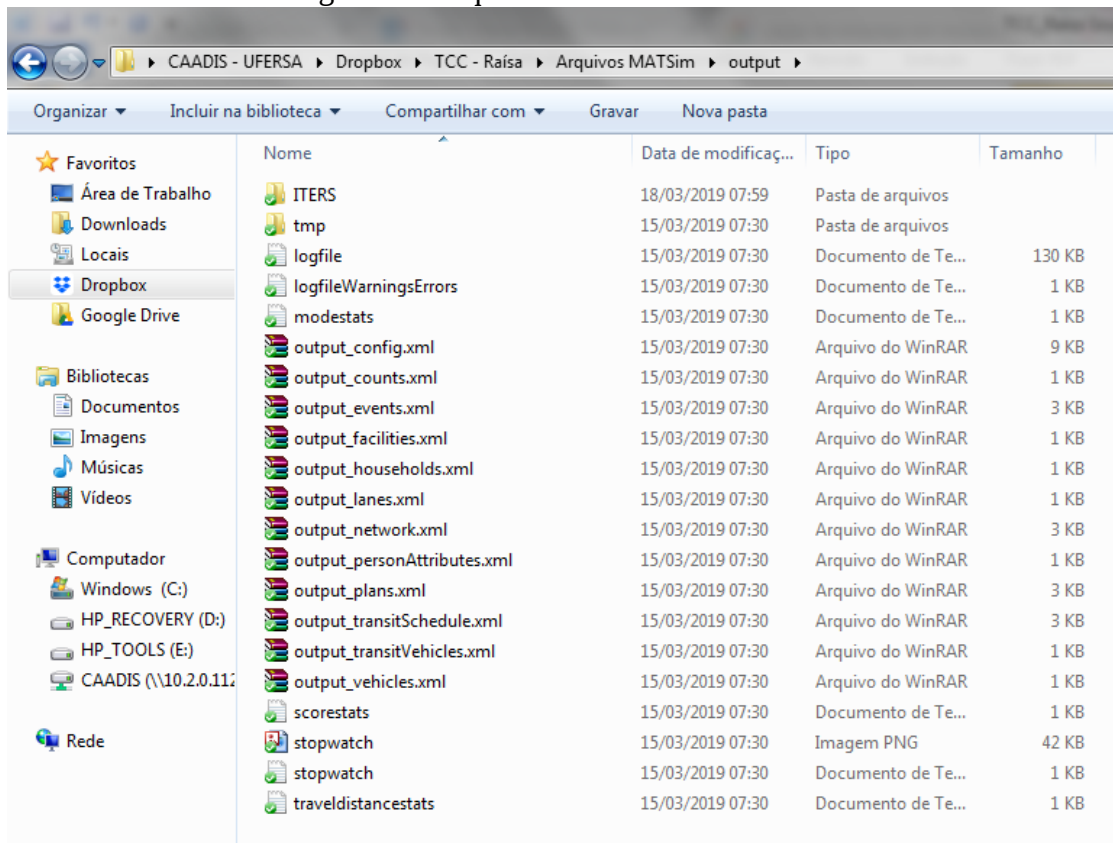
Depois de criados os arquivos de entrada, é feita a simulação no Software MATSim, inserindo o arquivo config.xml como dado de entrada. Depois de concluída a simulação, é criada automaticamente uma pasta com os dados de saída chamada “output”, os resultados da simulação do modelo são apresentados em arquivos com a extensão xml, contendo várias informações decorrentes da simulação, sendo estes obtidos após a execução do processo de preparação do modelo já descrito anteriormente. As Figuras 12 e 13 a seguir mostram, respectivamente, a simulação do modelo no MATSim e os dados de saída criados.

Figura 12: Simulação do modelo no MATSim.



Fonte: Autora (2019)

Figura 13: Arquivos de saída do MATSim

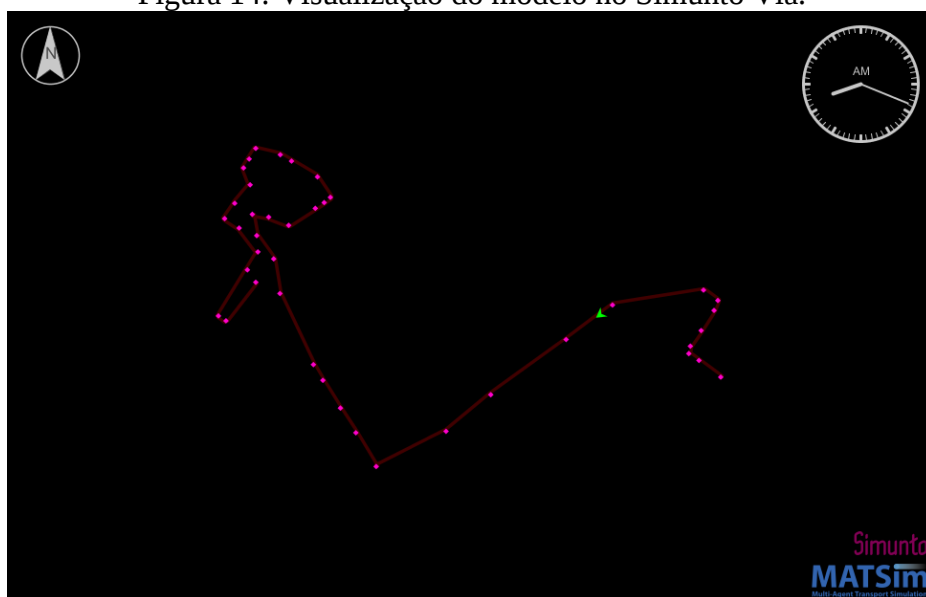


Fonte: Autora (2019)

Após a simulação efetivada no MATSim, os arquivos de saída foram analisados graficamente utilizando-se o software Simunto Via, conforme mostra a Figura 14. Seguindo os passos a seguir:

1. Menu File > Adicionar dado (ou ctrl+D) > Selecionar o arquivo de entrada criado *network.xml* > Clicar em “Abrir”;
2. Menu File > Adicionar Layer (ou ctrl+L) > Selecionar *network* > Clicar em “Add”;
3. Menu File > Adicionar dado (ou ctrl+D) > Selecionar o arquivo de saída criado *events.xml.gz* > Clicar em “Abrir”;
4. Menu File > Adicionar Layer (ou ctrl+L) > *Vehicles – from Events* > Clicar em “Add”;
5. Aba Controls Layers > Load data.

Figura 14: Visualização do modelo no Simunto Via.



Fonte: Autora (2019)

Nota-se, nesta simulação, que os agentes, neste modelo simbolizando o transporte público (ônibus), são representados por seta verde, deslocando pela rota urbana, que é representada pela linha vermelha, tendo como ponto de partida e chegada locais representados por quadrados de cor rosa.

O MATSim oferece seus resultados no formato de eventos, que identifica tudo que um agente faz ao longo de sua rotina. Os eventos podem ser sair de casa, entrar e sair de um arco, iniciar ou terminar uma atividade, etc. Dessa forma, o resultado da simulação é genérico, pois a modelagem não leva em consideração o cenário real do transporte público na cidade de

Mossoró-RN, com informações sobre variáveis que poderia incluir incidentes de trânsito, semáforos, faixa de pedestre, lombadas e até mesmo uma melhor diferenciação das vias por pavimento e hierarquia.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo será realizada uma discussão geral sobre o desenvolvimento deste trabalho, suas principais contribuições e apresentadas sugestões para pesquisas futuras que possam dar continuidade a este estudo.

5.1. Considerações Finais

O crescimento urbano das cidades exige que os sistemas de transportes coletivos o acompanhem, ou seja, os sistemas que não se adaptam ao aumento da demanda de usuários podem sofrer com lotação alta nos ônibus ou espera excessiva nos pontos de parada, dentre outros problemas. A qualidade do serviço prestado por um sistema de transporte é diretamente influenciada por tais problemas.

Este trabalho propôs uma representação de uma linha de transporte público na cidade de Mossoró-RN. Foi comentado sobre a importância dos modelos como ferramentas de apoio ao planejamento de transportes e sobre a importância de se considerar o sistema como um todo, observando as decisões individuais das pessoas e sua relação com o sistema. Nesse contexto, tratou-se da simulação como ferramenta de modelagem de transportes, que vem surgindo nos últimos anos, principalmente a simulação por agentes, que permite versatilidade e abrangência ao modelo.

A simulação de transportes baseada em agentes foi conceituada nos termos do Software MATSim, plataforma de simulação de transportes multi-agentes e de larga escala. Ferramenta esta que simula o trânsito através de agentes independentes. A ferramenta requer um modelo de entrada baseado em uma rede e uma população inicial, busca o equilíbrio ao tentar otimizar os planos de todos os agentes simultaneamente.

A partir das especificações do MATSim e de dados iniciais acerca da rede, uma proposta de modelo para a simulação de transporte público em uma linha na cidade de Mossoró-RN foi construída. A construção deste foi à etapa principal do trabalho. Iniciou-se com a caracterização dos dados de entrada, daí partiu-se às etapas de tratamento e transcrição dos dados, onde foram encontrados muitos problemas que precisaram ser devidamente tratados.

O modelo construído foi finalmente simulado com o uso do MATSim. A simulação, que foi realizada com as configurações básicas do simulador, produziu como resultado dados denominados eventos. Estes dados puderam ser visualizados e analisados com o uso do Simunto Via, ferramenta externa que permite a visualização dos resultados do MATSim.

5.2. Fatores críticos na elaboração do trabalho

Com relação aos pontos positivos do estudo, considerou-se como principal fator positivo o fato de a ferramenta utilizada, o MATSim, ser disponibilizada de forma gratuita, ser desenvolvida segundo uma filosofia opensource e ser atualmente compartilhada pela comunidade científica. Foi também um grande facilitador o fornecimento, no site da ferramenta, de um tutorial para a utilização desta e de linhas orientadoras para a criação de novos cenários.

Quanto aos pontos negativos, a maior dificuldade foi a obtenção e o tratamento dos dados para a criação dos arquivos de entrada, bem como a habilidade em manusear o software na etapa inicial da pesquisa.

Pode-se dizer que a principal contribuição do trabalho está na aplicação de um simulador baseado em agentes para modelar e simular o transporte público em uma cidade qualquer a partir de dados de fontes e formatos diversos, que necessitaram de um processo de tratamento e transcrição. De um modo geral, considera-se que os objetivos inicialmente propostos foram alcançados, principalmente com a verificação da possibilidade da construção de um modelo para a cidade de Mossoró. O modelo proposto consegue simular todas as viagens dos agentes com origem ou destino na região de estudo.

5.3. Indicações e perspectivas de trabalhos futuros

Como recomendações a trabalhos futuros, há primeiramente a necessidade de calibração e validação do modelo e atualização através da compreensão dos parâmetros de configuração do MATSim e de dados reais para que haja a validação. Criar modelos de otimização visando melhorar o cenário atual do transporte público na cidade de Mossoró-RN. Outra opção é explorar a possibilidade de uma melhor descrição da rede variável no tempo, que poderia incluir incidentes de trânsito, semáforos, faixa de pedestre, lombadas e até mesmo uma melhor diferenciação das vias por pavimento e hierarquia. É possível e desejável estender o modelo a todas as linhas de Mossoró tendo apenas como principal dificuldade, como já foi referida, a estruturação e organização da enorme quantidade de dados que seriam necessários.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. M. Introdução à Metodologia do Trabalho Científico. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- ANTUNES, E. M. Avaliação da qualidade do transporte público por ônibus sob o ponto de vista do usuário em cidades médias paranaenses. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Maringá, 2009.
- ARAGÃO, A. P. Modelagem e simulação computacional de processos produtivos: o caso da cerâmica vermelha de campos dos Goytacazes, RJ. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção).
- BANKS, J., CARSON II, J. S., 1984, Discrete-Event System Simulation, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- BICUDO, Davi Guggisberg. Aplicação do Simulador de Tráfego MATSim à Cidade de Joinville/SC. 2015. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/166951>>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- BRASIL. Ministério das Cidades – “Curso – Gestão Integrada da Mobilidade Urbana”. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.
- CAMELO, G. R. et al. Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. Cadernos do IME-Série Estatística, v. 29, n. 2, p. 1, 2010.
- CITTAMOBIL. Disponível em: <http://www.cittamobi.com.br/>. Acesso em: 01/03/2019.
- CORDEIRO, C. O. et al. A visão do cliente para melhoria da qualidade do sistema de transporte coletivo por ônibus. Artigo, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM. Porto Alegre-RS, 2005. – Acesso em 12 de set de 2018.
- DIAS, G. P. P. Uso de simulação para dimensionamento e gestão de estoques de peças sobressalentes. In: Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011
- FARINHA, P. M. L. Modelos de Simulação em MATSim aplicados à análise de Sistemas de Transportes. 2013. 179 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- FERBER, J. Multi-agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. [S.l.]: Addison-Wesley, 1999. ISBN 9780201360486.
- FERRAZ, A. C. P, TORRES, I. G. E. Transporte público urbano. São Carlos, 2004.
- FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Florianópolis, Visual Books, 2008, 305 p.

FRIGERI, J. A.; BIANCHI, M.; BACKES, R. G. Um estudo sobre o uso das técnicas de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégico e operacional. *Revista Contexto*. Porto Alegre, v. 7, n. 12, p.1-24, 2007.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GWILLIAM, K. Cidades em Movimento: estratégia de transporte urbano do Banco Mundial tradução: Eduardo de Farias Lima; São Paulo: Sumatra Editorial, 2003.

HARREL, C.; GHOSH, B.K.; BOWDEN, R. Simulation Using Promodel. 3TM ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em 12 de set de 2018.

IPEA. Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: Subsídios para uma Agenda de Pesquisa e Formulação de Políticas Públicas. A Mobilidade Urbana no Brasil. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, DF, 2011.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A.. Simulation with ARENA. 3^a Edição. McGraw-Hill : Science/Engineering/Math, 2003. ISBN-10: 0072919817.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

LAW, A. M., KELTON, W. D. Simulation modeling & analysis, 2nd Edition, McGraw Hill, Inc: New York. 1991.

MACAL, C. M., & NORTH, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. doi:10.1057/jos.2010.3

MACHADO, A. P. Um olhar da psicologia social sobre o trânsito. In: ALCHIERI, J. C.; CRUZ, R. M.; HOFFMANN, M. H. (Org.). Comportamento humano no trânsito. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2003. p. 123-133.

MATSIM - Multi-Agente Transporte Simulation. Disponível em: <https://matsim.org/>. Acesso em: 03/01/2019.

MITIDIERO, N. P. Comentários ao código de trânsito brasileiro: direito de trânsito e direito administrativo de trânsito. 2^a ed. Rio de Janeiro: Forense, 2005. 1572 p.

MOOVIT. Disponível em: <http://moovitapp.com/pt-br/>. Acesso em: 01/03/2019.

PARAGON. Simulação. 2015. Disponível em: < <http://www.paragon.com.br> >. Acesso em 12 de set de 2018.

PEGDEN, C. D., SHANNON, R. E., SADOWSKI, R. P. Introduction to Simulation using SIMAN. 2ed. New York: McGraw Hill, 1995.

RANEY, B. K. Learning Framework for Large-scale Multi-agent Simulations. Tese (Doutorado) — Swiss Federal Institute of Technology of Zurich - ETHZ, Zürich, 2005.

RANEY, B. K.; NAGEL, K. An improved framework for large-scale multi-agent simulations of travel behaviour. In: RIETVELD, P.; JOURQUIN, B.; WESTIN, K. (Ed.). Towards better performing European Transportation Systems. London: Routledge, 2006. p. 305–347.

RIESER, M. Adding Transit to an Agent-based Transportation Simulation: Concepts and Implementation. Tese (Doutorado) — Technische Universität Berlin, Berlin, 2010.

RIESER, M. et al. MATSim User Guide. 0.6.1. ed. [S.l.], 2014.

SANTANA, B. T. S. Simulação baseada em agentes para transporte colaborativo utilizando MATSim. 2015. xi, 61 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Ciência da Computação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SANTOS, L. Análise dos Acidentes de Trânsito do Município de São Carlos utilizando o Sistema de Informações Geográficas – SIG e Ferramentas de Estatística Espacial. 2006. 136. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SCHEIN, E. Cultura Organizacional e Liderança. São Paulo: Atlas, 2003.

SILVA, A.N.R. (2000). Os Aglomerados Urbanos. Curso de Pós Graduação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Notas de aula.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. 2012.

WEISS, G. Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. [S.l.]: MIT Press, 1999. (Intelligent Robotics and Autonomous Agents Series). ISBN9780262731317.

ZHANG, L. LEVINSON, D. (2004). Agent-Based Approach to Travel Demand Modeling: Exploratory Analysis. Transportation Research Record, 1898(1), 28– 36. doi:10.3141/1898-04.

APÊNDICE A - ARQUIVO DE REDE

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE network SYSTEM
"http://www.matsim.org/files/dtd/network_v2.dtd">
<network>

<!--
=====
== -->

    <nodes>
        <node id="3949605" x="683620.5216932986"
y="9426109.511932697" >
            </node>
        <node id="3949607" x="683917.4155097281"
y="9426020.26591497" >
            </node>
        <node id="3949610" x="684207.7144183167"
y="9426206.394747123" >
            </node>
        <node id="3949613" x="683940.9635389632"
y="9426544.823302971" >
            </node>
        <node id="3949615" x="683648.5398997631"
y="9426648.54373652" >
            </node>
        <node id="3949616" x="683549.1161445178"
y="9426488.786201399" >
            </node>
        <node id="3949712" x="683602.3067174198"
y="9426351.41039113" >
            </node>
        <node id="3949713" x="683476.6298835551"
y="9426200.236660793" >
            </node>
        <node id="3949714" x="683394.2597891791"
y="9426074.937316857" >
            </node>
        <node id="3949715" x="683656.4319218926"
y="9425935.798457308" >
            </node>
        <node id="3949716" x="683666.2831586705"
y="9425802.627500368" >
            </node>
        <node id="3949717" x="683580.5321693807"
y="9425656.436566764" >
            </node>
        <node id="3949719" x="683343.8417656074"
y="9425279.516727354" >
            </node>
        <node id="3949720" x="683405.3809637725"
y="9425240.208414184" >
            </node>
```

```

        <node id="3949721" x="683649.0045025368"
y="9425554.993975196" >
        </node>
        <node id="3949766" x="687305.4995372184"
y="9425490.790886138" >
        </node>
        <node id="3949768" x="687198.1751443163"
y="9425033.156739946" >
        </node>
        <node id="3949769" x="687268.0409826188"
y="9424915.702958047" >
        </node>
        <node id="3949792" x="687184.9303906527"
y="9424972.43534847" >
        </node>
        <node id="3949793" x="687285.5453588818"
y="9425159.72291993" >
        </node>
        <node id="3949794" x="687391.7570870742"
y="9425325.320377639" >
        </node>
        <node id="3949795" x="687422.5738027617"
y="9425406.409299651" >
        </node>
        <node id="3949796" x="685567.5829311043"
y="9424636.352858296" >
        </node>
        <node id="3949797" x="685202.3698062699"
y="9424336.635263342" >
        </node>
        <node id="3949799" x="684339.9985506352"
y="9424526.765170686" >
        </node>
        <node id="3949800" x="684196.8016574731"
y="9424753.544886082" >
        </node>
        <node id="3949801" x="684119.5337233939"
y="9424882.359574396" >
        </node>
        <node id="3949802" x="683845.4417852069"
y="9425462.726164833" >
        </node>
        <node id="3949803" x="683795.0735638542"
y="9425745.714498436" >
        </node>
        <node id="3949844" x="686562.130752218"
y="9425369.2802142" >
        </node>
        <node id="3949845" x="686183.3176145381"
y="9425086.68707494" >
        </node>
        <node id="3949847" x="684632.6436707187"
y="9424048.659387918" >
        </node>

```

```

        <node id="3949848" x="684465.8543000376"
y="9424324.978807088" >
        </node>
        <node id="3949855" x="687446.1752425245"
y="9424779.69021074" >
        </node>
        <node id="3949949" x="684135.0824960738"
y="9426159.254533404" >
        </node>
        <node id="3949950" x="684257.8282941179"
y="9426249.059996875" >
        </node>
        <node id="3949951" x="684152.385068342"
y="9426415.547309596" >
        </node>
        <node id="3949952" x="683849.0792702211"
y="9426597.26034681" >
        </node>
        <node id="3950191" x="683595.0970890964"
y="9426562.249695998" >
        </node>
        <node id="3950199" x="683512.3557492663"
y="9425998.247135483" >
        </node>
        <node id="3961929" x="683754.0592727397"
y="9426086.99000304" >
        </node>
    </nodes>

```

```

<!--

```

```

=====
== -->

```

```

    <links capperiod="01:00:00" effectivecellsize="7.5"
effectivelanewidth="3.75">
        <link id="0" from="3949855" to="3949855" length="50.0"
freespeed="8.333333333333334" capacity="500.0" perlanes="1.0"
oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="1" from="3949855" to="3949769"
length="224.1233633124275" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" perlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="10" from="3949845" to="3949796"
length="762.8434354863076" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" perlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="11" from="3949796" to="3949797"
length="472.4523926025971" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" perlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="12" from="3949797" to="3949847"
length="638.3713451874905" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" perlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
    </links>

```

```
<link id="13" from="3949847" to="3949848"
length="322.7555043411547" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="14" from="3949848" to="3949799"
length="237.81801065464867" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="15" from="3949799" to="3949800"
length="268.2058715363579" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="16" from="3949800" to="3949801"
length="150.21170913824082" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="17" from="3949801" to="3949802"
length="641.8346904570213" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="18" from="3949802" to="3949803"
length="287.4358270603099" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="19" from="3949803" to="3949715"
length="235.27306753248334" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="2" from="3949769" to="3949792"
length="100.62770304438224" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="20" from="3949715" to="3949605"
length="177.38634685211042" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="21" from="3949605" to="3961929"
length="135.42349293407406" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="22" from="3961929" to="3949607"
length="176.45782524988897" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="23" from="3949607" to="3949949"
length="258.2571451080627" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="24" from="3949949" to="3949610"
length="86.58865906192278" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="25" from="3949610" to="3949950"
length="65.81583460087245" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
```

```
</link>
<link id="26" from="3949950" to="3949951"
length="197.06927502563653" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="27" from="3949951" to="3949613"
length="247.81312626244627" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="28" from="3949613" to="3949952"
length="105.79396206198699" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="29" from="3949952" to="3949615"
length="206.99281428065035" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="3" from="3949792" to="3949768"
length="62.14910202467539" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="30" from="3949615" to="3950191"
length="101.50268686834887" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="31" from="3950191" to="3949616"
length="86.66678892760845" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="32" from="3949616" to="3949712"
length="147.31378174759524" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="33" from="3949712" to="3949713"
length="196.59136123946004" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="34" from="3949713" to="3949714"
length="149.9491848538871" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="35" from="3949714" to="3950199"
length="140.81207230984458" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="36" from="3950199" to="3949716"
length="248.9190410719805" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
<link id="37" from="3949716" to="3949717"
length="169.48457520416017" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
</link>
```

```

        <link id="38" from="3949717" to="3949719"
length="445.07405291628436" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="39" from="3949719" to="3949720"
length="73.02202678041046" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="4" from="3949768" to="3949793"
length="153.79386304010384" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="40" from="3949720" to="3949721"
length="398.04821072547287" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="5" from="3949793" to="3949794"
length="196.73192218150842" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="6" from="3949794" to="3949795"
length="86.7472376443776" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="7" from="3949795" to="3949766"
length="144.31436446346598" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="8" from="3949766" to="3949844"
length="753.2343552359818" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
        <link id="9" from="3949844" to="3949845"
length="472.6079513033752" freespeed="8.333333333333334"
capacity="500.0" permlanes="1.0" oneway="1" modes="pt" >
        </link>
    </links>

```

```

<!--

```

```

=====
== -->

```

```

</network>

```

APÊNDICE B - ARQUIVO DE POPULAÇÃO

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!DOCTYPE plans SYSTEM
"http://www.matsim.org/files/dtd/plans_v4.dtd">
<plans>
    <person employed="no" id="1">

```

```
<plan selected="yes">
  <act end_time="10:40:15" y="9426109.511932697"
x="683620.5216932986" type="home"/>
  <leg mode="pt"/>
  <act end_time="11:08:00" y="9425033.156739946"
x="687198.1751443163" type="home"/>
</plan>
</person>
<person employed="no" id="2">
  <plan selected="yes">
    <act end_time="10:42:50" y="9426020.26591497"
x="683917.4155097281" type="home"/>
    <leg mode="pt"/>
    <act end_time="10:59:00" y="9425935.798457308"
x="683656.4319218926" type="home"/>
  </plan>
</person>
<person employed="no" id="3">
  <plan selected="yes">
    <act end_time="10:43:25" y="9426206.394747123"
x="684207.7144183167" type="home"/>
    <leg mode="pt"/>
    <act end_time="11:26:09" y="9424048.659387918"
x="684632.6436707187" type="home"/>
  </plan>
</person>
<person employed="no" id="4">
  <plan selected="yes">
    <act end_time="10:47:00" y="9426544.823302971"
x="683940.9635389632" type="home"/>
    <leg mode="pt"/>
    <act end_time="11:18:06" y="9424526.765170686"
x="684339.99855063527" type="home"/>
  </plan>
</person>
<person employed="no" id="5">
  <plan selected="yes">
    <act end_time="10:49:03" y="9426648.54373652"
x="683648.5398997631" type="home"/>
    <leg mode="pt"/>
    <act end_time="11:06:59" y="9425490.790886138"
x="687305.4995372184" type="home"/>
  </plan>
</person>
<person employed="no" id="6">
  <plan selected="yes">
    <act end_time="10:52:15" y="9426488.786201399"
x="683549.1161445178" type="home"/>
    <leg mode="pt"/>
    <act end_time="11:21:22" y="9425462.726164833"
x="683845.4417852069" type="home"/>
  </plan>
</person>
<person employed="no" id="7">
  <plan selected="yes">
```

```

        <act end_time="10:54:01" y="9426351.41039113"
x="683602.3067174198" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:05:08" y="9425554.993975196"
x="683649.0045025368" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="8">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="10:56:17" y="9426200.236660793"
x="683476.6298835551" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:13:00" y="9425325.320377639"
x="687391.7570870742" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="9">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="10:57:58" y="9426074.937316857"
x="683394.2597891791" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:09:17" y="9424915.702958047"
x="687268.0409826188" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="10">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="10:59:00" y="9425935.798457308"
x="683656.4319218926" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:29:15" y="9424779.69021074"
x="687446.1752425245" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="11">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:00:01" y="9425802.627500368"
x="683666.2831586705" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:15:19" y="9424636.352858296"
x="685567.5829311043" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="12">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:02:21" y="9425279.516727354"
x="683343.8417656074" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:24:03" y="9425369.2802142"
x="686562.130752218" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="13">
    <plan selected="yes">

```

```
        <act end_time="11:03:51" y="9425240.208414184"
x="683405.3809637725" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:27:00" y="9424324.978807088"
x="684465.8543000376" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="14">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:05:08" y="9425554.993975196"
x="683649.0045025368" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:22:59" y="9425745.714498436"
x="683795.0735638542" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="15">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:08:00" y="9425033.156739946"
x="687198.1751443163" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:19:03" y="9424753.544886082"
x="684196.8016574731" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="16">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:10:00" y="9424972.43534847"
x="687184.9303906527" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:36:11" y="9426562.249695998"
x="683595.0970890964" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="17">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:11:16" y="9425159.72291993"
x="687285.5453588818" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:38:13" y="9426086.99000304"
x="683754.0592727397" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="18">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:14:05" y="9425406.409299651"
x="687422.5738027617" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:33:01" y="9426415.547309596"
x="684152.385068342" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="19">
    <plan selected="yes">
```

```

        <act end_time="11:18:06" y="9424526.765170686"
x="684339.9985506352" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:37:00" y="9425998.247135483"
x="683512.3557492663" type="home"/>
    </plan>
</person>
<person employed="no" id="20">
    <plan selected="yes">
        <act end_time="11:20:11" y="9424882.359574396"
x="684119.5337233939" type="home"/>
        <leg mode="pt"/>
        <act end_time="11:34:12" y="9426597.26034681"
x="683849.0792702211" type="home"/>
    </plan>
</person>
</plans>

```

APÊNDICE C - ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO

```

<?xml version="1.0" ?>
<!DOCTYPE config SYSTEM
"http://www.matsim.org/files/dtd/config_v2.dtd">
<config>

    <module name="global">
        <param name="randomSeed" value="4711" />
    </module>

```

```

        <param name="coordinateSystem" value="gk3" />
</module>

<module name="network">
    <param name="inputNetworkFile" value="network.xml" />
</module>

<module name="plans">
    <param name="inputPlansFile" value="population.xml" />
</module>

<module name="transit">
    <param name="useTransit" value="true" />
    <param name="transitScheduleFile"
value="transitSchedule.xml" />
    <param name="vehiclesFile" value="transitVehicles.xml" />
    <param name="transitModes" value="pt" />
</module>

<module name="TimeAllocationMutator">
    <param name="mutationRange" value="7200.0"/>
</module>

<module name="controler">
    <param name="firstIteration" value="0" />
    <param name="lastIteration" value="0" />
    <param name="eventsFileFormat" value="xml" />
    <param name="writeEventsInterval" value="1" />
    <param name="writePlansInterval" value="50" />
</module>

<module name="qsim">
    <!-- "start/endTime" of MobSim (00:00:00 == take earliest
activity time/ run as long as active vehicles exist) -->
    <param name="startTime" value="06:00:00" />
    <param name="endTime" value="20:00:00" />
    <param name="snapshotperiod" value="00:00:00"/>
    <param name="removeStuckVehicles" value="false" />
    <param name="vehicleBehavior" value="wait" />
    <param name="flowCapacityFactor" value="1.0" />
    <param name="storageCapacityFactor" value="1.0" />
    <param name="snapshotStyle" value="queue" />
</module>

<module name="planCalcScore">
    <param name="BrainExpBeta" value="1.0" />
    <param name="lateArrival" value="-18" />
    <param name="earlyDeparture" value="-18" />
    <param name="performing" value="+6" />
    <param name="traveling" value="-6" /><!--
    <param name="waiting" value="0" />
    --><param name="constantWalk" value="-0" />
    <param name="marginalUtlOfDistanceWalk" value="0" />
    <param name="utilityOfLineSwitch" value="-1" />
    <param name="travelingWalk" value="-12" />

```

```

        <param name="activityType_0" value="home" />
<!-- home -->
        <param name="activityPriority_0" value="1" />
        <param name="activityTypicalDuration_0" value="18:00:00"
/>
    </module>

    <module name="strategy">
        <param name="maxAgentPlanMemorySize" value="5" /> <!-- 0
means unlimited -->

        <param name="ModuleProbability_1" value="0.8" />
        <param name="Module_1" value="ChangeExpBeta" />
        <param name="ModuleProbability_2" value="0.1" />
        <param name="Module_2" value="ReRoute" />
        <param name="ModuleDisableAfterIteration_3" value="90" />
        <param name="ModuleProbability_3" value="0.1" />
        <param name="Module_3" value="TimeAllocationMutator" />

    </module>

    <module name="transitRouter" >

        <!-- additional time the router allocates when a line
switch happens, Can be interpreted as a 'savity' time that agents
need to savely transfer from one line to another -->
        <param name="additionalTransferTime" value="0.0" />

        <!-- step size to increase searchRadius if no stops are
found -->
        <param name="extensionRadius" value="1000.0" />

        <!-- maximum beeline distance between stops that agents
could transfer to by walking -->
        <param name="maxBeelineWalkConnectionDistance"
value="1500.0" />

        <!-- the radius in which stop locations are searched,
given a start or target coordinate -->
        <param name="searchRadius" value="10000.0" />
    </module>
</config>

```

APÊNDICE D - ARQUIVO DE DESCRIÇÃO DO VEÍCULO

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<vehicleDefinitions xmlns="http://www.matsim.org/files/dtd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.matsim.org/files/dtd
http://www.matsim.org/files/dtd/vehicleDefinitions_v1.0.xsd">
    <vehicleType id="defaultTransitVehicleType">
        <capacity>

```

```

        <seats persons="101"/>
        <standingRoom persons="0"/>
    </capacity>
    <length meter="7.5"/>
    <width meter="1.0"/>
    <accessTime secondsPerPerson="1.0"/>
    <egressTime secondsPerPerson="1.0"/>
    <doorOperation mode="serial"/>
    <passengerCarEquivalents pce="1.0"/>
</vehicleType>
<vehicle id="tr_0" type="defaultTransitVehicleType"/>
</vehicleDefinitions>

```

APÊNDICE E - ARQUIVO DE CRONOGRAMA DE TRÂNSITO

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE transitSchedule SYSTEM
"http://www.matsim.org/files/dtd/transitSchedule_v2.dtd">
<transitSchedule>
    <transitStops>
        <stopFacility id="3949605" x="683620.5216932986"
y="9426109.511932697" linkRefId="20" name="P3949605"
isBlocking="false"/>
    
```

```
<stopFacility id="3949607" x="683917.4155097281"
y="9426020.26591497" linkRefId="22" name="P3949607"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949610" x="684207.7144183167"
y="9426206.394747123" linkRefId="24" name="P3949610"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949613" x="683940.9635389632"
y="9426544.823302971" linkRefId="27" name="P3949613"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949615" x="683648.5398997631"
y="9426648.54373652" linkRefId="29" name="P3949615"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949616" x="683549.1161445178"
y="9426488.786201399" linkRefId="31" name="P3949616"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949712" x="683602.3067174198"
y="9426351.41039113" linkRefId="32" name="P3949712"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949713" x="683476.6298835551"
y="9426200.236660793" linkRefId="33" name="P3949713"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949714" x="683394.2597891791"
y="9426074.937316857" linkRefId="34" name="P3949714"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949715" x="683656.4319218926"
y="9425935.798457308" linkRefId="19" name="P3949715"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949716" x="683666.2831586705"
y="9425802.627500368" linkRefId="36" name="P3949716"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949717" x="683580.5321693807"
y="9425656.436566764" linkRefId="37" name="P3949717"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949719" x="683343.8417656074"
y="9425279.516727354" linkRefId="38" name="P3949719"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949720" x="683405.3809637725"
y="9425240.208414184" linkRefId="39" name="P3949720"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949721" x="683649.0045025368"
y="9425554.993975196" linkRefId="40" name="P3949721"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949766" x="687305.4995372184"
y="9425490.790886138" linkRefId="7" name="P3949766"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949768" x="687198.1751443163"
y="9425033.156739946" linkRefId="3" name="P3949768"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949769" x="687268.0409826188"
y="9424915.702958047" linkRefId="1" name="P3949769"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949792" x="687184.9303906527"
y="9424972.43534847" linkRefId="2" name="P3949792"
isBlocking="false"/>
```

```
<stopFacility id="3949793" x="687285.5453588818"
y="9425159.72291993" linkRefId="4" name="P3949793"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949794" x="687391.7570870742"
y="9425325.320377639" linkRefId="5" name="P3949794"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949795" x="687422.5738027617"
y="9425406.409299651" linkRefId="6" name="P3949795"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949796" x="685567.5829311043"
y="9424636.352858296" linkRefId="10" name="P3949796"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949797" x="685202.3698062699"
y="9424336.635263342" linkRefId="11" name="P3949797"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949799" x="684339.9985506352"
y="9424526.765170686" linkRefId="14" name="P3949799"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949800" x="684196.8016574731"
y="9424753.544886082" linkRefId="15" name="P3949800"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949801" x="684119.5337233939"
y="9424882.359574396" linkRefId="16" name="P3949801"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949802" x="683845.4417852069"
y="9425462.726164833" linkRefId="17" name="P3949802"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949803" x="683795.0735638542"
y="9425745.714498436" linkRefId="18" name="P3949803"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949844" x="686562.130752218"
y="9425369.2802142" linkRefId="8" name="P3949844"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949845" x="686183.3176145381"
y="9425086.68707494" linkRefId="9" name="P3949845"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949847" x="684632.6436707187"
y="9424048.659387918" linkRefId="12" name="P3949847"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949848" x="684465.8543000376"
y="9424324.978807088" linkRefId="13" name="P3949848"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949855" x="687446.1752425245"
y="9424779.69021074" linkRefId="0" name="P3949855"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949949" x="684135.0824960738"
y="9426159.254533404" linkRefId="23" name="P3949949"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949950" x="684257.8282941179"
y="9426249.059996875" linkRefId="25" name="P3949950"
isBlocking="false"/>
<stopFacility id="3949951" x="684152.385068342"
y="9426415.547309596" linkRefId="26" name="P3949951"
isBlocking="false"/>
```

```

        <stopFacility id="3949952" x="683849.0792702211"
y="9426597.26034681" linkRefId="28" name="P3949952"
isBlocking="false"/>
        <stopFacility id="3950191" x="683595.0970890964"
y="9426562.249695998" linkRefId="30" name="P3950191"
isBlocking="false"/>
        <stopFacility id="3950199" x="683512.3557492663"
y="9425998.247135483" linkRefId="35" name="P3950199"
isBlocking="false"/>
        <stopFacility id="3961929" x="683754.0592727397"
y="9426086.99000304" linkRefId="21" name="P3961929"
isBlocking="false"/>
    </transitStops>
    <transitLine id="000">
        <transitRoute id="000_0">
            <transportMode>bus</transportMode>
            <routeProfile>
                <stop refId="3949855" arrivalOffset="00:00:00"
departureOffset="00:00:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949769" arrivalOffset="00:15:00"
departureOffset="00:15:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949792" arrivalOffset="00:30:00"
departureOffset="00:30:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949768" arrivalOffset="00:45:00"
departureOffset="00:45:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949793" arrivalOffset="01:00:00"
departureOffset="01:00:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949794" arrivalOffset="01:15:00"
departureOffset="01:15:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949795" arrivalOffset="01:30:00"
departureOffset="01:30:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949766" arrivalOffset="01:45:00"
departureOffset="01:45:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949844" arrivalOffset="02:00:00"
departureOffset="02:00:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949845" arrivalOffset="02:15:00"
departureOffset="02:15:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949796" arrivalOffset="02:30:00"
departureOffset="02:30:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949797" arrivalOffset="02:45:00"
departureOffset="02:45:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949847" arrivalOffset="03:00:00"
departureOffset="03:00:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949848" arrivalOffset="03:15:00"
departureOffset="03:15:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949799" arrivalOffset="03:30:00"
departureOffset="03:30:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949800" arrivalOffset="03:45:00"
departureOffset="03:45:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949801" arrivalOffset="04:00:00"
departureOffset="04:00:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949802" arrivalOffset="04:15:00"
departureOffset="04:15:00" awaitDeparture="false"/>
                <stop refId="3949803" arrivalOffset="04:30:00"
departureOffset="04:30:00" awaitDeparture="false"/>
            
```

```

        <stop refId="3949715" arrivalOffset="04:45:00"
departureOffset="04:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949605" arrivalOffset="05:00:00"
departureOffset="05:00:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3961929" arrivalOffset="05:15:00"
departureOffset="05:15:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949607" arrivalOffset="05:30:00"
departureOffset="05:30:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949949" arrivalOffset="05:45:00"
departureOffset="05:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949610" arrivalOffset="06:00:00"
departureOffset="06:00:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949950" arrivalOffset="06:15:00"
departureOffset="06:15:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949951" arrivalOffset="06:30:00"
departureOffset="06:30:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949613" arrivalOffset="06:45:00"
departureOffset="06:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949952" arrivalOffset="07:00:00"
departureOffset="07:00:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949615" arrivalOffset="07:15:00"
departureOffset="07:15:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3950191" arrivalOffset="07:30:00"
departureOffset="07:30:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949616" arrivalOffset="07:45:00"
departureOffset="07:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949712" arrivalOffset="08:00:00"
departureOffset="08:00:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949713" arrivalOffset="08:15:00"
departureOffset="08:15:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949714" arrivalOffset="08:30:00"
departureOffset="08:30:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3950199" arrivalOffset="08:45:00"
departureOffset="08:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949716" arrivalOffset="09:00:00"
departureOffset="09:00:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949717" arrivalOffset="09:15:00"
departureOffset="09:15:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949719" arrivalOffset="09:30:00"
departureOffset="09:30:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949720" arrivalOffset="09:45:00"
departureOffset="09:45:00" awaitDeparture="false"/>
        <stop refId="3949721" arrivalOffset="10:00:00"
departureOffset="10:00:00" awaitDeparture="false"/>
    </routeProfile>
    <route>
        <link refId="0"/>
        <link refId="1"/>
        <link refId="2"/>
        <link refId="3"/>
        <link refId="4"/>
        <link refId="5"/>
        <link refId="6"/>
        <link refId="7"/>
        <link refId="8"/>
    </route>

```

```
<link refId="9"/>
<link refId="10"/>
<link refId="11"/>
<link refId="12"/>
<link refId="13"/>
<link refId="14"/>
<link refId="15"/>
<link refId="16"/>
<link refId="17"/>
<link refId="18"/>
<link refId="19"/>
<link refId="20"/>
<link refId="21"/>
<link refId="22"/>
<link refId="23"/>
<link refId="24"/>
<link refId="25"/>
<link refId="26"/>
<link refId="27"/>
<link refId="28"/>
<link refId="29"/>
<link refId="30"/>
<link refId="31"/>
<link refId="32"/>
<link refId="33"/>
<link refId="34"/>
<link refId="35"/>
<link refId="36"/>
<link refId="37"/>
<link refId="38"/>
<link refId="39"/>
<link refId="40"/>
</route>
<departures>
<departure id="000" departureTime="08:15:00" vehicleRefId="tr_0"/>
</departures>
</transitRoute>
</transitLine>
</transitSchedule>
```