

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA REDE DE  
TRANSPORTE DE SISTEMAS DE OPERAÇÃO EXCLUSIVA  
EM CORREDORES DE ÔNIBUS – BRT COM BASE NA  
MEDIDA DA CENTRALIDADE**

**EDWIN FERNANDO MUÑOZ PIPICANO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE DE  
SISTEMAS DE OPERAÇÃO EXCLUSIVA EM CORREDORES DE  
ÔNIBUS – BRT COM BASE NA MEDIDA DE CENTRALIDADE**

**EDWIN FERNANDO MUÑOZ PIPICANO**

**ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM – 008A/2014**

**BRASÍLIA/DF: JULHO /2014**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE DE  
SISTEMAS DE OPERAÇÃO EXCLUSIVA EM CORREDORES DE  
ÔNIBUS – BRT COM BASE NA MEDIDA DE CENTRALIDADE

EDWIN FERNANDO MUÑOZ PIPICANO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA  
A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:



---

Prof. Pastor Willy Gonzales Taco, Dr. (UnB)  
(ORIENTADOR)



---

Prof.ª Michelle Andrade, Dr.ª.(UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)



---

Prof. Luis Antônio Lindau, PhD.(UFRGS)  
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 03 DE JULHO DE 2014.

## FICHA CATALOGRÁFICA

EDWIN FERNANDO MUÑOZ PIPICANO

Análise da vulnerabilidade da rede de transporte de sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus – BRT com base na medida de centralidade.

xviii, 103p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2014).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Vulnerabilidade

2. Redes de Transporte

3. Sistemas BRT

4. Centralidade de Intermediação

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIPICANO, E. F. (2014). Análise da vulnerabilidade da rede de transporte de sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus – BRT com base na medida de centralidade. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 008A/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 103p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Edwin Fernando Muñoz Pipicano.

TÍTULO: Análise da vulnerabilidade da rede de transporte de sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus – BRT com base na medida de centralidade.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do mesmo.

---

Edwin Fernando Muñoz Pipicano  
SQN 216, Bloco A, Apto 320  
70875-010 – Brasília – DF – Brasil.  
oruatmp@gmail.com

*"Planeja o difícil enquanto ainda é fácil, faz o que é grande enquanto ainda é pequeno. As coisas mais difíceis devem ser feitas enquanto ainda são fáceis, as maiores, enquanto ainda são pequenas. Por isso, o sábio nunca faz o que é grande, e é por este motivo que sempre alcança a grandeza."*  
SUN TZU (A Arte da Guerra)

## DEDICATÓRIA

*A minha namorada Claudia,  
Por sua manifestação de amor, paciência, apoio e compreensão.*

*A minha mãe, a meu pai e a minhas irmãs,  
Porque tem sido a guia e o suporte nesta etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Um trabalho como este não se faz sozinho. Ainda que a responsabilidade pelos erros e omissões seja meus, uma vez que sou o redator desta dissertação e boa parte do que está aqui escrito seja fruto das minhas reflexões, há pessoas que me auxiliaram durante a elaboração de tal forma que preciso creditar a elas do resultado alcançado. De certa forma, agradeço a todos pela solidariedade, colaboração e disponibilidade.

Inicialmente, agradeço à minha querida família, meus pais, Edith Carmenza Pipicano e Juvenal Muñoz, às minhas irmãs, Paola e Angela M. à minha namorada Claudia pelo apoio dado ao longo de todo o curso, ao Wilmer Pipicano pelas excelentes contribuições, e ao Christian Pipicano, William Pipicano e Mario Loaiza pela ajuda na procura dos dados. Ao meu orientador, Prof. Pastor Willy Gonzales Taco, por ter aceitado me orientar e auxiliado durante todo o desenvolvimento do trabalho. Agradeço aos demais membros titulares da banca, professores Michele Andrade e Luis Antônio Lindau, por terem aceitado participar da avaliação e pelas contribuições dadas.

Agradeço o Programa de Pós-Graduação em Transportes – PPGT e a todos os professores deste departamento, pela oportunidade dada e pelos ensinamentos obtidos.

Agradeço às instituições CNPQ que possibilitou através da concessão de uma bolsa de estudos, minha permanência em Brasília e, assim, o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, ao qual me acompanharam durante a empreitada e que contribuíram para o meu aprendizado: Ana Maria Moreira, Cristiane Ferraz, Erica Silva, Grazielle Moura, Michelle Arcúrio, Adilson Indi, Luiz Soares, Paulo V. Hermetério e em especial ao Rodrigo Rosa Cruvinel, o qual colaborou de maneira integral.

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram vencer. Umhas com palavras, outras com tolerância, mas isso me fez encontrar a direção certa. A todas as demais pessoas, não mencionadas, porém não esquecidas, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

No final agradeço a Deus, porque Ele é tudo. Obrigado por tudo que acontece na minha vida.

## RESUMO

O objetivo do presente estudo foi desenvolver um método para determinar a vulnerabilidade da rede de transporte de Sistemas de Operação Exclusiva em Corredores de Ônibus - BRT (*Bus Rapid Transit*), que permitiu classificar seus elementos e identificar os trechos mais importantes. Foram tratados conceitos relacionados com Sistemas BRT, vulnerabilidade, redes de transporte e centralidade de intermediação, com o fim de obter a base teórica para o desenvolvimento do método. O método compreendeu sete etapas: i) Caracterização da rede de transporte do Sistema BRT; ii) Identificação dos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT, baseada na medida da Centralidade de intermediação; iii) Criação de cenários de interrupção na rede de transporte do Sistema BRT; iv) Avaliação dos impactos das interrupções nos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT; v) Classificação da rede de transporte do Sistema BRT segundo a sua vulnerabilidade; e, vi) Análise dos resultados e proposta de medidas de mitigação. Este método foi aplicado no sistema de transporte de massa Transmilenio (TM) de Bogotá, na Colômbia. Na rede, identificou-se os arcos mais vulneráveis (agrupados em trechos) e também, foi realizada uma classificação de acordo com o *ranking* de vulnerabilidade, elaborado a partir do cálculo da centralidade de intermediação e o cálculo do impacto produzido pela ocorrência de um incidente, com foco na operação e nos usuários deste sistema. Como resultado, encontrou-se que os trechos mais vulneráveis são os que compõem o Troncal Caracas Norte, com uma participação de 20,4% em relação aos outros trechos da rede de transporte. Com as análises dos resultados, foi possível propor medidas de mitigação para diminuir o impacto pelas ocorrências de incidentes, resultantes de ações humanas ou naturais, de maneira planejada ou imprevisível. Levando-se em consideração esses aspectos, o método poderá contribuir de forma significativa na geração de benefícios sociais e econômicos para uma cidade. Adicionalmente, este estudo, pode-se constituir em uma ferramenta importante para os planejadores e os tomadores de decisões para auxiliar no planejamento de novos investimentos, priorização da manutenção e ou ampliação dos corredores de transporte público.

**Palavras chave:** Sistemas BRT, vulnerabilidade, redes de transporte, centralidade de intermediação.



## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue desarrollar un método para analizar la vulnerabilidad de la red de transporte de Sistemas de Autobuses de Tránsito Rápido – BRT (*Bus Rapid Transit*), que permitió clasificar sus elementos e identificar los tramos más importantes. Fueron consultados conceptos relacionados con Sistemas BRT, vulnerabilidad, redes de transporte y centralidad, con el fin de obtener una base teórica para el desarrollo del método. El método comprendió siete etapas: i) Caracterización de la red de transporte del Sistema BRT; ii) Identificación de los arcos más importantes de la red de transporte del Sistema BRT, con base en la medida de centralidad de intermediación; iii) Creación de escenarios de interrupción en la red de transporte del Sistema BRT; iv) Evaluación de los impactos de las interrupciones en los arcos más importantes de la red de transporte del Sistema BRT; v) Clasificación de la red de transporte del Sistema BRT según su vulnerabilidad; y, vi) Análisis de los resultados y propuesta de medidas de mitigación. Este método fue aplicado en el sistema de transporte masivo Transmilenio de Bogotá, en Colombia. Como resultado, en la red se identificaron los arcos más vulnerables (agrupados en tramos) y también se logró realizar una clasificación de acuerdo con el *ranking* de vulnerabilidad, elaborado a partir del cálculo de la centralidad de intermediación y del cálculo del impacto producido por la ocurrencia de un incidente, con foco en la operación y en los usuarios de estos sistemas. Como resultado se encontró que los tramos más vulnerables son los que componen la Troncal Caracas Norte, con una participación de 20,4% en relación con los otros trechos de la red de transporte. Con el análisis de los resultados fue posible proponer medidas de mitigación, para disminuir el impacto generado por la ocurrencia de incidentes que resultan de acciones humanas o naturales, de forma planeada o imprevisible. Tomando en consideración esos aspectos, el método podrá contribuir de forma significativa en la generación de beneficios sociales y económicos para una ciudad. Adicionalmente, puede convertirse en una herramienta importante para los planeadores e tomadores de decisiones como un apoyo en el planeamiento de nuevas inversiones, priorizando obras de mantenimiento y/o ampliación de corredores de transporte público.

**Palabras clave:** Sistemas BRT, vulnerabilidad, redes de transporte, centralidad de intermediación.

## ABSTRACT

The aim of this study was to develop a method to analyze the vulnerability of the transport network of Bus Rapid Transit (BRT), that allowed classifying and identifying the most important sections. Among the concepts consulted were: BRT Systems, vulnerability, transport network and centrality, to obtain a theoretical basis for the method development. The method encompassing seven stages: i) Characterization of the transport network of the BRT system; ii) Identification of the major links of the transportation network of the BRT system, based on the betweenness centrality measure; iii) Creation of disruption scenarios; iv) Evaluation of the impact of disruptions of the major arcs of the transportation network of the BRT system; v) Classification of transport network of the BRT system according to their vulnerability vi) Analysis of results and proposed mitigation measures. This method was applied to the mass transportation system *Transmilenio* in Bogotá, Colombia. As a result, the most vulnerable links of the network (grouped into sections ) were identified, and also it was possible make a classification according to the ranking of vulnerability, made from calculation of betweenness centrality and calculation of the impact caused by the occurrence of an incident, focusing on the operation and the users of this system. It resulted most vulnerable the segments that compose the *Troncal Caracaras Norte*, with a share of 20,24% in relation with the others segments of the transport network. With the analysis of the results made it will be possible to propose mitigation measures to reduce the impact caused by the occurrence of incidents resulting from human or natural actions , in a planned or unexpected. Considering these aspects, the method can significantly contribute in generating social and economic benefits for the city. Also, it can become an important tool for planners and decision makers as an aid in planning new investments , prioritizing maintenance and/or expanding of public transport corridors.

**Key words:** BRT System, vulnerability, transport networks, betweenness centrality.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	APRESENTAÇÃO .....	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	2
1.3	HIPÓTESE.....	2
1.4	OBJETIVOS .....	2
1.4.1	Objetivo geral .....	2
1.4.2	Objetivos específicos.....	3
1.5	JUSTIFICATIVA.....	3
1.6	ESTRUTURA METODOLÓGICA DA DISSERTAÇÃO.....	4
2.	VULNERABILIDADE DE REDES DE TRANSPORTE.....	7
2.1	APRESENTAÇÃO .....	7
2.2	REDE DE TRANSPORTE .....	7
2.2.1	Terminologia de rede.....	8
2.2.2	Representação de uma rede de transporte .....	11
2.3	VULNERABILIDADE.....	13
2.3.1	Conceito de vulnerabilidade de redes de transporte .....	13
2.3.2	Estudos de vulnerabilidade de redes de transporte.....	17
2.4	TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	20
3.	REDE DE TRANSPORTE DE SISTEMAS BRT.....	22
3.1	APRESENTAÇÃO .....	22
3.2	DEFINIÇÃO DE BRT .....	22
3.2.1	Elementos Básicos de um BRT .....	23
3.3	DEFINIÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE BRT.....	27
3.3.1	Medida da centralidade de redes de transporte .....	28
3.4	TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	32
4.	MÉTODO PARA ANALISAR A VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE DE SISTEMAS BRT .....	33
4.1	APRESENTAÇÃO .....	33
4.2	CONSIDERAÇÕES DO MÉTODO.....	33

4.3 ETAPAS DO MÉTODO .....	34
4.3.1 Etapa I: Caracterização da rede de transporte do Sistema BRT .....	36
4.3.2 Etapa II: Identificação dos arcos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT .....	37
4.3.3 Etapa III: Criação de cenários de interrupção .....	40
4.3.4 Etapa IV: Avaliação dos impactos das interrupções nos arcos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT .....	42
4.3.5 Etapa V: Classificação da rede de transporte de Sistemas BRT segundo a sua vulnerabilidade.....	45
4.3.6 Etapa VI: Análise dos resultados e proposta de medidas de mitigação .....	46
4.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	47
5. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA REDE BRT DO SISTEMA TRANSMILÊNIO (TM) .....	49
5.1 APRESENTAÇÃO .....	49
5.2 TRANSMILÊNIO (TM) .....	49
5.3 CARATERIZAÇÃO DA REDE DE TRANSMILÊNIO (TM).....	54
5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ARCOS MAIS IMPORTANTES DA REDE DE TRANSPORTE.....	55
5.5 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INTERRUPÇÃO .....	59
5.6 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS INTERRUPÇÕES NOS ARCOS MAIS IMPORTANTES DA REDE DE TRANSPORTE .....	62
5.7 CLASSIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE SEGUNDO SUA VULNERABILIDADE .....	63
5.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	65
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	67
6.1 APRESENTAÇÃO .....	67
6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO .....	67
6.2.1 Análises dos resultados da Etapa I .....	67
6.2.2 Análises dos resultados da Etapa II.....	68
6.2.3 Análises dos resultados da Etapa III.....	71
6.2.4 Análises dos resultados da Etapa IV .....	72
6.2.5 Análises dos resultados da Etapa V.....	73
6.2.6 Análises dos resultados da Etapa VI .....	75
6.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	77

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	78
7.1 APRESENTAÇÃO .....	78
7.2 CONCLUSÕES .....	78
7.3 RECOMENDAÇÕES .....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura da metodologia da dissertação.....	6
Figura 2.1 Representação gráfica de uma rede real.....	9
Figura 2.2 Rede física de transporte.....	11
Figura 2.3 Grafo orientado e não orientado.....	11
Figura 2.4 Base de dados relativa à representação de uma rede simples.....	12
Figura 2.5 Exemplo de rede de transporte.....	12
Figura 2.6 Roda de conceitos.....	16
Figura 2.7 Arranjo de possíveis ameaças à funcionalidade da rede de transporte.....	16
Figura 3.1 Tipos de vias para corredores BRT.....	24
Figura 4.1 Esquema geral do método.....	35
Figura 4.2 Aglomeração dos elementos da rede de transporte.....	36
Figura 4.3 Representação de uma rede de um Sistema BRT e sua operação.....	37
Figura 4.4 Procedimento para a criação dos cenários.....	41
Figura 4.5 Análise de vulnerabilidade da rede de transporte.....	46
Figura 5.1 Mapa do sistema Transmilênio (TM).....	50
Figura 5.2 Fases de Transmilênio (TM).....	51
Figura 5.3 Total de viagens em TM em um dia típico em Bogotá – Origem.....	52
Figura 5.4 Total de viagens em TM em um dia típico em Bogotá – Destino.....	52
Figura 5.5 Concentração de restaurantes em Bogotá.....	53
Figura 5.6 Carregamento da rede de TM 2011.....	53
Figura 5.7 Troncais da rede de Transmilênio (TM).....	54
Figura 5.8 Centralidade com foco na operação.....	56
Figura 5.9 Centralidade com foco nos usuários.....	56
Figura 5.10 Centralidade global para o cenário crítico <b>CBg_c</b> e ótimo <b>CBg_ó</b> .....	59

Figura 5.11 Localização dos trechos de cada cenário. ....	61
Figura 5.12 Percentual de vulnerabilidade dos trechos. ....	64
Figura 5.13 Mapa dos trechos mais vulneráveis.....	65
Figura 6.1 Etapas do método para determinar a vulnerabilidade. ....	67
Figura 6.2 Resultado da centralidade para a operação e os usuários.....	69
Figura 6.3 Infraestrutura física da rede de transporte, zona estação Escuela Militar. ....	70
Figura 6.4 Trechos mais importantes da rede.....	70
Figura 6.5 Ingressos e saídas Sistema Transmilênio (TM). ....	72
Figura 6.6 Trecho entre estação Escuela Militar e Héroes .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Estudos de vulnerabilidade com medidas e elementos da rede. ....	20
Tabela 3.1 Opções de veículos para sistemas BRT. ....	25
Tabela 4.1 Cenários de interrupção para sistemas BRT em operação. ....	42
Tabela 4.2 Exemplo de classificação de uma rede segundo sua vulnerabilidade.....	46
Tabela 5.1 Cálculo de centralidade (operação – usuários). ....	57
Tabela 5.2 Ranking dos trechos para o cenário crítico e ótimo.....	58
Tabela 5.3 Cenários de interrupção. ....	60
Tabela 5.4 Impacto na operação nos diferentes cenários de interrupção. ....	62
Tabela 5.5 Impacto nos usuários nos diferentes cenários de interrupção.....	63
Tabela 5.6 Vulnerabilidade dos trechos por ordem decrescente. ....	64



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 Conceitos de redes e suas definições.....	9
Quadro 5.1 Cenários de interrupção e suas características.....	60

## LISTA DE SIGLAS

**Au.** – Autopista

**BRT** – *Bus Rapid Transit*

**BHLS** – *Bus with High Level of Service*

**DF** – Distrito Federal

**m** – Metros

**min** - Minutos

**OMU** – Observatório de Mobilidade Urbana

**PAC** – Programa de Aceleração do Crescimento

**FTA** – *Federal Transit Administration*

**ID** – Identificação

**ITS** – *Intelligent Transportation System*

**ITDP** – *The Institute for Transportation and Development Policy*

**Kms** – Quilômetros

**RTI** – *Real Time Information*

**SIG** – Sistemas de Informação Geográfica

**SITP** – Sistema Integrado de Transporte Público

**TM** – Transmilênio

**S.A.** – Sociedade Anônima

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Os serviços de transporte público são uma necessidade para a população, embora em países desenvolvidos, onde a qualidade de vida é alta e com elevada taxa de motorização particular, o volume de usuários transportados nestes serviços públicos constitui um fator muito significativo, por isso, a importância de uma operação certa e um controle adequado por parte das autoridades (Cal e Mayor e Cárdenas, 2007). Nesse sentido, para o Observatório de Mobilidade Urbana (OMU), em áreas metropolitanas de 15 cidades latino-americanas diariamente realizam-se 214 milhões de viagens, dos quais 43,1% dos deslocamentos são feitos utilizando transporte público (OMU, 2010). Esta demanda deve ser atendida por um transporte público que permita um deslocamento rápido, econômico e de qualidade. Atualmente os principais sistemas de transporte público existentes no âmbito urbano correspondem aos de tipo ônibus, trem, metrô e os Sistemas BRT.

O Sistema de Operação Exclusiva em Corredores de Ônibus - BRT (*Bus Rapid Transit*) é um sistema de transporte público por ônibus que deve proporcionar mobilidade urbana rápida, confortável, eficaz, eficiente, funcional e com custo razoável. Este sistema basicamente se assemelha as características de desempenho e conforto dos modernos sistemas de transporte sobre trilhos, mas a um custo menor (Wright e Hook, 2008). Conforme a BRTBRASIL (2013), no total, em 156 cidades dos cinco continentes já implementaram Sistemas BRT ou corredores de ônibus prioritários, atendendo aproximadamente cerca de 26 milhões de usuários diariamente. Desde 1970, há uma crescente demanda de Sistemas BRT por cidades que procuram uma solução de transporte urbano sustentável e de baixo custo. Apesar dos Sistemas BRT conterem infraestrutura de qualidade com manutenção preventiva, operações eficientes, tecnologia sofisticada e serviço ao usuário adequado, também estão sujeitos às ocorrências que causem interrupções na rede de transporte destes sistemas.

As interrupções da rede de transporte dos Sistemas BRT podem ser causadas por diferentes tipos de incidentes, resultantes de ações humanas ou naturais, de maneira planejada ou imprevisível. Estes incidentes devem ser mensurados e avaliados, de modo que se consiga identificar os elementos mais importantes da rede de transporte do Sistema

BRT e seu grau de impacto. Quanto à representação gráfica da rede de transporte destes sistemas, esta é convencionalmente representada por meio de um conjunto de arcos e nós, sendo assim uma analogia às suas estruturas e seus fluxos de veículos e usuários. Existem alguns métodos para identificar e medir os efeitos produzidos nestes elementos, tais como a análise da vulnerabilidade da rede de transporte (Cats e Jenelius, 2012).

As análises da vulnerabilidade das redes de transporte são estratégias que servem para identificar os fatores que ajudam no entendimento e na avaliação de incidentes ou eventos planejados que podem alterar a funcionalidade da rede de um sistema de transporte de massa, como o Sistema BRT. Os acontecimentos que afetam a funcionalidade do sistema terminam impactando na operação e afetando os usuários. Uma vez produzidas as interrupções no sistema, dificilmente se recuperará a credibilidade da sua eficácia e funcionalidade. Assim, buscar-se-á analisar a susceptibilidade às interrupções que podem resultar em uma considerável redução na funcionalidade da rede de transporte de um Sistema BRT.

## **1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Como avaliar as possíveis interrupções e seus impactos na rede de transporte de um Sistema BRT?

## **1.3 HIPÓTESE**

A análise da vulnerabilidade da rede de transporte de um Sistema BRT permite identificar os elementos mais importantes na funcionalidade da sua rede e avaliar os impactos ocasionados por incidentes que possam causar interrupções.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo geral**

Desenvolver um método para determinar a vulnerabilidade da rede de transporte de Sistemas BRT, na ocorrência de incidentes que possam causar uma diminuição da funcionalidade da rede.

#### 1.4.2 **Objetivos específicos**

- Identificar e classificar os arcos mais vulneráveis da rede de transporte de um sistema BRT.
- Avaliar os impactos gerados pela ocorrência de um incidente que possa gerar uma interrupção nos elementos mais importantes da rede de transporte de um Sistema BRT.
- Aplicar o método no Sistema BRT Transmilênio (TM) de Bogotá, na Colômbia.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

Assim como em outros países, no Brasil vem sendo implementados sistemas BRT, principalmente pelo Programa de Aceleração do Crescimento - Mobilidade Urbana (PAC de Mobilidade Urbana), gerenciado pelo governo federal brasileiro (Sinaenco, 2010). Os objetivos de Sistemas BRT em planejamento e implantação são diminuir os congestionamentos, reduzir os impactos ambientais crescentes, tornar atrativo o transporte público para os usuários e permitir o deslocamento de forma rápida, conveniente, acessível e confortável em condições de operação normais.

Em um Sistema BRT a rede de transporte é o elemento articulador que possibilita a funcionalidade do sistema. As interrupções que afetem a funcionalidade do sistema podem ocasionar aumentos nos custos operacionais e produzir acréscimos no tempo de viagem para os usuário. Porém, espera-se que os elementos que compõem o Sistema BRT, principalmente a rede de transporte, sejam capazes de resistir ou se recuperar rapidamente de alterações causadas por diferentes incidentes involuntários ou eventos planejados, envolvendo ações naturais ou humanas.

A análise da vulnerabilidade da rede de transporte de um Sistema BRT pode permitir prever ou diminuir a ocorrência de interrupções na rede, causadas tanto por degradações da infraestrutura física quanto por degradações do serviço. A previsão de possíveis interrupções facilita a adoção de ações que ajudam na mitigação dos impactos, aumentando a confiabilidade do sistema, diminuindo os custos operacionais e garantindo uma boa qualidade do sistema.

A análise de aplicação dos estudos de vulnerabilidade da rede de transporte no caso do sistema de transporte de massa possibilitou a aquisição de conhecimento de um sistema já em operação, como é o caso do Sistema Transmilênio (TM). Além disso, o estudo poderá servir como um instrumento para a gestão da operação da rede de transporte de um Sistema BRT e na construção, manutenção e reabilitação da infraestrutura da rede. Adicionalmente, servirá no planejamento, acompanhamento e monitoramento de novos projetos de Sistemas BRT.

## **1.6 ESTRUTURA METODOLÓGICA DA DISSERTAÇÃO**

No desenvolvimento do estudo, a metodologia da dissertação está detalhada em quatro fases, como se apresenta na Figura 1.1.

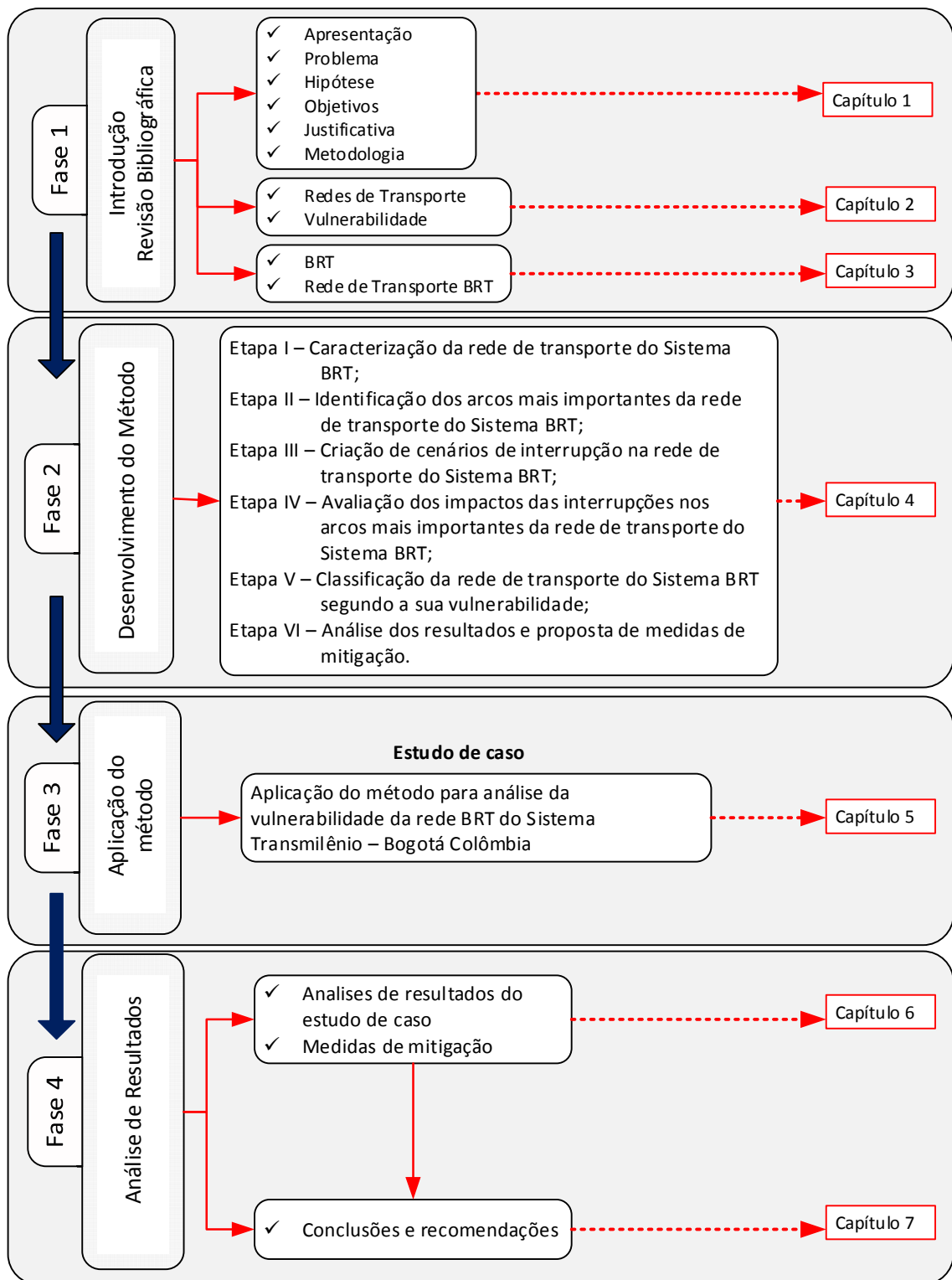
*Fase 1- Revisão bibliográfica:* nesta fase foram adquiridos os conhecimentos relacionados com o tema da pesquisa, com o propósito de obter a base teórica para o desenvolvimento do estudo. Foram abordados conceitos como: redes de transporte, vulnerabilidade, vulnerabilidade em redes de transporte público, centralidade de redes e sua medida e redes de transporte de Sistemas BRT.

*Fase 2 – Desenvolvimento do método:* nesta fase foi desenvolvido o método, com base na análise de vulnerabilidade, o que permitiu a medição e avaliação da vulnerabilidade das redes de transporte de Sistemas BRT, conforme as seguintes etapas:

- **Etapa I** – Caracterização da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa II** – Identificação dos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa III** – Criação dos cenários de interrupção na rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa IV** – Avaliação dos impactos das interrupções nos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa V** – Classificação da rede de transporte do Sistema BRT segundo a sua vulnerabilidade;
- **Etapa VI** – Análise dos resultados e proposta de medidas de mitigação.

*Fase 3 – Aplicação do método:* nesta fase o método foi avaliado através de sua aplicação como estudo de caso no sistema de transporte de massa de Bogotá Transmilênio (TM), na Colômbia, já com 13 anos de operação.

*Fase 4 – Análise dos resultados:* com o desenvolvimento do método e sua aplicação no estudo de caso do Sistema BRT Transmilênio (TM) de Bogotá, na Colômbia, foram determinadas as variáveis que atuam dentro da análise de vulnerabilidade e seus impactos na rede de transporte do Sistema BRT. Estas informações podem ser utilizadas para o planejamento de novos Sistemas BRT e, na melhora e conservação de BRT's em funcionamento.



**Figura 1.1** Estrutura da metodologia da dissertação.



## **2. VULNERABILIDADE DE REDES DE TRANSPORTE**

### **2.1 APRESENTAÇÃO**

O funcionamento de uma rede de transporte é vulnerável à ocorrência de interrupções. Esta vulnerabilidade da rede de transporte depende da sua geometria e sua conectividade, de modo que, com elevado volume de passageiros que se deslocam dentro de uma rede de transporte em diferentes horários de um dia, pode ser benéfico para a produtividade de uma cidade, estabelecer mecanismos que permitam identificar os trechos com a maior vulnerabilidade, a fim de empreender soluções para diminuir o impacto dessas interrupções.

Nesse contexto, o presente capítulo teve como objetivo adquirir a base teórica acerca dos elementos que envolvem o estudo de vulnerabilidade de redes de transporte. O intuito foi contribuir na elaboração de um método que permita a análise da vulnerabilidade nas redes de transporte de sistemas BRT. Para tanto foram abordados os conceitos de redes de transporte, a terminologia, a representação gráfica e matemática e, por último, o conceito de vulnerabilidade de redes de transporte.

### **2.2 REDE DE TRANSPORTE**

Segundo Vallejo (2004) o conceito de rede apareceu associado com a noção básica de malha como um tecido. Para Bell e Lida (1997) o termo rede refere-se à representação de arcos inseridos em um sistema de localizações, identificado como nós, em que os arcos compõem os movimentos entre os nós, que por sua vez representam um ponto no espaço (e provavelmente também em tempo). Uma rede de transporte se define como uma rede de fluxo apresentando o movimento de pessoas, veículos e/ou bens. Portanto, os sistemas de transporte são comumente representados usando redes como uma analogia para as suas próprias estruturas e os seus fluxos (Bell e Lida, 1997).

Em uma rede de transporte, uma rota é um único arco entre dois nós que faz parte de uma rede maior que podem referir-se às rotas tangíveis, tais como rodovias ou trilhos, ou rotas menos tangíveis, tais como vias aéreas ou marítimas. Estes elementos podem ser relacionados com ajuda da teoria dos grafos. Um grafo é uma representação simbólica de uma rede e sua conectividade, implicando uma abstração da realidade que pode ser

simplificada como um conjunto de nós e arcos. O objetivo de um grafo é representar a estrutura, não à aparência da rede (Rodrigue *et al.*, 2009).

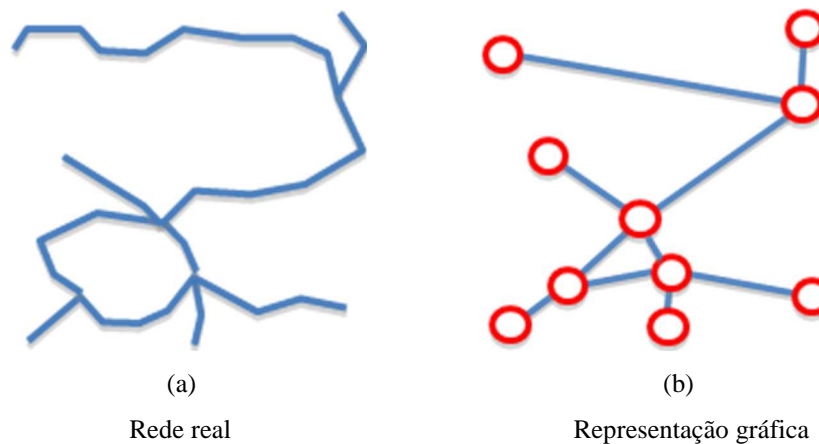
Uma rede de transporte é um conjunto de infraestruturas e de serviços fornecido em um alinhamento fixo para operação de veículos com uma programação determinada, que se conectam ou se cruzam. Este conjunto necessita que haja coordenação e integração de serviços em uma área, de forma a torná-la mais eficiente e conveniente para os usuários (Vuchic, 2005). Assim, com a finalidade de prever como a demanda por mobilidade se manifesta em espaço e tempo, é necessário representar a infraestrutura de forma simples em relação a sua topologia, mas de um modo suficientemente detalhado sob o aspecto da informação a ser analisada. A abordagem adotada, é a representação da infraestrutura por um conjunto de arcos e nós (Bell e Lida, 1997).

### 2.2.1 Terminologia de rede

Segundo CALIPER (2007) as redes de transporte são utilizadas para analisar a maneira como as pessoas e mercadorias fluem de um local para outro e são convencionalmente representadas com base em técnicas da teoria dos grafos como um conjunto de nós e arcos. Um arco conecta dois nós e um nó conecta dois ou mais arcos. Os arcos podem ser orientados quando são especificados os sentidos de movimentos e, não orientados quando os movimentos não são especificados (Bell e Lida, 1997). Assim, segundo Rodrigue *et al.*, (2009) a conversão de uma rede real em um grafo plano é um processo que deve cumprir algumas regras básicas:

- a) Cada ponto final ou ponto de interseção torna-se um nó;
- b) Cada nó conector é unido por um segmento em linha reta. Dois arcos podem ser paralelos se estes conectam o mesmo par de nós em sua mesma direção. Um laço é um arco com o mesmo nó em cada ponta;
- c) Um nó que não é terminal ou ponto de interseção pode ser adicionado posteriormente ao desenho;
- d) Um nó *dummy* é um nó representativo que pode ser aderido a fim de expor graficamente a rede real;
- e) Não é condicionante obrigatória que a localização efetiva de cada nó corresponda ao apresentado no mundo real.

A seguir na Figura 2.1 se pode observar o resultado de uma rede real (a) e da sua representação gráfica (b).



**Figura 2.1** Representação gráfica de uma rede real.  
**Fonte:** adaptada de Rodrigues et al., (2009).

Assim, os grafos que se utilizam na análise territorial são grafos ponderados. Ou seja, são grafos em que os arcos possuem valores como: tamanho, capacidade, custo ou tempo da viagem, dentre outras características. Vale ressaltar ainda que, os grafos não são formados pela totalidade dos arcos possíveis, já que, se todos os arcos são considerados, a influência é insignificante no resultado final, além de trazer consigo uma compilação desnecessária dos cálculos, pelo excesso de nós e arcos. Deste modo, deve-se apenas considerar conectar os pontos mais representativos da rede de transporte a ser analisada (Herce, 2009). No Quadro 2.1 apresenta-se os conceitos de forma resumida a serem considerados quando se trabalha com redes de transporte.

**Quadro 2.1** Conceitos de redes e suas definições.

CONCEITO	DEFINIÇÃO	REPRESENTAÇÃO
Nó	União de dois ou mais arcos.	
Arco ( <i>link</i> )	Condutor do fluxo entre dois nós ( $i, j$ ).	

CONCEITO	DEFINIÇÃO	REPRESENTAÇÃO
Centróide	A representação de uma área de análise.	
Conector	Arco entre um centróide e um nó interno.	
Caminho	Uma sequência de nós conectados por arcos em uma direção, de forma que um movimento seja viável a partir do primeiro nó para o último nó de maneira sequencial. Muitas vezes, o primeiro e o último nó na sequência são centróides.	
Ciclo	Um caminho com o mesmo nó em cada extremo.	
Árvore	Uma rede onde cada nó pode ser visitado apenas uma única vez.	

**Fonte:** adaptado de Bell et al., (1997).

Tendo como base os conceitos apresentados, tem-se que toda rede de transporte pode ser representada pela teoria dos grafos. Dessa maneira, a rede física de transporte, define-se pelo grafo orientado  $G(V, E)$ , ou seja, o grafo  $G$  é um conjunto de nós  $V$ , conectados pelos arcos  $E$  (Ruohonen, 2013). Neste caso o nó  $V$  é um terminal ou um ponto de interseção de um grafo. O arco  $e$  é uma linha entre dois nós e o arco  $(i, j)$  está entre o início de  $i$  e o final de  $j$ . Gráficamente representada na Figura 2.2 e matematicamente por  $G(V, E)$ , em que:

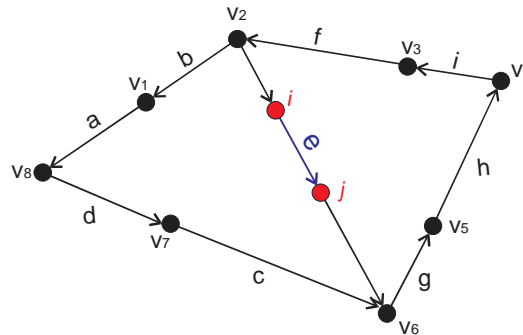
$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8\}$$

$$E = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, j\}$$

$$E = \{(v_1, v_8), (v_2, v_1), (v_1, v_6), (v_8, v_7), (i, j), (v_3, v_2), (v_6, v_5), (v_5, v_4), (v_4, v_3), (v_3, v_2)\}$$

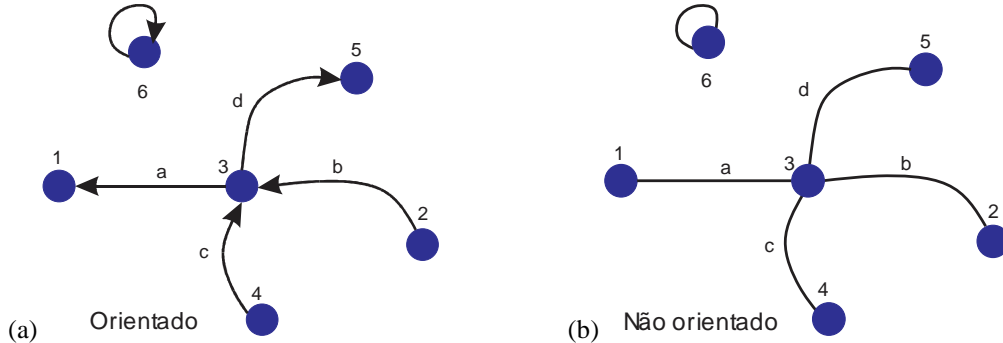
$|V|$ : total de nós da rede,  $|V| = 8$

$|E|$ : total de arcos da rede,  $|E| = 10$



**Figura 2.2** Rede física de transporte.

O arco é uma abstração de uma infraestrutura de transporte que suporta movimentos entre dois nós. O sentido é comumente representado por uma seta. Porém, quando uma seta não é usada, assume-se que o arco é bidirecional. Na Figura 2.3 se esquematiza um grafo orientado (a) e não orientado (b).



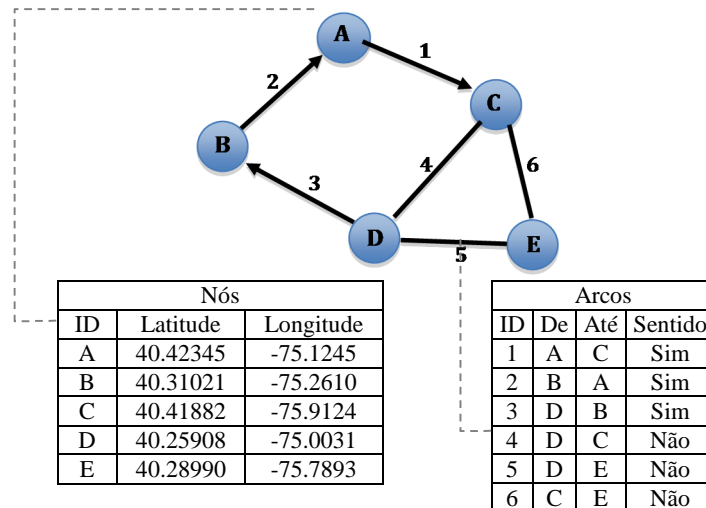
**Figura 2.3** Grafo orientado e não orientado.

Conforme o exemplo exposto acima, o grafo é representado matematicamente por  $G(V, E)$ , onde  $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$  e  $E = \{(3, 1), (2, 3), (4, 3), (3, 5), (6, 6)\}$ .  $|V| = 6$  e  $|E| = 5$ .

### 2.2.2 Representação de uma rede de transporte

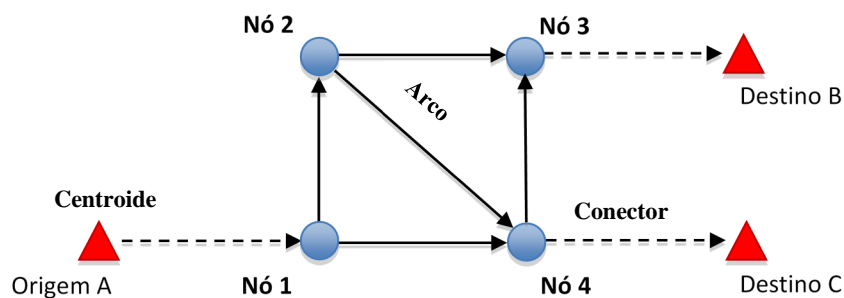
A informação básica para construir a topologia de uma rede de transporte pode ser extraída de fotografias aéreas, mapas topográficos ou informações de cartografias secundárias. Para conseguir construir um modelo básico de uma rede com dados, requer-

se fundamentalmente, de informações básicas dispostas em duas tabelas que possam ser armazenadas em uma base de dados. A tabela de nós deve conter ao menos três campos: o identificador (ID), as coordenadas de latitude e longitude. A tabela de arcos deve conter ao menos o identificador (ID), a referência do nó inicial e do nó final e a direção do arco (Rodríguez *et al.*, 2009).



**Figura 2.4** Base de dados relativa à representação de uma rede simples.  
**Fonte:** adaptado de Rodríguez *et al.*, (2009).

Um exemplo geral de uma rede de transporte e seus elementos principais podem ser observados na Figura 2.5. Esta rede de transporte contém um centróide origem (A), dois centróides destino (B e C), cinco arcos, quatro nós internos, três conectores e distintos caminhos possíveis para os destinos B e C, desde o origem A (Bell e Lida, 1997).



**Figura 2.5** Exemplo de rede de transporte.  
**Fonte:** adaptado de Bell e Lida (1997).

Com o conceito da rede de transporte e sua representação, facilita-se o processo de entendimento para a análise de vulnerabilidade de redes de transporte. Este conceito foi tratado de forma detalhada na seção seguinte, podendo identificar os elementos envolvidos na sua definição.

## **2.3 VULNERABILIDADE**

O interesse pela pesquisa na área das redes de transporte, a fim de conhecer e medir a vulnerabilidade, deve-se ao fato de possibilitar a realização de estimativas realistas sobre as alterações na rede viária por possíveis interrupções de diferentes tipos em alguns de seus trechos.

De forma geral, houve um incremento dos estudos sobre vulnerabilidade, especialmente após o terremoto ocorrido em Kobe, no Japão, e os ataques terroristas do 11 de setembro de 2001 ocorrido em Nova York, nos Estados Unidos (Di Gangi e Luongo, 2005; Husdal, 2006; Jenelius *et al.*, 2006a).

Em relação aos estudos de vulnerabilidade de redes de transporte, segundo Cats e Jenelius (2012) e Husdal (2006) existem várias definições sobre este conceito e diferentes expressões matemáticas que o representam. No entanto, alguns autores que trataram destes assuntos, como Berdica (2002; 2003); Jenelius e Mattsson (2006); Lleras e Sánchez (2001); Tampere *et al.*, (2007) dão ênfase aos efeitos das ameaças sobre a infraestrutura de transporte.

O conhecimento no campo de vulnerabilidade de redes de transporte público tem se utilizado de análises e aplicações numéricas para entender como a oferta e a demanda, atuando juntas, determinam a vulnerabilidade por meio da redundância da rede e dos padrões das viagens dos usuários (Cats e Jenelius, 2012).

### **2.3.1 Conceito de vulnerabilidade de redes de transporte**

O conceito de vulnerabilidade de redes de transporte depende do ponto de vista do tipo da análise a ser realizada (Wisner, 2009). Diversas formas de abordagens e conceitos têm sido utilizadas ao longo do tempo.

Presume-se que, para um especialista em transporte o interesse é a rede de transporte do sistema. Ou seja, estes estão interessados em saber as causas da vulnerabilidade da rede de transportes dos sistemas e como os incidentes podem afetar um ou vários elementos da rede (Erath, 2011). Por outro lado, para um especialista em análises de risco, o foco poderia estar, principalmente, em estruturas específicas da rede de transporte, como uma

ponte, um túnel ou um segmento da via. Assim, a interesse principal está focada na vulnerabilidade da estrutura em particular (Erath, 2011).

O conceito de vulnerabilidade tem sido relacionado com as consequências visíveis na rede de transporte, causadas por um incidente em um trecho viário, independentemente da probabilidade da sua ocorrência. Ou seja, seu foco está na funcionalidade da rede de transporte do sistema, especialmente na medição das possíveis mudanças na conectividade e o custo generalizado, ocasionados por incidentes humanos ou naturais.

A densidade da rede é um importante conceito ao se estudar a vulnerabilidade, já que, na medida em que as redes de transporte sejam mais densas, o sistema resultante pode ser menos vulnerável. Assim, uma rede com poucas conexões redundantes pode gerar um grau maior de vulnerabilidade na rede de transporte e, caso ocorra uma falha, este incidente poderá resultar em um impacto maior.

Para os Sistemas BRT, o grau de vulnerabilidade nas suas redes de transporte aumenta, dado que existe uma maior dependência operacional em algumas linhas, sem alternativas redundantes. Quando analisado a vulnerabilidade da rede de transporte somente com as características físicas, fica distante da realidade, porque não contempla a interação dinâmica da oferta e a demanda do transporte.

A palavra vulnerabilidade é usada na linguagem cotidiana para expressar a sensibilidade aos ataques ou ferimentos. Desta forma, a vulnerabilidade de redes de transporte também pode ser considerada como um risco com foco em um conjunto de cenários. Neste caso, a análise do risco consiste na resposta de três perguntas, quais sejam: i) o que pode acontecer? é possível que isso aconteça? e, caso aconteça, quais são as consequências? Por isso que, a análise do risco pode ser representada por uma lista de três questões, em que o item analisado corresponde a uma descrição de um cenário em particular e da probabilidade de que o cenário ocorra e gere um impacto. Tem-se então, que o risco é um conjunto de todos as questões em que, a definição de vulnerabilidade é mais ampla do que a noção simples de avaliar o risco e focar somente nas probabilidades e consequências de incidentes. Deste modo, a análise da vulnerabilidade de redes de transporte pode estudar um incidente raro ou extremo, mas focalizando os usuários e a rede de transporte (Jenelius e Mattsson, 2012).

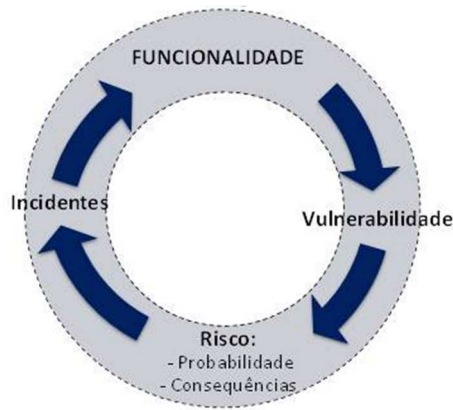


Cabe mencionar que, para Jenelius (2010) existem duas perspectivas de vulnerabilidade, a saber:

- a) Perspectiva focada no aspecto tecnológico de um sistema, onde o impacto da falha de um componente de uma infraestrutura é definido como a importância do componente. Nela a combinação e a probabilidade da falha é chamada criticidade do elemento.
- b) Perspectiva ligada ao ponto de vista das autoridades, focadas no aspecto social de um sistema, em que o impacto para um usuário em uma certa interrupção é a exposição. Nesta perspectiva a combinação da exposição e a probabilidade da falha é definida por vulnerabilidade.

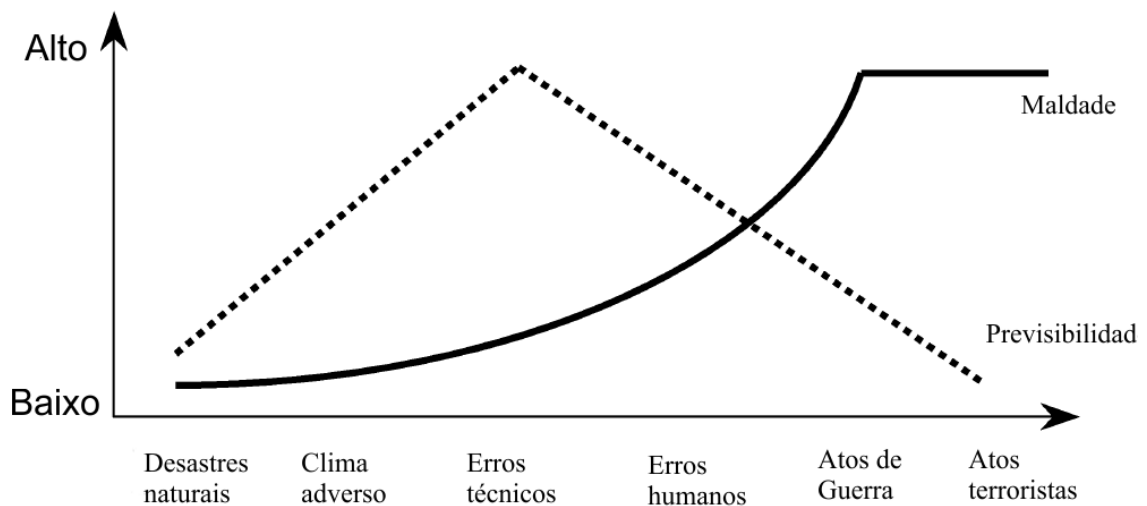
Segundo Erath (2011) a probabilidade da ocorrência de uma falha não é considerada quando se estuda a vulnerabilidade, já que, para diversos tipos de incidentes, a medida de probabilidade da ocorrência e do resultado das consequências pode ser imprecisa. Além disso, esta probabilidade não é prática nem viável para realizar avaliações de vulnerabilidade para uma ampla rede de transporte. No entanto, o termo vulnerabilidade é usado para descrever a redução da acessibilidade causada pela falha de um arco.

Para Berdica (2002) no caso de redes de transporte, tem-se uma definição de vulnerabilidade de natureza mais geral. Com a roda de conceitos na Figura 2.6, extrai-se o conceito de vulnerabilidade, o qual é consolidado por uma série de definições sequenciais, em que cada uma depende da outra. O sistema de transporte é definido pela introdução do termo de funcionalidade, o qual descreve a possibilidade de usar um arco/uma rota/uma rede de transporte em um dado período de tempo. Vários incidentes podem causar reduções ou interrupções na funcionalidade. A probabilidade de que tais incidentes e as consequências de que estes mesmos ocorram, são combinados no termo do risco. Assim, a vulnerabilidade de uma rede de transporte é definida como a susceptibilidade a um incidente que pode resultar em uma considerável redução na funcionalidade da rede viária.



**Figura 2.6** Roda de conceitos.  
**Fonte:** adaptado de Berdica e Mattsson (2007).

É importante observar que um incidente representa uma ação ou evento que tem um efeito prejudicial na funcionalidade da rede de transporte. Estes incidentes podem ser mais ou menos previsíveis, causados de forma voluntária ou involuntária, por intermédio da ação do homem ou da natureza (Berdica, 2002). Tais eventos podem ser agrupados em categorias, tais como: desastres naturais, clima adverso, erros técnicos, erros humanos atos de guerra e atos terroristas. Na Figura 2.7 são apresentadas as possíveis ameaças, seu grau de previsão e de maldade.



**Figura 2.7** Arranjo de possíveis ameaças à funcionalidade da rede de transporte.  
**Fonte:** adaptado de Berdica (2002)

Quanto a vulnerabilidade das redes de transporte, esta não é muito conhecida, tão pouco nas redes de transportes de massa tipo BRT, em que os serviços são superpostos sobre vias e faixas exclusivas (Cats e Jenelius, 2012).

### 2.3.2 Estudos de vulnerabilidade de redes de transporte

A principal vantagem de estudar a vulnerabilidade de redes de transporte é permitir que os planejadores e tomadores de decisões identifiquem arcos mais importantes de seu funcionamento. Com isso, estes terão uma ferramenta útil para planejar seus investimentos, priorizar a manutenção e/ou ampliar trechos da rede, tendo como resultado a otimização dos recursos, gerando benefícios tanto sociais como econômicos (Berdica e Mattsson, 2007).

Neste sentido, a maior parte dos estudos de vulnerabilidade nas redes de transporte possuem foco nas possíveis consequências das interrupções nos trechos da rede, medindo estas consequências em termos da variação da acessibilidade de determinados centróides importantes ou em termos de aumento do tempo total da viagem no sistema viário analisado (Berdica, 2002; Berdica e Eliasson, 2004; D'este e Taylor, 2003a, 2003b; Di Gangi e Luongo, 2005; Jenelius *et al.*, 2006b; Lleras e Sánchez, 2001; Murray-Tuite *et al.*, 2004; Schreuder *et al.*, 2008; Scott *et al.*, 2006; Sohn, 2006; Tampere *et al.*, 2007; 2004; Taylor *et al.*, 2006).

Os estudos de vulnerabilidade de redes podem ser agrupados de acordo com o foco da análise: i) conectividade; ii) acessibilidade; e, iii) custo.

- i) Conectividade: Viswanath e Peeta (2003) sugeriram ao trabalhar mudanças na conectividade, que, quando abordada a vulnerabilidade do conjunto da rede, deve ser trabalhada a conexão redundante entre centroides, no qual visa-se medir a soma de número de rotas independentes entre cada par origem destino da rede em estudo. Ou seja, quanto maior é o somatório, menor será a vulnerabilidade da rede, em seu conjunto.

Um estudo similar foi apresentado por Di Gandi e Luongo (2005) no qual este abrange a fraqueza da rede devido a cada trecho, buscando determinar a importância de cada trecho para o total de pares origem destino. Esta medida é obtida pelo cálculo do número de rotas origem destino que compartilham o mesmo trecho, baseado em modelos de probabilidade para a escolha dos caminhos. No entanto, em relação ao número de rotas origem destino que passam por um mesmo trecho, maior serão as rotas afetadas pela interrupção de um trecho, o que

apontaria como o trecho mais crítico. Esta análise fornece uma quantificação relativa da importância dos trechos, focada na medida da conectividade da rede, considerando apenas a topologia da rede.

Também Murray-Tuite *et al.* (2004) apresentam um modelo de programação matemática multiobjetivo para identificar os trechos críticos. Neste modelo se propõe um índice para medir a importância que tem um trecho específico com a conectividade entre um grupo de pares origem destino, tomando-se em consideração a disposição das rotas alternativas, o excesso de capacidade e o tempo da viagem.

- ii) **Acessibilidade:** estudos de vulnerabilidade de redes tem sido feitos, onde a acessibilidade está relacionada com as consequências que ocorram devido aos incidentes que possam gerar a obstrução de um ou mais trechos no acesso de alguns ou todos os nós da rede viária. Para tanto, foram desenvolvidas metodologias para medir a variação nos índices de acessibilidade resultante de obstruções de um ou mais trechos.

Dessa forma, Lleras e Sánchez (2001) para medir as mudanças na acessibilidade dos nós, propuseram a avaliação em cada cenário, as falhas de um ou mais trechos que estão no caminho mínimo entre dois centróides analisados, para, posteriormente, fazer o cálculo de um índice dos trechos, que permita identificar quais apresentam os maiores aumentos no custo generalizado da viagem. Ou seja, o estudo teve o foco na geração de cenários complexos de falhas progressivas com o objetivo de determinar o cenário crítico, no qual seriam avaliados os efeitos da obstrução dos trechos no mesmo tempo.

Posteriormente, foi desenvolvido um indicador com o fim de determinar como é afetada a acessibilidade de uma determinada região, quando um elemento da rede viária, por algum incidente, fica completa ou parcialmente inabilitada para o uso (Berdica e Eliasson, 2004).

Outro estudo apresentou como enfoque a medição da vulnerabilidade da rede de transporte, em que o trecho crítico da rede viria a ser interrompido. Com isso, ocorrerá uma diminuição significativa na acessibilidade, que é medida por meio

do “índice de acessibilidade de Austrália”. Este índice é a ponderação da acessibilidade de acordo com a população e as instalações de serviço das cidades (Taylor *et al.*, 2006).

As medidas da vulnerabilidade da rede viária realizadas pelos estudos anteriormente apresentados ocorrem de forma indireta, e fazem estimações diversas do risco de uma obstrução da acessibilidade parcial ou total da rede ou da somatória das acessibilidades de seus nós geradores de viagens.

- iii) Em reação com o custo, Jenelius *et al.* (2006b) desenvolveram uma medida para determinar a importância de um arco para o funcionamento da rede, considerando o incremento do custo generalizado da viagem, ponderado com a demanda insatisfeita quando um arco individual está bloqueado, supondo a demanda de viagens constante.

Berdica e Mattsson (2007) apresentam um estudo no qual se utiliza o modelo de alocação do *software* *EMME/2* para o estudo da vulnerabilidade da rede viária, onde foi considerado somente o comportamento de escolha de rotas sob condições de equilíbrio e foram medidos os efeitos no tempo da viagem, bem como as distâncias percorridas no nível regional, quando se simula cenários onde se obstruem arcos da rede. No final, foi feita uma estimativa do custo total da obstrução do arco através do valor do tempo da viagem.

De forma semelhante, Scott *et al.* (2006) propuseram identificar os arcos mais críticos de uma rede viária com o uso do modelo de alocação do *software* *TransCAD*, sob equilíbrio do usuário e um índice para medir mudanças no tempo da viagem. Este modelo tem em conta a capacidade dos arcos e o fato de que os usuários da rede que não utilizam o arco bloqueado podem ser afetados pelo congestionamento produzido pelos usuários do arco bloqueado e que foram direcionados para outras rotas alternativas, caso elas existam.

No entanto, Tampere *et al.* (2007) aplicaram estes modelos de alocação e argumentaram que podem ser obtidas melhores estimativas dos níveis de congestionamento com aplicação de modelos de alocação dinâmica, para determinar os trechos vulneráveis de uma rede de transporte, contabilizando

fatores como o impacto no tempo da viagem que produz a interrupção de uma seção em um determinado período de tempo.

Os estudos de vulnerabilidade apresentados contribuem para o entendimento dos elementos da rede de transporte que podem ser utilizados para mensurar variáveis intrínsecas que permitam identificar a vulnerabilidade destas redes, por meio das análises dos resultados. A Tabela 2.1 sintetiza as medidas, os elementos e o foco adotado pelos autores nos estudos apresentados para a análise da vulnerabilidade da rede de transporte. Dessa forma, observa-se que tem sido feitas análises locais e globais. Para a análise local foram utilizados elementos como os nós, arcos, trechos e centroides. No caso da análise global, o elemento utilizado corresponde à rede.

**Tabela 2.1** Estudos de vulnerabilidade com medidas e elementos da rede.

AUTOR	MEDIDA	ELEMENTO	FOCO
Viswanath e Peeta, 2003	Conectividade	Nós	Conectividade
Di Gandi e Luongo, 2005	Importância	Trechos	Conectividade
Murray-Tuite e Mahmassani, 2004	Importância, impacto	Trechos	Conectividade
Lleras e Sánchez-Silva, 2001	Acessibilidade, impacto	Centróides	Acessibilidade
Berdica e Eliasson, 2004	Acessibilidade	Rede	Acessibilidade
Taylor <i>et al.</i> , 2006	Acessibilidade, impacto	Rede	Acessibilidade
Jenelius <i>et al.</i> , 2006b	Importância, impacto	Arco	Custo
Berdica e Mattsson, 2007	Impacto	Arco	Custo
Scott <i>et al.</i> , 2006	Criticidade, Impacto	Arco	Custo
Tampere <i>et al.</i> , 2007	Criticidade, Impacto	Trechos	Custo
Cats e Jenelius, 2012	Impacto, RTI	Arco	Custo

## 2.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Diferentes países tem implementado sistemas de transporte de massa tipo BRT e outros estão em processo de planejamento e construção. Neste caso, a teoria dos grafos fornece as ferramentas necessárias para a representação gráfica e matemática das redes de transporte de diferentes tipos de BRT, junto com as características mais importantes integradas na prestação do serviço, além dos principais elementos envolvidos na dinâmica destes sistemas de transporte de massa utilizados no mundo como uma solução de transporte para atender a demanda crescente.

Dos diversos estudos de vulnerabilidade de redes apresentados, mostra-se a importância que tem a teoria dos grafos nestas análises. Da mesma forma que, os ganhos socioeconômicos que as cidades podem obter com estes estudos de vulnerabilidade e a

identificação desses elementos da rede pela diminuição dos impactos na ocorrência de incidentes que tem o potencial de diminuir a funcionalidade da rede de transporte destes sistemas.

O presente capítulo forneceu os fundamentos da rede de transporte incorporando o conceito de vulnerabilidade. Estes fundamentos possibilitaram a captação das ferramentas necessárias para a definição gráfica e matemática da rede de transporte de Sistemas BRT. A definição da rede de transporte destes sistemas será tratada de forma sistemática no próximo capítulo, de modo a permitir a estruturação do método para análise de vulnerabilidade das redes de transporte em estudo.

### **3. REDE DE TRANSPORTE DE SISTEMAS BRT**

#### **3.1 APRESENTAÇÃO**

O transporte público é um meio crucial pelo qual as pessoas podem acessar efetivamente aos bens e serviços. Segundo Shen *et al.* (1998) os corredores de ônibus segregados fisicamente de outros modos de transporte são uma opção de transporte urbano de massa rápido. Estes sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus (*Bus Rapid Transit* ou *BRT*) têm demonstrado ser um dos mecanismos com um custo – benefício favorável, possibilitando que as cidades desenvolvam um sistema de transporte público que possa contemplar uma rede integrada e oferecer um serviço rápido e de alta qualidade.

Neste sentido, as redes destes sistemas de transporte de massa (BRT), tem um papel importante na mobilidade de uma cidade, já que, estas redes, junto com as características operacionais e da demanda, permitem o estudo dos fenômenos que envolvem seu funcionamento.

Para melhor compreensão, o presente capítulo teve como objetivo apresentar a definição de BRT, além dos elementos que o compõem e o uso da metodologia para qualificar os corredores destes sistemas, segundo o Padrão de Qualidade (ITDP, 2013). Também foi realizada a definição matemática da rede de transporte de um Sistema BRT, que faz parte dos insumos básicos para o desenvolvimento do método para análise da vulnerabilidade destes tipos de redes de transporte.

#### **3.2 DEFINIÇÃO DE BRT**

A *Federal Transit Administration* (FTA) define BRT como um modo de transporte rápido, flexível e de alto desempenho, que pode ser combinado com uma variedade de elementos físicos, operacionais e do sistema que está permanentemente integrado com uma imagem de qualidade e identidade único (Hinebaugh, 2009). Segundo Wright e Hook (2008) o BRT é um sistema de transporte coletivo de alto desempenho e qualidade que utiliza veículos sobre pneus para proporcionar mobilidade urbana rápida, cômoda e de relação custo-benefício favorável, operada através da provisão de uma superfície viária em faixa exclusiva. Para Gray *et al.* (2006) define o Sistema BRT como uma combinação de instalações, sistemas e investimentos em veículos que convertem os serviços de ônibus



convencionais em um serviço de transporte com estrutura fixa, aumentando sua eficiência e eficácia para o usuário final. Para NTU (2010); Hinebaugh (2009); Wright e Hook (2008) e Levinson *et al.*, (2003) os principais elementos que compõem o BRT, são: um espaço viário exclusivo; estações e terminais BRT; os veículos; o plano operacional, tarifário e de serviços; os sistemas de informação e controle (*Intelligent Transportation System- ITS*); e, a identidade e marketing.

### 3.2.1 Elementos Básicos de um BRT

Como foi apresentado acima, os sistemas de transporte de massa tipo BRT podem ser agrupados em seis elementos básicos, descritos a seguir:

- a) **Espaço viário exclusivo:** este elemento físico é um dos principais atributos para estes sistemas. Refere-se ao espaço físico disponibilizado para a movimentação dos veículos do BRT, de forma a permitir sua rápida circulação ao longo de toda a rede de transporte do sistema. Para tanto, pode-se utilizar faixas exclusivas amparadas por uma geometria e estruturas especiais. Segundo Hinebaugh (2009) este elemento impacta significativamente a velocidade de viagem, confiabilidade e a identidade do sistema e, pode ser classificado em três tipos de vias para corredores BRT:
- *Faixa segregada:* são faixas exclusivas para o sistema, segregadas por meios físicos ou sinalização horizontal (Figura 3.1(a)).
  - *Faixa mista:* são faixas compartilhadas com outros tipos de transporte (Figura 3.1(b)).
  - *Faixa guiada:* são faixas que tem estruturas físicas nas laterais com o fim de guiar os veículos do sistema durante seu percurso (Figura 3.1(c)).



**Figura 3.1** Tipos de vias para corredores BRT.  
**Fonte:** adaptada de Wright (2008).

- b) **Estações e terminais BRT:** são estruturas físicas que permitem a interação entre os usuários e o sistema BRT e devem proporcionar a acessibilidade segura e fácil para todos os usuários, incluindo as pessoas com necessidades especiais. Além disso, estas estruturas possuem as funções de proteger os usuários das intempéries, permitir a integração com outros modos de transporte, propiciar a circulação segura dos pedestres nas travessias de vias urbanas e nos deslocamentos entre plataformas (estações e terminais), e interagir com o ambiente urbano das cidades. Também têm a função de induzir a uma adequada utilização do uso do solo, realizar estocagem de veículos BRT, permitir a cobrança antecipada da tarifa, propiciar um embarque/desembarque dos usuários em nível, controlar o acesso as estações, oferecer baias para veículos BRT nas plataformas compatíveis com a demanda, proporcionar separação entre fluxos distintos e conflitantes, e disponibilizar informações aos usuários, por meio da utilização de sistemas de informação (Hinebaugh, 2009; NTU, 2010).
- c) **Veículos:** os veículos BRT devem possuir algumas características, tais como: tamanho dos veículos compatíveis com a demanda e o nível de serviço desejado; o *Layout* interno deve ser condizente com os diversos tipos de usuários; deve ser aparelhado com equipamentos adicionais como janelas panorâmicas, iluminação interna e assentos estofados (NTU, 2010), de forma a tornar este transporte mais atrativo; e deve possuir sistema de propulsão com um combustível que minimize a poluição atmosférica local (EMBARQBrasil, 2013; NTU, 2010; Wright e Hook,

2008). A seguir na Tabela 3.1 se apresentam os diferentes tipos de opções de veículos disponíveis para estes sistemas, com seus comprimentos e suas capacidades.

**Tabela 3.1** Opções de veículos para sistemas BRT.

<b>TIPO DE VEÍCULO</b>	<b>COMPRIMENTO (Metros)</b>	<b>CAPACIDADE (Passageiros por veículo)</b>
Biarticulado	24,00	240 – 270
Articulado	18,50	120 – 170
Padron	12,00	60 – 80
Micro ônibus	6,00	25 – 35

**Fonte:** Wright e Hook (2008).

- d) **Plano operacional, tarifário e de serviços:** os Sistemas BRT devem ser parte de uma rede multimodal e integrada de transporte coletivo urbano que contemple linhas troncais e alimentadoras (NTU, 2010), de forma a oferecer aos usuários um serviço frequente, rápido, direto, de fácil compreensão, seguro, confiável, com tempos de viagens curtos, e operacionalmente eficiente (Hinebaugh, 2009; Wright e Hook, 2008), podendo, para tanto, ser oferecidas linhas de BRT paradoras e expressas. Linhas paradoras são as que realizam a parada em todas as estações ao longo do percurso e linhas expressas são as linhas que realizam a parada em algumas estações ao longo do percurso (NTU, 2010).

A estrutura tarifária destes sistemas é, preferencialmente, aquela integrada aos sistemas complementares. O pagamento da operação deve estar baseado na arrecadação tarifária e, em alguns casos, complementados por recursos adicionais, quando se deseje oferecer o serviço em regiões que a capacidade de pagamento dos usuários é insuficiente (NTU, 2010). A cobrança da tarifa afeta diretamente o volume de usuários que ingressam no sistema. Também, esta cobrança tem um papel chave no serviço ao usuário, marketing, planejamento e operações (Hinebaugh, 2009).

- e) **Sistema de informações e controle:** é uma ampla variedade de sistemas inteligentes de transportes (*Intelligent Transportation System – ITS*), que podem ser integrados nos BRT's a fim de proporcionar o melhor desempenho em termos de tempo da viagem, confiabilidade, eficiência operacional e segurança (Hinebaugh, 2009; NTU, 2010). Além disso, os sistemas de informação e controle, devem contar com elementos para gestão de informações e controle, para assim, proporcionar informações em tempo real aos usuários, como também fornecer informações para

aqueles usuários com necessidades especiais. Desta forma, visando que a operação seja rápida, segura e confiável.

- f) **Identidade e Marketing:** os sistemas BRT precisam ser construídos com uma identidade própria, de forma que sejam percebidos pela população como uma opção de transporte adequada e de boa qualidade. Uma imagem favorável tem o potencial de atrair mais usuários ao sistema, contribuindo para o equilíbrio econômico-financeiro do mesmo. Esta imagem pode ser gerada por meio da utilização de estratégias de publicidade e propaganda que, aliadas ao uso de tecnologias modernas e eficientes, permitem que os usuários associem o BRT como um sistema de transporte confiável e de qualidade (NTU, 2010; Wright e Hook, 2008).

Apesar da rápida expansão e o sucesso de Sistemas BRT, como tem ocorrido nos últimos anos ao redor do mundo, os gestores continuam ignorando as características e objetivos fundamentais de Sistemas BRT, chamando incorretamente de BRT alguns corredores de ônibus que têm propiciado melhoras no sistemas de transporte, porém sem controle de qualidade. Em função disso, um comitê técnico internacional, formado por projetistas e planejadores líderes na área, desenvolveram o Padrão de Qualidade de BRT (*The BRT Standard*) a fim de criar uma definição comum dos sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus BRT e reconhecer os sistemas de BRT já implantados (ITDP, 2013).

Nesse contexto, segundo Lindau *et al.* (2013), na análise feita da aplicabilidade do Padrão de Qualidade de BRT, considerando os sistemas de transporte coletivo por BHLS europeus (*Bus with High Level of Service*) e os sistemas BRT latino-americanos, identificou-se que os BHLS possuem muitos de seus atributos enquadrados em níveis máximos de pontuação. Além disso, percebeu-se que no BHLS a prioridade é dada aos atributos de conforto e confiabilidade à diferencia do BRT, no qual a prioridade está centrada no atendimento a grandes demandas com o menor custo possível (Lindau *et al.*, 2013). Portanto, a métrica do Padrão BRT permite somente avaliar os elementos dos sistemas BRT latino-americanos. Não obstante o BRT e o BHLS sejam sistemas que se apresentam como uma solução aos problemas de mobilidade para centros urbanos que sofrem saturação nos espaços de circulação.

### 3.3 DEFINIÇÃO DE REDE DE TRANSPORTE BRT

A rede física destes sistemas pode ser definida por um grafo orientado  $G(V, E)$ , onde o conjunto de nós  $V$  representa as estações do sistema e, o conjunto de arcos  $E \subseteq V \times V$  representa as conexões diretas entre as estações. Logo, o número de estações e de arcos é denotado por  $|V|$  e  $|E|$  respectivamente.

Por cada arco  $e \in E$  pode passar ou pode ser operado por várias linhas de transporte do sistema, onde a linha  $l$ , pode ser definida pela sequência de estações  $l = (v_{l,1}, v_{l,2}, \dots, v_{l,|l|})$ , em que a estação de origem da linha  $l$  é  $o_l = v_{l,1}$  e a estação destino da linha é  $d_l = v_{l,|l|}$ . O conjunto de todas as origens e destinos é denotado como  $V_T \subseteq V$ , o conjunto de todas as linhas entre a estação origem  $o \in V_T$  e a estação destino  $d \in V_T$  é denotado como  $L_{od}$  e o conjunto de todas as linhas do sistema é denotado como  $L$ . Faz-se a suposição de que haja o arco  $e \in l$ , ou seja, que para algum  $i$ -ésimo se tenha  $e = (v_{l,i}, v_{l,i+1})$ . Assim, cada arco  $e$  é associado com um conjunto de linhas  $L_e = \{l \in L | e \in l\}$  que atravessam o arco e cada estação é associada com o correspondente conjunto de linhas  $L_v = \{l \in L | v \in l\}$ .

A cada arco  $e$  é associado um tempo da viagem, que refere-se ao tempo de saída da estação anterior até a chegada da estação subsequente. Este tempo pode variar sistematicamente entre linhas, viagens e dias, dependendo das condições de tráfego. Portanto, o tempo da viagem no arco  $e$  em uma dada hora do dia é denotado como  $TV_e(t)$ , no qual se considera a variabilidade das condições diárias de tráfego. Este tempo de viagem pode ser considerado como uma variável aleatória. Da mesma forma, cada estação é associada com um “*dwel time*” (tempo de permanência), que é o tempo requerido por um veículo para fazer o processo de parada, alinhamento, embarque e desembarque dos usuários (CALIPER, 2008). Assim como o tempo da viagem, o tempo de permanência pode variar entre linhas, viagens e dias, dependendo do fluxo da demanda, tipo de veículo, etc. O tempo de permanência na estação  $v$  pela linha  $l$  no tempo  $t$  é denotado como  $DT_{v,l}(t)$ , também pode ser considerado como aleatório.

Supõe-se que em cada linha  $l$ , que é operada por um grupo de viagens de veículos articulados, esteja de acordo com uma programação. O tempo da viagem  $x$  da linha  $l$  desde a estação origem está em função da programação do tempo de saída e do tempo de

chegada de uma viagem anterior, que pode ser aleatória devido aos tempos da viagem e os tempos de permanência. O conjunto de saídas da linha  $l$  durante um certo período de tempo ( $t$ ), pode ser denotado como  $X_l(t)$ . O número de saídas pode ser aleatório, já que é um resultado de variáveis aleatórias subsequentes.

Desta forma a demanda de viagens é conectada à rede por meio de um conjunto de nós origem – destino denotado  $V_{od}$ , tendo  $V_{od} \subseteq V$ . O conjunto de usuários de origem  $o \in V_{od}$  para o destino  $d \in V_{od}$  durante um período ( $t$ ) é denotado como  $P_{od}(t)$ . O conjunto de usuários entre todos os pares origem – destino é denotado como  $P(t)$ , no qual se supõe que a demanda não é alterada pelas mudanças nos tempos da viagem. Não obstante, o número de usuários pode ser aleatório para representar as variações diárias.

Do mesmo modo que para as linhas dos veículos, o caminho físico pode ser definido como a sequência entre a estação origem e a estação destino, assim,  $j = (v_{j,1}, v_{j,2}, \dots, v_{j,|j|})$ , onde a estação origem é  $o_j = v_{j,1}$  e a estação destino é  $d_j = v_{j,|j|}$ . O conjunto de caminhos físicos dos usuários entre uma origem  $o$  e um destino  $d$ , pode ser expresso como  $J_{od}$  e o conjunto de todos os caminhos é denotado como  $J$ .

### 3.3.1 Medida da centralidade de redes de transporte

A teoria dos grafos fornece várias alternativas de medidas da importância do arco  $e$  que foram aplicadas em redes de transporte público. Estas medidas têm sido desenvolvidas durante os últimos 40 anos e são agrupadas em três grandes grupos: centralidade de grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação. A centralidade de grau considera o número de conexões imediatas (grau do nó). A centralidade de proximidade analisa a soma das distâncias de um nó para os outros nós. A centralidade de intermediação corresponde à porção de caminhos mínimos entre os nós que passam por um determinado nó. Quando se quer analisar a importância individual dos nós, por exemplo, com relação à vulnerabilidade da rede contra incidentes ou ataques, a centralidade de intermediação é uma medida muito mais sensível do que o grau do nó e a centralidade de proximidade (Scott *et al.*, 2006; Von Ferber *et al.*, 2009). Desta forma, a medida usada neste estudo é a centralidade de intermediação.

A capacidade de uma rede para resistir às interrupções, tem uma clara relação com a estrutura da rede. Esta é conhecida como arcos centrais, no sentido de que, muitos caminhos entre pares de nós podem atravessar estes arcos que são frequentemente críticos em relação à degradação. Como foi tratado anteriormente, esta classe de medida de centralidade é conhecida como centralidade de intermediação (Crucitti *et al.*, 2006; Freeman, 1977; 1991). De maneira que, para o arco  $e$  a centralidade de intermediação é a fração de caminhos mínimos entre os nós  $v_1$  e  $v_2$  que contém o arco  $e$ , denotado como:

$$C_B = \frac{1}{V(V-1)} \sum_{v_1, v_2 \in V: v_1 \neq v_2 \neq e} \frac{C_{v_1, v_2}(e)}{C_{v_1, v_2}} \quad (1)$$

Em que:

$C_B$ : centralidade de intermediação;

$C$ : caminhos mínimos;

$V_1, V_2$ : nós origem e destino respectivamente;

$(e)$ : arco

Logo, a expressão  $C_{v_1, v_2}(e)/C_{v_1, v_2}$  representa a fração dos caminhos mínimos entre os nós  $v_1$  e  $v_2$  que contém o arco  $e$ .

A medida de centralidade tem várias limitações que podem se tornar relevantes na hora de identificar os arcos mais centrais da rede de transporte. Além disso, as diferentes medidas de centralidade podem ser importantes, dependendo da perspectiva em que a rede do sistema é analisada. Neste caso, o estudo foi focado na operação do transporte e nos usuários, estes últimos representados pela demanda de viagens, a fim de identificar os trechos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT.

a) **Centralidade de intermediação da operação:** do ponto de vista da operação, um arco da rede pode ser considerado central de acordo com o número de linhas e viagens dos veículos do sistema que passam pelo arco. Além disso, é importante ponderar que cada par de estações tem um número de linhas e que para cada linha há um número de viagens dos veículos entre as estações. Para evitar a contagem dupla da mesma viagem atravessando várias estações ao longo do caminho, foi considerado na agregação a estação origem  $o_l$  e a estação destino  $d_l$  da linha  $l$ . É importante conhecer que as programações das linhas podem variar com o tempo, o que torna a medida da

centralidade aleatória (Cats e Jenelius, 2012). Assim, para determinar a centralidade de intermediação, considera-se a média do número de saídas de ônibus em um intervalo de tempo  $E[X_l(t)]$ . Logo, a medida de centralidade de intermediação na perspectiva da operação é:

$$CO_B(e|t) = \frac{\sum_{o \in V_T} \sum_{d \in V_T} \sum_{l \in L_{od}} E[|X_l(t)|](e)}{\sum_{o \in V_T} \sum_{d \in V_T} \sum_{l \in L_{od}} E[|X_l(t)|]} \quad (2)$$

Em que:

$CO_B$ : centralidade de intermediação na perspectiva do operador;

$o$ : origem;

$d$ : destino;

$l$ : linha;

$L$ : conjunto de todas as linhas do sistema;

$t$ : período de tempo;

$e$ : arco;

$V_T$ : conjunto de todas as origens e os destinos;

$L_{od}$ : conjunto de todas as linhas entre a origem  $o$  e o destino  $d$ ;

$X_l(t)$ : conjunto de saídas da linha  $l$  durante um período de tempo  $t$ .

Para evitar a somatória entre as estações de origem e de destino, pode-se fazer a agregação de todas as linhas de transporte do sistema, onde o numerador é o número total de viagens dos veículos que passam pelo arco  $e$  durante o intervalo de tempo, enquanto o denominador é o número total de viagens dos veículos do sistema durante o mesmo período, representado pela equação a seguir.

$$CO_B(e|t) = \frac{\sum_{l \in L} E[|X_l(t)|](e)}{\sum_{l \in L} E[|X_l(t)|]} \quad (3)$$

- b) **Centralidade de intermediação dos usuários:** Quando o foco são os usuários do sistema, um arco da rede pode ser considerado central de acordo com o número de usuários que viajam pelo arco. É, portanto relevante ponderar cada par de estações com o número das viagens entre as estações. Para evitar a contagem dupla do mesmo usuário do sistema atravessando várias estações ao longo do caminho, só poderá ser



considerado na agregação a origem e o destino de cada usuário (Cats e Jenelius, 2012).

A medida da centralidade na perspectiva dos usuários é:

$$CP_B(e|t) = \frac{\sum_{o \in V_{od}} \sum_{d \in V_{od}} \sum_{j \in J_{od}} E[|P_{od}(t)|](e)}{\sum_{o \in V_{od}} \sum_{d \in V_{od}} \sum_{j \in J_{od}} E[|P_{od}(t)|]} \quad (4)$$

Em que:

$CP_B$ : centralidade de intermediação na perspectiva do usuário;

$o$ : origem;

$d$ : destino;

$j$ : caminho físico do usuário;

$t$ : período de tempo;

$e$ : arco;

$V_{od}$ : conjunto de todos entre as origens e destinos;

$J_{od}$ : conjunto caminhos físicos dos usuários entre a origem  $o$  e o destino  $d$ ;

$J$ : conjunto de todos os caminhos físicos;

$P_{od}(t)$ : conjunto de usuários de origem  $o$  e o destino  $d$  durante um período de tempo  $t$ ;

$P(t)$ : conjunto de usuários entre todos os pares origem – destino.

Neste caso, o número de usuários com uma origem  $o$  e um destino  $d$ , denotado como  $P_{od}(t)$ , pode ser aleatório. Além disso, para evitar a somatória entre as estações de origem e de destino, pode-se fazer a agregação entre todos os caminhos  $J$ . Para tanto, o numerador é simplesmente o número total de usuários que passam pelo arco  $e$  durante o intervalo de tempo, enquanto o denominador é o número total de usuários no sistema durante o mesmo período. A equação equivalente é:

$$CP_B(e|t) = \frac{\sum_{j \in J} E[|P(t)|](e)}{E[P(t)]} \quad (5)$$

Com ajuda das expressões matemáticas (3) e (5), pode-se calcular a medida da centralidade de intermediação na perspectiva da operação e dos usuários, estes últimos representados pela demanda de viagens, a fim de determinar a importância que tem o arco de uma rede de transporte.

### **3.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Existe uma aceitação consensual dos Sistemas BRT como uma alternativa de solução para os problemas de transporte público. No Brasil este cenário não é diferente, existe atualmente apoio político, técnico e financeiro para implementação destes sistemas. As autoridades brasileiras reconhecem a importância e o alcance destes sistemas, por isso, o Ministério das Cidades e outros órgãos do governo envolvidos em questões de transporte, adotaram estes sistemas como possíveis soluções para políticas de mobilidade urbana sustentável (Lindau *et al.*, 2008).

Cabe mencionar que os sistemas de transporte de massa tipo BRT, além de serem uma alternativa para as necessidades de transporte público e de conter infraestrutura de qualidade com manutenção preventiva, operações eficientes, tecnologias sofisticadas e serviço ao usuário adequado, não estão livres de ocorrências que originem interrupções na funcionalidade da sua rede de transporte.

Neste contexto, com uso das ferramentas proporcionadas pela teoria dos grafos, podem ser medidas as centralidades de intermediação com foco nos usuários e na operação, com a finalidade de analisar os impactos pelas ocorrências de interrupções nos elementos mais importantes e posteriormente determinar a vulnerabilidade.

## **4. MÉTODO PARA ANALISAR A VULNERABILIDADE DA REDE DE TRANSPORTE DE SISTEMAS BRT**

### **4.1 APRESENTAÇÃO**

Neste capítulo é apresentado o método que tem como objetivo principal identificar os arcos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT e avaliar os impactos gerados na ocorrência de um incidente que possam levar a redução da funcionalidade da rede de transporte destes sistemas. Assim o presente objetivo é contribuir para que as redes de transporte dos Sistemas BRT tenham maior robustez e cumpram as funcionalidades para os quais foram planejadas e construídas. Esta opção do método visa ser usado em redes de transporte de Sistemas BRT já implantados. Também, o método pode servir como fonte de informações adicionais para priorizar os investimentos a serem realizados.

Recomenda-se que a aplicação deste método seja precedida de dados e informações confiáveis que fazem parte da composição e funcionamento da rede de transporte de Sistemas BRT.

Com relação a esta abordagem, o presente capítulo apresenta inicialmente as adequações e considerações que foram adotadas para o desenvolvimento do método. Em seguida, é exposta a proposta do método e as informações necessárias para aplica-lo. O método é composto por sete etapas apresentadas a seguir.

### **4.2 CONSIDERAÇÕES DO MÉTODO**

Para o desenvolvimento do método, foi necessário estabelecer um conjunto de adequações e considerações. Como primeira consideração, os sistemas BRT além das linhas troncais (expressa e paradoras), contêm linhas alimentadoras. Sem desconsiderar a importância que têm as linhas alimentadoras nos Sistemas BRT, estas foram excluídas, já que, têm outro esquema de operação e estrutura, pois, em sua maioria é compartilhada com o trânsito misto. Porém, assume-se que estas linhas não geram alterações na programação das linhas troncais, nem impactos na variação da frequência ao longo do dia, razão para que esta variável não seja inclusa no estudo. Não obstante, em um estudo

posterior, estas linhas alimentadoras podem ser incluídas dentro da abordagem em análise.

O método teve como foco a operação e os usuários, estes últimos representados pela demanda de viagens no horário de pico. Os dados relacionados com estes dois focos não foram considerados por sentido viário (ida e volta), ou seja, estes foram analisados como um conjunto de informações que atravessam um arco.

Para a avaliação do impacto ocasionado à operação e aos usuários pela interrupção da rede de transporte do Sistemas BRT, somente foi estimado o tempo da viagem dentro do veículo para os usuários, da mesma forma, foi considerado para os veículos o tempo do percurso entre a origem e destino da viagem. Estes valores de tempo foram determinados a partir de informações secundárias, com os valores do comprimento dos arcos ou entre estações e com as velocidades médias de operação.

O período da análise fez referência ao período de maior demanda, desta forma assumiu-se que é neste período que pode ser gerado um impacto ao maior número de usuários e veículos do sistema de transporte de massa. As informações da operação e dos usuários foram obtidas da média dos dados neste mesmo período. Também, no presente estudo, apenas foram analisadas as linhas em que sua programação estava dentro do horário de pico escolhido como período para a análise.

Com relação ao tempo de duração da interrupção, assumiu-se que a recuperação da funcionalidade da rede de transporte do sistema BRT se consegue dentro do período do estudo, além de que, não ocasiona o colapso total do sistema.

### **4.3 ETAPAS DO MÉTODO**

O método desenvolvido considerou como variáveis principais os fluxos de veículos e usuários, e o tempo de viagem. Este método incluiu a classificação dos arcos da rede de transporte de Sistemas BRT, derivada do resultado da avaliação do impacto de um incidente na rede, buscando assim hierarquizar estes arcos em relação a sua vulnerabilidade. Deste modo, visando atender aos objetivos propostos no estudo, na Figura 4.1 apresenta-se o esquema da estrutura do método com suas respectivas etapas.

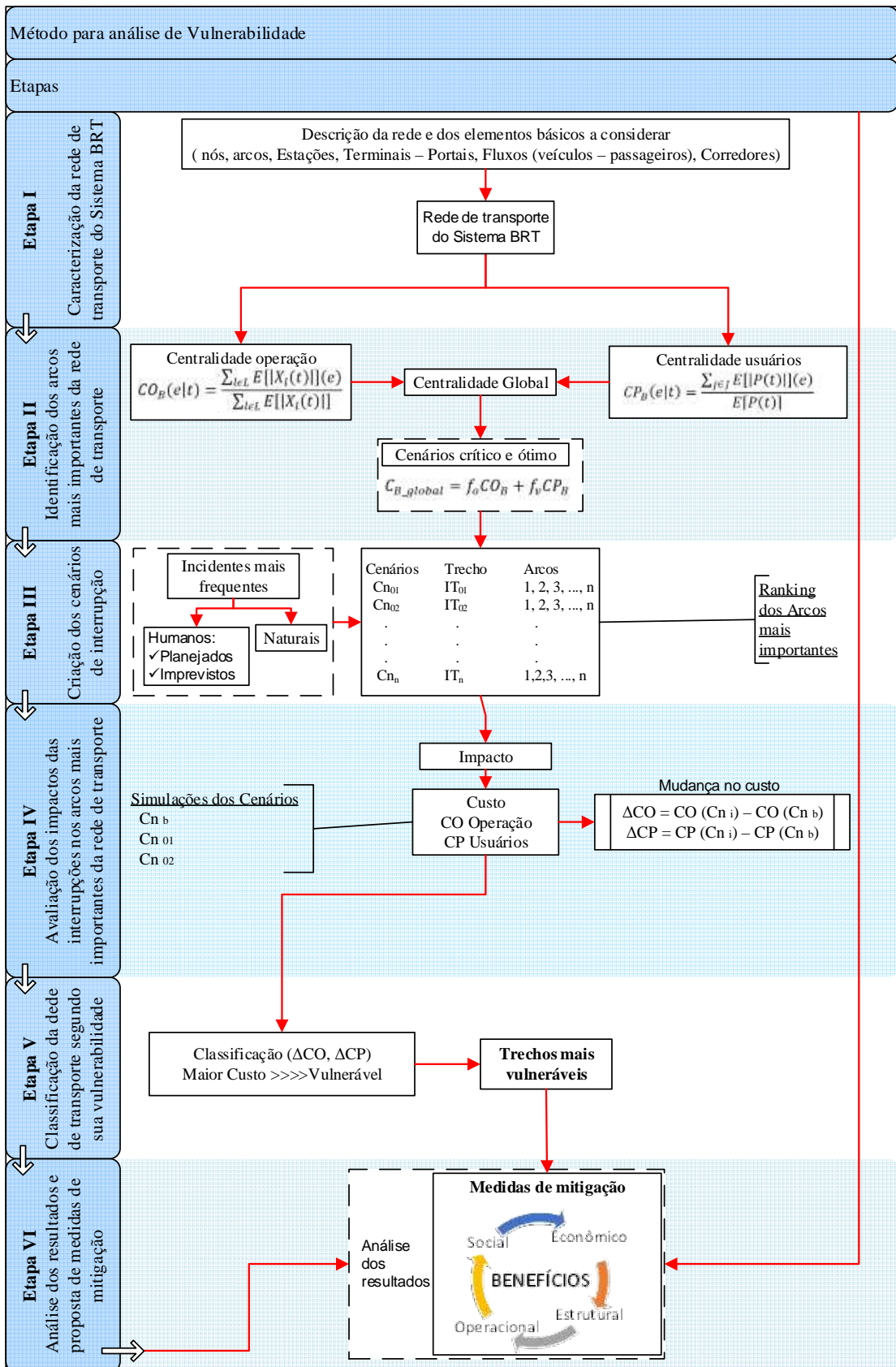


Figura 4.1 Esquema geral do método.

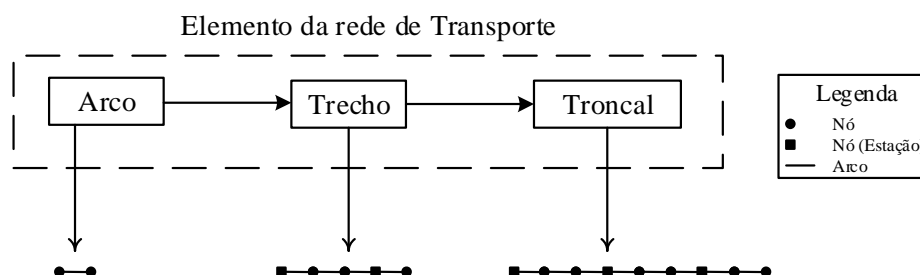
As seis etapas que compõem a estrutura do método são as seguintes:

- **Etapa I:** Caracterização da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa II:** Identificação dos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa III:** Criação de cenários de interrupção na rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa IV:** Avaliação dos impactos das interrupções nos arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT;
- **Etapa V:** Classificação da rede de transporte do Sistema BRT segundo a sua vulnerabilidade;
- **Etapa VI:** Análise dos resultados e proposta de medidas de mitigação.

#### 4.3.1 Etapa I: Caracterização da rede de transporte do Sistema BRT

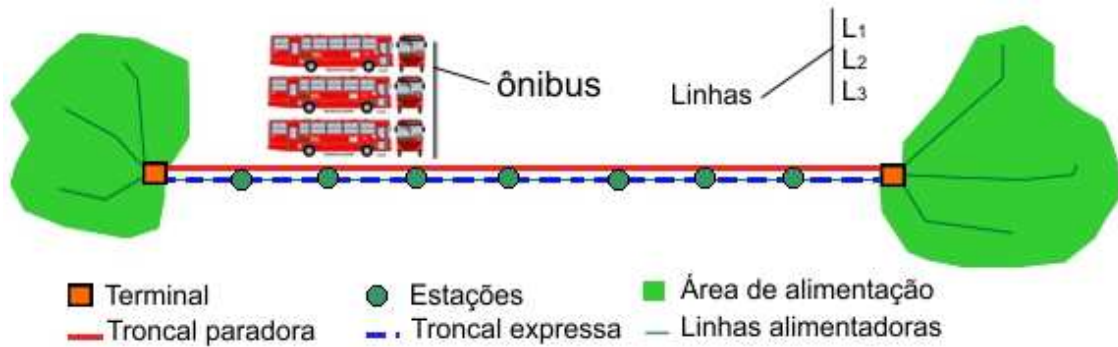
Nesta etapa, busca-se inicialmente a caracterização da rede em estudo, que deve incluir a descrição geral da rede e dos elementos a considerar, quais sejam: portais, terminais, estações, corredores, trechos, arcos, nós, fluxos de veículos, fluxos de usuários, tempos, velocidades, tipo da via (simples de mão única, dupla de mão única), cruzamentos, geometria da via, capacidade da via, capacidade operacional, a fim de identificar e delimitar a área de estudo.

Dentro da abrangência do método estão os corredores das linhas troncais, de forma que os corredores das linhas alimentadoras foram excluídas da análise, devido às considerações tratadas nos parágrafos anteriores. De forma complementar, com o fito de facilitar a apresentação dos resultados, os arcos foram aglomerados em trechos e, posteriormente, em troncais. A seleção dos troncais deve ser realizar de acordo com a nomenclatura existente da rede de transporte. Na Figura 4.2 é apresentada a aglomeração dos elementos da rede de transporte.



**Figura 4.2** Aglomeração dos elementos da rede de transporte.

Como principal resultado da caracterização da rede de transporte do Sistema BRT está a identificação da área de estudo e dos elementos a considerar. Na 4.3 é apresentado o esquema geral de uma rede de transporte de um Sistema BRT e alguns elementos da sua operação, conforme segue:



**Figura 4.3** Representação de uma rede de um Sistema BRT e sua operação.

#### 4.3.2 Etapa II: Identificação dos arcos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT

Como foi explicitado, a teoria dos grafos fornece várias alternativas de medidas da importância do arco, desenvolvidas durante os últimos 40 anos. A medida de centralidade para este estudo é a centralidade de intermediação, pois contempla a fração do número dos caminhos mínimos entre uma origem e um destino que passam através de um determinado arco ou nó.

No entanto, diferentes medidas de centralidade de intermediação podem ser relevantes, dependendo da perspectiva de como é visto o sistema. Em particular, pode-se focar na operação da frota veicular ou nos usuários. Assim, para este estudo, a análise concentrou-se dentro do foco da operação e dos usuários, estes últimos representados pela demanda de viagens. Em cada caso, apresenta-se a medida de centralidade de intermediação como a medida dos fluxos que cruzam através de um arco (Cats e Jenelius, 2012).

- a) **Centralidade de intermediação para a operação:** no planejamento de transportes, o fluxo de veículos é usado principalmente como suporte na tomada de decisões em um nível tático e estratégico. No que se refere à importância dos arcos, uma das principais variáveis de estudo é o fluxo de veículos em um período de tempo. No método proposto, esta variável é o insumo básico para o cálculo da centralidade de

intermediação de um arco em relação à totalidade dos arcos que compõem a rede de transporte.

Com a informação detalhada do fluxo de veículos, para cada arco, pode ser identificado o valor da centralidade de intermediação destes, calculado como uma fração do total da rede por meio da expressão a seguir:

$$CO_B(e|t) = \frac{\sum_{l \in L} E[|X_l(t)|](e)}{\sum_{l \in L} E[|X_l(t)|]} \quad (6)$$

Em que:

$CO_B$ : centralidade de intermediação na perspectiva do operador;

$l$ : linha;

$L$ : conjunto de todas as linhas do sistema;

$t$ : período de tempo;

$e$ : arco;

$X_l(t)$ : conjunto de saídas da linha  $l$  durante um período de tempo  $t$ .

- b) **Centralidade de intermediação para os usuários:** as informações da demanda são insumos importantes para o desenho conceitual de projetos de transporte e na calibração destes. No tocante à importância dos arcos com foco na demanda, a variável principal para o estudo é o fluxo de usuários em um período de tempo. No método proposto, esta variável é o insumo básico para o cálculo da centralidade de intermediação de um arco em relação à totalidade dos arcos que compõem a rede de transporte.

Com a informação detalhada do fluxo de usuários, para cada arco, pode ser identificado o valor da centralidade de intermediação destes, calculado como uma fração do total da rede por meio da expressão a seguir:

$$CP_B(e|t) = \frac{\sum_{j \in J} E[|P(t)|](e)}{E[P(t)]} \quad (7)$$

Em que:

$CP_B$ : centralidade de intermediação na perspectiva do usuário;

$j$ : caminho físico do usuário;



$J$ : conjunto de todos os caminhos físicos;

$t$ : período de tempo;

$e$ : arco;

$P(t)$ : conjunto de todos os usuários entre todos os pares origem – destino.

- c) **Resultado da medida de centralidade de intermediação:** bem como foi calculada a centralidade de intermediação com foco na operação e na demanda de usuários do sistema, também executa-se uma classificação dos arcos de acordo com o *ranking* do valor da medida de centralidade de intermediação obtida nos dois casos. Desta forma, logra-se identificar os candidatos para arcos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT. Estas análises são realizadas, assumindo a operação normal em um período de tempo de maior demanda.

Os resultados obtidos no processo anterior são agrupados em uma tabela, onde são resumidos os *ranking* dos trechos, segundo a importância revelada pelo valor da centralidade de intermediação, obtido para cada foco da análise. Logo, para selecionar estes trechos, antes descritos como os mais importantes, deve-se calcular a centralidade global no cenário crítico e no cenário ótimo, tal que:

$$C_{B\_global} = f_o CO_B + f_v CP_B \quad (8)$$

Em que:

$C_{B\_global}$ : centralidade global;

$CO_B$ : centralidade com foco na operação;

$CP_B$ : centralidade com foco nos usuários;

$f_o$ : fator de participação em relação aos lugares disponíveis no veículo, equivalente à ocupação nos horários de maior e menor demanda de usuários;

$f_v$ : fator de participação das viagens realizadas no sistema durante o período de pico, equivalente ao total ou a taxa média das viagens realizadas por cada usuário.

O objetivo do cenário ótimo buscou representar as condições de operação normal fora do horário de maior demanda. O cenário crítico procurou retratar as condições de operação normal no período de maior demanda de usuários do transporte de massa. Diante disso, para o cálculo da centralidade global, com foco na operação, o  $f_o$  no cenário crítico foi calculado em relação com a ocupação máxima ( $6/m^2$ ) e o volume

total da frota circulante no período de estudo. Para o cenário ótimo o cálculo considerou a ocupação normal, equivalente com o 65% da capacidade do veículo ( $4/m^2$ ) e o volume total da frota circulante no período de estudo.

Com foco nos usuários, para o cálculo da centralidade global, o  $f_v$  no cenário crítico foi calculado considerando o número de viagens realizadas no período de estudo igual ao número de usuários que viajaram no mesmo período (uma viagem = um usuário). Para o cenário ótimo, o  $f_v$  foi calculado segundo a taxa de viagens realizadas por cada usuário em um dia típico no período de estudo ( $\#Viagens = \text{um usuário}$ ). Vale ressaltar que os fatores estão representados pelo percentual de usuários equivalentes de acordo com as considerações tratadas antes.

Com o auxílio do cálculo da centralidade global nos dois cenários foi realizado um ajuste no *ranking*, o que permitirá selecionar os trechos mais importantes, e assim, criar os cenários de interrupção, tal como é tratado na seção seguinte.

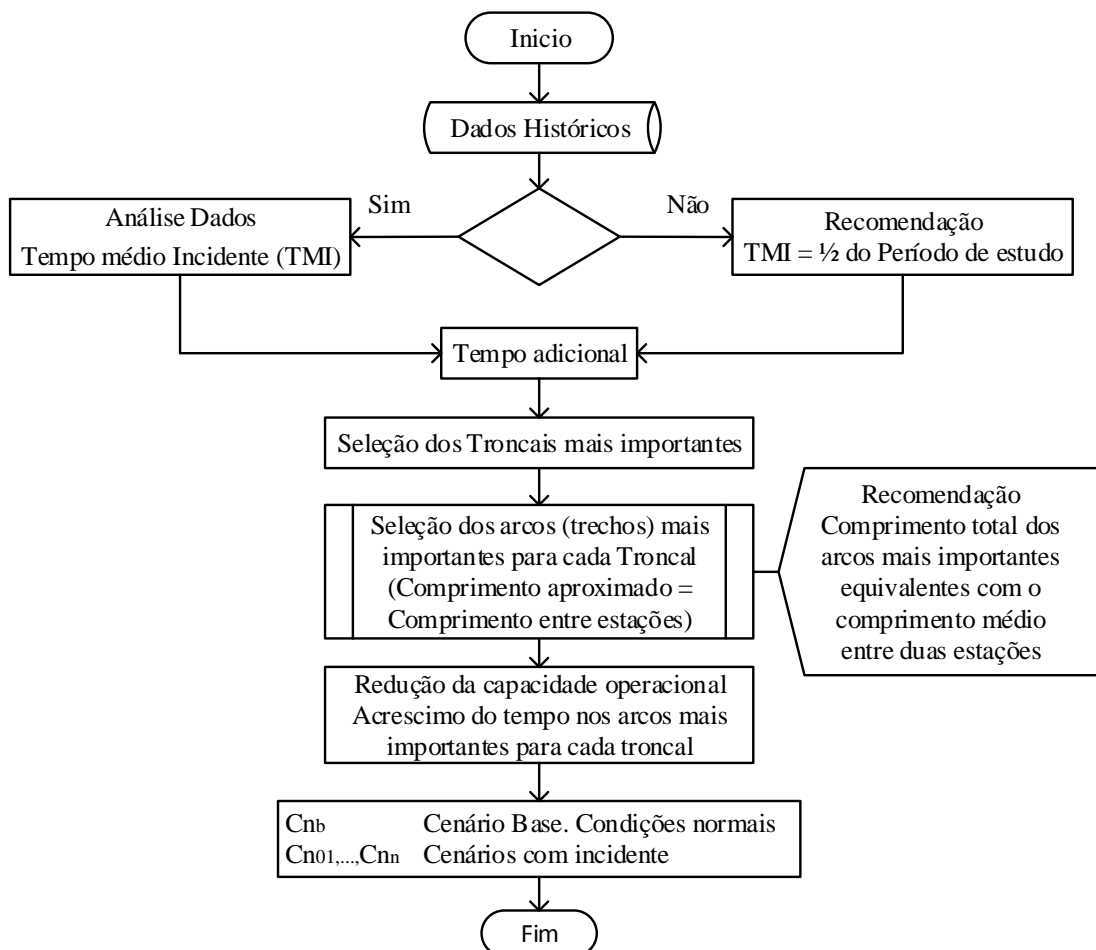
#### 4.3.3 Etapa III: Criação de cenários de interrupção

Conforme a disponibilidade da informação de Sistemas BRT implantados, procura-se analisar o histórico de dados fornecidos pelo registro das interrupções à funcionalidade do sistema. Esta análise tem o intuito de identificar os tipos de incidentes de maior frequência e, assim, aumentar a precisão na identificação e classificação dos arcos da rede do sistema. Com o fornecimento destas informações é possível realizar uma categorização dos tipos de incidentes mais comuns, tais como, greves, manifestações, quebra dos ônibus, bloqueio em intersecções, incidentes por obras de manutenção, condições adversas do clima e outros incidentes que podem ocorrer eventualmente. A identificação dos incidentes mais frequentes que afetam a funcionalidade da rede de transporte de Sistemas BRT, servirão de insumo na fase posterior para a criação dos cenários de interrupção.

São gerados os cenários de interrupção, tendo como referência o cenário base, onde se supõe que a rede de transporte do sistema apresenta uma funcionalidade normal em condições normais. Também, deve-se considerar uma interrupção de curto prazo. Ou seja, a interrupção não causa a diminuição total da funcionalidade da rede de transporte do

sistema e, o tempo desta interrupção é por um curto período e menor ao período de maior demanda, onde o sistema se consegue recuperar.

A criação do cenário é representada por uma porcentagem na redução da capacidade da operação nos elementos identificados e selecionados como os mais importantes da rede de transporte do sistema BRT. Pois, isso segundo o resultado da medida da centralidade de intermediação, é refletida na diminuição do número de veículos que conseguem circular por estes arcos durante o período de estudo, e é obtida com a diminuição da velocidade e com o aumento do tempo de operação. No caso de rede de transporte de Sistemas BRT em operação, estas porcentagens podem ser estimadas de acordo com os registros dos incidentes mais frequentes ocorridos ao longo de um período, que podem resultar de ações humanas ou naturais, de maneira planejada ou imprevisível. Na Figura 4.4 é apresentado o procedimento para a criação dos cenários de interrupção.



**Figura 4.4** Procedimento para a criação dos cenários

Na Tabela 4.1, apresentam-se um exemplo de cenários que são simulados e analisados com ajuda de ferramentas computacionais (Sistemas de Informação Geográfica – SIG), o

que permitirá determinar o grau do impacto e, assim, posteriormente a vulnerabilidade da rede de transporte. No entanto, não se considera a diminuição total da capacidade, devido a que, como a rede não é redundante, esta não fornece múltiplas alternativas para se deslocar, além de que, poderia ocasionar o colapso total da funcionalidade do sistema.

**Tabela 4.1** Cenários de interrupção para sistemas BRT em operação.

CENÁRIOS	TRECHO	ID ARCOS
$Cn_{01}$	Incidente no Trecho_01	1, 2, 3, ..., n
$Cn_{02}$	Incidente no Trecho_02	1, 2, 3, ..., n
.	.	.
.	.	.
.	.	.
$Cn_n$	Incidente no Trecho_n	1, 2, 3, ..., n

Para conseguir realizar a análise, é indispensável construir um cenário base, denotado  $Cn_b$ , que represente a operação normal do Sistema BRT em condições normais. Além disso, como foi mencionado antes, o período da análise corresponde ao período de maior demanda, ou seja, o período pico da demanda, devido a representatividade das informações neste período. Também a interrupção é considerada dentro deste período de maior demanda, em que a interrupção é de pouca duração e não planejada.

#### 4.3.4 Etapa IV: Avaliação dos impactos das interrupções nos arcos mais importantes da rede de transporte de Sistemas BRT

Para avaliar os impactos das mudanças nestes sistemas ocasionadas pela interrupção nos arcos mais importantes, deve-se, de maneira geral, descrever os impactos ocasionados, comparando com as condições prévias e posteriores ao fato. E, para tanto, precisa-se considerar a diferença na funcionalidade da rede de transporte e eleger algum indicador de desempenho para aferir a diferença entre as duas situações em análise. Para este estudo a análise foi focada no impacto aos usuários e a operação da rede de transporte do Sistema BRT. O impacto gerado pela interrupção da rede de transporte está representado pelos cenários de interrupção. O indicador usado para a operação é a variação do custo e para os usuários é a mudança do bem estar, medidos pelo tempo da viagem.

Portanto para se mensurar o impacto nos dois focos de estudo, é necessário utilizar um processo de alocação das viagens do Sistema BRT. Para este propósito, existem modelos de alocação de fluxo de transporte que servem para distribuir os fluxos sobre a rede de transporte.

Os *softwares* SIG disponibilizam vários métodos baseados no equilíbrio e não equilíbrio para se realizar o processo de alocação. A maioria dos métodos destes *softwares* utilizam como função de otimização o Custo Generalizado, o que abrange os componentes de tempo da viagem e a tarifa. Por tal razão, escolheu-se utilizar este tipo de *software* SIG.

Por tais razões, o método utilizado neste estudo é o Equilíbrio Estocástico do Usuário sob a condição normal para o equilíbrio do usuário, no qual são medidos os efeitos no tempo da viagem. Estas condições indicam que os indivíduos escolhem a rota a fim de minimizar seu tempo de viagem, sendo uma situação de equilíbrio, onde todas as rotas utilizadas entre quaisquer par O/D apresentem o tempo de viagem igual ou menor que nas rotas não utilizadas (CALIPER, 2008).

Neste sentido, as análises dos impactos, devem ser feitas com os dois elementos nos quais se focaliza o estudo, e avaliados nos cenários propostos. Desse modo, são apresentadas a seguir as análises para cada foco:

- a) **Impacto na operação:** na perspectiva do operador, a avaliação dos impactos está ligada com o tempo total da viagem, já que este afeta os custos de operação, do combustível e, potencialmente, de sanções de desempenho de chegada na hora. O tempo da viagem e o “*dwell time*” são variáveis, dessa forma, o custo do operador em um cenário também é variável. No entanto, neste contexto, os valores usados para os cálculos são os valores médios em um período de tempo. Supondo que o custo de operação total  $CO(Cn_n|t)$  em um cenário  $Cn_n$  durante um período ( $t$ ), pode ser expresso como a soma de todos os custos de operação de cada viagem dos veículos durante um intervalo de tempo. Então o custo se expressa da seguinte maneira:

$$CO(Cn_n|t) = E\left[\sum_{l \in L} \sum_{x \in X_l(t,\tau)} C_x O(Cn_n)\right] \quad (9)$$

Em que:

$Cn_n$ : cenário de interrupção;

$CO(Cn_n|t)$ : custo operacional total no período da análise;

$l$ : cada linha;

$x$ : viagem de um veículo da linha  $l$ .

$C_x O(Cn_n)$ : custo da operação associado com a viagem do veículo  $x$  no cenário  $Cn_n$ .

Para avaliar os impactos da interrupção no cenário  $Cn$ , deve-se comparar o custo de operação deste cenário com o custo de operação do cenário base, durante um intervalo de tempo, é representado pela seguinte expressão.

$$IO(Cn_n) = CO(Cn_n) - CO(Cn_b) \quad (10)$$

Em que:

$Cn_n$ : cenário de interrupção;

$IO(Cn_n)$ : impacto na operação no cenário  $Cn_n$ ;

$CO(Cn_n)$ : custo total na operação no cenário  $Cn_n$ ;

$CO(Cn_b)$ : total do custo na operação no cenário base.

- b) Impacto nos usuários:** para a análise, na perspectiva dos usuários, a avaliação do impacto envolve comparar e realizar a somatória de várias variáveis para os diferentes usuários. Portanto, estes impactos podem ser medidos em relação à utilidade total dos usuários expressada em termos monetários, representando assim as mudanças no bem estar destes. Supondo que, o bem estar do usuário  $p$  em um cenário  $Cn$  se denota  $CP_p(Cn)$ , o total do bem estar durante um intervalo de tempo ( $t$ ) no cenário  $Cn$  é:

$$CP(Cn_n|t) = E[\sum_{o \in V_{od}} \sum_{d \in V_{od}} \sum_{p \in P_{od}} CP_p(Cn)] \quad (11)$$

Em que:

$CP(Cn_n|t)$ : total do bem estar em um no período da análise

$Cn_n$ : cenário de interrupção

$o$ : conjunto de usuários de origem

$d$ : conjunto de usuários de destino

$p$ : usuários

$CP_p(Cn)$ : bem estar do usuário  $p$  durante em um cenário  $Cn$ .

Para avaliar os impactos da interrupção no cenário  $Cn_n$ , usa-se o tempo da viagem como indicador do bem estar, assim, um tempo de viagem mais curto é equivalente ao um maior bem estar. Então o impacto da interrupção é avaliada pelas mudanças no tempo total da viagem ou pela média do tempo total da viagem do usuário.

De forma que, para simplificar o total de bem estar para todos os usuários durante um intervalo de tempo, pode ser denotada como  $CP(Cn_n)$ . A medida do impacto no cenário  $Cn_n$  na perspectiva do usuário, representada pela mudança no bem estar do usuário  $p$  no cenário base, durante um intervalo de tempo, é representado pela seguinte expressão.

$$IP(Cn_n) = CP(Cn_n) - CP(Cn_b) \quad (12)$$

Em que:

$Cn_n$ : cenário de interrupção;

$IP(Cn_n)$ : impacto aos usuários no cenário  $Cn_n$ ;

$CP(Cn_n)$ : bem-estar para o total dos usuários no cenário  $Cn$ ;

$CP(Cn_b)$ : bem-estar para o total dos usuários no cenário base.

O resultado dos cálculos anteriores, deve servir para à posterior classificação dos elementos em análise.

#### 4.3.5 **Etapa V: Classificação da rede de transporte de Sistemas BRT segundo a sua vulnerabilidade**

Nesta etapa é realizada uma análise dos resultados obtidos nas etapas anteriores, com o intuito de fazer uma classificação da rede de transporte de acordo com a importância e o impacto gerado pela ocorrência de incidentes que podem ocasionar diminuições da funcionalidade da rede de transporte.

Neste sentido, para a classificação é considerada uma ordem ascendente, determinada pela vulnerabilidade resultante, para cada arco ou trecho da rede de transporte em estudo. Esta ordem possibilita identificar o arco ou trecho mais vulnerável em relação aos outros arcos ou trechos que compõem a rede de transporte em estudo. Na Tabela 4.2 é apresentado um exemplo da classificação de uma rede de transporte segundo sua vulnerabilidade.

**Tabela 4.2** Exemplo de classificação de uma rede segundo sua vulnerabilidade.

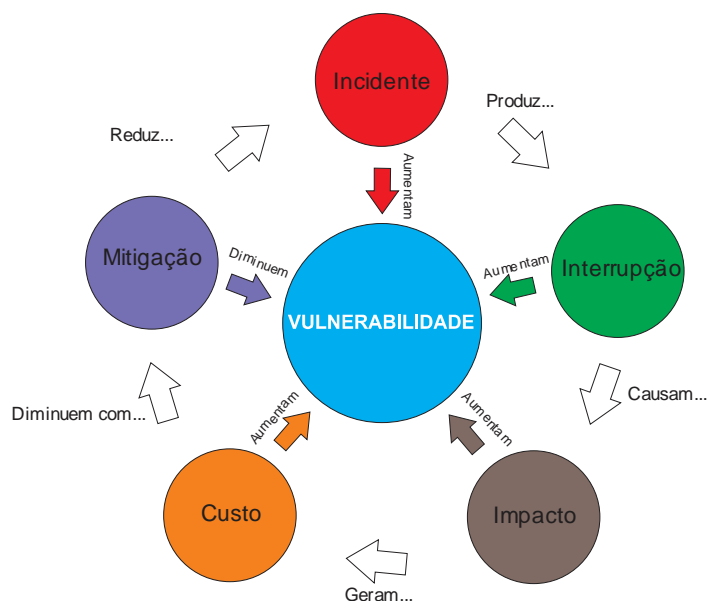
VULNERABILIDADE	ARCO	TRECHO
1	e1, e2	Trecho A
2	e3	Trecho B
3	e4, e5, e6	Trecho C
4	e7, e8, e9, e10	Trecho D
5	e11, e12	Trecho E

Segundo o que foi apresentado na tabela anterior, um trecho corresponde a um conjunto de dois ou mais arcos. Também um ou mais trechos podem ser nomeados como um Troncal. Esta consideração é realizada para facilitar as análises dos resultados.

#### 4.3.6 Etapa VI: Análise dos resultados e proposta de medidas de mitigação

Esta etapa corresponde à consolidação dos resultados da aplicação do método e da determinação da susceptibilidade da rede a incidentes que podem causar diminuições na funcionalidade da rede de transporte do sistema.

Dessa forma, conforme os resultados e suas análises é viável planejar e propor medidas de mitigação nos elementos vulneráveis da rede de transporte dos sistemas BRT, com a finalidade de reduzir os possíveis impactos que sejam gerados pelas interrupções e de contribuir na melhora da robustez da rede de transporte destes sistemas. Na Figura 4.5 apresenta-se o esquema geral da análise da vulnerabilidade, junto com os elementos e a forma como impactam a vulnerabilidade das redes de transporte.



**Figura 4.5** Análise de vulnerabilidade da rede de transporte.



A análise da vulnerabilidade da rede de transporte BRT facilita a integração de medidas para melhorar a robustez do sistema e seu planejamento, operação e gestão. A identificação da rede estratégica pode prover subsídios para a tomada de decisões de investimentos na infraestrutura ou na operação do sistema. Também pode ajudar na formulação de critérios no momento da geração de medidas de mitigação, o que contribui na diminuição do impacto na ocorrência de um incidente que resulte em uma considerável redução da funcionalidade do sistema. Ou seja, ajuda diminuir a vulnerabilidade ante as ocorrências de interrupções. Além disso, contribui para a formulação de recomendações e considerações necessárias para melhorar a operação da rede do sistema.

As medidas de mitigação são geradas de acordo com as características estruturais e operacionais da rede de transporte do Sistema BRT, cujas análises são obtidas com a aplicação do método proposto, de maneira que, segundo a ordem obtida na classificação realizada conforme a análise de vulnerabilidade, podem ser priorizados os elementos a serem atendidos para assim diminuir sua vulnerabilidade. Para o caso dos sistemas implantados, as informações adicionais da ocorrência e frequência de incidentes que impactam na funcionalidade da rede de transporte de Sistemas BRT contribuem para focar os pontos mais frágeis da rede de transporte destes sistemas.

Estas ações podem ocasionar benefícios, não só nos elementos considerados, senão também, nos elementos envolvidos na rede de transporte do sistema, tais como: benefícios sociais, econômicos, ambientais e na imagem e marketing do Sistema BRT, contribuindo assim, para o desenvolvimento da cidade.

#### **4.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

O método proposto se caracteriza por ser estratégico, o qual se distingue por considerar informações da oferta e a demanda nos períodos em que a solicitação do serviço é maior. As informações são altamente representativas, no entanto, podem ser adicionadas outras informações não inerentes à dinâmica desta atividade e que contribuem com a melhora nos resultados obtidos.

O método contempla o processo de caracterização, identificação e classificação dos arcos mais importantes, que podem ser agrupados em trechos. Também considera a avaliação

dos impactos gerados aos usuários e a operação, pelas ocorrências de incidentes que alteram a funcionalidade da rede de transporte de Sistemas BRT.

Este método pode ser aplicado em redes de transporte de Sistemas BRT em funcionamento, como em rede de transporte de projetos BRT planejados ou em construção, mas tendo algumas considerações adicionais para cada caso, a fim de fornecer informações de grande valor para os tomadores de decisões, além de atender os objetivos propostos.

## **5. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA REDE BRT DO SISTEMA TRANSMILÊNIO (TM)**

### **5.1 APRESENTAÇÃO**

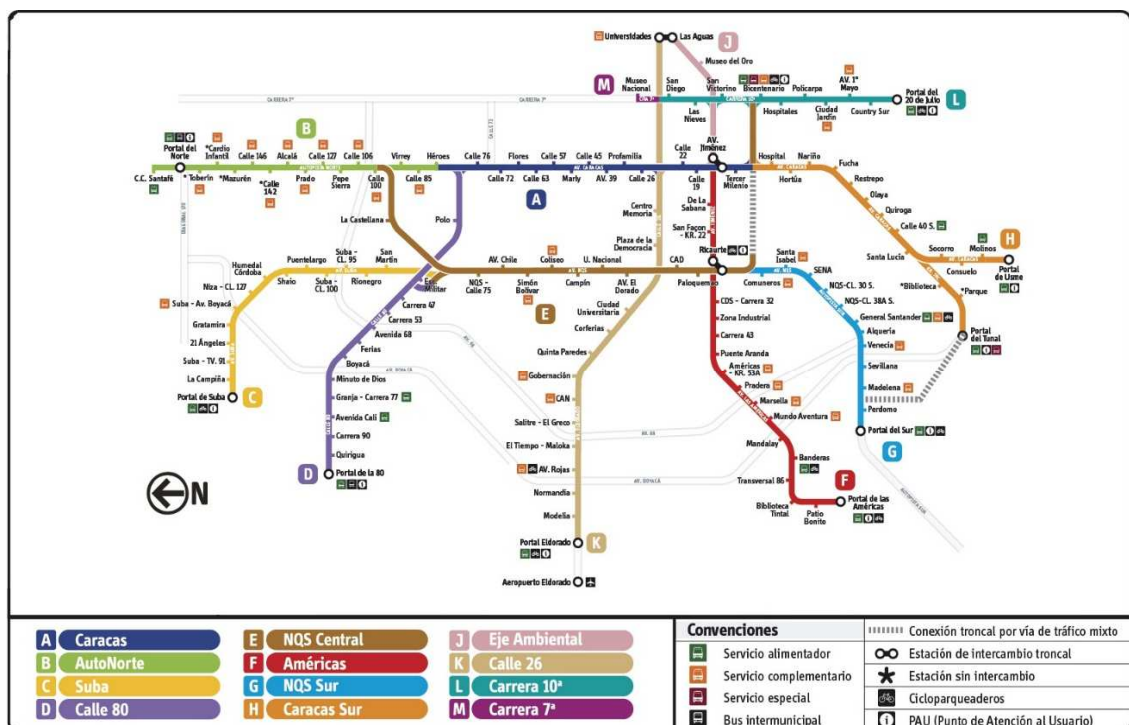
Visando analisar a vulnerabilidade da rede de transporte de Sistemas BRT, foi considerado como estudo de caso, um dos sistemas pioneiros dos transportes de massa no mundo, o Transmilênio (TM), de Bogotá – Colômbia. Atualmente o sistema está na parte final da Fase III. Além disso, este sistema faz parte do novo Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá (SITP), como instrumento para atender de forma eficiente as necessidades de transporte público dos cidadãos e contribuir na diminuição do impacto em termos de qualidade do ar, ruído e emissões poluentes (Transmilenio, 2013).

Neste contexto, o presente capítulo realiza uma descrição do Sistema Transmilênio e se executa passo a passo as etapas que contemplam o método para análise da vulnerabilidade da rede deste tipo de sistemas.

### **5.2 TRANSMILÊNIO (TM)**

O Transmilênio (TM) é um sistema de transporte de massa, com um sistema de controle e monitoramento em tempo real, que fornece um serviço de transporte de qualidade aceitável. Este aproveita de forma eficiente a operação dos ônibus articulados ao longo dos corredores exclusivos semi-segregados, e ônibus tipo padron que trafegam pelo sistema viário misto, ligado aos terminais e algumas estações intermediárias com bacias de alimentação. Atualmente Transmilênio (TM) registra cerca de 1,98 milhões de usuários por dia (BRTData, 2013). Este sistema faz parte do Sistema Integrado de Transporte Público da cidade de Bogotá na Colômbia (SITP). O processo de planejamento e inserção do sistema ocorreu entre os anos 1998 e 2001. Desde o início da sua operação no final do ano 2000, o Transmilênio apresentou uma melhora importante no transporte público, comparado com o sistema existente até então, especialmente para os habitantes de Bogotá, os quais, de certa forma, têm mudado sua percepção sobre a mobilidade na cidade com a implementação deste sistema e se beneficiaram de um transporte digno, eficiente e de alta qualidade (Transmilenio, 2005)

O Sistema Transmilênio (TM) está composto por quatro elementos básicos de infraestrutura: infraestrutura exclusiva, operação dos ônibus, sistema de cobrança e órgãos de controle. A infraestrutura inclui corredores exclusivos para a operação com faixa dupla em alguns trechos e com faixa simples em outros, além de baias para o estacionamento nas estações, estações simples de integração, estações intermediárias e portais que são os terminais do sistema. Adicionalmente tem passarelas para pedestres, garagens de estacionamento, rampas, etc. (Valvuen a e Hidalgo, 2005). A representação gráfica geral deste sistema é apresentada na Figura 5.1.



**Figura 5.1** Mapa do sistema Transmilênio (TM).

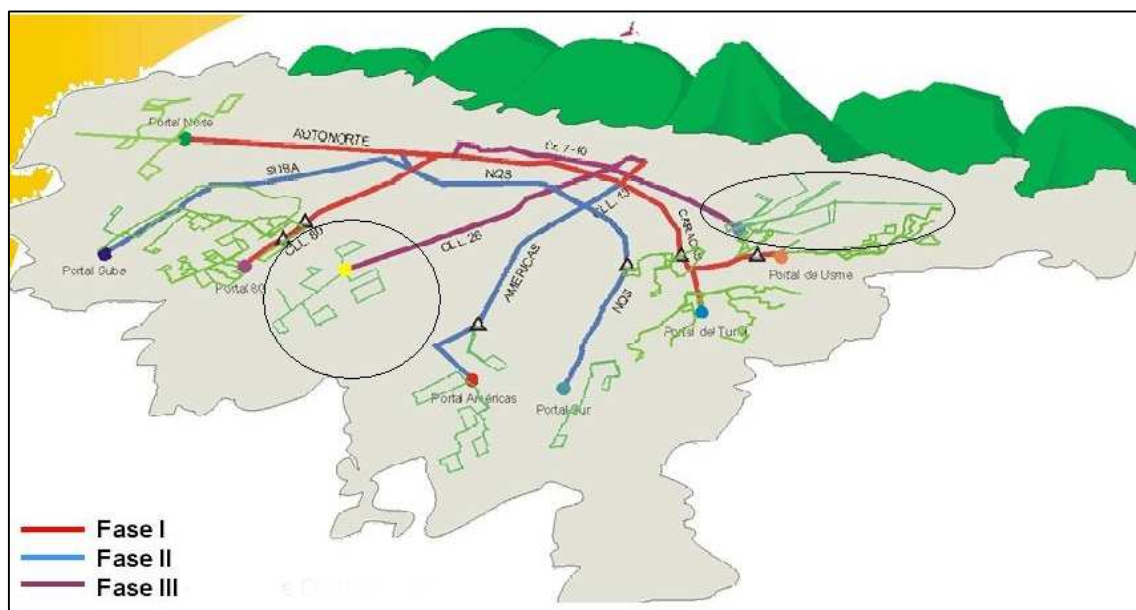
**Fonte:** adaptado de (SITP, 2013).

A rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM) está composta por 115,5 km em operação, 131 estações, nove (9) portais e nove (9) garagens. Movimenta em média de 1.926.985 passageiros diários, representando 30% da demanda de transporte público de Bogotá (Transmilenio, 2013).

Em relação aos corredores da rede do Sistema Transmilênio, estes estão constituídos por faixas centrais sobre as principais vias da cidade. Estas faixas são exclusivas, as quais separam fisicamente o fluxo de veículos do sistema do fluxo de veículos particulares, caminhões, táxis, etc. (Transmilenio, 2013).

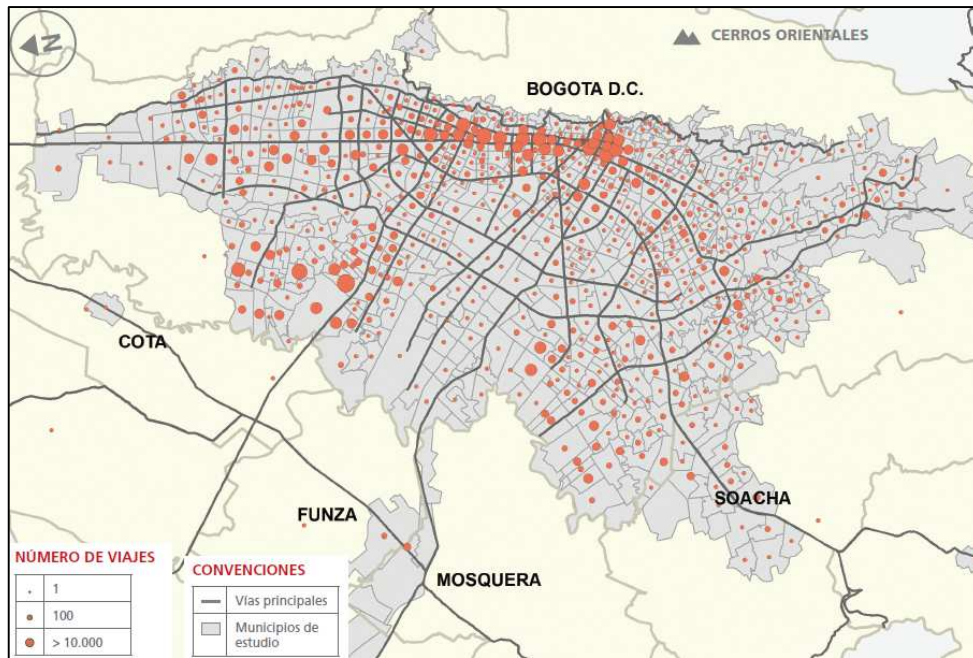
Por outro lado, as estações são estruturas que servem de ponto de parada dos veículos do sistemas para permitir o ingresso e saída dos usuários com segurança. A distância aproximada entre as estações é de 500 a 700 metros. Também existem estações que são portais, localizados no início e no fim das rotas. Em alguns pontos de cruzamentos importantes existem estações intermediárias onde se podem realizar transbordos da mesma forma que nos portais (Transmilenio, 2013).

Inicialmente foram definidas quatro (4) fases para a construção de 388 km da rede do Sistema Transmilenio (TM). Porém, essa ideia tem sido modificada de acordo com o desenvolvimento do Sistema e da disponibilidade dos recursos. Para o ano de 2007 o sistema contava com a construção e operação das Fase I e II. No ano 2013 concluiu a construção e iniciou a operação da Fase III durante o governo do prefeito Gustavo Petro (Transmilenio, 2010). Na Figura 5.2 se ilustram as três fases construídas e em operação de Transmilenio (TM).



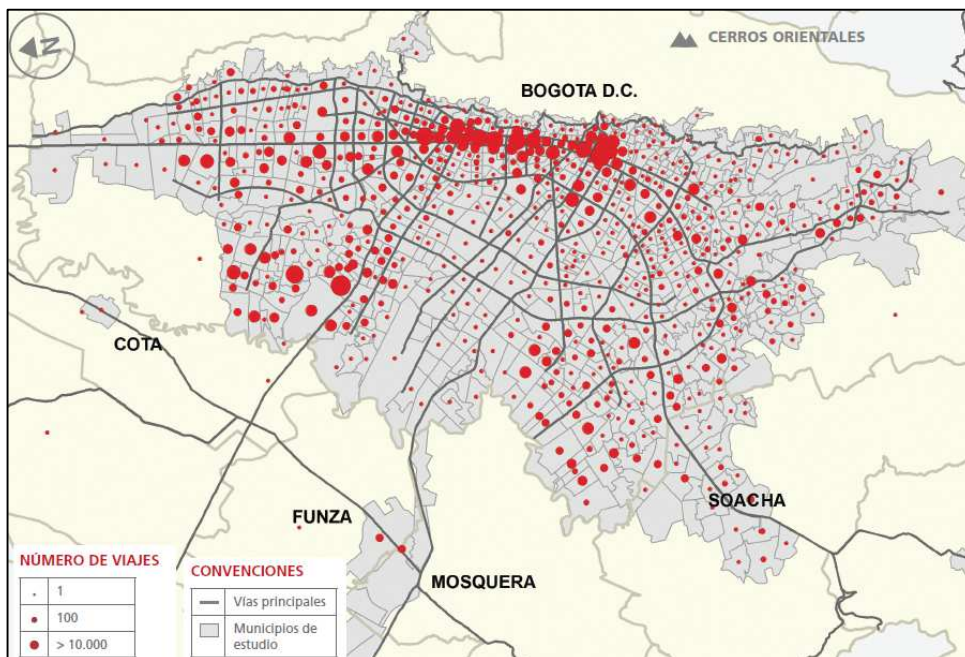
**Figura 5.2** Fases de Transmilenio (TM).  
**Fonte:** adaptado de (Transmilenio, 2004)

Segundo SDG Limited e CNC (2011) há uma concentração de viagens realizadas em um dia típico no Sistema Transmilenio (TM) – origem durante todo o dia, como é apresentado na Figura 5.3. Pode se apreciar de maneira geral que esta concentração está sobre uma zona em particular, localizada no centro da cidade.



**Figura 5.3** Total de viagens em TM em um dia típico em Bogotá – Origem.  
**Fonte:** adaptado de (Transmilenio et al., 2013).

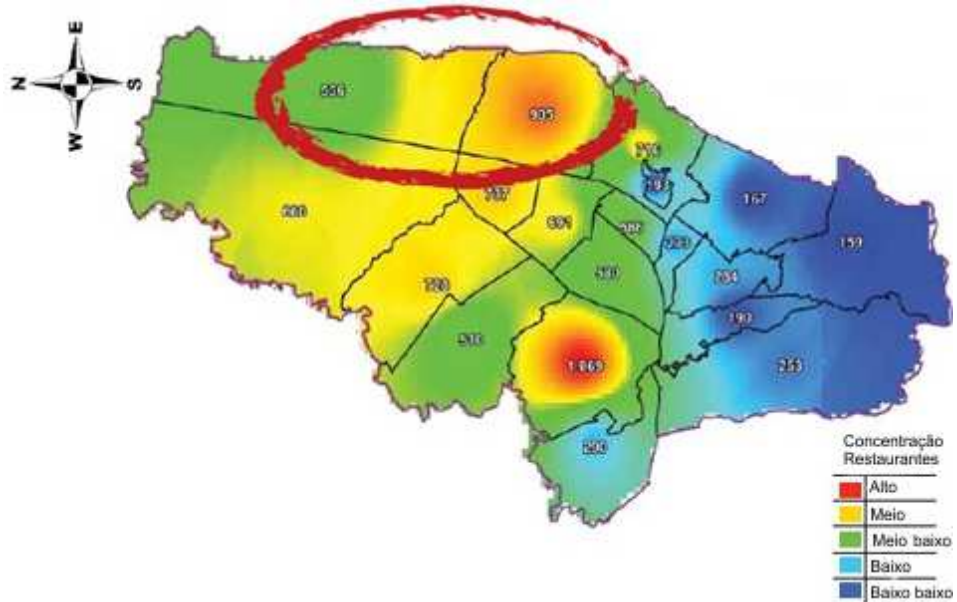
Do mesmo modo, na Figura 5.4 são apresentadas as viagens feitas em um dia típico no Sistema Transmilenio (TM) – destino durante todo o dia.



**Figura 5.4** Total de viagens em TM em um dia típico em Bogotá – Destino.  
**Fonte:** adaptado de (Transmilenio et al., 2013).

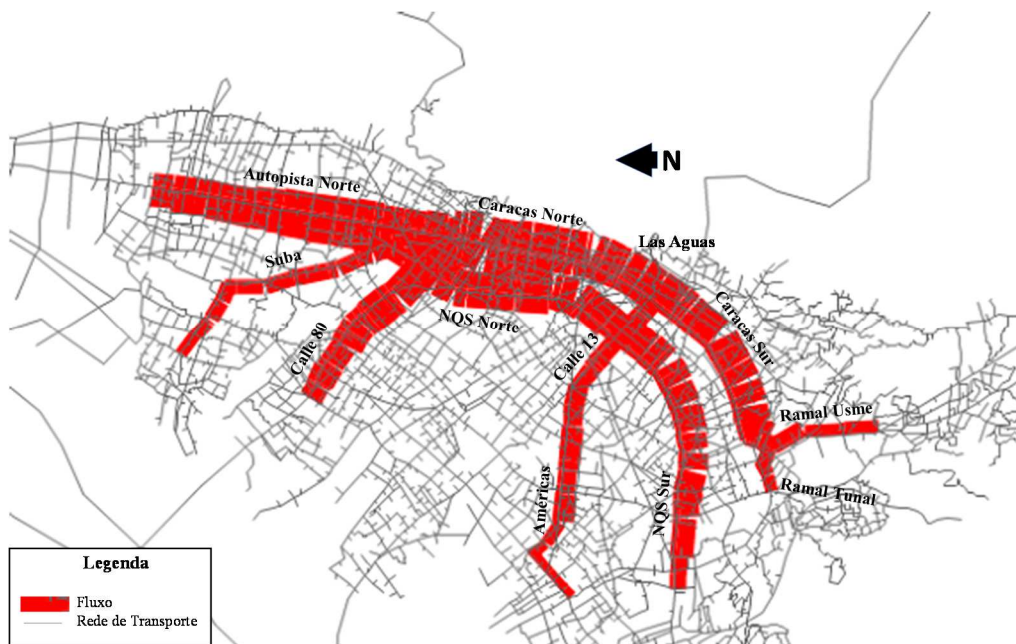
Também se observa uma concentração das viagens destino na mesma zona central da cidade como se mostrou para as viagens origem. Nesta área se tem uma concentração de

universidades públicas e privadas, escritórios privados e governamentais, comércio, museus e restaurantes, como se aprecia na Figura 5.5. Cabe mencionar que nesta área está localizado o setor financeiro de Bogotá.



**Figura 5.5** Concentração de restaurantes em Bogotá.  
**Fonte:** adaptado de (www.revistalabarra.com.co).

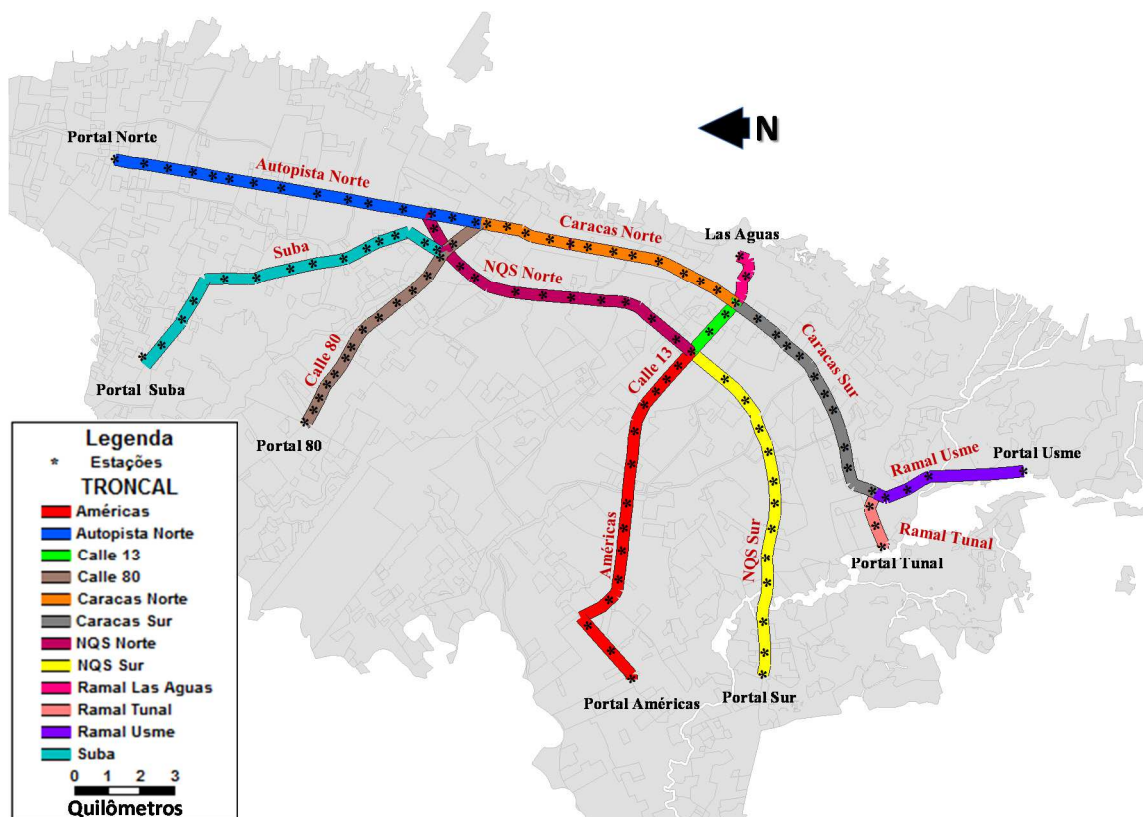
Ainda segundo os dados de Transmilenio, tem-se que na mesma zona central da cidade se apresenta um maior fluxo de usuários deste sistema de transporte, de acordo com o carregamento da rede de transporte para 2011, conforme apresentado na Figura 5.6.



**Figura 5.6** Carregamento da rede de TM 2011.  
**Fonte:** adaptado de (Transmilenio *et al.*, 2013)

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DA REDE DE TRANSMILÊNIO (TM)

A fim de facilitar a identificação dos arcos e trechos da rede de transporte do Sistema Transmilênio, foi realizada a aglomeração de arcos por trechos troncais. Incluiu-se todos os troncais que estão em funcionamento e, que fazem parte das fases I e II da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM), assim como o troncal Autopista Norte, troncal Calle 80, troncal Caracas Norte, troncal Caracas Sur, troncal Calle 13, troncal Avenida Suba, troncal NQS Norte, troncal NQS Sur e troncal Américas. Porém, não se inclui dentro da análise as troncais que foram construídas dentro da fase III, visto que, as informações do modelo de transporte foram coletadas antes da construção e início das operações desta fase. Na Figura 5.7 a seguir se apresenta a rede em estudo com a identificação dos troncais mencionados.



**Figura 5.7** Troncais da rede de Transmilênio (TM).

Cabe mencionar que a rede do sistema não apresenta redundância de seus trechos, portanto, não oferece uma ampla gama de alternativas para se deslocar de um ponto origem para um ponto destino. Além disso, dentro do sistema existem linhas alimentadoras que não entraram no estudo, porque não fazem grande diferença na matriz de volume de veículos entre as linhas paradoras e as linhas expressas. Estas linhas



alimentadoras operam sobre uma estrutura física compartilhada com os outros veículos (trânsito misto).

As informações do modelo de transporte correspondem à matriz O/D (Apêndice V) no horário de pico AM (6:30 – 7:30), por estação. Informações coletadas na quinta-feira do dia 14 de junho de 2011. As linhas deste Sistema BRT que oferecem o serviço dentro do período de estudo e que fazem parte do mesmo, correspondem com um total de 68 linhas atendidas, por aproximadamente 612 veículos, com capacidade aproximada de 160 passageiros/veículo (Apêndice VI) (Transmilenio, 2013).

Aproximadamente 179.392 viagens são realizadas pelos usuários do Sistema Transmilênio (TM) durante o horário de pico. Sendo que, as entradas e as saídas que acontecem no mesmo local, por exemplo, nos portais, não foram consideradas as viagens que tinham origem e destino fora do sistema, ou seja, estas viagens entraram e saíram no portal do Sistema Transmilênio.

#### **5.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ARCOS MAIS IMPORTANTES DA REDE DE TRANSPORTE**

A medida de centralidade de intermediação foi utilizada para identificar os candidatos a arcos mais importantes, aglomerados em trechos. Isto que, para o caso em estudo, foi considerado a operação normal (cenário base denotado  $C_b$ ) e a operação com interrupção (cenários de interrupção denotado  $C_n$ ).

A simulação do cenário base de operação em condições normais para a rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM), permitiu o cálculo da medida de centralidade de intermediação  $CB$  para os dois focos do estudo, através da rede. Na Figura 5.8 se apresentam os resultados da centralidade de intermediação para cada troncal da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM), com foco na operação, em que se pode observar de forma geral, as troncais que obtiveram o valor maior da medida de centralidade de intermediação.

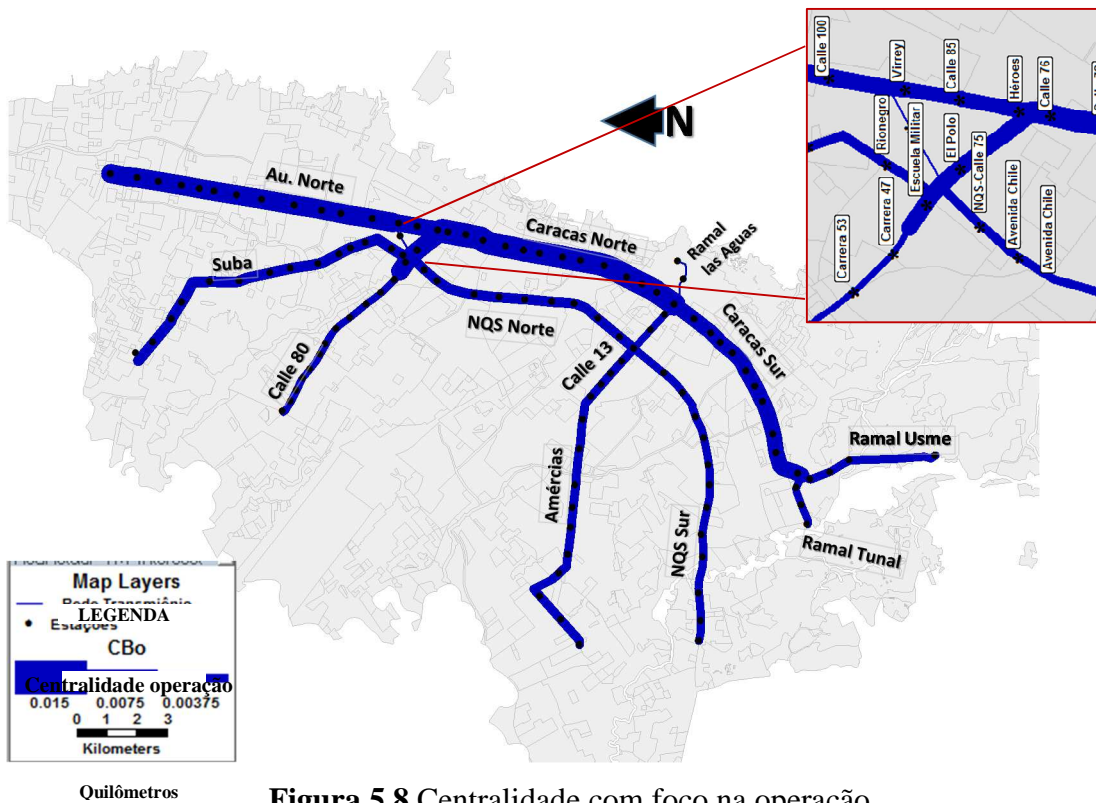


Figura 5.8 Centralidade com foco na operaçõ.

De mesma forma, na Figura 5.9 se apresentam os resultados da medida de centralidade de intermediação obtida para cada trecho da rede de transporte do Sistema Transmiãnio (TM) com foco nos usuários. Observa-se uma mudança dos trechos com maior valor de centralidade de intermediação em relaço com os valores obtidos com foco na operaço.

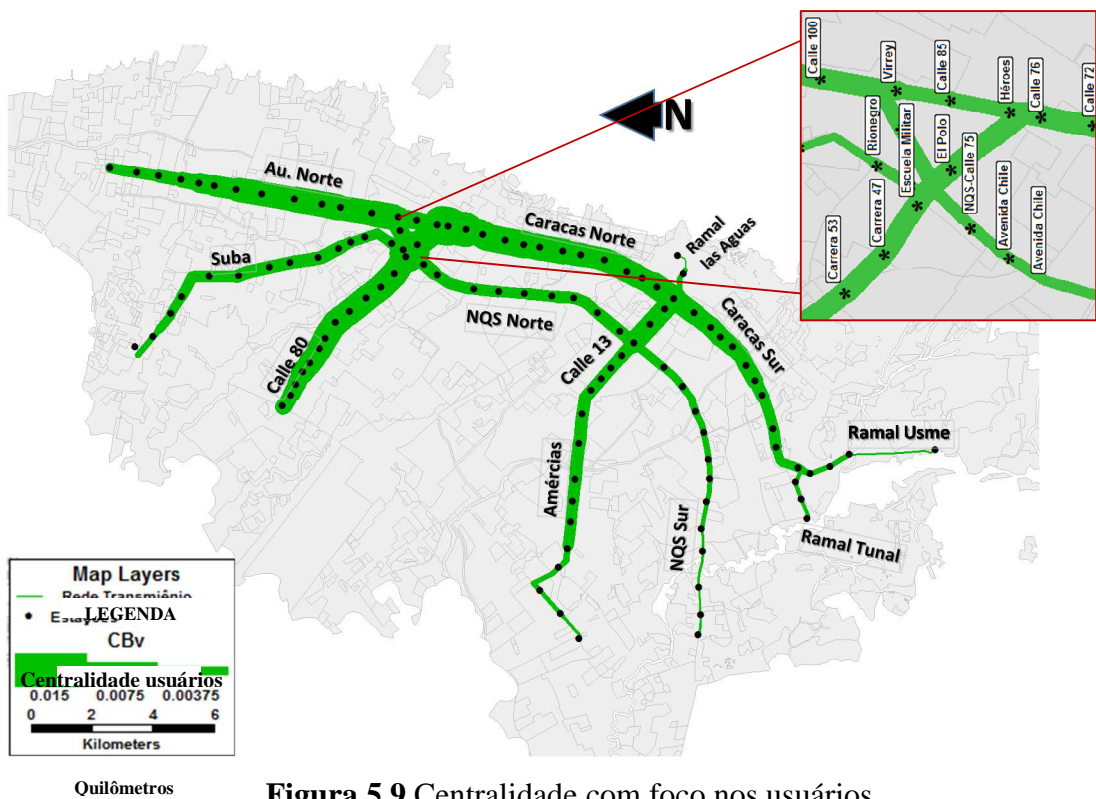


Figura 5.9 Centralidade com foco nos usuários.

Logo, na Tabela 5.1 se expõe o consolidado dos cálculos de centralidade de intermediação com foco na operação e nos usuários, onde se pode identificar que o trecho mais importante nos dois focos corresponde ao troncal Caracas Norte. As outras troncais apresentam uma ordem diferente nos focos de estudo, por isso, foi realizado outro cálculo a fim de ajustar esta classificação.

**Tabela 5.1** Cálculo de centralidade (operação – usuários).

<b>RANKING</b>	<b>TRONCAL</b>	<b>CENTRALIDADE DOS USUÁRIOS</b> $\frac{\sum_{j \in J} E[ P(t) ](e)}{E[P(t)]}$	<b>TRONCAL</b>	<b>CENTRALIDADE DA OPERAÇÃO</b> $\frac{\sum_{l \in L} E[ X_l(t) ](e)}{\sum_{l \in L} E[ X_l(t) ]}$
1	Caracas Norte	0,2107	Caracas Norte	0,4778
2	Autopista Norte	0,1894	Calle 80	0,4284
3	Caracas Sur	0,1353	Autopista Norte	0,398
4	Suba	0,0897	NQS Norte	0,2538
5	NQS Norte	0,0885	Caracas Sur	0,2533
6	Calle 80	0,0863	Suba	0,1944
7	NQS Sur	0,0799	Américas	0,1585
8	Américas	0,0684	NQS Sur	0,1053
9	Ramal Usme	0,0204	Calle 13	0,0313
10	Ramal Tunal	0,0176	Ramal Usme	0,025
11	Ramal Las Aguas	0,0065	Ramal Tunal	0,0206
12	Calle 13	0,0064	Ramal Las Aguas	0,0205

Cabe mencionar que para classificar estes trechos antes descritos, segundo sua importância, foi calculada a medida de centralidade de intermediação global no cenário crítico e no cenário ótimo, tal que, para o cenário crítico a centralidade global é:

$$C_{B_{global}}(C_C) = f_{o_c}CO_B + f_{v_c}CP_B \quad (13)$$

Em que:

$C_{B_{global}}$ : centralidade global;

$(C_C)$ : cenário crítico

$CO_B$ : centralidade com foco na operação;

$CP_B$ : centralidade com foco nos usuários;

$f_{o_c}$ : fator de participação em relação à ocupação do veículo, equivalente ao total da capacidade do veículo;

$f_{v_c}$ : fator de participação das viagens realizadas no sistema durante o período de pico, equivalente ao total das viagens realizadas por cada usuário.

Da mesma forma, para calcular a centralidade global no cenário em que são consideradas as condições ótimas, a expressão matemática é:

$$C_{B_{global}}(C_{\acute{o}}) = f_{o_{\acute{o}}}CO_B + f_{v_{\acute{o}}}CP_B \quad (14)$$

Em que:

$C_{B_{global}}$ : centralidade global;

$(C_{\acute{o}})$ : cenário ótimo;

$CO_B$ : centralidade com foco na operação;

$CP_B$ : centralidade com foco nos usuários;

$f_{o_{\acute{o}}}$ : fator de participação em relação aos lugares disponíveis no veículo, equivalente à ocupação nos horários de maior e menor demanda de usuários;

$f_{v_{\acute{o}}}$ : fator de participação das viagens realizadas no sistema durante o período de pico, equivalente à taxa média das viagens realizadas por cada usuário. Para o estudo esta taxa corresponde a um valor médio de 2,2 viagens por cada usuário.

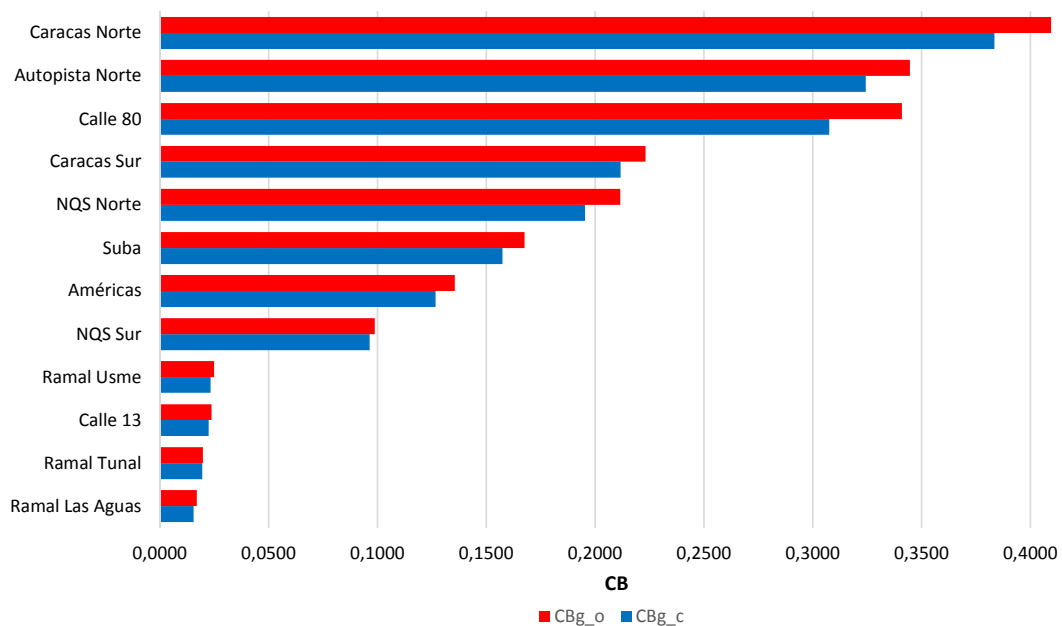
Após obter a centralidade da rede com as duas condições são analisados o cenário crítico e ótimo, destaca-se que, para cada caso o peso está representado com os valores dos fatores  $f_v$  e  $f_o$ , e representam a participação dos elementos em consideração para o cálculo da centralidade global. Na Tabela 5.2, se apresentam os resultados.

**Tabela 5.2** Ranking dos trechos para o cenário crítico e ótimo.

RANKING $C_{B_{global}}$	TRONCAL	CRÍTICO $C_{B_{global}}$	RANKING $C_{B_{global}}$	TRONCAL	ÓTIMO $C_{B_{global}}$
1	Caracas Norte	0,3835	1	Caracas Norte	0,4095
2	Autopista Norte	0,3243	2	Autopista Norte	0,3446
3	Calle 80	0,3076	3	Calle 80	0,3409
4	Caracas Sur	0,2116	4	Caracas Sur	0,2231
5	NQS Norte	0,1954	6	NQS Norte	0,2115
6	Suba	0,1574	7	Suba	0,1676
7	Américas	0,1267	8	Américas	0,1354
8	NQS Sur	0,0963	8	NQS Sur	0,0988
9	Ramal Usme	0,0234	9	Calle 13	0,0249
10	Calle 13	0,0225	10	Ramal Usme	0,0238
11	Ramal Tunal	0,0195	11	Ramal Tunal	0,0198
12	Ramal Las Aguas	0,0156	12	Ramal Las Aguas	0,0169

De acordo com os resultados obtido, tem-se que o troncal Caracas Norte apresenta o maior valor de centralidade de intermediação global no cenário crítico e no cenário ótimo, ou

seja, os arcos que compõem este trecho correspondem aos mais importantes desta rede de transporte. Da mesma forma, o troncal Ramal Las Aguas apresenta o menor valor da centralidade de intermediação global nos dois cenários, por tanto estas troncais e os arcos que o compõem são os que apresentam uma importância menor em relação aos outros arcos dos outros trechos da rede de transporte. Na Figura 5.10 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos do cálculo da centralidade global para os dois cenários, onde pode se apreciar que o *ranking* segue o mesmo padrão, exceto no troncal Calle 13 e no troncal Ramal Usme, que apresentam uma variação na posição. Para o estudo foi considerada a classificação fornecida pelos resultados do cenário crítico, já que a variação entre os dois cenários é pequena.



**Figura 5.10** Centralidade global para o cenário crítico ( $C_{B_g-c}$ ) e ótimo ( $C_{B_g-o}$ ).

Com a identificação dos trechos mais importantes da rede de transporte do Sistema BRT Transmilênio (TM), tem-se os insumos necessários para a criação dos cenários de interrupção necessários para avaliar o impacto gerado pela interrupção em um trecho da rede de transporte deste sistema. Estes cenários são tratados na seguinte seção.

## 5.5 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS DE INTERRUPÇÃO

Para o estudo de caso considerado, segundo dados de Jiménez e Sánchez (2005); Transmilenio *et al.* (2013) existem vários tipos de incidentes que ocorrem com maior

frequência, como a invasão das faixas exclusivas do sistema por parte de particulares, ocorrência de greves, quebra de ônibus e incidentes causados por obras no sistema.

Para analisar o impacto das interrupções que podem afetar a funcionalidade da rede de transporte do sistema, além do cenário base, foram criados dois cenários, nos quais foram representados os incidentes que se apresentam com maior frequência, mas assumindo que o tempo necessário para que o sistema se recuperar é menor que o período de tempo do estudo, segundo o horário de maior demanda equivalente a uma hora. Adicionalmente, foram selecionados os dois trechos melhor ranqueados na fase anterior, mesmo que, os arcos interrompidos correspondem aos arcos com o valor de centralidade maior. No Quadro 5.1 é apresentada a configuração dos cenários, junto com as suas características.

**Quadro 5.1** Cenários de interrupção e suas características

CENÁRIOS	NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS
Base	$Cn_b$	Em condições normais de operação durante o horário de pico, sem nenhuma interrupção.
Interrupção no trecho 01 do troncal mais Central	$Cn_{01}$	Operação reduzida em um 50%, ocasionada pela ocorrência de um incidente no trecho 01. Diminuição da velocidade média e aumento de tempo da viagem no percorrido pelo trecho 01.
Interrupção no trecho 02 do segundo troncal mais importante	$Cn_{02}$	Operação reduzida em um 50%, ocasionada pela ocorrência de um incidente no trecho 01. Diminuição da velocidade média e aumento de tempo da viagem no percorrido pelo trecho 02.

A interrupção foi representada por uma diminuição na capacidade dos arcos selecionados anteriormente. Esta diminuição ocasiona a queda na velocidade da operação e aumento nos tempos da viagem dos veículos e dos usuários.

Os cenários ajudaram para estimar o impacto das interrupções mais frequentes (invasão das faixas exclusivas), e assim deduzir a vulnerabilidade desta rede de transporte BRT. Na Tabela 5.3, tem-se os cenários que representam os possíveis incidentes que afetam a normal prestação do serviço do sistema.

**Tabela 5.3** Cenários de interrupção.

CENÁRIOS	TRONCAL	TRECHO	ID ARCOS
$Cn_b$	-	-	-
$Cn_{01}$	Troncal Caracas Norte	Trecho_01	278, 279, 280, 281, 282, 284 e 285
$Cn_{02}$	Troncal Autopista Norte	Trecho_02	24, 25 e 26

Adicionalmente na Figura 5.11 se ilustra a localização de cada um dos trechos para cada cenário de interrupção.

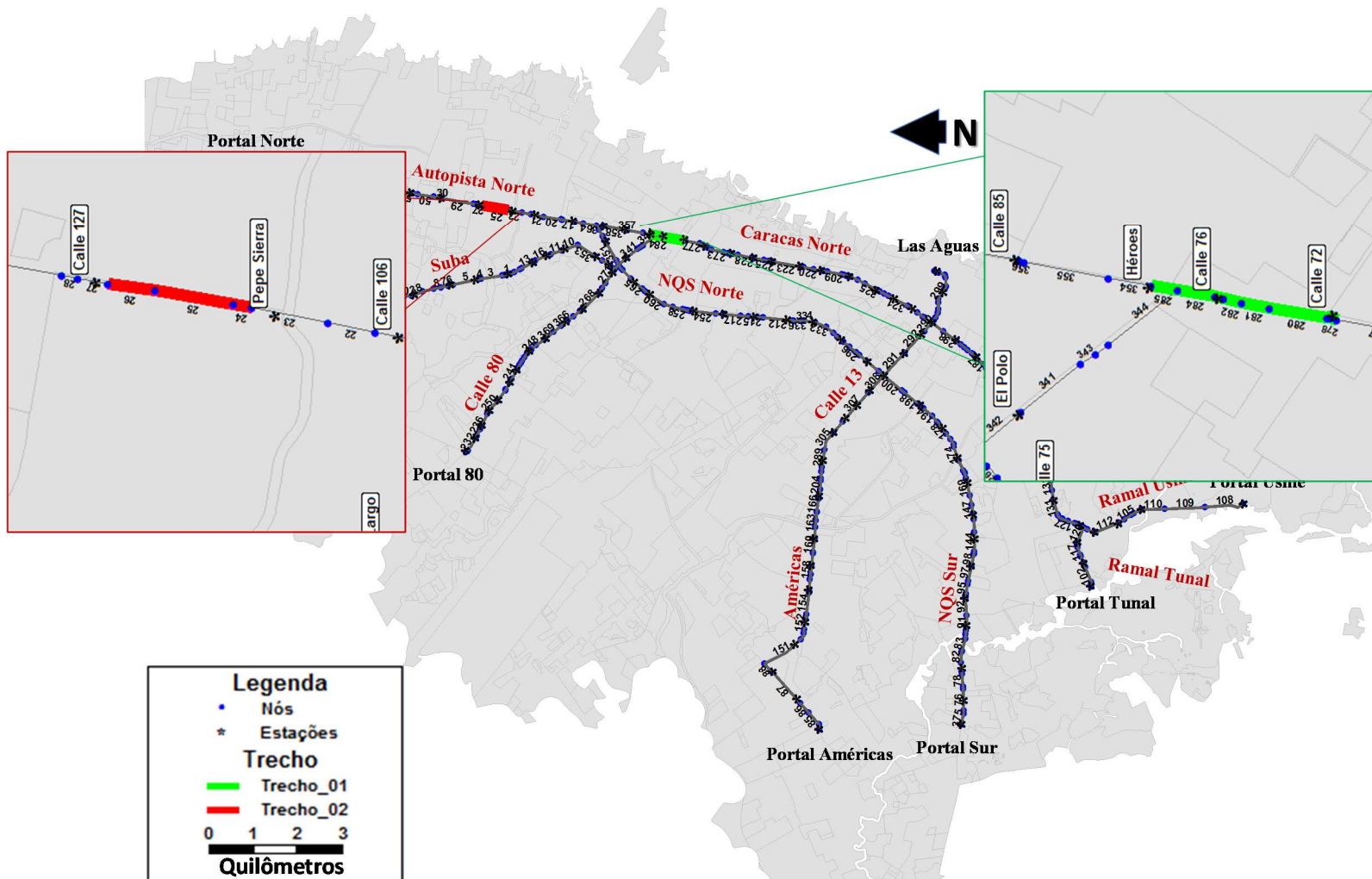


Figura 5.11 Localização dos trechos de cada cenário.

Os arcos colocados na Tabela 5.3, correspondem ao Trecho 01 e Trecho 02. Estes trechos fazem parte do Troncal Caracas Norte e Troncal Autopista Norte, respectivamente. Estes conjuntos de arcos foram selecionados em relação ao valor de centralidade de intermediação e a média da distância entre estações, que, para o sistema em estudo, corresponde a um valor aproximado de 790m (EMBARQBrasil, 2013). Os trechos selecionados obtiveram o maior valor de centralidade em relação aos outros trechos que compõem cada troncal.

## 5.6 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS INTERRUPÇÕES NOS ARCOS MAIS IMPORTANTES DA REDE DE TRANSPORTE

Considerando que o estudo está focado na operação e nos usuários do sistema, calculou-se os impactos gerados pelos possíveis incidentes que podem ocorrer sobre a rede de transporte do Transmilênio, para cada cenário de interrupção, a fim de avaliar o impacto segundo o *ranking* realizado nas fases anteriores. Para este cálculo foi necessário considerar que a operação da rede do sistema não é afetada na sua totalidade e que sua funcionalidade é recuperada dentro do período de análise. Com isso, a seguir apresenta-se o resumo dos cálculos realizados.

Inicialmente foi realizado o cálculo do impacto desde a perspectiva do operador, para os diferentes cenários de interrupção. Como foi tratado antes, o impacto na operação é representado pela variação do tempo total de todas as viagens realizadas durante o período de estudo, como se mostra na Tabela 5.4. É importante mencionar que, dentro do cálculo, supõe-se que a frota que atende o serviço neste período não sofreu nenhuma alteração que possa prejudicar seu funcionamento normal. O custo da operação, dado em minutos, corresponde ao tempo acumulado de todas as viagens.

**Tabela 5.4** Impacto na operação nos diferentes cenários de interrupção.

CENÁRIO	SOMA DO CUSTO NA OPERAÇÃO (Dia)	DIFERENÇA CUSTO OPERAÇÃO $IO(Cn_n) = CO(Cn_n) - CO(Cn_b)$	IMPACTO NA OPERAÇÃO (%)
$Cn_b$	0,0502	-	-
$Cn_{01}$	0,0514	0,0012	2,36
$Cn_{02}$	0,0505	0,0003	0,62



Para o cálculo do impacto desde a perspectiva do usuário, foi utilizado a somatória de todos os indicadores do bem estar dos usuários que se descolam durante o período de estudo. Como indicador do bem estar foi usado o tempo da viagem dentro do veículo. Portanto, as variações nos tempos das viagens foram o indicador do impacto da interrupção da rede de transporte. Cabe mencionar que, o resultado do bem estar em cada cenário corresponde ao tempo acumulado de todos os usuários, ou seja, representa o bem estar total dos usuários. A seguir na Tabela 5.5 são apresentados os resultados destes cálculos.

**Tabela 5.5** Impacto nos usuários nos diferentes cenários de interrupção.

CENÁRIO	SOMA DO BEM ESTAR USUÁRIOS (Dia)	DIFERENÇA DO BEM ESTAR $IP(Cn_n) = CP(Cn_n) - CP(Cn_b)$	IMPACTO AOS USUÁRIOS (%)
$Cn_b$	3,95	-	-
$Cn_{01}$	4,19	0,24	6,16
$Cn_{02}$	4,16	0,21	5,35

Tem-se que o resultado do cálculo do impacto gerado pela interrupção no Trecho 01 do corredor Troncal Caracas, obtido com a simulação do cenário denotado  $Cn_{01}$ , é maior para os dois focos do estudo (operação e usuários). O que significa que o impacto na operação e nos usuários diminui na mesma ordem de importância de cada trecho da rede de transporte em estudo. Essa ordem de diminuição, pode-se apreciar no percentual da diferença do custo e no percentual da diferença do bem estar, como foi apresentado na Tabela 5.4 e na Tabela 5.5.

## 5.7 CLASSIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE SEGUNDO SUA VULNERABILIDADE

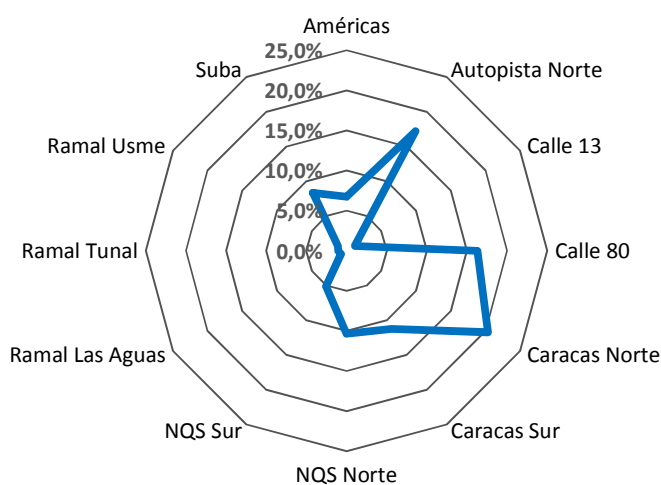
Para realizar a classificação, foi necessário utilizar o cálculo da centralidade de intermediação global, calculada para os cenários crítico e ótimo, permitindo determinar a classificação preliminar dos trechos da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM). Com os resultados das centralidades globais para os dois cenários, observa-se que para os trechos da rede em estudo, a ordem proporcionada pelo *ranking* de centralidade na maior proporção se mantém constante. Portanto, para a criação dos cenários só foram selecionados os dois primeiros trechos.

Segundo os resultados do cálculo do impacto para os trechos selecionados e de acordo com os focos de estudo, os elementos que apresentam uma maior vulnerabilidade seguem a mesma classificação gerada anteriormente. Os resultados da classificação de acordo com a vulnerabilidade se apresentam na Tabela 5.6. Tem-se que o troncal mais vulnerável da rede de transporte do sistema BRT Transmilênio (TM) corresponde com o troncal Caracas Norte, seguido pelo troncal Autopista Norte e troncal Calle 80, sendo estes as três troncais mais vulneráveis da rede de transporte do Sistema BRT Transmilênio.

**Tabela 5.6** Vulnerabilidade dos trechos por ordem decrescente.

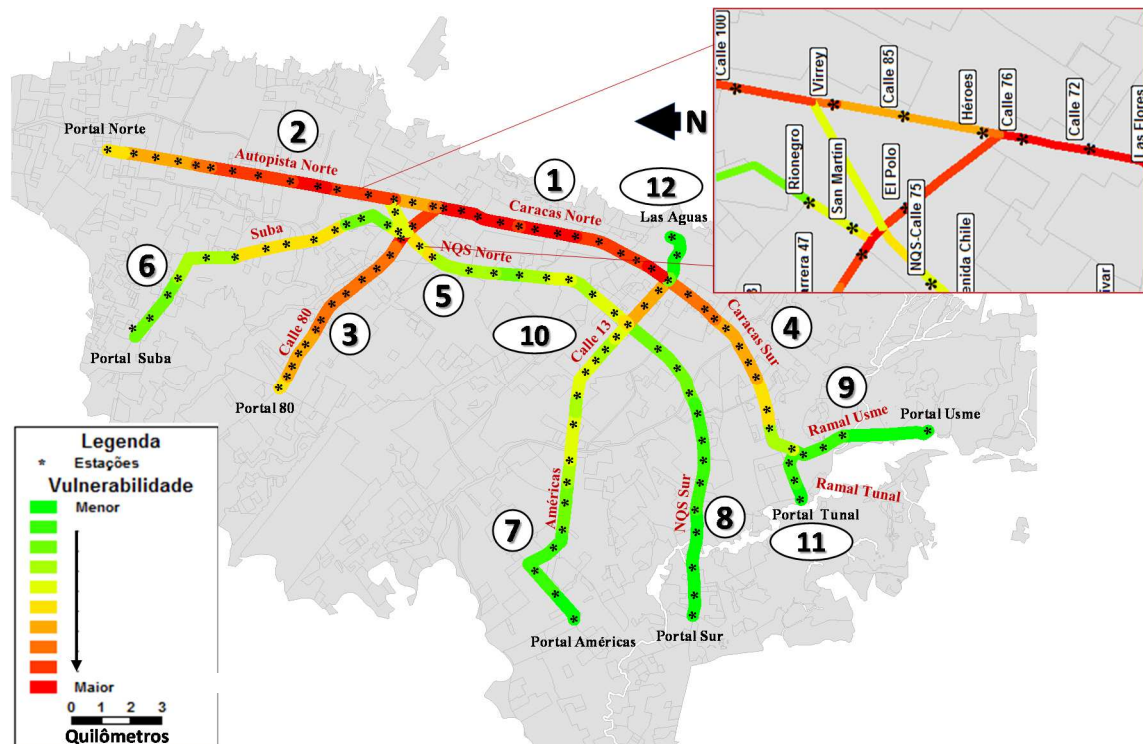
RANKING VULNERABILIDADE	TRONCAL	% DE VULNERABILIDADE
1	Caracas Norte	20,4%
2	Autopista Norte	17,2%
3	Calle 80	16,3%
4	Caracas Sur	11,2%
5	NQS Norte	10,4%
6	Suba	8,4%
7	Américas	6,7%
8	NQS Sur	5,1%
9	Ramal Usme	1,2%
10	Calle 13	1,2%
11	Ramal Tunal	1,0%
12	Ramal Las Aguas	0,8%

Da mesma forma como foi apresentado na Tabela 5.6, na Figura 5.12 se observa o percentual aproximado da vulnerabilidade para cada troncal em relação ao total dos troncais da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM). Também, pode-se identificar as troncais da rede deste sistema que apresentam uma maior vulnerabilidade.



**Figura 5.12** Percentual de vulnerabilidade dos trechos.

Na Figura 5.13 é ilustrada a vulnerabilidade para cada trecho da rede em estudo. Observa-se os três trechos mais vulneráveis (1-Caracas Norte, 2-Autopista Norte e 3-Calle 80). Também é importante mencionar que segundo dados de Transmilenio S.A. o corredor Troncal Caracas apresenta o maior número de entradas e saídas nas estações, de igual forma, neste corredor estão as estações da Avenida Jiménez e Calle 72, com a maior participação no volume de usuários que ingressam e saem do sistema (Transmilenio *et al.*, 2013).



**Figura 5.13** Mapa dos trechos mais vulneráveis.

## 5.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Com a aplicação do método no sistema BRT Transmilenio (TM) de Bogotá na Colômbia, identificou-se que com uma maior quantidade e qualidade de informação da oferta e da demanda deste tipo de transporte de massa, obtém-se melhores resultados na estimação dos fatores de ponderação para a procura dos arcos ou trechos mais importantes, que servem como insumo principal na análise da vulnerabilidade.

Também, o tipo de informação histórica fornece um elemento importante no momento da criação dos cenários para a avaliação do impacto das interrupções. Por isso, a relevância da coleta dessas informações ao longo dos períodos de funcionamento destes sistemas.

Com o método foi possível inicialmente identificar a importância de cada troncal da rede de Transmilênio (TM). Também foi selecionado o trecho e os arcos que o compõem, a fim de executar a simulação para a obtenção das informações necessárias para calcular o impacto na operação e nos usuários de Transmilênio (TM). Este cálculo de impacto foi conseguido por meio da comparação dos resultados obtidos das simulações dos cenários base e de interrupção. Logo, com os resultados da identificação dos trechos mais importantes e da avaliação do impacto gerado para os dois focos da análise, foi possível classificar os trechos segundo sua vulnerabilidade na ocorrência de incidentes que podem afetar a funcionalidade da rede de transporte deste sistema.

O trecho que apresentou o maior valor de centralidade de intermediação, na ocorrência de um incidente, pode ocasionar o maior impacto no custo operacional e no bem estar dos usuários do serviço destes sistemas de transporte público, consequentemente estes trechos resultaram nos mais vulneráveis da rede de transporte BRT.

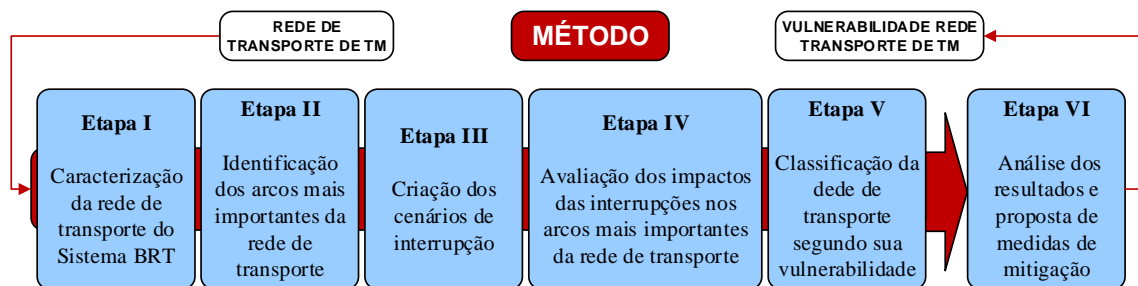
## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 APRESENTAÇÃO

O cálculo da centralidade de intermediação da rede de transporte do sistema BRT Transmilênio (TM), de Bogotá – Colômbia com foco nos usuários e na operação, permitiu identificar os arcos mais importantes. Tal informação foi posteriormente utilizada para, a seleção dos trechos e os arcos a serem interrompidos, com a finalidade de calcular o impacto gerado pela ocorrência de um tipo de incidente comumente apresentados na rede de transporte deste sistema. O presente capítulo apresenta as análises destes cálculos feitos no estudo de caso e algumas propostas de medidas de mitigação relacionadas com os incidentes de maior frequência, como a invasão das faixas exclusivas (Jiménez e Sánchez, 2005; SDG Limited e CNC, 2011), a fim de diminuir os impactos que possam ser gerados na operação e aos usuários da rede de transporte.

### 6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Para uma melhor interpretação dos dados obtidos na aplicação do método, os resultados foram analisados em seis etapas, seguindo a estrutura do método utilizado, conforme apresentado na Figura 6.1.



**Figura 6.1** Etapas do método para determinar a vulnerabilidade.

#### 6.2.1 Análises dos resultados da Etapa I

A identificação da composição da rede de estudo, permitiu realizar e compreender a caracterização da rede de transporte do Sistema BRT em estudo. Também, conseguiu-se com tal informação entender a área de estudo e os elementos que compõem a rede de transporte deste sistema e que servem para conformar a análise de vulnerabilidade desta rede de transporte. A aglomeração dos arcos em trechos, facilitou o tratamento dos dados

e das informações que foram usadas durante a aplicação do método, e contribuiu ao entendimento e a identificação dos elementos e trechos mais vulneráveis. Com o resultado da caracterização, tem-se que a rede não apresenta uma ampla variedade de alternativas para os usuários se deslocarem de uma origem para um destino, o que leva a inferir que este tipo de rede de transporte pode ser mais vulnerável comparada com a rede viária da cidade, porquanto a rede de transporte de Sistemas BRT não apresenta redundância de seus trechos.

Outro elemento que foi detectado e excluído da análise, faz referência à rede de transporte das linhas alimentadoras. Estas foram excluídas do presente estudo porque a estrutura destas redes não é exclusiva para estas linhas, o que demanda a realização de distintas análises que incluam as suas características, permitindo, com isso, o seu entendimento. A demanda de viagem do Sistema Transmilênio, segundo SDG Limited e CNC (2011) representa 18% dos modos de transporte motorizados. Dessa forma, presume-se que o número de usuários de Bogotá afetados na ocorrência de um incidente pode ser de aproximadamente 75 mil usuários, no horário de pico. Todas estas considerações mencionadas, formaram parte dos insumos para as simulações que foram realizadas dentro do processo de determinar a vulnerabilidade da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM).

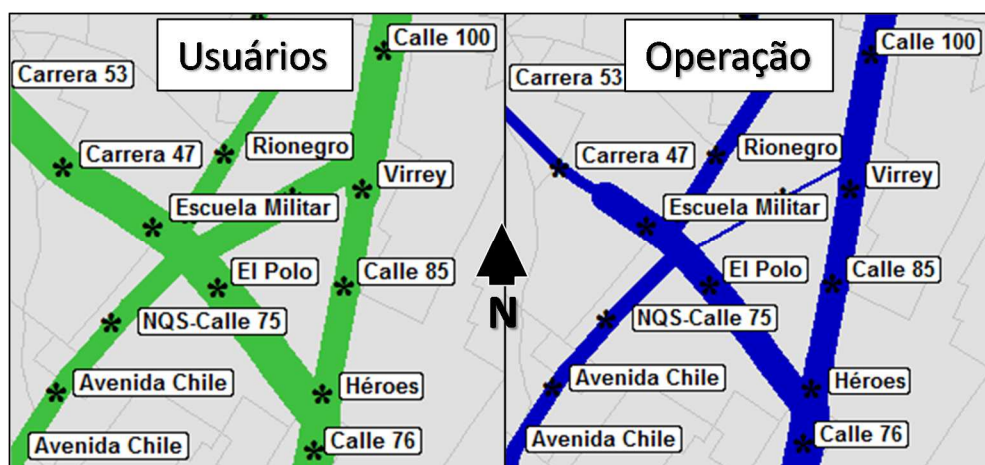
Com a caracterização da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM) logrou-se determinar os elementos a serem considerados no estudo. Além disso, tal ação contribuiu para identificar quais seriam os possíveis atributos a serem considerados no presente estudo. Diante de tais premissas, conseguiu-se decidir quais insumos deveriam ser utilizados nas simulações de forma analisar a vulnerabilidade da rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM).

### **6.2.2 Análises dos resultados da Etapa II**

Nesta etapa foram identificados os arcos mais importantes da rede de transporte. Os arcos foram agrupados a fim de facilitar os cálculos e a apresentação dos resultados. Nessa ordem, para lograr os objetivos desta etapa, calculou-se a medida de centralidade de intermediação para cada arco com foco na operação e nos usuários. Este cálculo foi obtido a partir da primeira simulação, correspondente com o cenário base. Com os resultados

obtidos com a medida de centralidade de intermediação foi gerada a primeira aproximação da classificação dos elementos da rede em relação com sua importância.

O resultado obtido para o foco da operação mostrou que os Troncais Autopista Norte, Caracas Norte e Caracas Sur possuem o maior valor de centralidade em relação aos troncais totais da rede. Também se pode apreciar que o trecho compreendido entre as Escuela Militar e Héroes apresenta um valor considerável de centralidade, como apresentado na Figura 6.2, onde se observa uma mudança na centralidade com foco na operação no trecho mencionado. Este trecho faz parte do troncal Calle 80, localizado na terceira posição da importância segundo a centralidade.



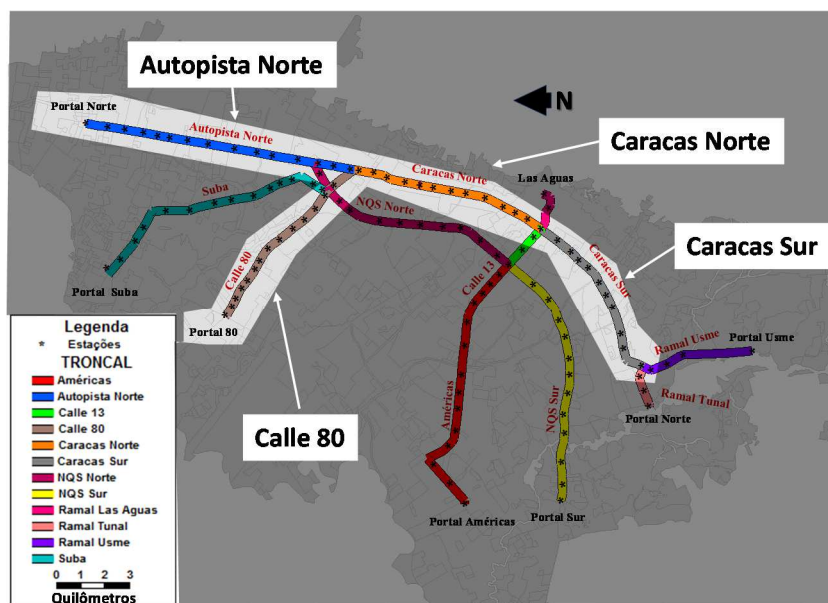
**Figura 6.2** Resultado da centralidade para a operação e os usuários.

Esta mudança no valor da centralidade para o foco da operação, pode-se apresentar devido a que em esse local da rede existe uma infraestrutura física que permite a confluência de linhas, que usam esta estrutura física para realizar as manobras necessárias para cumprir com a operação desenhada. Este trecho é atravessado por 46,4% das linhas consideradas para o estudo, o qual teve um volume de 312 veículos circulando por esse trecho durante o período de estudo. Na Figura 6.3 se ilustra a localização da infraestrutura tratada antes e das possíveis manobras que podem realizar os veículos do Sistema Transmilênio (TM).



**Figura 6.3** Infraestrutura física da rede de transporte, zona estação Escuela Militar.

No foco dos usuários, o resultado mostra uma pequena variação, em relação com os resultados no foco da operação. Os trechos que se destacaram foram, Troncais Autopista Norte, Caracas Norte e Calle 80. Da mesma forma que no foco operacional o trecho compreendido entre estas estações mostra uma movimentação de usuários equivalente a 5% do total do fluxo apresentado no período de estudo. Na Figura 6.4 se apresenta a localização dos trechos mais importantes para os dois focos de estudo.



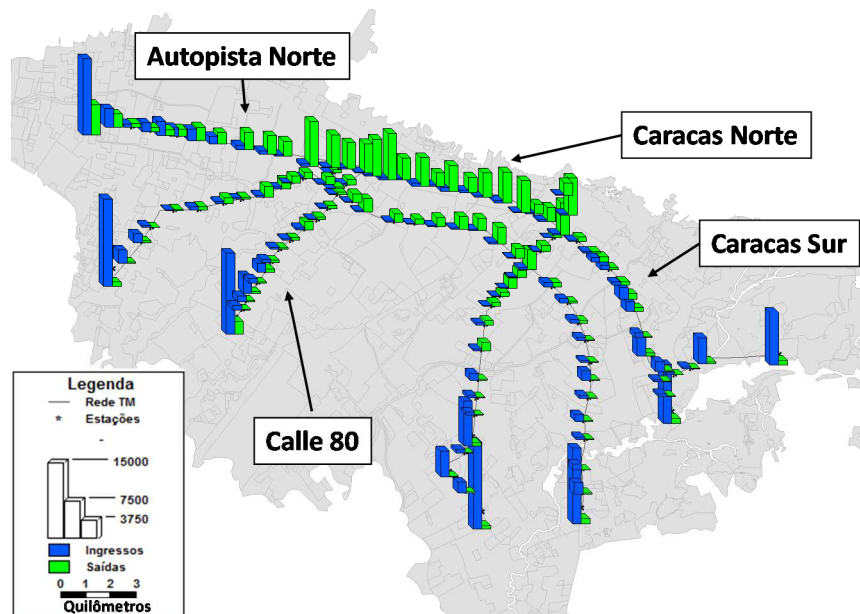
**Figura 6.4** Trechos mais importantes da rede.



Os resultados da medida da centralidade de intermediação permitiram realizar a primeira classificação dos trechos. Para ajustar esta classificação, foi necessário calcular a centralidade global, que abrange a parte da operação e dos usuários. Esta centralidade global foi calculada para os cenários crítico e ótimo, sendo que o cenário crítico representa o estado de lotação máxima nos veículos e que o total das viagens realizadas nesse período para cada usuário corresponde a uma viagem. Com os resultados deste cálculo foi possível realizar o ajuste na classificação. Esta classificação mostrou que o Troncal Caracas continua sendo o mais importante da rede de transporte do Sistema Transmilênio. No entanto, é importante mencionar que os troncais ranqueados pelo resultado da centralidade global nos dois cenários (crítico e ótimo) apresentaram a mesma ordem na classificação em oito (8) de doze (12) troncais que integram a rede do Sistema Transmilênio. A variação do ranking se apresentou entre as posições oito (8) e nove (9), ou seja, no cenário crítico o nono e décimo no ranking corresponde ao Troncal Ramal Usme e Troncal Calle 13 respectivamente. Para o cenário ótimo, o nono e décimo no *ranking* são o Troncal Calle 13 e Troncal Ramal Usme, respectivamente, como apresentado na Tabela 5.2.

### 6.2.3 Análises dos resultados da Etapa III

Com o insumo fornecido pelo resultado obtido na Etapa II, foi realizada a seleção dos arcos que compõem os trechos dos troncais para a criação dos cenários e o cálculo do impacto. Esses trechos selecionados apresentaram o maior valor de centralidade de intermediação onde, segundo dados de Transmilenio *et al.* (2013) estão localizadas umas das estações que apresentam o maior número de saídas do Sistema Transmilênio no horário de pico, conforme apresentado na Figura 6.5.



**Figura 6.5** Ingressos e saídas Sistema Transmilênio (TM).  
**Fonte:** com dados de Transmilênio (2013)

Com a diminuição na redução da capacidade da operação nos trechos selecionados, conseguiu-se representar o incidente de maior ocorrência sobre a rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM). Esta diminuição, reflete no tempo usado pelos veículos para atravessar o trecho afetado pelo incidente. Ou seja, este tempo foi maior se comparado ao gasto em condições normais de funcionamento. Indiretamente o mesmo acréscimo no tempo da viagem através do trecho é sofrido pelos usuários, afetando seu tempo da viagem total, representado em este estudo como o bem estar.

Os cenários de interrupção criados para representar os possíveis incidentes permitiram obter as bases para realizar as simulações para as condições normais de funcionamento e os efeitos produzidos pelas interrupções em cada trecho analisado.

#### 6.2.4 Análises dos resultados da Etapa IV

O objetivo nesta etapa foi medir os impactos produzidos pela ocorrência de interrupções na rede de transporte de Transmilênio (TM). Este impacto foi calculado para a operação e para os usuários. Na operação, este impacto se logrou medir utilizando a variação do tempo gasto pelos veículos durante seu percurso durante o período de estudo. Em relação ao impacto nos usuários, foi medida a variação do bem estar destes por meio

diferença do tempo dependido na viagem, considerando somente o tempo da viagem desde o ingresso na estação até a saída da estação.

Com ajuda da ferramenta SIG, alocou-se as viagens realizadas pelos usuários de Transmilênio no período de tempo do estudo, para as condições normais de funcionamento e nas condições da ocorrência do incidente para cada trecho selecionado. Este procedimento de alocação serviu como insumo para realizar a quantificação do cálculo do impacto para os dois focos considerados neste estudo. A avaliação deste impacto se determinou a partir da comparação entre o custo no cenário base e o custo no cenário de interrupção, para o foco na operação e nos usuários.

O efeito ocasionado ao custo no foco da operação mostrou uma variação de 2,36% no cenário  $Cn_{01}$  (Incidente no trecho 01), o que representa um acréscimo no tempo total das viagens dos veículos do sistema, sendo maior que o efeito produzido no cenário  $Cn_{02}$  (incidente no cenário 02), que resultou em um acréscimo no tempo total das viagens do veículos de 0,62%. Portanto, as invasões às faixas exclusivas no trecho 01 do Troncal Caracas Norte geraram um maior impacto para o foco da operação.

No caso do foco dos usuários, a variação apresentada no  $Cn_{01}$  (Incidente no trecho 01) apresentou um acréscimo do bem-estar do total dos usuários, medido pelo tempo total da viagens, foi de 6,16%, resultando em uma diferença do bem estar maior da que a apresentada no  $Cn_{02}$  (Incidente no trecho 02), que foi de 5,35%.

Deste modo, o menor bem estar para usuários acontece quando se produz uma interrupção no trecho 01 da rede de transporte de Transmilênio (TM). Este trecho faz parte do Troncal Caracas Norte como foi mencionado no parágrafo anterior, onde estão localizadas 13 estações representando o 11,4% do total das estações.

#### **6.2.5 Análises dos resultados da Etapa V**

Esta seção objetivou executar uma classificação da rede de transporte do Transmilênio (TM). O resultado permitiu concluir que, o impacto gerado à operação e aos usuários é maior quando ocorre um incidente nos trechos que compõem o troncal mais importante da rede deste sistema. Desse modo, estes trechos serão os mais vulneráveis desta rede. Assim, observou-se que, com a classificação ajustada dos troncais da rede obtida por meio

do cálculo da centralidade e da avaliação do impacto, pode-se adotar como classificação de vulnerabilidade.

Dessa forma, tendo como base nos resultados, determinou-se o percentual de vulnerabilidade para cada Troncal, ordenando-os em ordem de importância. A somatória da vulnerabilidade dos primeiros três troncais representam mais do 50% da vulnerabilidade total do sistema, sendo o Troncal Caracas Norte o primeiro com 20,4% de vulnerabilidade. O segundo e o terceiro colocados no *ranking* são, os Troncais Autopista Norte e Calle 80, com 17,2% e 16,3% respectivamente. Dessa forma, deve-se ter maior atenção na prevenção dos tipos de incidentes mais frequentes ou dos que possam ocorrer nesses troncais, pois incidentes nesses troncais geram um maior impacto na rede de transporte do Transmilênio.

A ocorrência de um incidente em algum trecho do Troncal Caracas produzirá uma interrupção na rede de transporte, causando um impacto aos usuários e na operação do Sistema Transmilênio (TM). O impacto gerado por esta interrupção gera um custo, para os usuários representado pela diminuição de 6,16% do bem estar, e para a operação, representado pelo aumento do tempo da viagem em 2,36%. Para tentar diminuir o custo gerado pelas interrupções, podem-se propor medidas de mitigação que ajudem na redução dos incidentes mais frequentes.

Do mesmo modo que no resultado do cálculo da centralidade, o trecho compreendidos entre as estações Escuela Militar e Héroes também apresentou uma vulnerabilidade importante, já que, como foi tratado antes, neste local está localizada uma estrutura física que é utilizada pelos veículos do Sistema Transmilênio (TM) com a finalidade simplesmente operacionais. Cabe mencionar que este trecho faz parte do Troncal Calle 80 que resultou como o terceiro troncal mais vulnerável da rede de transporte do Sistema. Além disso, este trecho se cruza com o trecho mais vulnerável da rede de transporte. Na Figura 6.6 se apresenta o resultado de vulnerabilidade para o trecho tratado antes.



**Figura 6.6** Trecho entre estação Escuela Militar e Héroes

Os trechos que apresentaram uma vulnerabilidade menor não estão isentos da ocorrência de incidentes. Ou seja, estes troncais podem ser afetados por incidentes, mas o impacto gerado será menor em relação ao impacto gerados nos trechos com maior vulnerabilidade. De toda sorte, tais trechos também necessitam receber tratamento ao se aprimorar a rede de transporte.

É importante reconhecer que os incidentes, as interrupções, os impactos negativos produzidos e os custos adicionais gerados ocasionam aumento na vulnerabilidade da rede de transporte do Sistema Transmilênio, que podem ser mitigados mediante a adoção de medidas de diminuição da vulnerabilidade que melhorem a robustez da rede de transporte como um todo.

### 6.2.6 Análises dos resultados da Etapa VI

Nesta seção são apresentadas as propostas de medidas de mitigação de acordo com a vulnerabilidade encontrada na rede de transporte e a informação dos incidentes mais

frequentes, que, justamente com a análise das seções anteriores do capítulo 6, compõem a etapa VI do método adotado neste estudo.

- a) **Campanhas:** uma das falhas de maior frequência é a invasão das faixas exclusivas, principalmente perpetuadas pelos pedestres, e que, em alguns casos, tem ocasionado mortes, propõe-se realizar campanhas educativas em pontos estratégicos, principalmente nos trechos mais vulneráveis e nos pontos críticos onde existem conflitos pedestre-ônibus. Adicionalmente, sugere-se recuperar as campanhas existentes no Sistema Transmilênio e criar novas ações comunicacionais com a finalidade de prevenir impactos maiores que terminem com eventos catastróficos. Estas campanhas devem ser dirigidas não só para os pedestres, mas também para os motoristas. Da mesma forma podem ser realizadas campanhas de cunho pedagógico com funcionários do governo, afim de informar e gerar consciência do perigo de invasão das faixas do Sistema Transmilênio (TM), além do risco em que se vêm expostos os usuários do sistema por estas ações.
- b) **Estudos e infraestrutura:** realizar estudos de vulnerabilidade que ajudem na identificação da eficiência ou não da infraestrutura existente, de forma a permitir elaborar propostas de novas estruturas que aumentem a segurança dos usuários do sistema e dos pedestres. Nos trechos mais vulneráveis, propõe-se instalar barreiras com o intuito de obrigar os pedestres a usar as passarelas. É importante dar continuidade à separação dos veículos do fluxo diferente do sistema, mantendo o conceito de faixas exclusivas.
- c) **Fiscalização:** um fator importante na hora de buscar diminuir as invasões as faixas exclusivas deste tipo de sistemas é uma fiscalização efetiva, principalmente nos pontos de maior conflito ônibus – pedestre. Também, esta fiscalização deveria ser mais rigorosa na hora de verificar a permissão dos veículos que não pertencem ao sistema, mas que eventualmente podem usar estas faixas.
- d) **Manutenção:** realizar manutenção preventiva aos veículos do sistema pode ajudar na prevenção de acidentes. Além de melhorar e prorrogar a vida útil dos veículos. A manutenção não somente é para os veículos, também se deve realizar na infraestrutura da rede de transporte do sistema, como: estrutura do pavimento, estrutura de proteção das faixas exclusivas, barreiras de proteção, estações, passarelas, sinalização, etc.

- e) **Monitoramento:** realizar um monitoramento com a finalidade de diagnosticar as condições atuais e avaliar a implementação de novas medidas de mitigação. Este monitoramento deve ser contínuo e dinâmico, procurando sempre uma melhora contínua.

### 6.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O cálculo da centralidade de intermediação é o primeiro indicador da vulnerabilidade de uma rede de transporte destes sistemas de transporte público de massa. Com o cálculo do impacto é possível ajustar a classificação dos trechos, com o fim de validar o *ranking* de vulnerabilidade destas redes.

A identificação dos troncais mais vulneráveis de Transmilênio (TM) é uma contribuição importante para os gestores deste transporte de massa urbano, já que permite a adoção de medidas que forneçam maior estabilidade operacional para estes troncais, beneficiando o sistema de transporte da cidade como um todo.

Com os resultados da análise de vulnerabilidade das rede de transporte do Sistema Transmilênio (TM) foi possível propor medidas de mitigação focadas nas ocorrências mais prováveis de interrupções da rede de transporte deste sistema, com o intuito de diminuir o impacto que poderia ser ocasionado para a operação e os usuários do sistema.

## **7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **7.1 APRESENTAÇÃO**

Neste capítulo são apresentadas as contribuições fundamentais obtidas a partir das análises realizadas no estudo de caso. Inicialmente são expostas as principais conclusões obtidas para, em seguida serem feitas recomendações para futuras pesquisas relacionadas com os estudos de vulnerabilidade em redes de transportes de Sistemas BRT.

### **7.2 CONCLUSÕES**

Os objetivos desta dissertação, apresentados no capítulo um foram atendidos em sua totalidade. Foi possível desenvolver um método para determinar a vulnerabilidade da rede de transporte de Sistemas BRT. O desenvolvimento do método deu-se por meio da representação gráfica e matemática da rede destes sistemas e das análises da ocorrência de incidentes. Estes incidentes poderiam gerar uma diminuição na funcionalidade normal deste tipo de redes de transporte, gerando, conseqüentemente, um impacto negativo à operação e aos usuários.

Também, comprovou-se a hipótese formulada, verificando-se que, com as análises de vulnerabilidade das rede de transporte de Sistemas BRT é possível identificar os elementos mais importantes na funcionalidade da rede de transporte destes sistemas. Além disso, permitiu avaliar os impactos ocasionados por incidentes que possam causar interrupções do serviço.

A seguir estão compiladas as principais conclusões gerais obtidas a partir do estudo realizado, no entanto, algumas análises e discussões já tenham sido apresentadas, de maneira parcial no final de cada fase do trabalho:

- Com a aplicação do método é possível determinar a vulnerabilidade da rede de transporte de um Sistema BRT. Ou seja, consegue-se determinar a susceptibilidade da rede de transporte na ocorrência de um incidente, que pode levar em uma diminuição da sua funcionalidade, gerando impactos negativos aos elementos que interatuam dinamicamente na atividade de transporte. De igual forma, consegue-se classificar seus elementos (arcos, trechos) de acordo a sua vulnerabilidade. Também, conclui-se que o maior impacto é ocasionado quando ocorre um incidente no elemento



mais vulnerável. Ou seja, entre mais vulnerável o elemento da rede de transporte maior será o impacto gerado devido à ocorrência de um incidente.

- Os usuários, representados pela demanda de viagens, são um dos principais fatores para determinar a vulnerabilidade, já que este fator está relacionado com a fração do fluxo total que circula pelos caminhos mínimos através dos elementos da rede de transporte em um determinado período de tempo.
- Outro fator que envolve a análise da vulnerabilidade de redes de transporte de Sistemas BRT é a operação, representado pelo fluxo de veículos que circulam pela rede de transporte destes sistemas seguindo uma programação e rotas definidas.
- Além da topologia, a infraestrutura física destes tipos de redes faz que sejam mais susceptíveis à ocorrência de incidentes. Ou seja, a configuração da rede não fornece variedade de alternativas para a escolha de caminhos e a infraestrutura física em alguns trechos não permite manobras diferentes às demarcadas fisicamente.
- O impacto que pode ser gerado pela ocorrência de interrupções na funcionalidade da rede de transporte, depende da localização onde se desenvolve o incidente. A ocorrência de um incidente em um trecho ou arco pouco vulnerável, não está isento de produzir um impacto, mas o impacto poderá ser menor em relação com os trechos ou arcos que apresentam uma maior vulnerabilidade.
- O período de maior demanda representa o maior fluxo de usuários e veículos na rede de transporte, de modo que em esse período é onde a rede de transporte será mais vulnerável, já que o impacto que pode ser produzido à operação e aos usuários pela ocorrência de um incidente é potencialmente maior que em outros períodos de tempo.
- A classificação dos trechos da rede de transporte por meio da análise de vulnerabilidade permite identificar os arcos ou trechos mais vulneráveis, o que pode prover lineamentos para a decisão de investimentos. Adicionalmente, com informações históricas de frequência de incidentes e a localização do arco ou trecho mais vulnerável, é possível propor medidas de mitigação que contribuam com a diminuição do impacto que poderia ser gerado por interrupções, com a finalidade de

fortalecer a qualidade do serviço oferecido por este tipo transportes públicos de massa, assim como contribuir com o desenvolvimento e a mobilidade de uma cidade.

### **7.3 RECOMENDAÇÕES**

Com os resultados obtidos durante a aplicação do método no estudo de caso, foram detectados fatores que podem servir de insumos adicionais para o método e que podem ser estudados de modo mais aprofundado, tais como:

- Um fato importante é que este estudo procurou destacar a importância do uso de informação das características da rede de transporte, junto com informações da oferta e da demanda, sem deixar do lado a coleta de dados do relatório das falhas mais frequentes. Este último aspecto, entre outras coisas serve para direcionar as propostas de mitigação. Por fim estes fatores, devem ser estritamente considerados para a obtenção de resultados acreditáveis na aplicação do método. Para este trabalho, não foi possível obter a totalidade dos dados, o que ocasionou uma diminuição na abordagem da rede de estudo.
- A utilização aprofundada das ferramentas de SIG não é o objetivo principal do método, mas um estudo mais especializado poderia aumentar a precisão no cálculo da centralidade de intermediação com foco nos usuários. Resgata-se a importância das informações básicas da demanda e da oferta, que são utilizadas como *input* nas ferramentas SIG a fim de simular os cenários base e com incidente, necessários para atender o alvo de conhecer o impacto gerado pelas ocorrências de incidentes que gerem interrupção na funcionalidade de um BRT.
- Para o estudo de caso não se usaram algumas informações relevantes na hora de estabelecer os insumos, para realizar as simulações, devido à dificuldade para acessar a essas informações, o que poderia alterar o resultados. Algumas destas informações fazem referência à tipologia dos ônibus e os tempos de operação. Também aos tempos considerados para a avaliação do impacto. Em futuros estudos recomenda se incluir todos os tempos implicados na realização de uma viagem.
- Em estudos posteriores, pode ser realizada uma análise dos impactos ocasionados por acidentes onde estejam envolvidos veículos do sistema BRT e sejam postas em risco

as vidas humanas. Claro exemplo os pontos críticos de conflito com outros modos de transporte e os ônibus dos Sistemas BRT. Da mesma forma, o conflito que se pode apresentar entre os pedestres e os ônibus dos Sistemas BRT.

- Também, para próximos estudos, pode se realizar uma análise com mais detalhe, referente ao sentido do fluxo, ou seja, considerando o fluxo por sentido separado, para verificar se a ocorrência de interrupções é similar nos dois sentidos de circulação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bell, M. G., e Lida, Y. (1997) *Transportation network analysis*. Chichester [u.a.] Wiley, New York.
- Berdica, K. (2002) *An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done*. *Transport Policy*, 9(2), 117-127.
- Berdica, K. (2003) *Errata to: "An introduction to road vulnerability: what has been done is done and should be done" by Katja Berdica [Transport Policy 9 (2)(2002) 117-127]*. *Transport Policy*, 10(1), 81-81.
- Berdica, K., e Eliasson, J. (2004) *Regional accessibility analysis from a vulnerability perspective*. Paper presented at the The Second International Symposium on Transportation Network Reliability.
- Berdica, K., e Mattsson, L.-G. (2007) *Vulnerability: A model-based case study of the road network in Stockholm*. In *Critical Infrastructure* (pp. 81-106): Springer.
- BRTBRASIL. (2013). *A Evolução das Cidades*. Obtido em <http://brtbrasil.org.br/index.php/brt-brasil/cidades-com-sistema-brt/menubrasilia#.U1IL9tKaKSo>. Acesso em 04/10/2013.
- BRTData. (2013). *BRT and Busway Systems in the world - june 2013*. Obtido em [https://www.dropbox.com/s/57csa4lx5m3mgf9/BRTdata\\_slides\\_June\\_2013.pdf](https://www.dropbox.com/s/57csa4lx5m3mgf9/BRTdata_slides_June_2013.pdf). Acesso em 18/07/2013.
- Cal e Mayor, R., e Cárdenas, J. (2007) *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones* (7ª ed.). Mexico DF, Alfaomega.
- CALIPER (2007) *TransCAD Version 5.0 GIS User's Guide*. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts, USA.
- CALIPER (2008) *Travel Demand Modelling with TransCAD Version 5.0 User's Guide*. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts, USA.
- Cats, O., e Jenelius, E. (2012) *Vulnerability analysis of public transport networks: A dynamic approach and case study for Stockholm*. The 5th International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR2012), Hong Kong, 18-19.
- Crucitti, P., Latora, V., e Porta, S. (2006) *Centrality measures in spatial networks of urban streets*. *Physical Review E*, 73(3), 036125.
- D'este, G., e Taylor, M. A. (2003a) *Concepts of network vulnerability and applications to the identification of critical elements of transport infrastructure*. Paper presented at the 26th Australasian Transport Research Forum, Wellington, New Zealand.

- D'este, G., e Taylor, M. A. (2003b) *Network vulnerability: an approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks*. Paper presented at the Network Reliability of Transport. Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR).
- Di Gangi, M., e Luongo, A. (2005) *Measures of network vulnerability indicators for risk evaluation and exposure reduction*. ENVIRONMENTAL HEALTH RISK III., 9, 51-60.
- EMBARQBrasil. (2013). *Bus Rapid Transit (BRT)*. Obtido em <http://www.embarqbrasil.org/BRT>. Acesso em 12/10/2013.
- Erath, A. L. (2011). *Vulnerability assessment of road transport infrastructure*. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 19671, 2011.
- Freeman, L. C. (1977) *A set of measures of centrality based on betweenness*. Sociometry, 35-41.
- Freeman, L. C., Borgatti, S. P., e White, D. R. (1991) *Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow*. Social networks, 13(2), 141-154.
- Gray, G. E., Kelley, N., e Larwin, T. F. (2006). *Bus Rapid Transit: A Handbook for Partners*: Mineta Transportation Institute, College of Business, San José State University.
- Herce, M. (2009) *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano* (Vol. 18). Editorial Reverté, Barcelona.
- Hinebaugh, D. (2009) *Characteristic of Bus Rapid Transit dor Decision-Making*. Federal Transit Administration, Washintong DC.
- Husdal, J. (2006) *Transport Network Vulnerability which Terminology and Metrics Should We Use*. Nectar Cluster, 1.
- ITDP (2013) *O Padrão de Qualidade de BRT 2013 (português)*. Institute for Transportation & Development Policy, New York.
- Jenelius, E. (2010) *Considering the user inequity of road network vulnerability*.
- Jenelius, E., e Mattsson, L.-G. (2006) *Developing a methodology for road network vulnerability analysis*. Nectar Cluster, 1, 1-9.
- Jenelius, E., e Mattsson, L.-G. (2012) *Road network vulnerability analysis of area-covering disruptions: A grid-based approach with case study*. Transportation research part A: policy and practice, 46(5), 746-760.
- Jenelius, E., Petersen, T., e Mattsson, L.-G. (2006a) *Importance and exposure in road network vulnerability analysis*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(7), 537-560.

- Jenelius, E., Petersen, T., e Mattsson, L.-G. (2006b) *Road network vulnerability: Identifying important links and exposed regions*. Transportation Research A, 40, 537-560.
- Jiménez, F. A., e Sánchez, M. (2005) *Modelo de optimización para medir la vulnerabilidad de la red de Transmilenio*. Universidad de Los Andes, Bogotá D.C., Colombia.
- Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S., Smith, R., Cracknell, J., et al. (2003) *Bus rapid transit* (Vol. 1). Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos.
- Lindau, L. A., da Silva, C. A. M., da Silva, D. M., de Moura Nitzke, L., de Souza, L. W., da Silva, P. C., et al. (2013) *Oportunidades para qualificar e inovar o transporte por ônibus nas cidades brasileiras*. Anais do XVII Anpet, Belém/PA.
- Lindau, L. A., Senna, L. A. D. S., Strambi, O., e Martins, W. C. (2008) *Alternative financing for bus rapid transit (BRT): the case of Porto Alegre, Brazil*. Research in Transportation Economics, 22(1), 54-60.
- Lleras, E. G., e Sánchez, S. M. (2001) *Vulnerability analysis of highway networks, methodology and case study*. Proceedings of the ICE-Transport, 147(4), 223-230.
- Murray-Tuite, Pamela M, e Mahmassani, H. S. (2004) *Methodology for determining vulnerable links in a transportation network*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1882(1), 88-96.
- NTU (2010) *Conceitos e custos para sistemas BRT*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, Brasil.
- OMU (2010) *Observatorio de Movilidad Urbana*. Corporación Andina de Fomento, Bogotá - Colombia.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., e Slack, B. (2009) *The geography of transport systems*. Routledge, New York.
- Ruohonen, K. (2013) *Graph Teory (Translation by Janne Tamminen, Kung-Chung Lee and Robert Piché)*. Tampere University of Technology, Finland.
- Schreuder, M., Tamminga, G., e Kraan, M. (2008) *Vulnerability of a national road network*. Paper presented at the Transportation Research Board 87th Annual Meeting.
- Scott, D. M., Novak, D. C., Aultman-Hall, L., e Guo, F. (2006) *Network robustness index: A new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks*. Journal of Transport Geography, 14(3), 215-227.
- SDG Limited, e CNC (2011) *Informe de indicadores Encuesta de Movilidad de Bogotá*. Secretaria Distrital de Movilidad, Bogotá, Colômbia.

- Shen, L. D., Elbadrawi, H., Zhao, F., e Ospina, D. (1998). *At-Grade Busway Planning Guide*: Lehman Center for Transportation Research, College of Engineering and Design, Florida International University, State University of Florida at Miami.
- Sinaenco. (2010). *Arena e mobilidade urbana*. Obtido em <http://www.sinaenco.com.br/downloads/Relat%C3%B3rio%20PAC%20da%20Copa.pdf>. Acesso em 04/12/2013.
- SITP. (2013). *Mapa geral do Sistema Transmilenio [Consulta do site]*. Obtido em [www.sitp.gov.co](http://www.sitp.gov.co). Acesso em 12/10/2013, 2013.
- Sohn, J. (2006) *Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(6), 491-506.
- Tampere, C. M., Stada, J., Immers, B., Peetermans, E., e Organe, K. (2007) *Methodology for identifying vulnerable sections in a national road network*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012(1), 1-10.
- Taylor, M. A., D'Este, G., e Nicholson, A. (2004) *Critical infrastructure and transport network vulnerability: developing a method for diagnosis and assessment*. Paper presented at the 2nd International Symposium on Transport Network Reliability pp. 96-102.
- Taylor, M. A., Sekhar, S. V., e D'Este, G. M. (2006) *Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks*. Networks and Spatial Economics, 6(3-4), 267-291.
- Transmilenio, S. A. (2004) *Documento Técnico Fase III*. Centro de documentação de Transmilenio, Bogotá D.C., Colombia.
- Transmilenio, S. A. (2005) *Sistema de Transporte Masivo: Instituciones* (1 ed.). Ediciones Antropos S.A., Bogotá D.C., Colombia.
- Transmilenio, S. A. (2010) *Plan Marco Sistema Transmilenio*. Centro de documentação de Transmilenio, Bogotá D.C., Colombia.
- Transmilenio, S. A. (2013). *Transmilenio [Consulta do site]*. Obtido em [www.transmilenio.gov.co](http://www.transmilenio.gov.co). Acesso em 02/12/2013.
- Transmilenio, S. A., SITP, e Alcaldia Mayor de Bogotá (2013) *Informe de gestión 2013*. Transmilenio S.A., Bogotá D.C., Colombia.
- Vallejo, M. H. (2004) *Métodos de planificación de las redes viarias urbanas*. In Congreso de Pesquisa e Ensino em Transportes - XVII ANPET. Florianópolis.
- Valvuenas, M. A., e Hidalgo, D. (2005) *Propuesta metodológica para la evaluación de rutas del sistema TransMilenio*. Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia.

- Viswanath, K., e Peeta, S. (2003) *Multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1857(1), 1-10.
- Von Ferber, C., Holovatch, T., Holovatch, Y., e Palchykov, V. (2009) *Public transport networks: empirical analysis and modeling*. The European Physical Journal B, 68(2), 261-275.
- Vuchic, V. R. (2005) *Urban transit: Operation, Planning and Economics*. Wiley, New Jersey.
- Wisner, B. (2009) *Vulnerability*. In K. Editors-in-Chief: Rob & T. Nigel (Eds.), International Encyclopedia of Human Geography (pp. 176-182). Oxford: Elsevier.
- Wright, L., e Hook, W. B. (2008) *Bus rapid transit planning guide*. Institute for Transportation & Development Policy - ITDP, New York.



**APÊNDICE I – LINHAS DO SISTEMA TRANSMILÊNIO (TM) CONSIDERADAS NO ESTUDO DE CASO.**

<b>Nº</b>	<b>NOME TRONCAL</b>	<b>LINHA</b>	<b>HORÁRIO INICIO</b>	<b>HORÁRIO FIM</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>
1	Zona A Caracas	F1	5:00	23:00	Portal Norte	Portal de Américas
2	Zona A Caracas	B1	5:00	23:00	Portal de Américas	Portal Norte
3	Zona A Caracas	D3	4:30	23:00	Portal Tunal	Portal de la 80
4	Zona A Caracas	H3	4:30	23:00	Portal de la 80	Portal Tunal
5	Zona A Caracas	C4	5:00	23:00	Portal Usme	Portal de Suba
6	Zona A Caracas	H4	5:00	23:00	Portal de Suba	Portal Usme
7	Zona A Caracas	H51	6:00	9:00	Portal Norte	Portal Usme
8	Zona A Caracas	B70	4:30	9:00	Portal Usme	Portal Norte
9	Zona A Caracas	H70	5:00	9:00	Portal Norte	Portal Usme
10	Zona A Caracas	B73	9:00	23:00	Portal Usme	Portal Norte
11	Zona A Caracas	H74	9:00	23:00	Portal Norte	Portal Usme
12	Zona A Caracas	B13	5:00	22:00	Portal Tunal	Portal Norte
13	Zona A Caracas	H52	6:00	9:00	Portal Norte	Portal Tunal
14	Zona A Caracas	H73	5:30	9:00	Portal Norte	Portal Tunal
15	Zona A Caracas	B27	5:30	8:00	Portal Tunal	Portal Norte
16	Zona A Caracas	B14	5:00	21:30	Portal de Américas	Portal Norte
17	Zona A Caracas	F14	5:30	22:00	Portal Norte	Portal de Américas
18	Zona A Caracas	C15	5:30	22:00	Portal Tunal	Portal de Suba
19	Zona A Caracas	H15	5:30	22:00	Portal de Suba	Portal Tunal
20	Zona A Caracas	A15	6:00	8:00	Portal de Suba	Calle 19
21	Zona A Caracas	C17	5:00	9:00	Portal Usme	Portal de Suba
22	Zona A Caracas	H17	5:00	9:00	Portal de Suba	Portal Usme
23	Zona A Caracas	C29	5:30	8:03	Portal de Américas	Portal de Suba
24	Zona A Caracas	D20	5:30	22:00	Portal Usme	Portal de la 80
25	Zona A Caracas	H20	5:30	22:00	Portal de la 80	Portal Usme
26	Zona A Caracas	D51	5:30	8:30	Portal Usme	Portal de la 80
27	Zona B Autonorte	B5	5:00	23:00	Portal del Sur	Portal Norte
28	Zona B Autonorte	G5	5:00	23:00	Portal Norte	Portal del Sur
29	Zona B Autonorte	B72	5:30	9:00	Portal Usme	Portal Norte
30	Zona B Autonorte	B53	5:30	8:30	Portal Tunal	Portal Norte
31	Zona B Autonorte	B71	5:30	8:30	Portal Tunal	Portal Norte
32	Zona B Autonorte	B52	5:30	8:30	Portal de Américas	Portal Norte
33	Zona B Autonorte	B11	5:30	21:00	Portal del Sur	Portal Norte
34	Zona B Autonorte	B54	5:30	8:00	Portal del Sur	Portal Norte
35	Zona B Autonorte	B12	5:00	23:00	Portal del Sur	Portal Norte
36	Zona B Autonorte	B28	5:00	9:00	Portal de Américas	Portal Norte
37	Zona B Autonorte	B50	6:00	8:30	Portal de Suba	Portal Norte

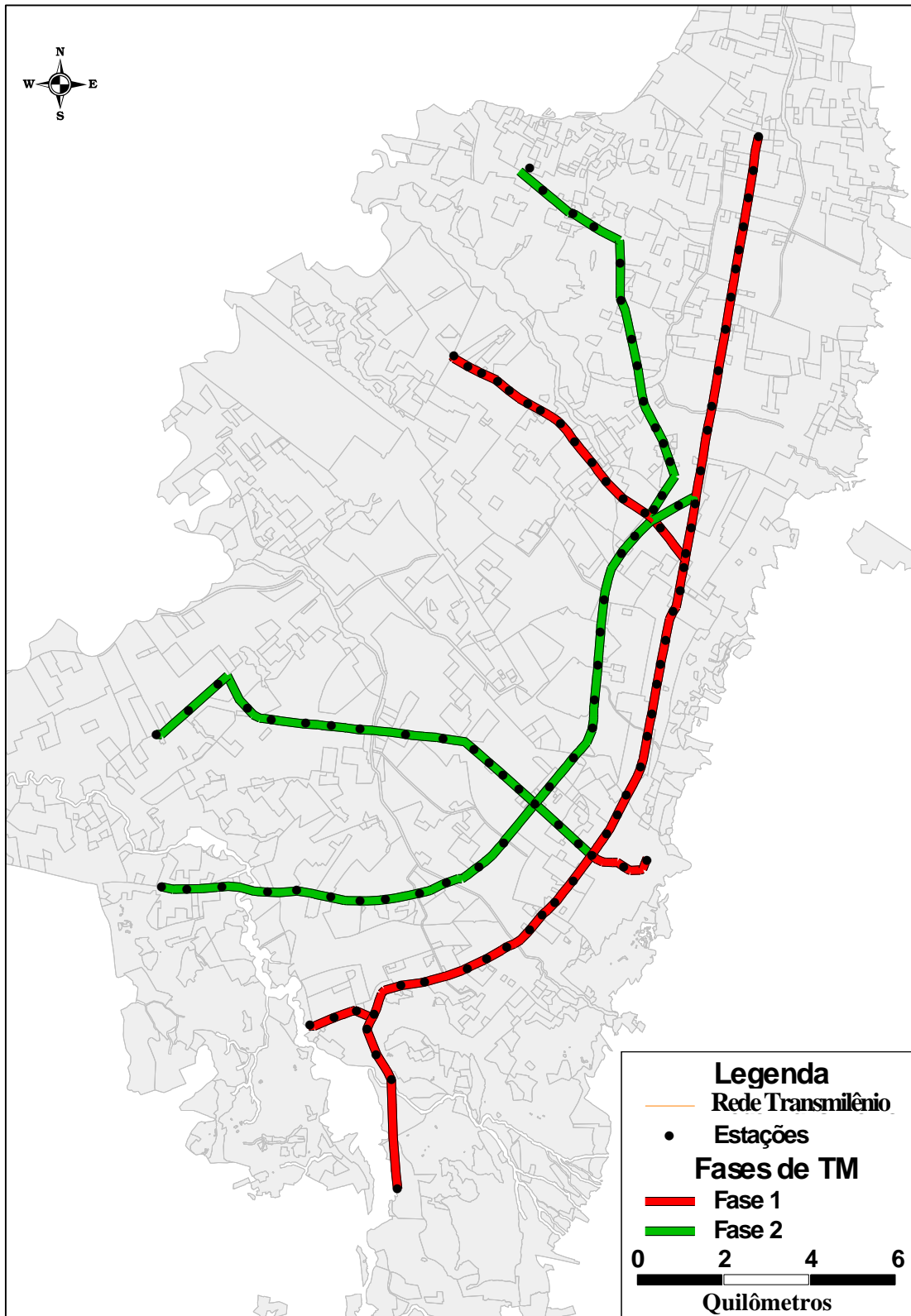
<b>N°</b>	<b>NOME TRONCAL</b>	<b>LINHA</b>	<b>HORÁRIO INICIO</b>	<b>HORÁRIO FIM</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>DESTINO</b>
38	Zona B Autonorte	A70	5:30	8:30	Portal Norte	Calle 72
39	Zona B Autonorte	H13	5:30	22:00	Portal Norte	Portal Tunal
40	Zona B Autonorte	H27	6:00	8:30	Portal Norte	Portal Tunal
41	Zona B Autonorte	J70	5:30	9:00	Portal Norte	Las Aguas
42	Zona B Autonorte	G12	5:00	23:00	Portal Norte	Portal del Sur
43	Zona B Autonorte	F28	6:00	8:30	Portal Norte	Portal de Américas
44	Zona B Autonorte	C61	6:30	8:00	Portal Norte	Portal de Suba
45	Zona C Suba	B56	6:30	8:00	Portal de Suba	Héroes
46	Zona C Suba	C19	5:30	22:00	Portal de Américas	Portal de Suba
47	Zona C Suba	F19	5:30	22:00	Portal de Suba	Banderas
48	Zona C Suba	C30	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de Suba
49	Zona C Suba	G30	5:00	9:00	Portal de Suba	Portal del Sur
50	Zona C Suba	C31	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de Suba
51	Zona C Suba	G31	5:00	9:00	Portal de Suba	Portal del Sur
52	Zona C Suba	J73	5:30	9:00	Portal de Suba	Las Aguas
53	Zona D Calle 80	B10	5:00	9:30	Portal de la 80	Portal Norte
54	Zona D Calle 80	D10	5:30	22:00	Portal Norte	Portal de la 80
55	Zona D Calle 80	G11	6:00	22:00	Portal Norte	Portal del Sur
56	Zona D Calle 80	A52	5:30	8:00	Portal del Sur	Flores
57	Zona D Calle 80	F29	5:30	8:30	Portal de Suba	Portal de Américas
58	Zona D Calle 80	H50	5:30	8:30	Portal de la 80	Portal Usme
59	Zona D Calle 80	A50	6:30	8:30	Portal de la 80	Calle 72
60	Zona D Calle 80	D50	5:30	8:30	Portal de Américas	Portal de la 80
61	Zona D Calle 80	D21	5:00	23:00	Portal Tunal	Portal de la 80
62	Zona D Calle 80	H21	5:00	23:00	Portal de la 80	Portal Tunal
63	Zona D Calle 80	D22	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de la 80
64	Zona D Calle 80	G22	5:00	9:00	Portal de la 80	Portal del Sur
65	Zona E NQS Central	E32	6:00	8:30	Portal de Américas	NQS - Calle 75
66	Zona J Eje Ambiental	F23	5:00	23:00	Las Aguas	Portal de Américas
67	Zona J Eje Ambiental	J23	5:00	23:00	Portal de Américas	Las Aguas
68	Zona J Eje Ambiental	F70	5:30	9:00	Portal de Américas	Av. Jiménez

**APÊNDICE II – MAPAS DAS LINHAS DO SISTEMA TRANSMILÊNIO (TM)  
CONSIDERADAS PARA O ESTUDO DE CASO.**





## APÊNDICE IV – FASES DO SISTEMA TRANSMILÊNIO.



APÊNDICE V – MODELO DE TRANSPORTE (MATRIZ HORÁRIO DE PICO AM-PM 25-10-2011).

	2000	2101	2102	2103	2104	2105	2200	7005	7006	7007	7008	7009	7101	7102	7103	7104	9115	9116	9117	9118	9119	9120	9121	9122	9123	12000	12001	12002	12003	12004	12007	14001	14004	14005	Total	
2000	0	42	15	48	33	70	118	22	26	13	11	49	46	84	125	118	418	427	234	351	193	414	242	578	539	47	24	94	209	20	56	10	660	191	13616	
2101	33	0	2	6	2	10	7	15	4	5	0	2	6	14	27	29	53	136	41	54	41	82	43	147	107	5	12	17	59	8	17	9	167	52	3216	
2102	4	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	5	2	3	3	6	25	20	8	10	8	36	24	20	17	0	0	2	6	0	4	1	27	11	614	
2103	71	17	3	0	2	1	7	7	1	0	0	17	5	7	15	6	39	28	25	23	14	33	37	35	11	3	0	10	13	1	9	0	30	18	1528	
2104	59	8	0	0	0	0	2	4	0	0	0	8	4	4	9	14	143	120	65	88	27	61	26	162	96	7	2	10	22	0	23	0	214	75	2498	
2105	33	8	0	0	0	0	2	7	3	1	0	4	2	9	11	13	35	47	20	28	16	38	33	68	54	1	4	9	21	4	16	1	120	33	1575	
2200	120	22	2	1	2	5	0	8	4	0	0	2	5	8	6	10	96	70	46	46	13	39	22	90	72	11	3	22	25	5	17	0	145	56	1980	
7005	36	12	3	5	10	15	2	0	0	1	0	0	3	8	19	9	14	3	5	6	1	4	21	12	17	1	0	0	17	2	1	4	9	0	626	
7006	88	63	5	14	10	37	40	0	0	0	0	1	26	40	52	37	9	5	2	10	7	23	13	47	50	0	0	0	36	0	6	2	13	7	1739	
7007	10	2	0	1	2	2	10	1	0	0	0	1	1	10	17	10	2	2	0	4	4	1	4	8	10	1	0	1	6	0	5	1	8	5	385	
7008	17	15	2	1	0	12	8	0	0	2	0	0	4	5	15	6	4	3	5	3	1	7	20	13	26	1	3	0	22	3	1	2	17	5	627	
7009	29	27	5	4	5	10	4	4	0	0	0	0	8	12	25	9	8	5	5	3	1	4	9	35	32	2	1	1	6	0	0	2	4	1	707	
7101	4	0	0	1	1	1	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	41	
7102	10	8	0	0	0	2	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	9	0	8	0	0	0	18		
7103	47	7	0	4	3	4	6	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	5	4	10	0	4	5	234	
7104	37	7	1	3	1	3	6	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	5	1	20	3	249	
9115	37	14	1	0	4	0	10	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3	7	2	5	4	13	8	0	0	2	1	0	3	3	9	2	441	
9116	9	0	4	2	2	5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	5	8	4	9	0	2	2	0	0	0	0	2	5	4	189	
9117	23	5	0	0	4	3	11	0	0	1	0	1	0	0	0	1	6	2	0	1	1	5	2	7	8	0	3	13	1	1	3	1	11	4	407	
9118	59	15	0	1	5	5	10	1	0	0	3	1	1	0	0	0	6	11	1	0	0	18	8	15	16	3	0	13	1	3	2	3	18	4	693	
9119	16	5	1	2	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	1	2	2	5	1	1	3	1	1	3	1	3	0	262	
9120	32	12	3	5	7	0	13	1	0	0	0	0	0	3	1	0	5	5	3	6	0	0	0	1	6	0	1	2	3	5	10	0	7	3	495	
9121	27	7	2	5	2	4	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	10	3	7	1	0	0	0	2	0	0	2	6	3	3	1	4	0	303	
9122	33	24	2	0	5	6	14	2	0	0	0	5	0	0	0	0	6	2	0	8	1	4	0	0	0	0	10	11	0	5	2	2	3	461		
9123	23	1	0	2	3	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5	6	1	1	2	1	2	0	0	0	1	2	3	5	0	8	1	249		
12000	4	3	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4	2	1	3	2	1	0	3	5	0	0	0	1	0	0	0	2	3	118	
12001	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	1	2	1	1	0	0	6	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	83	
12002	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	0	2	0	7	4	5	1	0	0	0	0	1	0	2	4	99		
12003	17	5	3	0	1	7	3	0	0	0	0	3	4	1	10	2	1	1	1	1	2	5	1	12	3	3	0	0	2	1	0	9	3	327		
12004	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	2	0	1	7	3	2	0	1	1	0	3	0	12	1	104	
12007	6	2	0	0	0	1	3	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	1	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	2	5	120	
14001	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	34		
14004	12	6	2	0	2	7	5	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	2	0	2	3	4	4	2	0	0	2	0	14	0	0	206		
14005	8	1	0	0	0	3	11	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	8	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	151	
Total	5461	###	681	735	1019	1322	###	250	191	148	100	512	487	1442	###	1470	###	4319	###	###	###	###	###	###	###	6556	692	729	1297	###	1130	1814	584	6561	2173	2E+05

## APÊNDICE VI – RESUMO DADOS OPERACIONAIS.

Nº	Linha	Horário inicio	Horário Fim	Origem	Destino	Frequência	Intervalo
1	F1	5:00	23:00	Portal Norte	Portal de las Américas	12	5
2	B1	5:00	23:00	Portal de las Américas	Portal Norte	12	5
3	D3	4:30	23:00	Portal Tunal	Portal de la 80	12	5
4	H3	4:30	23:00	Portal de la 80	Portal Tunal	12	5
5	C4	5:00	23:00	Portal Usme	Portal de Suba	12	5
6	H4	5:00	23:00	Portal de Suba	Portal Usme	12	5
7	H51	6:00	9:00	Portal Norte	Portal Usme	8,6	7
8	B70	4:30	9:00	Portal Usme	Portal Norte	8,6	7
9	H70	5:00	9:00	Portal Norte	Portal Usme	8,6	7
10	B73	9:00	23:00	Portal Usme	Portal Norte	8,6	7
11	H74	9:00	23:00	Portal Norte	Portal Usme	8,6	7
12	B13	5:00	22:00	Portal Tunal	Portal Norte	8,6	7
13	H52	6:00	9:00	Portal Norte	Portal Tunal	8,6	7
14	H73	5:30	9:00	Portal Norte	Portal Tunal	8,6	7
15	B27	5:30	8:00	Portal Tunal	Portal Norte	8,6	7
16	B14	5:00	21:30	Portal de las Américas	Portal Norte	8,6	7
17	F14	5:30	22:00	Portal Norte	Portal de las Américas	8,6	7
18	C15	5:30	22:00	Portal Tunal	Portal de Suba	8,6	7
19	H15	5:30	22:00	Portal de Suba	Portal Tunal	8,6	7
20	A15	6:00	8:00	Portal de Suba	Calle 19	8,6	7
21	C17	5:00	9:00	Portal Usme	Portal de Suba	8,6	7
22	H17	5:00	9:00	Portal Usme	Portal de Suba	8,6	7
23	C29	5:30	8:03	Portal de las Américas	Portal de Suba	8,6	7
24	D20	5:30	22:00	Portal Usme	Portal de la 80	8,6	7
25	H20	5:30	22:00	Portal de la 80	Portal Usme	8,6	7
26	D51	5:30	8:30	Portal Usme	Portal de la 80	8,6	7
27	B5	5:00	23:00	Portal del Sur	Portal Norte	12	5
28	G5	5:00	23:00	Portal Norte	Portal del Sur	12	5
29	B72	5:30	9:00	Portal Usme	Portal Norte	8,6	7
30	B53	5:30	8:30	Portal Tunal	Portal Norte	8,6	7
31	B71	5:30	8:30	Portal Tunal	Portal Norte	8,6	7
32	B52	5:30	8:30	Portal de las Américas	Portal Norte	8,6	7
33	B11	5:30	21:00	Portal del Sur	Portal Norte	8,6	7
34	B54	5:30	8:00	Portal del Sur	Portal Norte	8,6	7
35	B12	5:00	23:00	Portal del Sur	Portal Norte	8,6	7
36	B28	5:00	9:00	Portal de las Américas	Portal Norte	8,6	7
37	B50	6:00	8:30	Portal de Suba	Portal Norte	8,6	7
38	A70	5:30	8:30	Portal Norte	Calle 72	8,6	7
39	H13	5:30	22:00	Portal Norte	Portal Tunal	8,6	7
40	H27	6:00	8:30	Portal Norte	Portal Tunal	8,6	7

Nº	Linha	Horário inicio	Horário Fim	Origem	Destino	Frequência	Intervalo
41	J70	5:30	9:00	Portal Norte	Las Aguas	8,6	7
42	G12	5:00	23:00	Portal Norte	Portal del Sur	8,6	7
43	F28	6:00	8:30	Portal Norte	Portal de las Américas	8,6	7
44	C61	6:30	8:00	Portal Norte	Portal de Suba	8,6	7
45	B56	6:30	8:00	Portal de Suba	Portal Norte	8,6	7
46	C19	5:30	22:00	Portal de las Américas	Portal de Suba	8,6	7
47	F19	5:30	22:00	Portal de Suba	Portal de las Américas	8,6	7
48	C30	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de Suba	8,6	7
49	G30	5:00	9:00	Portal de Suba	Portal del Sur	8,6	7
50	C31	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de Suba	8,6	7
51	G31	5:00	9:00	Portal de Suba	Portal del Sur	8,6	7
52	J73	5:30	9:00	Portal de Suba	Las Aguas	8,6	7
53	B10	5:00	9:30	Portal de la 80	Portal Norte	8,6	7
54	D10	5:30	22:00	Portal Norte	Portal de la 80	8,6	7
55	G11	6:00	22:00	Portal Norte	Portal del Sur	8,6	7
56	A52	5:30	8:00	Portal del Sur	Flores	8,6	7
57	F29	5:30	8:30	Portal de Suba	Portal de las Américas	8,6	7
58	H50	5:30	8:30	Portal de la 80	Portal Usme	8,6	7
59	A50	6:30	8:30	Portal de la 80	Calle 72	8,6	7
60	D50	5:30	8:30	Portal de las Américas	Portal de la 80	8,6	7
61	D21	5:00	23:00	Portal Tunal	Portal de la 80	8,6	7
62	D22	5:00	9:00	Portal del Sur	Portal de la 80	8,6	7
63	G22	5:00	9:00	Portal de la 80	Portal del Sur	8,6	7
64	E32	6:00	8:30	Portal de las Américas	NQS - Calle 75	8,6	7
65	F23	5:00	23:00	Las Aguas	Portal de las Américas	8,6	7
66	J23	5:00	23:00	Portal de las Américas	Las Aguas	8,6	7
67	F70	5:30	9:00	Portal de las Américas	Av. Jiménez	8,6	7



**APÊNDICE VII – RESULTADO DO CALCULO DA MEDIDA DE CENTRALIDADE DE INTERMEDIACÃO COM FOCO NA OPERAÇÃO E NOS USUÁRIOS.**

**Centralidade de intermediação – Operação**

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT
1	0,14	0	0,33	0,0027	0,0019	0,0023	189	0,03	0	0,09	0,0033	0,0034	0,0033
2	0,08	0	0,18	0,0027	0,0019	0,0023	190	0,14	0	0,41	0,0033	0,0034	0,0033
3	0,52	0	1,24	0,0027	0,0019	0,0023	191	0,09	0	0,28	0,0033	0,0034	0,0033
4	0,07	0	0,16	0,0027	0,0019	0,0023	192	0,12	0	0,35	0,0033	0,0034	0,0033
5	0,64	0	1,53	0,0027	0,0019	0,0023	193	0,20	0	0,49	0,0015	0,0019	0,0017
6	0,13	0	0,30	0,0027	0,0019	0,0023	194	0,28	0	0,66	0,0015	0,0019	0,0017
7	0,18	0	0,44	0,0027	0,0019	0,0023	195	0,11	0	0,27	0,0015	0,0019	0,0017
8	0,17	0	0,42	0,0027	0,0019	0,0023	196	0,02	0	0,04	0,0015	0,0019	0,0017
9	0,12	0	0,29	0,0027	0,0019	0,0023	197	0,07	0	0,16	0,0015	0,0019	0,0017
10	0,42	0	1,00	0,0027	0,0019	0,0023	198	0,41	0	0,98	0,0015	0,0019	0,0017
11	0,29	0	0,70	0,0027	0,0019	0,0023	199	0,09	0	0,23	0,0015	0,0019	0,0017
12	0,08	0	0,20	0,0027	0,0019	0,0023	200	0,58	0	1,39	0,0015	0,0019	0,0017
13	0,30	0	0,73	0,0027	0,0019	0,0023	201	0,00	0	0,00	0,0020	0,0024	0,0022
14	0,15	0	0,35	0,0027	0,0019	0,0023	202	0,16	0	0,38	0,0020	0,0024	0,0022
15	0,05	0	0,11	0,0027	0,0019	0,0023	203	0,42	0	1,00	0,0020	0,0024	0,0022
16	0,29	0	0,70	0,0027	0,0019	0,0023	204	0,22	0	0,53	0,0015	0,0024	0,0020
17	0,32	0	0,77	0,0043	0,0041	0,0042	205	0,20	0	0,61	0,0051	0,0048	0,0050
18	0,01	0	0,03	0,0043	0,0041	0,0042	206	0,08	0	0,24	0,0051	0,0048	0,0050
19	0,02	0	0,04	0,0043	0,0041	0,0042	207	0,07	0	0,20	0,0051	0,0048	0,0050
20	0,43	0	1,03	0,0043	0,0041	0,0042	208	0,07	0	0,20	0,0051	0,0048	0,0050
21	0,32	0	0,78	0,0043	0,0041	0,0042	209	0,36	0	1,08	0,0051	0,0048	0,0050
22	0,22	0	0,53	0,0043	0,0041	0,0042	210	0,08	0	0,25	0,0051	0,0048	0,0050
23	0,35	0	0,83	0,0043	0,0041	0,0042	211	0,03	0	0,07	0,0020	0,0024	0,0022
24	0,09	0	0,21	0,0043	0,0041	0,0042	212	0,73	0	1,75	0,0020	0,0024	0,0022
25	0,35	0	0,85	0,0043	0,0041	0,0042	213	0,01	0	0,03	0,0020	0,0024	0,0022
26	0,22	0	0,52	0,0043	0,0041	0,0042	214	0,13	0	0,30	0,0020	0,0024	0,0022
27	0,14	0	0,33	0,0043	0,0041	0,0042	215	0,22	0	0,53	0,0020	0,0024	0,0022
28	0,07	0	0,17	0,0043	0,0041	0,0042	216	0,19	0	0,45	0,0020	0,0024	0,0022
29	0,80	0	1,91	0,0043	0,0041	0,0042	217	0,40	0	0,96	0,0020	0,0024	0,0022
30	0,00	0	0,00	0,0043	0,0041	0,0042	218	0,06	0	0,17	0,0051	0,0048	0,0050
31	0,20	0	0,47	0,0043	0,0041	0,0042	219	0,20	0	0,60	0,0051	0,0048	0,0050
32	0,35	0	0,84	0,0027	0,0019	0,0023	220	0,24	0	0,72	0,0051	0,0048	0,0050
33	0,07	0	0,18	0,0027	0,0019	0,0023	221	0,02	0	0,05	0,0051	0,0048	0,0050
34	0,93	0	2,22	0,0027	0,0019	0,0023	222	0,08	0	0,23	0,0051	0,0048	0,0050
35	0,14	0	0,33	0,0027	0,0019	0,0023	223	0,69	0	2,06	0,0051	0,0048	0,0050
36	0,05	0	0,11	0,0027	0,0019	0,0023	224	0,11	0	0,34	0,0051	0,0048	0,0050

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT
37	0,27	0	0,66	0,0027	0,0019	0,0023	225	0,11	0	0,34	0,0051	0,0048	0,0050
38	0,30	0	0,73	0,0027	0,0019	0,0023	226	0,24	0	0,73	0,0051	0,0048	0,0050
39	0,17	0	0,40	0,0027	0,0019	0,0023	227	0,05	0	0,16	0,0020	0,0024	0,0022
40	0,11	0	0,26	0,0027	0,0019	0,0023	228	0,34	0	1,02	0,0051	0,0048	0,0050
41	0,54	0	1,30	0,0027	0,0019	0,0023	229	0,16	0	0,47	0,0051	0,0048	0,0050
42	0,01	0	0,02	0,0027	0,0019	0,0023	230	0,09	0	0,26	0,0051	0,0048	0,0050
43	0,45	0	1,08	0,0027	0,0019	0,0023	231	0,06	0	0,15	0,0015	0,0017	0,0016
44	0,07	0	0,16	0,0027	0,0019	0,0023	232	0,39	0	0,94	0,0015	0,0017	0,0016
45	0,56	0	1,34	0,0027	0,0019	0,0023	233	0,04	0	0,09	0,0015	0,0017	0,0016
46	0,20	0	0,47	0,0027	0,0019	0,0023	235	0,18	0	0,43	0,0015	0,0017	0,0016
47	0,14	0	0,34	0,0027	0,0019	0,0023	236	0,11	0	0,28	0,0015	0,0017	0,0016
48	0,31	0	0,75	0,0027	0,0019	0,0023	237	0,31	0	0,76	0,0015	0,0017	0,0016
49	0,05	0	0,12	0,0027	0,0019	0,0023	238	0,02	0	0,06	0,0015	0,0017	0,0016
50	0,39	0	0,93	0,0043	0,0041	0,0042	239	0,19	0	0,45	0,0015	0,0017	0,0016
51	0,13	0	0,32	0,0043	0,0041	0,0042	240	0,11	0	0,26	0,0015	0,0017	0,0016
52	0,28	0	0,68	0,0043	0,0041	0,0042	241	0,28	0	0,67	0,0015	0,0017	0,0016
53	0,05	0	0,12	0,0043	0,0041	0,0042	242	0,12	0	0,29	0,0015	0,0017	0,0016
54	0,05	0	0,12	0,0043	0,0041	0,0042	243	0,06	0	0,13	0,0015	0,0017	0,0016
55	0,33	0	0,79	0,0043	0,0041	0,0042	244	0,06	0	0,15	0,0015	0,0017	0,0016
56	0,01	0	0,03	0,0043	0,0041	0,0042	245	0,11	0	0,25	0,0015	0,0017	0,0016
57	0,35	0	0,84	0,0043	0,0041	0,0042	246	0,11	0	0,27	0,0015	0,0017	0,0016
58	0,06	0	0,15	0,0043	0,0041	0,0042	247	0,15	0	0,35	0,0015	0,0017	0,0016
59	0,38	0	0,91	0,0043	0,0041	0,0042	248	0,16	0	0,37	0,0015	0,0017	0,0016
60	0,15	0	0,36	0,0043	0,0041	0,0042	249	0,06	0	0,14	0,0015	0,0017	0,0016
61	0,27	0	0,65	0,0043	0,0041	0,0042	250	0,35	0	0,83	0,0015	0,0017	0,0016
62	0,35	0	0,85	0,0043	0,0041	0,0042	251	0,32	0	0,77	0,0015	0,0017	0,0016
63	0,06	0	0,15	0,0043	0,0041	0,0042	252	0,05	0	0,11	0,0020	0,0024	0,0022
64	0,04	0	0,10	0,0043	0,0041	0,0042	253	0,17	0	0,42	0,0020	0,0024	0,0022
65	0,42	0	1,00	0,0043	0,0041	0,0042	254	0,64	0	1,53	0,0020	0,0024	0,0022
66	0,26	0	0,62	0,0043	0,0041	0,0042	255	0,06	0	0,15	0,0020	0,0024	0,0022
67	0,22	0	0,52	0,0043	0,0041	0,0042	256	0,07	0	0,16	0,0020	0,0024	0,0022
68	0,08	0	0,19	0,0043	0,0041	0,0042	257	0,06	0	0,14	0,0020	0,0024	0,0022
69	0,10	0	0,25	0,0043	0,0041	0,0042	258	0,24	0	0,58	0,0020	0,0024	0,0022
70	0,32	0	0,76	0,0043	0,0041	0,0042	259	0,23	0	0,55	0,0020	0,0024	0,0022
71	0,08	0	0,24	0,0033	0,0034	0,0033	260	0,51	0	1,22	0,0020	0,0024	0,0022
72	0,38	0	1,15	0,0033	0,0034	0,0033	261	0,05	0	0,11	0,0015	0,0017	0,0016
73	0,16	0	0,48	0,0033	0,0034	0,0033	262	0,04	0	0,10	0,0015	0,0017	0,0016
74	0,17	0	0,52	0,0033	0,0034	0,0033	263	0,07	0	0,17	0,0020	0,0024	0,0022
75	0,08	0	0,18	0,0015	0,0019	0,0017	264	0,07	0	0,18	0,0020	0,0024	0,0022
76	0,53	0	1,28	0,0015	0,0019	0,0017	265	0,38	0	0,92	0,0020	0,0024	0,0022
77	0,05	0	0,13	0,0015	0,0019	0,0017	266	0,29	0	0,70	0,0020	0,0021	0,0021
78	0,32	0	0,77	0,0015	0,0019	0,0017	267	0,07	0	0,18	0,0020	0,0021	0,0021
79	0,06	0	0,15	0,0015	0,0019	0,0017	268	0,53	0	1,28	0,0015	0,0017	0,0016

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT
80	0,00	0	0,01	0,0015	0,0019	0,0017	269	0,14	0	0,35	0,0015	0,0017	0,0016
81	0,23	0	0,54	0,0015	0,0019	0,0017	270	0,16	0	0,39	0,0015	0,0017	0,0016
82	0,27	0	0,65	0,0015	0,0019	0,0017	271	0,35	0	0,85	0,0043	0,0036	0,0039
83	0,32	0	0,77	0,0015	0,0019	0,0017	272	0,12	0	0,37	0,0051	0,0048	0,0050
84	0,02	0	0,04	0,0015	0,0019	0,0017	273	0,30	0	0,89	0,0051	0,0048	0,0050
85	0,39	0	0,94	0,0013	0,0024	0,0018	274	0,10	0	0,31	0,0051	0,0048	0,0050
86	0,31	0	0,76	0,0013	0,0024	0,0018	275	0,07	0	0,20	0,0051	0,0048	0,0050
87	1,02	0	2,44	0,0013	0,0024	0,0018	276	0,15	0	0,45	0,0053	0,0048	0,0051
88	0,31	0	0,75	0,0013	0,0024	0,0018	277	0,38	0	1,13	0,0053	0,0048	0,0051
89	0,10	0	0,25	0,0015	0,0019	0,0017	278	0,03	0	0,10	0,0053	0,0048	0,0051
90	0,10	0	0,25	0,0015	0,0019	0,0017	279	0,01	0	0,04	0,0056	0,0048	0,0052
91	0,37	0	0,89	0,0015	0,0019	0,0017	280	0,26	0	0,78	0,0056	0,0048	0,0052
92	0,42	0	1,01	0,0015	0,0019	0,0017	281	0,13	0	0,40	0,0056	0,0048	0,0052
93	0,06	0	0,13	0,0015	0,0019	0,0017	282	0,08	0	0,24	0,0056	0,0048	0,0052
94	0,05	0	0,11	0,0015	0,0019	0,0017	283	0,04	0	0,12	0,0056	0,0048	0,0052
95	0,25	0	0,59	0,0015	0,0019	0,0017	284	0,17	0	0,52	0,0056	0,0048	0,0052
96	0,07	0	0,18	0,0015	0,0019	0,0017	285	0,12	0	0,29	0,0038	0,0038	0,0038
97	0,37	0	0,88	0,0015	0,0019	0,0017	286	0,05	0	0,13	0,0015	0,0024	0,0020
98	0,32	0	0,77	0,0015	0,0019	0,0017	287	0,16	0	0,39	0,0015	0,0024	0,0020
99	0,00	0	0,00	0,0015	0,0019	0,0017	288	0,11	0	0,27	0,0015	0,0024	0,0020
100	0,06	0	0,13	0,0015	0,0017	0,0016	289	0,44	0	1,07	0,0015	0,0024	0,0020
101	0,05	0	0,13	0,0015	0,0017	0,0016	290	0,28	0	0,66	0,0020	0,0012	0,0016
102	0,40	0	0,96	0,0015	0,0017	0,0016	291	0,76	0	1,82	0,0020	0,0012	0,0016
103	0,03	0	0,09	0,0018	0,0017	0,0017	292	0,72	0	1,74	0,0020	0,0012	0,0016
104	0,18	0	0,53	0,0018	0,0017	0,0017	293	0,21	0	0,51	0,0020	0,0024	0,0022
105	0,20	0	0,61	0,0018	0,0017	0,0017	294	0,10	0	0,24	0,0020	0,0024	0,0022
106	0,07	0	0,20	0,0018	0,0017	0,0017	295	0,00	0	0,01	0,0020	0,0024	0,0022
107	0,17	0	0,50	0,0018	0,0017	0,0017	296	0,21	0	0,52	0,0020	0,0024	0,0022
108	0,98	0	2,93	0,0018	0,0017	0,0017	297	0,14	0	0,41	0,0033	0,0034	0,0033
109	0,99	0	2,97	0,0018	0,0017	0,0017	298	0,41	0	1,23	0,0033	0,0034	0,0033
110	0,57	0	1,72	0,0018	0,0017	0,0017	299	0,29	0	0,69	0,0007	0,0002	0,0005
111	0,22	0	0,65	0,0018	0,0017	0,0017	300	0,07	0	0,16	0,0007	0,0002	0,0005
112	0,62	0	1,87	0,0018	0,0017	0,0017	301	0,22	0	0,53	0,0007	0,0002	0,0005
113	0,09	0	0,22	0,0015	0,0017	0,0016	302	0,04	0	0,09	0,0007	0,0002	0,0005
114	0,02	0	0,05	0,0015	0,0017	0,0016	303	0,03	0	0,07	0,0007	0,0002	0,0005
115	0,16	0	0,38	0,0015	0,0017	0,0016	304	0,35	0	1,04	0,0033	0,0034	0,0033
116	0,05	0	0,12	0,0015	0,0017	0,0016	305	0,51	0	1,22	0,0015	0,0024	0,0020
117	0,20	0	0,48	0,0015	0,0017	0,0016	306	0,00	0	0,00	0,0015	0,0024	0,0020
118	0,08	0	0,20	0,0015	0,0017	0,0016	307	0,95	0	2,27	0,0015	0,0024	0,0020
119	0,05	0	0,12	0,0015	0,0017	0,0016	308	0,56	0	1,35	0,0015	0,0024	0,0020
120	0,38	0	0,92	0,0015	0,0017	0,0016	309	0,36	0	0,86	0,0015	0,0024	0,0020
121	0,09	0	0,28	0,0018	0,0017	0,0017	310	0,09	0	0,20	0,0007	0,0002	0,0005
122	0,01	0	0,02	0,0018	0,0017	0,0017	311	0,22	0	0,67	0,0048	0,0048	0,0048

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT
123	0,06	0	0,18	0,0033	0,0034	0,0033	312	0,04	0	0,12	0,0048	0,0048	0,0048
124	0,13	0	0,39	0,0033	0,0034	0,0033	313	0,12	0	0,30	0,0007	0,0002	0,0005
125	0,06	0	0,17	0,0033	0,0034	0,0033	314	0,01	0	0,03	0,0007	0,0002	0,0005
126	0,16	0	0,48	0,0033	0,0034	0,0033	315	0,08	0	0,20	0,0007	0,0002	0,0005
127	0,16	0	0,47	0,0033	0,0034	0,0033	316	0,17	0	0,52	0,0048	0,0048	0,0048
128	0,04	0	0,11	0,0033	0,0034	0,0033	317	0,25	0	0,75	0,0048	0,0048	0,0048
129	0,10	0	0,31	0,0033	0,0034	0,0033	318	0,16	0	0,38	0,0007	0,0002	0,0005
130	0,04	0	0,11	0,0033	0,0034	0,0033	319	0,10	0	0,24	0,0007	0,0002	0,0005
131	0,36	0	1,08	0,0033	0,0034	0,0033	320	0,04	0	0,13	0,0051	0,0048	0,0050
132	0,24	0	0,71	0,0033	0,0034	0,0033	321	0,53	0	1,59	0,0051	0,0048	0,0050
133	0,24	0	0,73	0,0033	0,0034	0,0033	322	0,12	0	0,35	0,0051	0,0048	0,0050
134	0,17	0	0,52	0,0033	0,0034	0,0033	323	0,12	0	0,36	0,0051	0,0048	0,0050
135	0,04	0	0,11	0,0033	0,0034	0,0033	324	0,10	0	0,29	0,0051	0,0048	0,0050
136	0,30	0	0,90	0,0033	0,0034	0,0033	325	0,32	0	0,95	0,0051	0,0048	0,0050
137	0,05	0	0,15	0,0033	0,0034	0,0033	326	0,15	0	0,36	0,0007	0,0002	0,0005
138	0,05	0	0,15	0,0033	0,0034	0,0033	327	0,12	0	0,28	0,0007	0,0002	0,0005
139	0,34	0	1,03	0,0033	0,0034	0,0033	328	0,18	0	0,44	0,0020	0,0024	0,0022
140	0,09	0	0,26	0,0033	0,0034	0,0033	329	0,20	0	0,48	0,0020	0,0024	0,0022
141	0,19	0	0,57	0,0033	0,0034	0,0033	330	0,13	0	0,31	0,0020	0,0024	0,0022
142	0,26	0	0,77	0,0033	0,0034	0,0033	331	0,23	0	0,54	0,0020	0,0024	0,0022
143	0,06	0	0,14	0,0015	0,0019	0,0017	332	0,30	0	0,72	0,0020	0,0024	0,0022
144	0,48	0	1,14	0,0015	0,0019	0,0017	333	0,27	0	0,66	0,0020	0,0024	0,0022
145	0,31	0	0,73	0,0015	0,0019	0,0017	334	0,02	0	0,05	0,0020	0,0024	0,0022
146	0,15	0	0,37	0,0015	0,0019	0,0017	335	0,08	0	0,19	0,0020	0,0024	0,0022
147	0,21	0	0,50	0,0015	0,0019	0,0017	336	0,16	0	0,38	0,0020	0,0024	0,0022
148	0,23	0	0,56	0,0015	0,0019	0,0017	337	0,21	0	0,62	0,0051	0,0048	0,0050
149	0,18	0	0,44	0,0013	0,0024	0,0018	338	0,09	0	0,22	0,0020	0,0021	0,0021
150	0,09	0	0,21	0,0013	0,0024	0,0018	339	0,13	0	0,32	0,0043	0,0036	0,0039
151	1,09	0	2,61	0,0013	0,0024	0,0018	340	0,11	0	0,27	0,0005	0,0005	0,0005
152	0,27	0	0,64	0,0015	0,0024	0,0020	341	0,35	0	0,84	0,0044	0,0035	0,0039
153	0,11	0	0,26	0,0015	0,0024	0,0020	342	0,26	0	0,63	0,0044	0,0035	0,0039
154	0,54	0	1,28	0,0015	0,0024	0,0020	343	0,08	0	0,20	0,0044	0,0035	0,0039
155	0,05	0	0,12	0,0015	0,0024	0,0020	344	0,40	0	0,96	0,0044	0,0035	0,0039
156	0,27	0	0,66	0,0015	0,0024	0,0020	345	0,07	0	0,17	0,0044	0,0035	0,0039
157	0,12	0	0,30	0,0015	0,0024	0,0020	346	0,04	0	0,10	0,0043	0,0036	0,0039
158	0,22	0	0,53	0,0015	0,0024	0,0020	347	0,04	0	0,09	0,0043	0,0036	0,0039
159	0,02	0	0,04	0,0015	0,0024	0,0020	348	0,13	0	0,31	0,0027	0,0019	0,0023
160	0,34	0	0,81	0,0015	0,0024	0,0020	349	0,24	0	0,57	0,0027	0,0019	0,0023
161	0,31	0	0,74	0,0015	0,0024	0,0020	350	0,23	0	0,56	0,0027	0,0019	0,0023
162	0,29	0	0,68	0,0015	0,0024	0,0020	351	0,54	0	1,31	0,0005	0,0005	0,0005
163	0,17	0	0,40	0,0015	0,0024	0,0020	352	0,06	0	0,14	0,0005	0,0005	0,0005
164	0,21	0	0,50	0,0015	0,0024	0,0020	353	0,48	0	1,14	0,0027	0,0019	0,0023
165	0,02	0	0,04	0,0015	0,0024	0,0020	354	0,20	0	0,47	0,0038	0,0038	0,0038

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBV_AB	CBV_BA	CBV_TOT
166	0,32	0	0,76	0,0015	0,0024	0,0020	355	0,39	0	0,94	0,0038	0,0036	0,0037
167	0,06	0	0,14	0,0015	0,0024	0,0020	356	0,02	0	0,04	0,0038	0,0036	0,0037
168	0,16	0	0,39	0,0015	0,0024	0,0020	357	0,00	0	0,01	0,0038	0,0036	0,0037
169	0,44	0	1,05	0,0015	0,0019	0,0017	358	0,55	0	1,32	0,0038	0,0036	0,0037
170	0,13	0	0,31	0,0015	0,0019	0,0017	359	0,09	0	0,21	0,0005	0,0005	0,0005
171	0,00	0	0,00	0,0015	0,0019	0,0017	360	0,18	0	0,44	0,0005	0,0005	0,0005
172	0,07	0	0,17	0,0015	0,0019	0,0017	361	0,13	0	0,31	0,0005	0,0005	0,0005
173	0,27	0	0,64	0,0015	0,0019	0,0017	362	0,04	0	0,10	0,0038	0,0036	0,0037
174	0,36	0	0,88	0,0015	0,0019	0,0017	363	0,15	0	0,36	0,0038	0,0036	0,0037
175	0,08	0	0,20	0,0015	0,0019	0,0017	364	0,32	0	0,77	0,0043	0,0041	0,0042
176	0,14	0	0,34	0,0015	0,0019	0,0017	365	0,21	0	0,51	0,0043	0,0041	0,0042
177	0,18	0	0,44	0,0015	0,0019	0,0017	366	0,21	0	0,51	0,0015	0,0017	0,0016
178	0,31	0	0,75	0,0015	0,0019	0,0017	367	0,25	0	0,60	0,0015	0,0017	0,0016
179	0,04	0	0,10	0,0015	0,0019	0,0017	368	0,04	0	0,09	0,0015	0,0017	0,0016
180	0,04	0	0,12	0,0033	0,0034	0,0033	369	0,27	0	0,64	0,0015	0,0017	0,0016
181	0,14	0	0,41	0,0033	0,0034	0,0033	370	0,16	0	0,39	0,0015	0,0017	0,0016
182	0,21	0	0,64	0,0033	0,0034	0,0033	371	0,21	0	0,51	0,0015	0,0017	0,0016
183	0,08	0	0,23	0,0033	0,0034	0,0033	372	0,24	0	0,57	0,0015	0,0017	0,0016
184	0,46	0	1,37	0,0033	0,0034	0,0033	373	0,11	0	0,27	0,0027	0,0019	0,0023
185	0,04	0	0,13	0,0033	0,0034	0,0033	374	0,08	0	0,19	0,0020	0,0012	0,0016
186	0,12	0	0,37	0,0033	0,0034	0,0033	375	0,28	0	0,66	0,0015	0,0019	0,0017
187	0,26	0	0,79	0,0033	0,0034	0,0033	377	0,12	0	0,29	0,0013	0,0024	0,0018
188	0,10	0	0,30	0,0033	0,0034	0,0033	378	0,03	0	0,09	0,0033	0,0034	0,0033

### Centralidade de intermediação – Usuários:

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT
1	0,14	0	0,33	0,0052	0,0007	0,0058	189	0,03	0	0,09	0,0014	0,0070	0,0084
2	0,08	0	0,18	0,0052	0,0007	0,0058	190	0,14	0	0,41	0,0014	0,0070	0,0084
3	0,52	0	1,24	0,0052	0,0007	0,0058	191	0,09	0	0,28	0,0014	0,0070	0,0084
4	0,07	0	0,16	0,0052	0,0007	0,0058	192	0,12	0	0,35	0,0014	0,0070	0,0084
5	0,64	0	1,53	0,0051	0,0006	0,0057	193	0,20	0	0,49	0,0007	0,0026	0,0033
6	0,13	0	0,30	0,0051	0,0006	0,0057	194	0,28	0	0,66	0,0007	0,0026	0,0033
7	0,18	0	0,44	0,0005	0,0053	0,0057	195	0,11	0	0,27	0,0007	0,0026	0,0033
8	0,17	0	0,42	0,0005	0,0053	0,0057	196	0,02	0	0,04	0,0009	0,0029	0,0037
9	0,12	0	0,29	0,0030	0,0014	0,0044	197	0,07	0	0,16	0,0008	0,0029	0,0037
10	0,42	0	1,00	0,0030	0,0015	0,0045	198	0,41	0	0,98	0,0008	0,0029	0,0037
11	0,29	0	0,70	0,0030	0,0014	0,0044	199	0,09	0	0,23	0,0008	0,0029	0,0037
12	0,08	0	0,20	0,0043	0,0016	0,0059	200	0,58	0	1,39	0,0008	0,0029	0,0037
13	0,30	0	0,73	0,0050	0,0010	0,0059	201	0,00	0	0,00	0,0022	0,0035	0,0057
14	0,15	0	0,35	0,0050	0,0010	0,0059	202	0,16	0	0,38	0,0022	0,0035	0,0057
15	0,05	0	0,11	0,0050	0,0010	0,0059	203	0,42	0	1,00	0,0017	0,0035	0,0053
16	0,29	0	0,70	0,0039	0,0012	0,0051	204	0,22	0	0,53	0,0006	0,0048	0,0054
17	0,32	0	0,77	0,0073	0,0034	0,0107	205	0,20	0	0,61	0,0040	0,0060	0,0100

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT
18	0,01	0	0,03	0,0073	0,0034	0,0107	206	0,08	0	0,24	0,0049	0,0052	0,0101
19	0,02	0	0,04	0,0073	0,0034	0,0107	207	0,07	0	0,20	0,0048	0,0051	0,0099
20	0,43	0	1,03	0,0073	0,0034	0,0107	208	0,07	0	0,20	0,0048	0,0051	0,0099
21	0,32	0	0,78	0,0073	0,0034	0,0107	209	0,36	0	1,08	0,0048	0,0051	0,0099
22	0,22	0	0,53	0,0079	0,0034	0,0113	210	0,08	0	0,25	0,0048	0,0051	0,0099
23	0,35	0	0,83	0,0079	0,0034	0,0113	211	0,03	0	0,07	0,0022	0,0032	0,0053
24	0,09	0	0,21	0,0084	0,0030	0,0114	212	0,73	0	1,75	0,0024	0,0027	0,0050
25	0,35	0	0,85	0,0084	0,0030	0,0113	213	0,01	0	0,03	0,0024	0,0027	0,0050
26	0,22	0	0,52	0,0084	0,0030	0,0113	214	0,13	0	0,30	0,0024	0,0027	0,0051
27	0,14	0	0,33	0,0081	0,0026	0,0107	215	0,22	0	0,53	0,0021	0,0026	0,0047
28	0,07	0	0,17	0,0081	0,0026	0,0107	216	0,19	0	0,45	0,0021	0,0026	0,0047
29	0,80	0	1,91	0,0081	0,0026	0,0107	217	0,40	0	0,96	0,0021	0,0026	0,0047
30	0,00	0	0,00	0,0081	0,0026	0,0107	218	0,06	0	0,17	0,0048	0,0052	0,0100
31	0,20	0	0,47	0,0078	0,0028	0,0106	219	0,20	0	0,60	0,0056	0,0049	0,0104
32	0,35	0	0,84	0,0003	0,0036	0,0038	220	0,24	0	0,72	0,0056	0,0049	0,0104
33	0,07	0	0,18	0,0001	0,0026	0,0028	221	0,02	0	0,05	0,0056	0,0049	0,0104
34	0,93	0	2,22	0,0001	0,0026	0,0028	222	0,08	0	0,23	0,0056	0,0049	0,0105
35	0,14	0	0,33	0,0003	0,0036	0,0038	223	0,69	0	2,06	0,0060	0,0053	0,0113
36	0,05	0	0,11	0,0003	0,0036	0,0039	224	0,11	0	0,34	0,0060	0,0053	0,0113
37	0,27	0	0,66	0,0053	0,0005	0,0057	225	0,11	0	0,34	0,0060	0,0053	0,0113
38	0,30	0	0,73	0,0053	0,0005	0,0057	226	0,24	0	0,73	0,0060	0,0053	0,0113
39	0,17	0	0,40	0,0045	0,0004	0,0048	227	0,05	0	0,16	0,0067	0,0051	0,0119
40	0,11	0	0,26	0,0045	0,0004	0,0048	228	0,34	0	1,02	0,0067	0,0051	0,0118
41	0,54	0	1,30	0,0045	0,0004	0,0048	229	0,16	0	0,47	0,0067	0,0051	0,0118
42	0,01	0	0,02	0,0044	0,0003	0,0048	230	0,09	0	0,26	0,0070	0,0049	0,0119
43	0,45	0	1,08	0,0044	0,0003	0,0048	231	0,06	0	0,15	0,0064	0,0005	0,0069
44	0,07	0	0,16	0,0003	0,0039	0,0042	232	0,39	0	0,94	0,0005	0,0064	0,0069
45	0,56	0	1,34	0,0003	0,0039	0,0042	233	0,04	0	0,09	0,0006	0,0068	0,0074
46	0,20	0	0,47	0,0044	0,0003	0,0048	235	0,18	0	0,43	0,0006	0,0068	0,0074
47	0,14	0	0,34	0,0044	0,0003	0,0048	236	0,11	0	0,28	0,0006	0,0068	0,0074
48	0,31	0	0,75	0,0044	0,0003	0,0048	237	0,31	0	0,76	0,0007	0,0073	0,0080
49	0,05	0	0,12	0,0044	0,0003	0,0048	238	0,02	0	0,06	0,0008	0,0091	0,0099
50	0,39	0	0,93	0,0078	0,0028	0,0106	239	0,19	0	0,45	0,0008	0,0091	0,0099
51	0,13	0	0,32	0,0078	0,0028	0,0106	240	0,11	0	0,26	0,0099	0,0009	0,0108
52	0,28	0	0,68	0,0068	0,0024	0,0092	241	0,28	0	0,67	0,0009	0,0099	0,0108
53	0,05	0	0,12	0,0068	0,0024	0,0092	242	0,12	0	0,29	0,0100	0,0009	0,0109
54	0,05	0	0,12	0,0068	0,0024	0,0092	243	0,06	0	0,13	0,0009	0,0099	0,0109
55	0,33	0	0,79	0,0068	0,0024	0,0092	244	0,06	0	0,15	0,0009	0,0099	0,0109
56	0,01	0	0,03	0,0063	0,0023	0,0086	245	0,11	0	0,25	0,0009	0,0099	0,0109
57	0,35	0	0,84	0,0063	0,0022	0,0085	246	0,11	0	0,27	0,0009	0,0099	0,0109
58	0,06	0	0,15	0,0063	0,0022	0,0085	247	0,15	0	0,35	0,0009	0,0101	0,0110
59	0,38	0	0,91	0,0050	0,0019	0,0069	248	0,16	0	0,37	0,0009	0,0101	0,0110
60	0,15	0	0,36	0,0051	0,0019	0,0070	249	0,06	0	0,14	0,0007	0,0073	0,0080

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT
61	0,27	0	0,65	0,0040	0,0018	0,0058	250	0,35	0	0,83	0,0007	0,0088	0,0095
62	0,35	0	0,85	0,0040	0,0018	0,0058	251	0,32	0	0,77	0,0091	0,0008	0,0099
63	0,06	0	0,15	0,0040	0,0018	0,0058	252	0,05	0	0,11	0,0021	0,0026	0,0047
64	0,04	0	0,10	0,0035	0,0016	0,0051	253	0,17	0	0,42	0,0023	0,0026	0,0049
65	0,42	0	1,00	0,0035	0,0016	0,0050	254	0,64	0	1,53	0,0023	0,0026	0,0049
66	0,26	0	0,62	0,0035	0,0016	0,0050	255	0,06	0	0,15	0,0025	0,0026	0,0051
67	0,22	0	0,52	0,0033	0,0012	0,0045	256	0,07	0	0,16	0,0025	0,0026	0,0051
68	0,08	0	0,19	0,0033	0,0012	0,0045	257	0,06	0	0,14	0,0025	0,0026	0,0051
69	0,10	0	0,25	0,0033	0,0012	0,0045	258	0,24	0	0,58	0,0025	0,0026	0,0051
70	0,32	0	0,76	0,0033	0,0012	0,0045	259	0,23	0	0,55	0,0025	0,0026	0,0051
71	0,08	0	0,24	0,0009	0,0046	0,0056	260	0,51	0	1,22	0,0025	0,0026	0,0051
72	0,38	0	1,15	0,0010	0,0061	0,0071	261	0,05	0	0,11	0,0100	0,0010	0,0111
73	0,16	0	0,48	0,0010	0,0061	0,0071	262	0,04	0	0,10	0,0100	0,0010	0,0111
74	0,17	0	0,52	0,0011	0,0061	0,0072	263	0,07	0	0,17	0,0029	0,0027	0,0057
75	0,08	0	0,18	0,0002	0,0008	0,0011	264	0,07	0	0,18	0,0029	0,0027	0,0056
76	0,53	0	1,28	0,0003	0,0006	0,0009	265	0,38	0	0,92	0,0029	0,0027	0,0056
77	0,05	0	0,13	0,0003	0,0006	0,0009	266	0,29	0	0,70	0,0031	0,0028	0,0059
78	0,32	0	0,77	0,0003	0,0006	0,0009	267	0,07	0	0,18	0,0031	0,0028	0,0059
79	0,06	0	0,15	0,0003	0,0006	0,0009	268	0,53	0	1,28	0,0011	0,0101	0,0112
80	0,00	0	0,01	0,0003	0,0007	0,0010	269	0,14	0	0,35	0,0012	0,0101	0,0113
81	0,23	0	0,54	0,0003	0,0007	0,0010	270	0,16	0	0,39	0,0012	0,0101	0,0113
82	0,27	0	0,65	0,0003	0,0007	0,0010	271	0,35	0	0,85	0,0012	0,0101	0,0113
83	0,32	0	0,77	0,0003	0,0007	0,0010	272	0,12	0	0,37	0,0070	0,0048	0,0118
84	0,02	0	0,04	0,0003	0,0007	0,0010	273	0,30	0	0,89	0,0070	0,0048	0,0118
85	0,39	0	0,94	0,0002	0,0013	0,0015	274	0,10	0	0,31	0,0070	0,0048	0,0118
86	0,31	0	0,76	0,0002	0,0013	0,0015	275	0,07	0	0,20	0,0071	0,0050	0,0121
87	1,02	0	2,44	0,0003	0,0016	0,0019	276	0,15	0	0,45	0,0067	0,0046	0,0114
88	0,31	0	0,75	0,0003	0,0021	0,0024	277	0,38	0	1,13	0,0067	0,0046	0,0113
89	0,10	0	0,25	0,0003	0,0007	0,0010	278	0,03	0	0,10	0,0075	0,0054	0,0129
90	0,10	0	0,25	0,0003	0,0007	0,0011	279	0,01	0	0,04	0,0097	0,0050	0,0147
91	0,37	0	0,89	0,0003	0,0008	0,0011	280	0,26	0	0,78	0,0096	0,0049	0,0145
92	0,42	0	1,01	0,0003	0,0008	0,0011	281	0,13	0	0,40	0,0096	0,0049	0,0145
93	0,06	0	0,13	0,0004	0,0014	0,0018	282	0,08	0	0,24	0,0096	0,0049	0,0145
94	0,05	0	0,11	0,0004	0,0014	0,0018	283	0,04	0	0,12	0,0098	0,0051	0,0149
95	0,25	0	0,59	0,0004	0,0014	0,0018	284	0,17	0	0,52	0,0114	0,0052	0,0166
96	0,07	0	0,18	0,0004	0,0014	0,0018	285	0,12	0	0,29	0,0043	0,0048	0,0090
97	0,37	0	0,88	0,0004	0,0014	0,0018	286	0,05	0	0,13	0,0006	0,0048	0,0054
98	0,32	0	0,77	0,0005	0,0016	0,0020	287	0,16	0	0,39	0,0006	0,0048	0,0054
99	0,00	0	0,00	0,0005	0,0016	0,0020	288	0,11	0	0,27	0,0006	0,0049	0,0054
100	0,06	0	0,13	0,0014	0,0004	0,0018	289	0,44	0	1,07	0,0007	0,0048	0,0055
101	0,05	0	0,13	0,0004	0,0014	0,0018	290	0,28	0	0,66	0,0028	0,0061	0,0088
102	0,40	0	0,96	0,0004	0,0014	0,0018	291	0,76	0	1,82	0,0026	0,0063	0,0089
103	0,03	0	0,09	0,0020	0,0005	0,0025	292	0,72	0	1,74	0,0027	0,0062	0,0089

ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT
104	0,18	0	0,53	0,0009	0,0020	0,0029	293	0,21	0	0,51	0,0019	0,0033	0,0052
105	0,20	0	0,61	0,0004	0,0019	0,0022	294	0,10	0	0,24	0,0019	0,0033	0,0052
106	0,07	0	0,20	0,0004	0,0019	0,0022	295	0,00	0	0,01	0,0019	0,0033	0,0052
107	0,17	0	0,50	0,0004	0,0019	0,0022	296	0,21	0	0,52	0,0019	0,0033	0,0052
108	0,98	0	2,93	0,0002	0,0007	0,0009	297	0,14	0	0,41	0,0014	0,0070	0,0084
109	0,99	0	2,97	0,0002	0,0007	0,0009	298	0,41	0	1,23	0,0016	0,0078	0,0094
110	0,57	0	1,72	0,0002	0,0007	0,0009	299	0,29	0	0,69	0,0022	0,0002	0,0024
111	0,22	0	0,65	0,0019	0,0004	0,0022	300	0,07	0	0,16	0,0005	0,0001	0,0007
112	0,62	0	1,87	0,0019	0,0004	0,0023	301	0,22	0	0,53	0,0001	0,0005	0,0006
113	0,09	0	0,22	0,0004	0,0014	0,0018	302	0,04	0	0,09	0,0005	0,0001	0,0006
114	0,02	0	0,05	0,0004	0,0015	0,0019	303	0,03	0	0,07	0,0005	0,0001	0,0006
115	0,16	0	0,38	0,0004	0,0015	0,0019	304	0,35	0	1,04	0,0016	0,0078	0,0094
116	0,05	0	0,12	0,0004	0,0015	0,0019	305	0,51	0	1,22	0,0007	0,0048	0,0055
117	0,20	0	0,48	0,0004	0,0015	0,0019	306	0,00	0	0,00	0,0012	0,0049	0,0061
118	0,08	0	0,20	0,0004	0,0015	0,0019	307	0,95	0	2,27	0,0008	0,0046	0,0055
119	0,05	0	0,12	0,0004	0,0015	0,0019	308	0,56	0	1,35	0,0011	0,0048	0,0059
120	0,38	0	0,92	0,0005	0,0015	0,0020	309	0,36	0	0,86	0,0007	0,0048	0,0055
121	0,09	0	0,28	0,0009	0,0020	0,0029	310	0,09	0	0,20	0,0002	0,0022	0,0024
122	0,01	0	0,02	0,0009	0,0020	0,0029	311	0,22	0	0,67	0,0027	0,0080	0,0107
123	0,06	0	0,18	0,0008	0,0030	0,0038	312	0,04	0	0,12	0,0027	0,0080	0,0107
124	0,13	0	0,39	0,0007	0,0032	0,0040	313	0,12	0	0,30	0,0002	0,0022	0,0024
125	0,06	0	0,17	0,0007	0,0032	0,0040	314	0,01	0	0,03	0,0002	0,0022	0,0024
126	0,16	0	0,48	0,0007	0,0032	0,0040	315	0,08	0	0,20	0,0002	0,0022	0,0024
127	0,16	0	0,47	0,0007	0,0032	0,0040	316	0,17	0	0,52	0,0027	0,0080	0,0107
128	0,04	0	0,11	0,0007	0,0032	0,0040	317	0,25	0	0,75	0,0027	0,0080	0,0107
129	0,10	0	0,31	0,0007	0,0032	0,0040	318	0,16	0	0,38	0,0002	0,0022	0,0024
130	0,04	0	0,11	0,0007	0,0032	0,0040	319	0,10	0	0,24	0,0002	0,0022	0,0024
131	0,36	0	1,08	0,0007	0,0032	0,0040	320	0,04	0	0,13	0,0035	0,0073	0,0108
132	0,24	0	0,71	0,0008	0,0040	0,0048	321	0,53	0	1,59	0,0029	0,0067	0,0096
133	0,24	0	0,73	0,0008	0,0040	0,0048	322	0,12	0	0,35	0,0032	0,0067	0,0099
134	0,17	0	0,52	0,0008	0,0039	0,0047	323	0,12	0	0,36	0,0032	0,0067	0,0099
135	0,04	0	0,11	0,0008	0,0039	0,0047	324	0,10	0	0,29	0,0032	0,0067	0,0099
136	0,30	0	0,90	0,0008	0,0039	0,0047	325	0,32	0	0,95	0,0040	0,0060	0,0100
137	0,05	0	0,15	0,0008	0,0039	0,0047	326	0,15	0	0,36	0,0001	0,0005	0,0006
138	0,05	0	0,15	0,0008	0,0039	0,0047	327	0,12	0	0,28	0,0001	0,0005	0,0006
139	0,34	0	1,03	0,0008	0,0039	0,0047	328	0,18	0	0,44	0,0019	0,0033	0,0052
140	0,09	0	0,26	0,0008	0,0039	0,0047	329	0,20	0	0,48	0,0019	0,0031	0,0050
141	0,19	0	0,57	0,0009	0,0046	0,0056	330	0,13	0	0,31	0,0019	0,0031	0,0050
142	0,26	0	0,77	0,0009	0,0046	0,0056	331	0,23	0	0,54	0,0019	0,0031	0,0050
143	0,06	0	0,14	0,0005	0,0016	0,0020	332	0,30	0	0,72	0,0019	0,0031	0,0050
144	0,48	0	1,14	0,0005	0,0016	0,0020	333	0,27	0	0,66	0,0021	0,0031	0,0053
145	0,31	0	0,73	0,0005	0,0020	0,0025	334	0,02	0	0,05	0,0021	0,0031	0,0053
146	0,15	0	0,37	0,0005	0,0020	0,0025	335	0,08	0	0,19	0,0021	0,0031	0,0053



ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT	ID	LENGTH	DIR	TIME	CBP_AB	CBP_BA	CBP_TOT
147	0,21	0	0,50	0,0006	0,0021	0,0027	336	0,16	0	0,38	0,0021	0,0031	0,0053
148	0,23	0	0,56	0,0006	0,0021	0,0027	337	0,21	0	0,62	0,0040	0,0060	0,0100
149	0,18	0	0,44	0,0005	0,0022	0,0027	338	0,09	0	0,22	0,0031	0,0028	0,0059
150	0,09	0	0,21	0,0005	0,0022	0,0027	339	0,13	0	0,32	0,0134	0,0026	0,0160
151	1,09	0	2,61	0,0003	0,0021	0,0024	340	0,11	0	0,27	0,0014	0,0059	0,0073
152	0,27	0	0,64	0,0005	0,0022	0,0027	341	0,35	0	0,84	0,0020	0,0087	0,0107
153	0,11	0	0,26	0,0004	0,0044	0,0048	342	0,26	0	0,63	0,0026	0,0086	0,0113
154	0,54	0	1,28	0,0004	0,0044	0,0048	343	0,08	0	0,20	0,0087	0,0020	0,0107
155	0,05	0	0,12	0,0005	0,0044	0,0048	344	0,40	0	0,96	0,0087	0,0020	0,0107
156	0,27	0	0,66	0,0004	0,0045	0,0049	345	0,07	0	0,17	0,0087	0,0020	0,0107
157	0,12	0	0,30	0,0004	0,0045	0,0049	346	0,04	0	0,10	0,0016	0,0106	0,0121
158	0,22	0	0,53	0,0004	0,0045	0,0049	347	0,04	0	0,09	0,0015	0,0106	0,0121
159	0,02	0	0,04	0,0005	0,0046	0,0051	348	0,13	0	0,31	0,0037	0,0019	0,0057
160	0,34	0	0,81	0,0005	0,0046	0,0051	349	0,24	0	0,57	0,0032	0,0018	0,0051
161	0,31	0	0,74	0,0005	0,0046	0,0051	350	0,23	0	0,56	0,0032	0,0018	0,0051
162	0,29	0	0,68	0,0005	0,0051	0,0056	351	0,54	0	1,31	0,0014	0,0059	0,0073
163	0,17	0	0,40	0,0005	0,0051	0,0056	352	0,06	0	0,14	0,0014	0,0059	0,0073
164	0,21	0	0,50	0,0005	0,0051	0,0056	353	0,48	0	1,14	0,0030	0,0015	0,0045
165	0,02	0	0,04	0,0005	0,0051	0,0056	354	0,20	0	0,47	0,0041	0,0032	0,0073
166	0,32	0	0,76	0,0005	0,0051	0,0056	355	0,39	0	0,94	0,0041	0,0032	0,0073
167	0,06	0	0,14	0,0005	0,0051	0,0056	356	0,02	0	0,04	0,0041	0,0032	0,0073
168	0,16	0	0,39	0,0007	0,0049	0,0056	357	0,00	0	0,01	0,0042	0,0033	0,0075
169	0,44	0	1,05	0,0006	0,0021	0,0027	358	0,55	0	1,32	0,0048	0,0027	0,0075
170	0,13	0	0,31	0,0006	0,0024	0,0030	359	0,09	0	0,21	0,0014	0,0059	0,0073
171	0,00	0	0,00	0,0006	0,0024	0,0030	360	0,18	0	0,44	0,0014	0,0059	0,0073
172	0,07	0	0,17	0,0006	0,0024	0,0030	361	0,13	0	0,31	0,0014	0,0059	0,0073
173	0,27	0	0,64	0,0006	0,0024	0,0030	362	0,04	0	0,10	0,0067	0,0026	0,0092
174	0,36	0	0,88	0,0007	0,0026	0,0033	363	0,15	0	0,36	0,0065	0,0024	0,0090
175	0,08	0	0,20	0,0007	0,0026	0,0033	364	0,32	0	0,77	0,0054	0,0058	0,0112
176	0,14	0	0,34	0,0007	0,0026	0,0033	365	0,21	0	0,51	0,0054	0,0058	0,0112
177	0,18	0	0,44	0,0007	0,0026	0,0033	366	0,21	0	0,51	0,0009	0,0102	0,0111
178	0,31	0	0,75	0,0007	0,0026	0,0033	367	0,25	0	0,60	0,0009	0,0102	0,0111
179	0,04	0	0,10	0,0007	0,0026	0,0033	368	0,04	0	0,09	0,0009	0,0101	0,0110
180	0,04	0	0,12	0,0011	0,0061	0,0072	369	0,27	0	0,64	0,0009	0,0102	0,0111
181	0,14	0	0,41	0,0011	0,0061	0,0072	370	0,16	0	0,39	0,0010	0,0100	0,0111
182	0,21	0	0,64	0,0011	0,0061	0,0072	371	0,21	0	0,51	0,0100	0,0010	0,0111
183	0,08	0	0,23	0,0012	0,0061	0,0073	372	0,24	0	0,57	0,0009	0,0101	0,0110
184	0,46	0	1,37	0,0014	0,0067	0,0081	373	0,11	0	0,27	0,0010	0,0050	0,0059
185	0,04	0	0,13	0,0015	0,0068	0,0083	374	0,08	0	0,19	0,0006	0,0041	0,0047
186	0,12	0	0,37	0,0015	0,0068	0,0083	375	0,28	0	0,66	0,0002	0,0008	0,0010
187	0,26	0	0,79	0,0015	0,0068	0,0083	377	0,12	0	0,29	0,0002	0,0013	0,0015
188	0,10	0	0,30	0,0014	0,0070	0,0084	378	0,03	0	0,09	0,0010	0,0047	0,0057