



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

FERNANDA ANTÔNIA FONTES MENDONÇA

RESILIÊNCIA
SEGURANÇA PARA ENCONTRAR NOVOS CAMINHOS



Matheus Maramalho Andrade Silva

BRASÍLIA
2023



FERNANDA ANTÔNIA FONTES MENDONÇA

RESILIÊNCIA

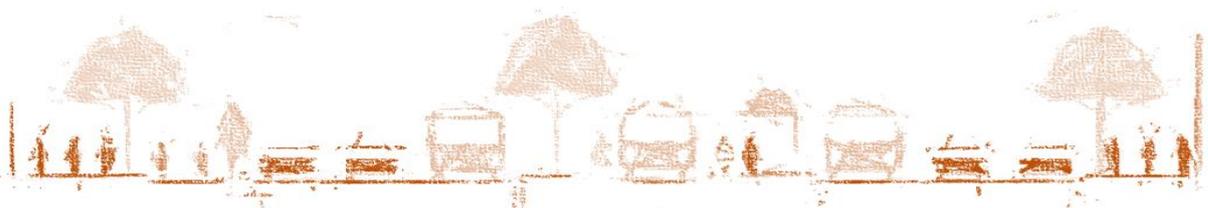
SEGURANÇA PARA ENCONTRAR NOVOS CAMINHOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (UnB) como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de Pesquisa: Paisagem Território e Políticas Urbanas

Orientador: Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro

BRASÍLIA
2023



(FOLHA DE APROVAÇÃO)



AGRADECIMENTOS

À minha família

Meu esposo Nilson, pela dedicação e compreensão total diante das minhas intolerâncias;
Minha Linda Mãe Arlete, auxílio constante com suas persistentes e incansáveis orações;
Meu irmão Argemiro, pelo suporte em algumas questões imprescindíveis dessa tese;
Minha irmã Alessandra, presença alegre e motivadora sempre;
Minha afilhada Naiana, luz que ilumina os meus caminhos.

Aos os meus dois grandes amigos e parceiros de viagem, de trabalho e de vida:

Evelyn Cristine Moreira e Ivan Grande pela amizade, generosidade, afetividade e pela companhia nas viagens à Brasília;

Àquela que tornou a realização deste trabalho possível:

Isabela Almeida, sem o seu apoio e ajuda a finalização desse trabalho não seria possível;

A todos os colegas da UnB pelo incentivo e solidariedade em especial à:

Evelyn Cristine, Ivan Grande, Mário Pacheco, Carlla Furlan pela parceria e amizade;

A todos os professores do PPG FAU em especial a:

Prof. Dra. Mônica Gondim, Prof. Dr. Valério Medeiros, Prof. Dr. Frederico de Holanda e Prof. Dr. Rômulo Ribeiro pelas aulas memoráveis e à Profa. Dra. Luciana Saboia pelo apoio e compreensão;

À minha eterna professora e orientadora:

Profa. Dra. Érika Cristine Kneib pelos conselhos que tornaram possível a continuidade dessa trajetória;

Ao meu orientador:

Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro, pelo apoio no momento mais difícil da elaboração dessa tese. Sem você este trabalho não seria hoje uma realidade. Serei eternamente grata à sua disponibilidade em me apoiar e orientar.

À minha banca examinadora:

Profa. Dra. Érika Cristine Kneib, Prof. Dr. Valério Medeiros, Prof. Patrick Zechin pela disponibilidade e orientações.



“A PERSISTÊNCIA REALIZA O IMPOSSÍVEL.”

Proverbio chinês



A RUA É NOIS

Linda, como a mais bela flor do mais belo jardim
De concreto com piche onde não cresce mais capim
Sem jasmim, ela exala o cheiro da fumaça
Sou eu que passo por ela, não vejo quando ela passa
Me perco nas suas curvas encontro outros caminhos...
Encontro com ela lá no centro e ela me traz pra favela...
Rua que me encaminha pros melhores lugares
Que leva eu e meus amigos a salvo pros nossos lares...
Porque a rua fica lá e ela é o coração do mundo ...
A rua reina mais do que o rei da roupa que o rato roeu
Linda menina da pele preta ou marrom
Seja asfaltada ou de barro se eu tô com ela tá bom...
Eu vou de busão só pra pode te admirar...
Ai quem me dera se essa rua fosse minha
Só andava descalço pra nela sempre tocar.

PROJOTA



RESUMO

O vocábulo resiliência tem ascendência na palavra latina resílio, resilire, que significa "recuar". O conceito foi desenvolvido e introduzido em pesquisas por Holling, na década de 1970, que apresentou o termo como uma medida de habilidade dos sistemas de absorver mudanças e perturbações. O conceito passou a ser empregado na gestão organizacional das cidades e ampliado para a mobilidade urbana como a capacidade de um sistema de manter a sua funcionalidade sob interrupções, tempo e recursos necessários para restaurar o nível de desempenho. Os sistemas que compõem a cidade precisam estar em equilíbrio. O Sistema Viário é um desses elementos e que até então não havia sido estudado valendo-se do conceito de resiliência. Essa tese se propôs o desafio de conceber uma forma de mensurar, avaliar e analisar o sistema viário de duas cidades, mensurando a resiliência e fazendo a comparação entre elas. A cidade está sempre sujeita a externalidades, ou seja, eventos que podem alterar o seu funcionamento, como por exemplo desastres naturais, ou antrópicos, que causam problemas em sua infraestrutura. Essas falhas podem estar diretamente ligadas ao sistema viário. A partir do uso de metodologias para análise de redes, como a teoria dos grafos, e ações executáveis, que visaram obter uma solução para determinado problema matemático, uma ferramenta de análise espacial e dados disponíveis foi feita a verificação do Sistema Viário das cidades de Quirinópolis e Jaraguá. Os resultados obtidos mostraram que, independente do tipo da malha urbana da cidade, se ela é ortogonal ou radio concêntrica, o que traz um maior entrave para a mobilidade, quando o assunto é deslocamento, é a falta de vias que permitam manter a circulação com a mesma velocidade para que o tempo de percurso não seja alterado de forma substancial. Avaliar a resiliência no sistema viário é um instrumento de suporte ao planejamento que permite que a cidade continue funcionando mesmo quando parte de seu sistema viário principal seja interrompido.

Palavras Chave: Resiliência, Mobilidade Urbana e Sistema Viário



ABSTRACT

Resilience has its roots in the Latin word *resilire* meaning to “draw back”. The concept was developed and introduced by Holling, in the 70’s, who presented the term as a measure of the ability of systems to absorb changes and perturbations. The concept began to be used in the organizational management of cities and extended to urban mobility as the ability of a system to maintain its functionality under interruptions, time and resources necessary to restore the level of performance. The systems that make up the city need to be in balance. The Road System is one of these elements and that until then had not been studied using the concept of resilience. This thesis set itself the challenge of conceiving a way to measure, evaluate and analyze the road system of two cities, measuring resilience and making a comparison between them. The city is always subject to externalities such as natural or anthropogenic disasters, which cause problems in its infrastructure. These failures can be directly linked to the road system. From the use of methodologies for network analysis, such as graph theory, and executable actions, which aimed to obtain a solution to a certain mathematical problem, a spatial analysis tool and available data, the verification of the Road System of the cities of Quirinópolis and Jaraguá. The results obtained showed that, regardless of the type of urban fabric of the city, whether it is orthogonal or radio-concentric, what brings a greater obstacle to mobility, when the subject is displacement, is the lack of roads that allow to maintain circulation with the same speed so that the travel time is not changed substantially. Evaluating resilience in the road system is an instrument that supports planning, allowing a city to continue running even when part of its main road system is interrupted.

Key Words: Resilience, Urban Mobility e Road System



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Relação entre sistemas e subsistemas	14
Figura 1.2 – Interação entre Sistemas	16
Figura 1.3 – Sequência hipotético dedutiva de Popper	22
Figura 2.1 – Registros de publicações relacionadas à resiliência urbana na coleção principal do WOS, publicada de janeiro de 1993 e dezembro de 2016.....	37
Figura 3.1 – Localização dos cursos em instituições federais no Brasil.....	49
Figura 3.2 – Área de formação dos cursos de Engenharia de Transporte	49
Figura 4.1 – Sistema Viário Urbano	59
Figura 4.2 – Estruturas que compõem o Sistema Viário Urbano	59
Figura 4.3 – Classificação Funcional ou Hierarquia Viária	61
Figura 4.4 – Dimensões para a via arterial	63
Figura 4.5 – Dimensões para a via coletora	64
Figura 4.6 – Relação de acessibilidade e mobilidade para as diferentes vias	65
Figura 4.7 – Velocidade de tráfego em vias urbanas	65
Figura 4.8 – Esquema de pontes de Kaliningrado sobre o Rio Pregel	67
Figura 4.9 – Teoria, Modelos, Algoritmo	67
Figura 4.10 – Exemplo de Grafo	68
Figura 4.11 – Adjacência entre capitais dos estados do Brasil	69
Figura 5.1 – Esquema ilustrativo de Identificação das Centralidades	79
Figura 5.2 – Grafo direcionado acíclico	80
Figura 5.3 – Grafo do viário da centralidade	85
Figura 5.4 – Grafo sem o viário principal	85
Figura 6.1 – Localização da cidade de Quirinópolis em Goiás	95
Figura 6.2 – Evolução da Mancha Urbana de Quirinópolis	96

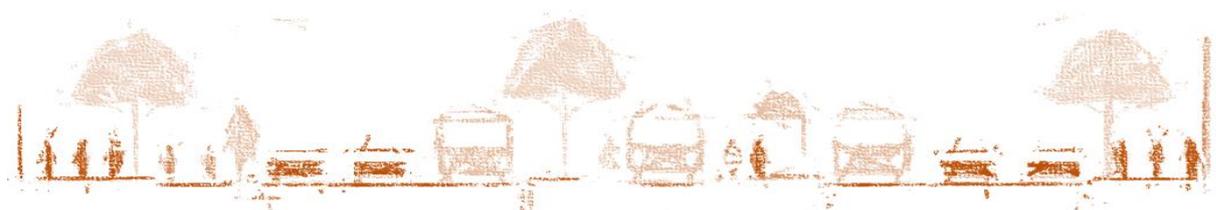
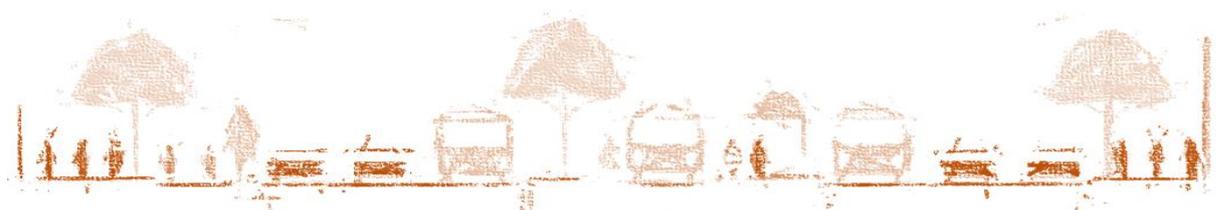


Figura 6.3 – Mapa para a pesquisa de Identificação de Centralidades	98
Figura 6.4 – Mapa das centralidades de Quirinópolis	99
Figura 6.5 – Mapa de Hierarquia Viária de Quirinópolis	101
Figura 6.6 – Mapa da rede vetorizada com a Hierarquia Viária	102
Figura 6.7 – Recorte - Grafo com centralidades	103
Figura 6.8 – Nós do Grafo – Av. Brasil e Av. D. Pedro I	103
Figura 6.9 – Caminho Mínimo alternativa à Av. Brasil - sentido Leste/Oeste	104
Figura 6.10 – Caminho mínimo alternativo à Av. Brasil – Sentido Oeste/Leste	105
Figura 6.11 – Caminho mínimo alternativa à Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte .	105
Figura 6.12 – Caminho mínimo alternativa à Av. Dom Pedro I – Sentido Norte/Sul .	106
Figura 7.1 – Localização da cidade de Jaraguá em Goiás	108
Figura 7.2 – Evolução da Mancha Urbana de Jaraguá	110
Figura 7.3 – Mapa para a pesquisa de Identificação de Centralidades	112
Figura 7.4 – Mapa das centralidades de Jaraguá	113
Figura 7.5 – Mapa de Hierarquia Viária de Jaraguá	115
Figura 7.6 – Mapa da rede vetorizada com a Hierarquia Viária	116
Figura 7.7 – Recorte - Grafo com centralidades	117
Figura 7.8 – Nós do Grafo – Av. Tubert. Rios e Av. Bernard. Sayão	117
Figura 7.9 – Caminho mínimo alternativa à Av. Tubert. Rios - sentido Sul/Norte	118
Figura 7.10 – Caminho mínimo alternativo à Av. Tubert. Rios - sentido Norte/Sul	118
Figura 7.11 – Caminho mínimo alternativa à Av. Bernard.Sayão Sudeste/Noroeste	119
Figura 7.12 – Caminho mínimo alternativa à Av. Bernard.Sayão Noroeste/Sudeste ...	120



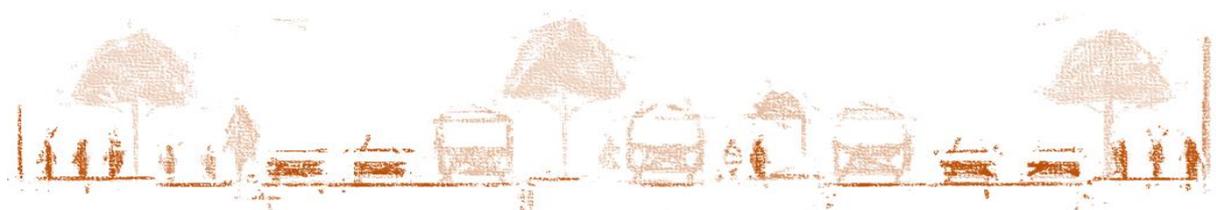
LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Organização esquemática da pesquisa	24
Quadro 2.1 – Definições de resiliência	34
Quadro 2.2 – Publicações em Resiliência Urbana e Mobilidade no Brasil	39
Quadro 3.1 – Propriedades de um sistema resiliente	54
Quadro 4.1 – Largura da faixa de tráfego de acordo com a hierarquia	62
Quadro 4.2 – Largura recomendada para a faixa de tráfego.....	62
Quadro 5.1 – Ciclo para restauração de um desastre	76
Quadro 5.2 – Passos para avaliar a Malha Viária	77
Quadro 5.3 – Quadro de Perfil Viário existente e estabelecido	84
Quadro 5.4 – Sequência de diagramas que ilustra o Algoritmo de Dijkstra	87
Quadro 5.5 – Parâmetros para cálculo da Resiliência	92
Quadro 8.1 - Av. Brasil – Sentido Leste/Oeste	123
Quadro 8.2 – Av. Brasil – Sentido Oeste/Leste	124
Quadro 8.3 – Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte	125
Quadro 8.4 – Av. Dom Pedro I – Sentido Norte/Sul	126
Quadro 8.5 – Av. Tubertino Rios – Sentido Norte/Sul e Norte/Sul	127
Quadro 8.6 – Av. Bernardo Sayão – Sentido Sudeste/Noroeste Noroeste/Sudeste	128
Quadro 8.7 – Resumo dos resultados finais	128



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2 HIPÓTESE	20
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.4 JUSTIFICATIVA.....	20
1.5 MÉTODO DE PESQUISA.....	23
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
2 A CIDADE, O ESPAÇO URBANO E A RESILIÊNCIA.....	27
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	27
2.2 A CIDADE.....	27
2.3 O ESPAÇO URBANO.....	29
2.4 A RESILIÊNCIA	30
2.4.1 O termo Resiliência e sua origem etimológica	30
2.4.2 A definição de Resiliência.....	32
2.4.3 Resiliência Urbana: revisão de literatura e tendências globais	33
2.4.3.1 <i>Revisão de Literatura.....</i>	33
2.4.3.2 <i>Tendências Globais.....</i>	36
2.4.4 Resiliência Urbana e da Mobilidade no Brasil	38
2.5 CONSIDERAÇÕES	40
3 TRANSPORTE, MOBILIDADE E RESILIÊNCIA	42
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	42
3.2 MOBILIDADE EM CONCEITO.....	42
3.3 MOBILIDADE, TRANSPORTE E CENTRALIDADE.....	50
3.4 MOBILIDADE E RESILIÊNCIA	52
3.5 CONSIDERAÇÕES	56
4. SISTEMA VIÁRIO.....	57
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	57
4.2 DIMENSÃO E HIERARQUIA DO SISTEMA VIÁRIO	58
4.3 SISTEMA VIÁRIO E GRAFO	66



	12
4.4 O ALGORITMO DE DIJKSTRA	71
4.5 CONSIDERAÇÕES	71
5 METODOLOGIA DE ANÁLISE DA RESILIÊNCIA EM SISTEMA VIÁRIO	74
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	74
5.2 A CIDADE, O SISTEMA VIÁRIO E A RESILIÊNCIA	75
5.3. A IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES	78
5.4 SISTEMA VIÁRIO E GRAFOS	80
5.5 A OBTENÇÃO DO GRAFO	82
5.6 PROCEDIMENTO PARA HIERARQUIZAÇÃO VIÁRIA	84
5.7 RETIRADA DE ARCOS E NÓS DO GRAFO	85
5.8 O USO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA	86
5.9 ÍNDICES PARA MENSURAR A RESILIÊNCIA	90
5.10 CONSIDERAÇÕES	94
6 A CIDADE DE QUIRINÓPOLIS.....	96
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	96
6.2 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA	97
6.3 IDENTIFICAÇÃO DE CENTRALIDADES	98
6.4 HIERARQUIA VIÁRIA DE QUIRINÓPOLIS	101
6.5 VETORIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA – GRAFO	102
6.6 DEFINAÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO	104
6.7 CONSIDERAÇÕES	107
7 A CIDADE DE JARAGUÁ	109
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	109
7.2 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA	110
7.3 IDENTIFICAÇÃO DE CENTRALIDADES	112
7.4 HIERARQUIA VIÁRIA DE JARAGUÁ	115
7.5 VETORIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA – GRAFO	117
7.6 DEFINIÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO	117
7.7 CONSIDERAÇÕES	121
8. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	122



	13
8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS	122
8.2 RESULTADOS OBTIDOS.....	123
8.2.1 Cidade de Quirinópolis	123
8.2.2 Cidade de Jaraguá	127
8.3 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	130
8.4 CONSIDERAÇÕES	132
CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS.....	136
ANEXOS.....	147



1 INTRODUÇÃO

As áreas urbanas podem ser entendidas como o resultado da ocupação de um território por pessoas e suas características são evidenciadas por meio da arquitetura, da infraestrutura, de seus espaços públicos e uma série de outros elementos que compõem e estruturam o espaço urbano. Áreas urbanas, mais comumente chamadas de cidades, contam a história das pessoas que ocuparam o espaço e nele realizaram transformações que o transformaram num espaço único. Para Ribeiro (2008) a cidade é uma estrutura moldada pelas pessoas que nela vivem, em razão de que, são os processos sociais que a definem, por isso é necessário um monitoramento constante para entender sua dinâmica e adaptar-se ao novo modelo.

Intervir, portanto, em uma cidade não é algo simples. Lerner (2013, p. XII) afirma que as cidades brasileiras seriam melhores se fossem pensadas por aqueles que as fizeram, as pessoas, já que em um país diversificado como o Brasil, com riqueza de etnias, faixa etária e renda, existe um cenário urbano igualmente diverso.

É fato que dois elementos são “[...] fundamentais na qualidade de vida urbana: a identidade e a coexistência. A identidade gera o sentimento de pertencimento [...]” que compreende os vínculos acordados com o espaço urbano, como um rio, uma rua, um parque, ou um patrimônio, enquanto a coexistência é a convivência com esses elementos e a valorização desses enquanto identidade (LERNER, 2013, p. XIII).

Quando se trata de estudar a cidade, não apenas as questões relacionadas à preservação da história precisam ser analisadas, mas acima de tudo, a vontade e a necessidade da população, precisam estar entre os quesitos mais importantes a serem considerados. Não se pode ignorar o fato de que a cidade é um espaço de trocas, fluxos, deslocamentos, sendo assim, o sistema de mobilidade urbana precisa ter qualidade e ofertar possibilidades para que os deslocamentos ocorram com confiabilidade, segurança, conforto e dignidade.

Entende-se por sistema de mobilidade urbana as possibilidades de deslocamento de cargas em geral e de pessoas, das mais diversas formas possíveis, a partir das ruas e avenidas existente na infraestrutura urbana, que possibilitem esse deslocamento. Em relação aos diversos meios de transportes, bicicletas, carros, ônibus, motos e outros esses podem ser denominados de Sistemas de Transportes. A infraestrutura que possibilita esses

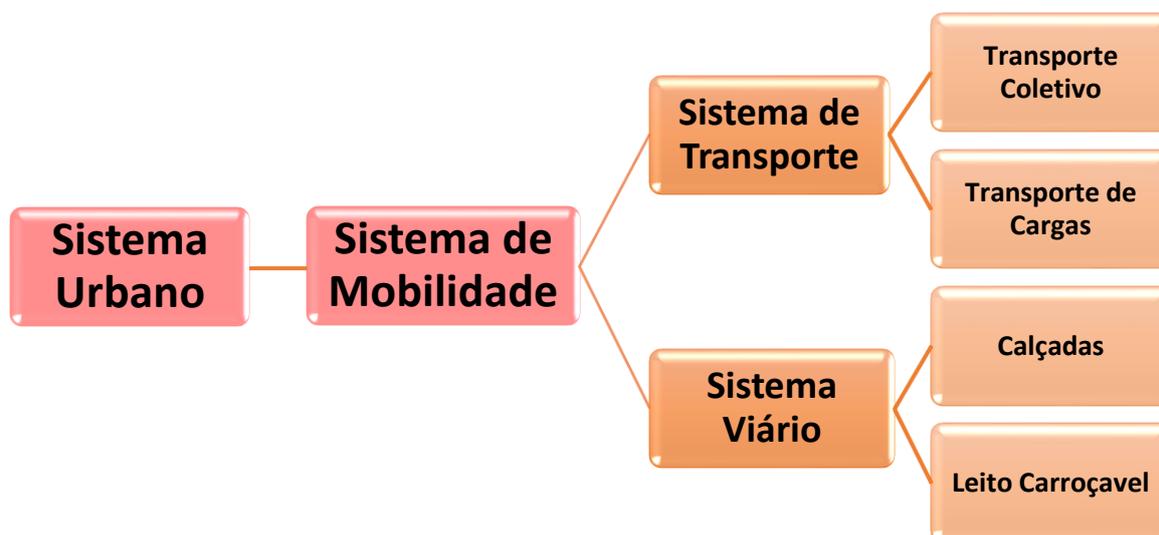


deslocamentos pode ser nomeada de Rede Viária, Sistema Viário ou Infraestrutura Viária Urbana.

O sistema de viário é uma infraestrutura urbana complexa e apresenta um alto custo de instalação e manutenção. Nas cidades brasileiras, tanto o sistema de transportes como o sistema viário, têm apresentado deficiências em maior ou menor grau. Essas deficiências são atribuídas a vários fatores como a falta de investimentos, problemas de gestão, e por se tratarem de sistemas de alta complexidade e de alto custo, inúmeras são as variáveis para a adoção de soluções para os seus problemas.

Tem-se, portanto, os Sistemas de Mobilidade, que aqui será dividido em Sistema de Transporte e Sistema Viário, que estão interligados a um terceiro sistema, o Sistema Urbano, a cidade. Cada um desses possui ainda seus subsistemas. Por exemplo, o Transporte Público Coletivo pode ser citado como um subsistema do sistema de transportes, as calçadas são um subsistema do Sistema Viário (Figura 1.1). Assim, também o Sistema de Transporte e o Sistema Viário são subsistemas do Sistema Urbano, que está ligado ainda a vários outros subsistemas.

Figura 1.1 – Relação entre sistemas e subsistemas



Fonte: autora (2023)

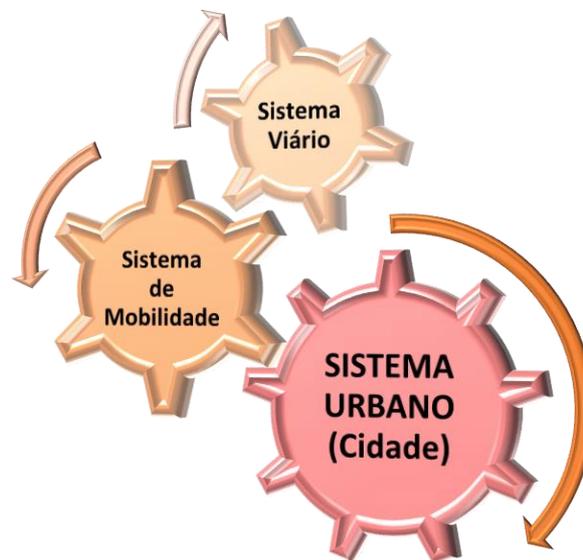
Esses sistemas, para serem estudados e trabalhados, devem ser compreendidos em sua plenitude. O Sistema de Transporte assim como o Sistema Viário, dentro da ciência política são considerados uma política pública, pois estão diretamente associados às



questões políticas e governamentais que mediam a relação entre Estado e Sociedade. Segundo Furtado, Sacovski e Tóvolli (2015) objetos de políticas públicas podem ser vistos como sistemas capazes de se modificarem, evoluírem e se adaptarem.

Não obstante, outros fatores, como a infraestrutura, que aqui pode ser entendida como os elementos componentes do Sistema Viário, poderá ser acometida por externalidades, e os reflexos serão percebidos no Sistema de Mobilidade e consequentemente no Sistema Urbano, a cidade, já que o primeiro é parte integrante desses dois últimos (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Interação entre Sistemas



Fonte: autora (2023)

Percebe-se com isso que, na relação entre os dois sistemas, a cidade e a mobilidade, existe uma interdependência que produz uma noção relevante de complexidade agregada (BETTENCOURT, 2014), ou seja, em um dado momento a complexidade do primeiro se refletirá no comportamento do segundo e esses dois sistemas serão guiados por interações mútuas, provocando efeitos de retroalimentação, o que levaria a acionar uma cadeia de respostas em que, uma decisão sobre os limites de cada um desses deverá ser tomada.

Tentando unir esforços teórico-metodológico na implementação de uma ação inovadora, essa tese utilizará do conceito de resiliência de forma a contribuir com a avaliação do sistema viário de cidades e verificar o seu desempenho quando este estiver



frente a uma situação corriqueira de interrupção e que normalmente traz enormes transtornos aos deslocamentos na cidade. Embora o conceito de resiliência não seja novo, dada a sua complexidade e utilização, pelos mais diversos ramos das ciências, é necessária a sua adaptação sem deixar fragilizada a sua relevância (RIGHI, 2011).

Uma das dificuldades de analisar o Sistema Viário utilizando-se do conceito de resiliência é a falta de ferramentas e métodos para mensurá-la. Relativo às inúmeras áreas que adotam o conceito de resiliência, existem vários estudos e definições, mais ou menos abrangentes, o que resulta em uma dificuldade de apresentar uma definição única para tal termo. Porém, a maioria das concepções caminham sempre em uma única direção e demonstram complementação entre diferentes ideias (RIGHI, 2011), portanto a avaliar impactos do sistema viário utilizando-se do conceito de resiliência pode ser entendida como uma forma de auxiliar no planejamento da mobilidade e conseqüentemente no planejamento urbano.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quando se fala em Planejamento Urbano, a principal referência a que se faz menção é a lei que norteia o crescimento das cidades, denominada de Plano Diretor. Esse instrumento legal composto por artigos e aprovado na instância política, possibilita, por parte do gestor do municipal, o acompanhamento do crescimento do território, e permite verificar se o desenvolvimento da cidade está acontecendo dentro do previsto. Nele, deve conter referências a todos os Sistemas Urbanos, dentre esses o Sistema de Mobilidade, cujos componentes são o Sistema Viário, os Sistemas de Transportes, dentre outros. Para Rodrigue, Comtois e Slack (2006), o desenvolvimento do território urbano é o reflexo das relações entre as infraestruturas de transportes, as atividades econômicas e o ambiente construído acumulados ao longo do tempo.

Com o intuito de desenvolver um raciocínio que possibilite o entendimento da interdependência entre os Sistemas Urbanos e o Sistema Viário, pode-se destacar a visão dos referidos autores que afirmam que existe uma relação inerente aos dois sistemas. Os Sistemas Urbanos, que a *grosso modo* podem ser entendidos como a cidade e todos os sistemas que a estruturam, é o reflexo das alterações socioeconômicas que acontecem no espaço urbano.



Para Silva (1982, p. 28-29 *apud* SANTOS, 2014, p. 77), “[...] as categorias fundamentais do conhecimento geográfico são entre outras, espaço, lugar, área, região, território, *habitat*, paisagem e população, que definem o objeto da geografia em seu relacionamento [...]. De todas, a mais geral – e que inclui as outras – é o espaço”. Segundo Santos (2014, p. 77-78), o vocábulo espaço pode ter muitas acepções, entretanto aqui o espaço a que se refere essa citação é aquele cujo resultado é a “[...] ação do homem sobre o próprio espaço, intermediado pelos objetos, naturais e artificiais”.

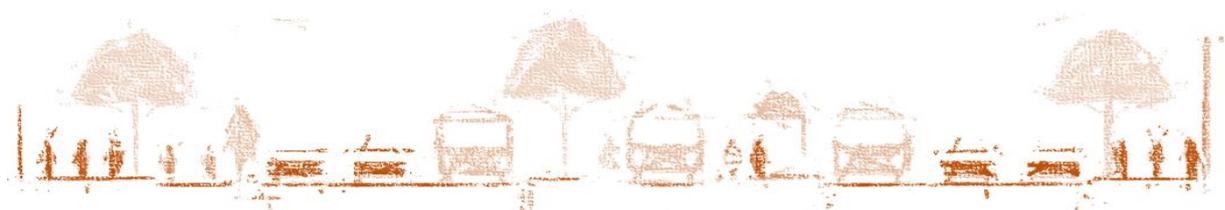
Castells (1972), ao falar sobre espaço urbano e sua estrutura, aponta que o transporte, na mais ampla acepção da palavra, é o elemento que norteia, induz e estrutura o espaço urbano. Assinala ainda que, se o Sistema de Mobilidade Urbana não tiver um funcionamento consentâneo e não possibilitar amplo acesso ao trabalho, ao estudo, à moradia, ao lazer e aos serviços, esse sistema deve ser revisto, ampliado e atualizado. Entretanto, as vulnerabilidades a que o Sistema de Mobilidade está predisposto varia de catástrofes naturais a predisposições às interferências antrópicas. O conceito de resiliência pode ser uma maneira de “[...] desvendar outras formas de compreender e teorizar o desenvolvimento das cidades [...]” e, conseqüentemente, de seus espaços urbanos (FARIAS, 2017).

Muito se tem ouvido acerca da palavra resiliência e muitos são os conceitos a ela atribuídos. A partir da diversidade e dos diferentes campos da ciência que têm feito uso desse conceito, temos as seguintes indagações:

- i. O conceito que utiliza os chamados quatro pilares da resiliência (resistir, recuperar, adaptar e transformar) integrado à ampliação do mesmo, que é a capacidade do sistema de manter sua funcionalidade sob interrupções, tempo e recursos para restaurar o nível de desempenho pode ser igualmente utilizado para definir a resiliência no sistema viário?
- ii. A utilização de uma ferramenta de análise espacial aliada a um algoritmo é factível para avaliar o desempenho do sistema viário de uma cidade?

1.2 HIPÓTESE

Para que um sistema seja resiliente, ele tem de ter a capacidade de monitorar seu estado atual, prever possíveis desvios, reagir às perturbações esperadas ou inesperadas,



aprendendo com os incidentes anteriores (REIMAN; OEDEWALD, 2009). Para Cook, Render e Woods (2000), a possibilidade de um sistema desenvolver uma capacidade de detectar riscos e lidar com as variações e incertezas determina sua resiliência.

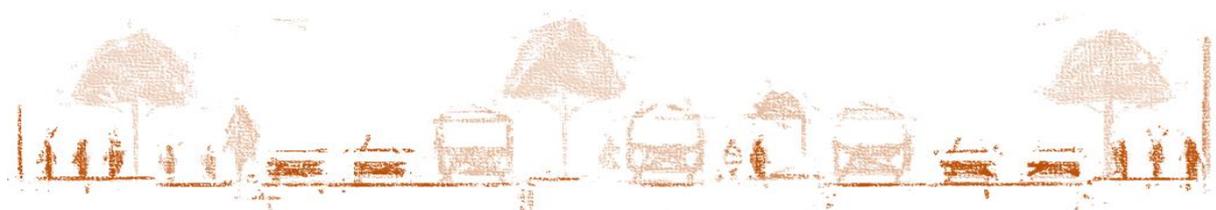
Acredita-se, portanto, que a metodologia proposta utilizando de dados do Plano Diretor e do próprio do Sistema Viário, como estado de conservação e ou debilidades da rede, dados meteorológicos, dados de ações dos gestores, planejadores e usuários, identifique as vulnerabilidades da infraestrutura viária e, a partir daí, defina ações que tornem o sistema mais confiável, com melhor desempenho e, conseqüentemente resiliente. Assim, monitorando a resiliência no Sistema Viário, é possível verificar se a cidade será afetada, quando uma interrupção no viário for necessária e ainda reduzir os efeitos negativos que esta provocaria no Sistema Urbano.

Cabe destacar, portanto, que visando responder aos problemas e atender aos objetivos propostos essa tese vai se valer das seguintes hipóteses:

- i.* O conhecimento acerca das atuais pesquisas sobre resiliência é decisivo na definição do caminho a seguir para a avaliação do Sistema Viário, considerando o conceito ampliado de resiliência como a capacidade de um sistema de manter a sua funcionalidade e os pilares resistir, recuperar, adaptar e transformar;
- ii.* Ao se utilizar da premissa de que o Sistema Viário é parte integrante do Sistema de Mobilidade e esse do Sistema Urbano e que eles interagem entre si, com a análise do Sistema Viário será possível indicar outro caminho a seguir, definir o percentual de resiliência do novo percurso e averiguar se o sistema é capaz de enfrentar incidentes inesperados.

A busca por um Sistema Viário resiliente, e conseqüentemente uma cidade resiliente é “como percorrer uma trajetória em busca da implementação de ações que se classificam como reação, monitoramento, antecipação e aprendizado em um processo contínuo que se desenvolve em ciclos (FORESTI et al, 2017, p.81).

O ineditismo dessa tese fica por conta da apresentação de um extenso arcabouço teórico sobre Resiliência Urbana, Mobilidade e Sistema Viário e uma metodologia que permite analisar e avaliar a infraestrutura de circulação das cidades. Para tanto desenvolve um método que se apropria de ferramentas de análise espacial e de um algoritmo capaz



de apresentar uma alternativa para lidar com as vulnerabilidades do Sistema de Viário, permitindo que ele se mantenha em operação, mesmo quando obstruído e ainda avaliar seu desempenho.

1.3 OBJETIVOS

Frente à disponibilidade desses dois domínios, a teoria e os dados, de forma a tornar possível a consolidação de conhecimentos que possam corroborar com o fortalecimento do Sistema Viário, esta pesquisa tem como objetivo geral estabelecer a relação entre o conceito de Resiliência e o Sistema Viário e, conceber um método para avaliar impactos no Sistema Viário visando contribuir para uma leitura da Resiliência. Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- Identificar e relacionar as definições de Resiliência Urbana, e os conceitos de Mobilidade e Sistema Viário de forma a compreender de que maneira todas essas definições e conceitos podem se relacionar;
- Elaborar um procedimento metodológico para avaliar o Sistema Viário de uma cidade a partir de uma sequência de raciocínio lógico e operações;
- Avaliar duas cidades de mesmo porte e com malhas viárias distintas;
- Conceber parâmetros e índices para analisar a resiliência de dois Sistemas Viários;
- Analisar e comparar os resultados obtidos nos dois Sistemas Viários em estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Assim como qualquer sistema, a cidade pode ser acometida por desastres naturais, o que causa problemas em sua infraestrutura (VILLARROEL; AZEVEDO FILHO, 2015). Estes eventos disruptivos, ou seja, eventos que interrompem o processo normal dos acontecimentos, podem provocar um desequilíbrio, impedindo a cidade de funcionar de maneira harmônica. As perturbações sofridas se refletem em outros sistemas que interagem e formam a cidade, como, por exemplo, o Sistema de Mobilidade.

O termo mobilidade é utilizado para nominar as várias formas de locomover das pessoas e das cargas e a qualidade desses deslocamentos depende das características dos



Sistemas de Mobilidade. Esse é um fator relevante que pode caracterizar a qualidade de vida de uma cidade.

As cidades e a mobilidade apresentam cenários frente às questões urbanas que podem tornarem-se críticos, especialmente em lugares onde as práticas de gestão, de comunicação ou de infraestrutura viária estão sujeitas a falhas (BETTENCOURT, 2014). Essas falhas podem trazer problemas ao desenvolvimento dos dois sistemas, cidades e mobilidade, portanto exigem o emprego de forças sinérgicas capazes de os tornarem sistemas interoperáveis.

Nesse cenário, urge a necessidade de avaliar os Sistemas Urbanos, para verificar até que ponto eles são resilientes. O Sistema Viário exerce uma influência sobre o Sistema Urbano de tal forma que, se o primeiro é resiliente ele tornaria o segundo menos fragilizado frente a eventos naturais ou antrópicos, exatamente pela interdependência entre eles.

A adaptação do conceito de resiliência é necessária toda vez que este for utilizado num contexto distinto ao que foi aplicado por Holling ou para uma nova realidade. Para Luthar, Cicchetti e Becker (2000, p. 543), a resiliência consiste em “[...] um processo dinâmico que tem como resultado a adaptação positiva em um contexto de grande adversidade.” Essa definição, por exemplo, pelo fato de demonstrar flexibilidade em seu contexto, aproxima-se da realidade do Sistema Urbano e do Sistema Viário, porque apresenta em sua essência um dinamismo frente aos diversos agentes que podem atuar sobre esses sistemas, tornando-os responsáveis pelas alterações em seu funcionamento.

Furtado, Sakowisk e Tóvolli (2015) afirmam que sistemas refletem a ideia de forte interação entre as partes, o que por vezes pode levar a uma auto-organização, fazendo com que o *feedback* entre os sistemas provoque ações em um determinado momento que, os estimulem a se modificarem, aprenderem, evoluírem e a se adaptarem.

Sistemas podem ser compreendidos a partir do uso de metodologias como análise de redes, modelagem baseada em agentes, simulação numérica, teoria dos jogos, formação de padrões e outras abordagens. Portanto, aliando teoria e empirismo, através de um modelo, (PIETROCOLA, 1999, p. 15), é possível fazer a intermediação entre as duas instâncias limítrofes do fazer científico que sejam estabelecidas através de conceitos e medidas.



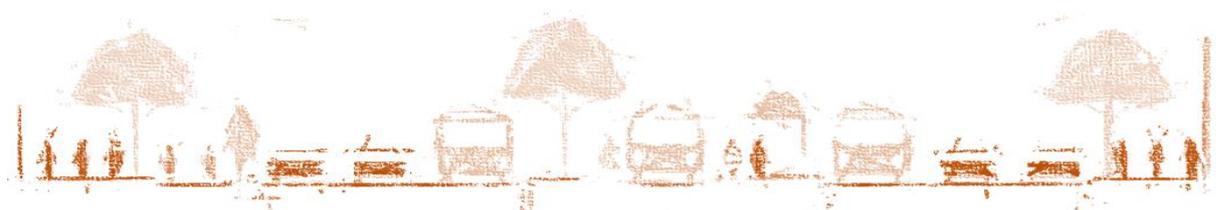
Para fins deste trabalho, serão utilizados, de forma inusitada para avaliação do sistema viário, os conceitos de resiliência que demonstram flexibilidade como adaptação, capacidade de um sistema de manter a sua funcionalidade sob interrupções, tempo e recursos necessários para restaurar o nível de desempenho após interrupções, e para empregar a metodologia serão necessários dados do sistema de viário aliado a uma ferramenta de análise espacial (SIG). Para Hollnagel (2011) a resiliência é a capacidade de se reinventar e elaborar, constantemente, novas estratégias, sejam elas, de gestão, de prevenção ou de adaptação ao risco de acidentes.

A avaliação proposta é de grande relevância, pois é de fácil aplicação por gestores. Utiliza-se de dados que são de domínio público, de fácil obtenção e de custo irrisório. Com a análise do Sistema Viário será possível superar os desastres naturais que são um “conjunto de causas combinadas entre ações que derivam da própria natureza e de ações antrópicas” (FORESTI et al, 2017, p. 69), de forma a perceber se, caso haja uma interrupção, é possível manter o funcionamento do Sistema de Viário de forma a não permitir que o Sistema Urbano entre em colapso. O processo contribui com a sociedade, que não passara por transtornos em seus deslocamentos, além de ser uma forma inovadora e necessária para manter os sistemas de transporte em funcionamento.

A pesquisa a que se propõe essa tese representa de uma contribuição a mais para a ciência, pois até o momento, são insipientes as formas de determinar a resiliência em Sistema de Mobilidade. Os estudos trazem a possibilidade de que, a partir da análise e avaliação do Sistema Viário de uma cidade, os gestores possam se apropriar dessa metodologia para promover ações que reduzam os riscos e vulnerabilidades da infraestrutura, tornando-a mais confiável, propiciando, assim, maior conforto e segurança para as pessoas que se deslocam diariamente pela cidade, dos mais diversos modos possíveis, para realização de diferentes tarefas diárias.

A metodologia proposta é uma ferramenta que possibilita a uma prefeitura, quando for fazer um procedimento no sistema viário, seja esse de curto, médio ou longo prazo, que interrompa a circulação, possa definir qual é o melhor caminho a ser proposto para o desvio e ainda avalie quais os impactos essa interrupção no viário vai causar na vida da cidade.

O método foi aplicado em duas cidades do estado de Goiás, Quirinópolis e Jaraguá. A escolha dessas duas cidades se deveu ao fato de que são cidades de pequeno



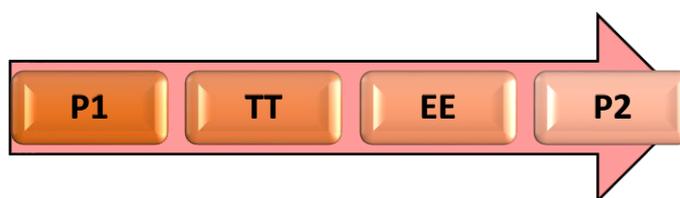
porte, possuem número de habitantes bastante semelhante e processos de ocupação histórica distintos o que resultou em malhas viárias com características completamente diferentes. Quirinópolis possui uma malha ortogonal, enquanto em Jaraguá a malha urbana é radioconcêntrica. Por serem cidades pequenas as ações de melhoria ou alterações no Sistema Viário podem ser realizadas sem grandes transtornos. No entanto o método aqui proposto não é restrito às cidades de pequeno porte, dele pode se valer as cidades de médio e grande porte.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida nesse trabalho apresenta uma abordagem quali-quantitativa, de natureza aplicada, com o objetivo de ser exploratória, descritiva e explicativa. Os procedimentos serão realizados por meio de uma pesquisa experimental e de campo, cujo embasamento se norteará a partir de uma revisão bibliográfica. A pesquisa é hipotético dedutiva cuja concepção é delegada à Popper (1959), que propôs como única possibilidade para o saber científico o critério da não refutabilidade, ou seja, uma teoria se mantém como verdadeira até que seja refutada, isso é, que seja mostrada sua falsidade, suas brechas e seus limites.

Para Popper (1975), qualquer discussão científica deve começar do principal, o Problema (P1), no qual haverá a busca de uma solução, para então contemplar uma teoria provisória (TT), e esta deve ser criticada para a eliminação dos erros (EE), o que levará a novos Problemas (P2), conforme mostra o esquema da figura 1.3 (MENDONÇA, 2016, p. 25).

Figura 1.3 – Sequência hipotético dedutiva de Popper



Fonte: autora (2016)



Para se estabelecer os critérios que intencionam responder a problemática proposta, este trabalho apresentará como procedimento metodológico quatro fases distintas:

- i.* Levantamento de um referencial teórico e revisão de literatura;
- ii.* Utilização ferramentas de análise espacial aliada a um algoritmo;
- iii.* Aplicação do método de avaliação;
- iv.* Elaboração de análises complementares.

Inicialmente se apresenta um referencial teórico e a revisão de literatura onde serão pesquisados os temas Resiliência, Mobilidade Urbana e Sistema Viário. Nessa primeira parte também serão abordados os temas cidade, centralidades e grafos. A revisão de literatura relativa à Resiliência se dará em nível internacional, mas também será verificado como estão sendo desenvolvidos esses estudos em nível nacional.

Esta seção está dividida em três estudos específicos que são a Resiliência, a Mobilidade Urbana e o Sistema Viário. A revisão de literatura acerca de resiliência destina-se a compreender o uso desse conceito, a sua relevância e como essa abordagem tem sido utilizada na área de mobilidade. A revisão de literatura acerca de mobilidade e sistema viário intenciona, além da revisão literária, desenvolver uma forma de avaliação da resiliência na mobilidade quando o assunto em questão é o sistema viário.

A partir das referências estudadas, desenvolveu-se um procedimento de análise, utilizando-se de dados disponíveis, uma ferramenta de análise espacial aliada a um algoritmo. Posteriormente foi definida uma escala de pontos para avaliação da resiliência.

O algoritmo é uma sequência de comandos que, de forma sistemática, tem por finalidade resolver um problema ou executar uma determinada tarefa. Os algoritmos se aplicam a questões simples do dia a dia, a programas computacionais e ferramentas que identificam o comportamento, como no caso desse trabalho, que analisa o sistema viário de uma cidade. A importância da avaliação por meio de uma ferramenta de análise espacial aliada a um algoritmo é a possibilidade de trazer informações importantes à tomada de decisão.

Foram escolhidas duas cidades para aplicação do método. Posteriormente foram feitas análises complementares indicando o resultado do procedimento conforme mostrado no quadro 1.1.



Quadro 1.1 – Organização esquemática da pesquisa

Compreensão	Revisão Bibliográfica	Resiliência, Mobilidade Urbana e Sistema Viário
	Pesquisa Bibliográfica	Ferramentas de análise espacial Algoritmo
Verificação	Pesquisa Documental	Base de dados primária, base de dados secundária
	Estudo de Caso	Aplicação do processo – avaliação com uso da ferramenta e algoritmo, resultados e análise final
Análise e Reflexão	Desdobramentos da pesquisa	Alinhamento do procedimento, análise e contribuições à resiliência e sistema viário

Fonte: a autora (2023).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho está estruturado em 08 capítulos:

1o. capítulo – *Introdução*: Esse capítulo aborda a parte introdutória dessa tese com a seguinte estruturação: problema, hipótese, objetivos gerais e específicos, justificativa, método e estrutura do trabalho.

2o. capítulo – Nesse capítulo realiza-se uma revisão bibliográfica acerca do Sistema Urbano, a cidade e espaço que a compõem o espaço urbano. Explicita o que vem a ser Resiliência. Como se deu o surgimento do termo e a partir de que momento a sua conceituação passa a ser utilizada em relação ao Sistema Urbano. Mostra ainda as tendências globais e brasileiras na utilização do conceito como parâmetro na obtenção de cidades mais seguras, mais justas e preparadas para o enfrentamento de desastres naturais e antrópicos

3o. capítulo – Delineia-se aqui um arcabouço teórico sobre Mobilidade Urbana, a sua importância para a facilidade de deslocamento de pessoas e cargas em uma cidade. Ao final do capítulo é apresentada uma abordagem sobre Resiliência em Sistemas de Mobilidade, mostrando a partir de quando o conceito passa a ser visto como uma ferramenta de análise e avaliação da Mobilidade e como o tema ainda tem um grande potencial para exploração.



4o. capítulo – Nesse capítulo ainda será exibida parte do Referencial Teórico sobre Sistema Viário. Para esse capítulo explica-se a importância desse sistema para a Mobilidade e para cidade. Aponta como é possível transformar o Sistema Viário em um grafo, ou seja, um modelo matemático que permite entender a relação entre objetos. E estuda-se como e qual o algoritmo é capaz de encontrar caminhos em um grafo.

5o. capítulo – Nesse capítulo está a descrição do procedimento metodológico a ser utilizado para o desenvolvimento do trabalho. Descreve-se cada etapa do procedimento detalhadamente e ainda como é feita a aplicação do método em duas cidades distintas, com malha viária diferentes, porém que apresentam características semelhantes de população e processos de ocupação distintos o que resultou da malha urbana também distinta. Ao final o capítulo traz uma tabela de parâmetros, juntamente com uma Escala de Pontos que irá permitir a determinação do percentual de Resiliência do Sistema Viário.

6o. capítulo – O capítulo a seguir apresenta a cidade de Quirinópolis, suas principais características de fundação, crescimento e desenvolvimento da mancha urbana. Traz o sistema viário, explica como foi feita hierarquia viária e a transformação desse viário em um grafo. Explica a aplicação do método desenvolvido a partir de mapas, e mostra os resultados obtidos por meio de mapas.

7o. capítulo – Esse capítulo tem os mesmos procedimentos do capítulo anterior, porém é sobre a cidade de Jaraguá. Apresenta as principais características de fundação, crescimento e desenvolvimento da mancha urbana. Mostra o sistema viário e a sua transformação em um grafo. Explica a aplicação do método desenvolvido por meio de mapas, e mostra os resultados a partir dos mapas de resultados.

8o. capítulo – Com a utilização do método proposto, avaliação e análise dos resultados obtidos, poderão ser verificados por meio da tabela de parâmetros a resiliência no sistema viário das duas cidades. Algumas comparações entre os sistemas viários poderão ser realizadas, observando-se qual dos dois viários é o mais eficiente, e, portanto, o mais resiliente e porque isso aconteceu.

Último capítulo – Nesse são apontadas as Considerações Finais. Serão retomados os principais pontos que nortearam o desenvolvimento dessa pesquisa e serão apontadas direções para os próximos estudos nessa área. Por fim serão descritas as conclusões referentes aos resultados obtidos.



2 A CIDADE, O ESPAÇO URBANO E A RESILIÊNCIA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Teoria Geral de Sistemas surgiu a partir de trabalhos do biólogo alemão Ludwig von Bertalanffy, em 1950. A partir daí um novo paradigma passou a dar suporte às ciências para interpretação dos mais diversos fenômenos. Seu mérito foi dar impulso para as teorias modernas sobre sistemas. A visão sistêmica, com relacionamentos interdependentes, resultou em uma abordagem sistêmica que veio substituir a abordagem cartesiana. A motivação de Bertalanffy era buscar um modelo que explicasse o comportamento de um organismo vivo. Entretanto, essa teoria é interdisciplinar e pode ser aplicada às mais diversas áreas do conhecimento, como às ciências sociais (ARAÚJO; GOUVEIA, 2016, p. 3).

Segundo Capra (2003), foi Lawrence Henderson, um biólogo que viveu no século XIX, quem usou pela primeira vez o vocábulo “sistema” com a finalidade de dar nome a organismos vivos como sistemas sociais. Medeiros (2013) aponta que, a partir daí, um sistema passou a ser entendido como um “todo integrado”, e as propriedades desse todo surgem das relações entre suas partes. A cidade é, portanto, entendida como um sistema formado por vários outros sistemas. Este capítulo tem por objetivo fazer uma preleção acerca do Sistema Urbano, que pode ser chamado de Cidade, o seu Espaço Urbano e a Resiliência Urbana.

2.2 A CIDADE

A sociedade em movimento traz o reflexo tanto de ações que ocorrem no presente quanto daquelas que foram praticadas no passado, deixando nos espaços impressas e registradas todas as ações ou marcas de uma geração (MENDONÇA, 2016). No século XIX, a Revolução Industrial e, conseqüentemente, a criação do motor a vapor trouxeram profundas alterações no que concerne às cidades, e na mobilidade (CORRÊA, 1989).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU) de 2008, a população urbana aumentou de 10% para mais de 50% nas duas últimas décadas com o processo de urbanização sem precedentes. “O crescimento urbano é um processo espacial e



demográfico e refere-se à importância crescente das cidades como locais de concentração da população numa economia” (CLARK, 1991, p. 61). Sevckenko (1995) mostra a preocupação de se trabalhar com as cidades, já que esta palavra não mais traduz um espaço simples, homogêneo e de fácil compreensão:

[...] já não é mais possível usar a palavra cidade como se fora um termo perfeitamente definido, significando um modo de vida social orgânico, funcional e previsível, uma categoria prescritiva ou, enfim, um modelo genérico e normatizado de constituição histórica específica e difusão universal. O fenômeno urbano hoje ressalta pela sua heterogeneidade, inconstância, turbulência e extrema fragmentariedade. (SEVCENKO, 1995, p. 187).

Essa indefinição para o uso do termo cidade traz a oportunidade de pensá-la de forma integrada. Embora na visão de Sevckenko (1995) a cidade de hoje seja heterogênea, inconstante, turbulenta e fragmentada, a cidade é um espaço social, e também um espaço constituído a partir de suas infraestruturas. Se uma dessas infraestruturas não estiver em perfeita harmonia, a cidade terá problemas para continuar funcionando de forma equilibrada.

Para tanto, a melhor maneira de entender a cidade é analisá-la como um sistema urbano, cuja composição é a sua constituição por vários outros subsistemas. Se qualquer um desses sistemas não funcionar em perfeita harmonia, a cidade pode parar. Ribeiro (2008, p. 10) acrescenta ainda que uma “análise urbana deve ser feita de forma sistêmica, a fim de se ter uma visão mais próxima da realidade”.

A cidade é, portanto, um sistema, e nela nada está parado, tudo está sempre se alterando. Suas condições sociais, tecnológicas, econômicas e ecológicas mudam a todo tempo. Por isso, não existe um normal fixo, pois a cidade é dinâmica. Entendida como um sistema social que está constantemente interagindo com seus sistemas de infraestruturas, a cidade está sempre pré-disposta a intervenções, sejam elas naturais ou antrópicas.

A percepção humana, às vezes, pode levar a entender que nas cidades, as coisas são estáticas, mas elas estão em constante alteração, e essas alterações podem compelir o mundo ao que poderia se chamar desordem. Tentando então evitar esse desarranjo, o ideal seria manter a cidade imóvel, sem mudanças ou alterações. Entretanto, ela precisa funcionar e este funcionamento pode conduzir a alterações lentas, mas significativas o seu espaço urbano.



2.3 O ESPAÇO URBANO

A percepção dos diferentes usos da terra superpostos define áreas que constituem as cidades. Estes espaços são o centro da tradicional, locais de atividades de comércio e serviços, locais de indústrias e residências, áreas de lazer e outras. Estes usos são chamados por Corrêa (1989, p. 7) de “a organização espacial da cidade” ou “espaço urbano”.

O resultado da interação homem natureza, de acordo com Santos (1998), é uma das definições clássicas da geografia para espaço urbano. Para Tuan (1983), o espaço construído pelo homem pode aperfeiçoar a sensação e a percepção humana. A este espaço dar-se-á o nome de espaço urbano.

Em um contexto genérico, o espaço urbano não se constitui apenas de um espaço físico, ele é o reflexo da rotina, dos confrontos, dos conflitos, o que permite a todos que o utilizam uma leitura do cotidiano (MENDONÇA, 2016). Ele é o reflexo das relações sociais, políticas, econômicas e culturais de um povo. O espaço é “[...] um conjunto de formas contendo cada qual frações da sociedade em movimento [...]” (SANTOS, 2014, p. 31).

Para Santos (2006), é neste espaço urbano que acontece a produção, a comercialização, os investimentos e as transações configurando a circulação do dinheiro no território. O espaço urbano é um produto social e deve ser aprimorado, visando proporcionar às pessoas maneiras de utilizá-lo de forma mais justa e igualitária. Para Ribeiro (2008) a questão econômica é um dos elementos responsáveis pela estruturação da cidade, no entanto não é o único. Ribeiro (2008, p.13) define o espaço urbano como:

“uma combinação de elementos ambientais e estruturais (rede viária, infraestrutura, equipamentos e serviços), que afetam o seu desempenho sociológico. Esse espaço urbano, ou, melhor ainda, a cidade como arquitetura, é composta por formas (cheios: os prédios, os volumes etc.) e espaços (os vazios: as ruas, as praças, as áreas verdes, as descontinuidades etc.), que não podem ser vistos ou analisados individualmente, pois são interdependentes e se afetam mutuamente.”

À medida que o crescimento urbano vai se fazendo notar, o número de habitantes das cidades aumenta, o espaço urbano e a sua organização vão se alterando. A expansão



das cidades e a ampliação de suas áreas de influência deram lugar a uma mudança que passou de lugares e padrões de vida predominantemente rurais para predominantemente urbanos (CLARK, 1991). Porém, por ser este espaço reflexo social e fragmentado da cidade capitalista, ele se apresenta hoje, como um espaço extremamente desigual.

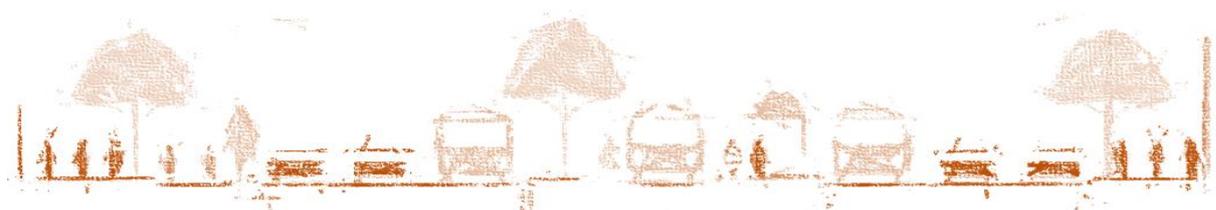
2.4 A RESILIÊNCIA

A política econômica adotada por um país é um exemplo de como o funcionamento da economia influencia, no espaço urbano trazendo alterações sociais significativas para a cidade. A cidade é um sistema dinâmico, e passa por constantes mudanças. A resiliência é um conceito que nos sistemas dinâmicos pode ser definida como a manutenção da função mesmo no caso de um transtorno. A principal característica de um sistema resiliente é a sua capacidade de adaptação ou adaptabilidade (MARTIN-BREEN; ANDERIES, 2011).

2.4.1 O termo Resiliência e sua origem etimológica

O termo resiliência tem origem na palavra latina *resilio*, *resilire*, que significa “recuar”. De acordo com os dicionários latim-português (FARIA, 1967; SARAIVA, 2000 *apud* BRANDÃO, MAHFOUD; GIANORDOLI-NASCIMENTO, 2011, p. 265), a palavra é formada por um prefixo “re”, que indica retrocesso, e mais o sufixo “salire”, que é um verbo, cujo significado é saltar, pular. Assim, pode-se dizer que o significado da palavra é “saltar de novo”, “saltar de volta” ou “saltar para trás”. Ainda, segundo o *Macmillan Dictionary* (2018), o “ato de rebote”.

Nas mais diversas partes do mundo, não é consenso que a palavra resiliência, tenha a mesma origem. O referido dicionário aponta que o termo “resiliência” foi usado pela primeira vez na década de 1620; entretanto, não foi usado para fazer referência a indivíduos, ou grupo de pessoas até 1830. Fazendo referência à psicologia, o termo foi estudado por pessoas em diferentes perspectivas e, segundo Fantova (2008), foi organizado em três vertentes diferentes: a norte-americana ou anglo-saxônica, a europeia e a latino-americana.



A norte-americana tem o indivíduo como centro, é baseada no conceito de behaviorismo, ou seja, na psicologia comportamental. A resiliência aqui é tratada como o resultado da relação sujeito e o meio onde ele está inserido. A vertente europeia é mais relativista, e o enfoque é psicanalítico, o sujeito é o mais importante para avaliação da resiliência, “[...] a resposta às adversidades transcende os fatores do meio [...]”. A vertente latino-americana é voltada à comunidade, o social é a resposta dos problemas das pessoas em meio às adversidades (BRANDÃO, 2009, p. 22).

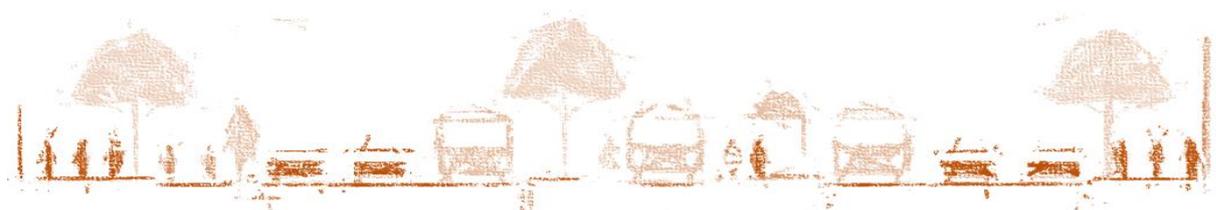
Entre pesquisadores brasileiros, existe o consenso que o termo resiliência tem origem nas ciências exatas e remonta ao ano de 1807 (BRANDÃO; MAHFOUD; GIANORDOLI-NASCIMENTO, 2011, p. 264). Mais precisamente nos estudos relativos à “resistência dos materiais”, na física e na engenharia.

Devido aos materiais extremamente resistentes às deformações do meio, o inglês Thomas Young publicou uma obra sobre a noção de módulo de elasticidade, em que, ao falar sobre fratura dos corpos elásticos, o termo resiliência foi citado pela primeira vez, segundo relata Timoshenko (1953).

Brandão (2009) afirma, no entanto, que, atualmente, o termo resiliência é mais utilizado pelas ciências humanas e pela psicologia, já que sua presença, em livros de conceitos físicos, como, por exemplo, os de Timoshenko, só aparecem em nota de rodapé.

Yunes e Szymanski (2001) alertam que, embora haja riscos na transposição do termo da física para a psicologia, foram nas publicações de Yunes que essa referência à resiliência passou a ser utilizada por outros autores. Os estudos acerca da resiliência na área da psicologia são relativamente recentes e começam a emergir na década de 1970 e 1980 e, segundo Luthar, Cicchetti e Becker (2000, p. 543), a resiliência consiste em “[...] um processo dinâmico que tem como resultado a adaptação positiva em contexto de grande adversidade.”

Para Ribeiro e Gonçalves (2019, p. 2), assim como para Ilmola (2016, p. 208), o conceito de resiliência foi desenvolvido e introduzido na pesquisa científica por teóricos da ecologia associado aos ecossistemas na década de 1970, por Holling, e nas décadas de 1990 e 2000, por Levin e Ulanowics, visando uma melhor compreensão da adaptação dos ecossistemas, utilizando, para tanto, uma abordagem baseada na teoria geral dos sistemas, ou seja, na teoria dos sistemas adaptativos. Holling (1973), quando descreveu a



resiliência, apresentou-a como uma medida de habilidade dos sistemas de absorver mudanças e perturbações sem perder os laços entre seus elementos constituintes.

Existe um consenso entre os pesquisadores de que a cidade, por ser uma entidade dinâmica, não é considerada apenas um sistema ecológico, mas um sistema social, portanto, um sistema dinâmico e socioecológico, já que ela está sempre passando por um processo constante de mudança e adaptação (SHARIFI; YAMAGATA, 2014). A partir deste consenso, o conceito de resiliência passou a ser utilizado também para o estudo das cidades, entendido assim como Resiliência Urbana.

Independentemente do fato da resiliência ter origem nas ciências exatas, o conceito, historicamente, tem sido amplamente utilizado nas áreas de psicologia e ecologia e também revelou forte utilização nas matérias relativas a desastres e gestão organizacional (MARTIN-BREEN; ANDERIES, 2011). O estudo da resiliência desenvolveu-se em campos distintos que geraram suas próprias definições do conceito e sua relevância para a classe de problemas que o abordam.

2.4.2 A definição de Resiliência

As pesquisas mostram que existe uma grande quantidade de estudos sobre resiliência, entretanto ainda não existe uma definição universalmente aceita. Da mesma forma que o termo sustentabilidade, a resiliência é um conceito que segue uma norma, portanto não é fácil de ser apresentado a partir de uma avaliação quantitativa (SHARIFI; YAMAGATA, 2014).

Relativo ainda às inúmeras áreas que adotam o termo, existem vários estudos e conceitos, o que resulta em uma dificuldade de apresentar uma definição única para tal palavra. Entretanto, a maioria das definições e conceitos caminham sempre em uma única direção e denotam complementação entre as diferentes ideias (RIGHI 2011). Por exemplo, quando se pesquisa a palavra em dicionários podem ser identificados dois vieses para interpretação do vocábulo, uma física e outra em sentido figurado.

O *Dicionário Houaiss* aponta que a definição de resiliência no sentido físico é a “[...] propriedade que alguns corpos apresentam de retornar à forma original após terem sido submetidos a uma deformação elástica (deformação que pode ser revertida)” (HOUAISS, 2017). Assim, também o *Dicionário Michaelis* (2017) define que resiliência



é a “[...] elasticidade que faz com que certos corpos deformados voltem a sua forma original. No sentido figurado, o primeiro define resiliência como a “[...] capacidade de se recobrar facilmente ou se adaptar à má sorte ou às mudanças [...]”, enquanto o outro dicionário relata que é a “capacidade de rápida adaptação ou recuperação” (LEOBONS, GOUVEA; BANDEIRA, 2019).

Para Holling (1973, p. 17), “[...] a resiliência determina a persistência de relacionamentos dentro de um sistema e é uma medida da capacidade desses sistemas de absorver mudanças nas variáveis de estado, direcionando variáveis e parâmetros, e ainda persistem”. Nesta definição, resiliência é a propriedade do sistema, a persistência ou a probabilidade de extinção é o resultado.

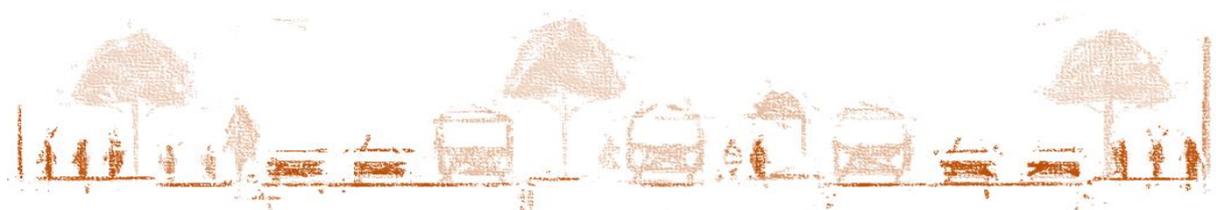
Com o intuito de dar suporte a esta pesquisa e definir de forma clara e consistente a resiliência urbana utilizou-se a revisão de literatura ampla e abrangente realizada por Ribeiro e Gonçalves (2019) e o artigo de Wang e Xue que exploram as tendências globais de pesquisa nesse domínio.

2.4.3 Resiliência Urbana: revisão de literatura e tendências globais

2.4.3.1 Revisão de Literatura

Ribeiro e Gonçalves (2019) utilizaram as bases de dados: Web of Science, Google Scholar e Web of Knowledge, consideradas por Hosseini, Baker e Ramirez-Marquez (2016) as bases de dados mais abrangentes para pesquisa acadêmica. As palavras-chave de pesquisa utilizadas foram as expressões: “resiliência urbana”, “sistemas urbanos resilientes”, “cidades resilientes” e “resiliência nas cidades” O período de pesquisa foi referente aos últimos 15 anos, de 2003 a 2018.

É fato que existe uma pesquisa ampla sobre o conceito de Resiliência Urbana. Dentre os artigos selecionados, várias foram as definições encontradas e, embora sejam bastante semelhantes, esses conceitos nem sempre são claros e objetivos, já que os contextos urbanos são divergentes (PENDALL; FOSTER; COWELL, 2010). Para Klein, Nicholls e Thomalla (2003), o maior problema da resiliência é a infinidade de definições e a dificuldade de transformá-la em ferramentas operacionais.



Ribeiro e Gonçalves (2019) apresentam um quadro com as várias definições de resiliência e apontam que a maioria delas é relativa a um contexto de ameaça ao sistema. Em menor quantidade aparecem aquelas que apresentam uma lógica de transformar o sistema com o objetivo de melhorar a prestação de serviços. A seguir, tem-se o quadro 2.1 de definições de resiliência apresentadas no artigo de Ribeiro e Gonçalves (2019).¹

Quadro 2.1 – Definições de resiliência (continua)

Área(s) Científica(s)	Definições de resiliência urbana	Autor(es)
Ciências agrícolas e biológicas;	Resiliência é o grau em que as cidades toleram a mudança antes de se reorganizarem em torno de um jornal de estruturas e processos e depende da capacidade das cidades de manter simultaneamente suas funções ecossistêmicas e humanas.	Alberti <i>et al.</i> (2003)
Engenharia; Ciências agrícolas e biológicas	Uma cidade resiliente é uma rede sustentável de sistemas físicos e comunidades humanas. Recomenda-se que a resiliência seja usada apenas em um sentido restrito para descrever atributos específicos do sistema relacionados a: (i) a quantidade de distúrbios que um sistema pode absorver e permanecer no mesmo estado ou domínio de atração e (ii) que o sistema é capaz se auto organizar	Godschalk (2003) Klein <i>et al.</i> (2003)
Ciência ambiental; Ciências Sociais; Gestão de negócios e contabilidade; psicologia	Resiliência é a capacidade de um sistema de se adaptar às mudanças nas condições. A resiliência urbana é a capacidade de uma cidade se recuperar da destruição. A resiliência urbana refere-se tanto às mudanças de projeto (planejamento estrutural, arquitetônico, espacial) quanto às medidas de gestão e governança que visam prevenir ou mitigar a vulnerabilidade física e social das áreas urbanas, proteger a vida, a propriedade e a atividade econômica da cidade.	Pickett, Cadenasso e Grove (2004) Campanella (2006) Coaffee e O'Hare (2008)
Ciência ambiental;	Resiliência é a capacidade de um sistema socioecológico de sustentar um determinado conjunto de serviços ecossistêmicos diante da incerteza e da mudança para uma comunidade.	Ernstson (2008)
Ciência ambiental; Ciências Sociais;	Resiliência urbana significa estender o conceito de resiliência de sistemas técnicos para sistemas sociais, particularmente para cidades, e sua capacidade de recuperar e continuar a fornecer suas principais funções de vida, comércio, indústria, governo e reunião social em face de calamidades e outros perigos.	Hamilton (2009)
Ciência ambiental; Ciências Sociais;	De uma perspectiva resiliente, a governança pode ser pensada como uma ação coletiva proposicional para sustentar e melhorar um regime, ou para desencadear uma transição do sistema para um regime preferível.	Ernstson <i>et al.</i> (2010)
Ciência ambiental;	Um sistema resiliente é um sistema que pode tolerar distúrbios por meio de características ou medidas que limitam seus impactos, reduzindo ou neutralizando	Wardekker <i>et al.</i> (2010)

¹ O quadro foi traduzido por nós, entretanto, a versão original pode ser encontrada no anexo deste trabalho.



	danos e distúrbios, e permitindo que o sistema responda, recupere e se adapte rapidamente a tais distúrbios.	
Ciência ambiental; Ciências Sociais;	Resiliência é a capacidade dos sistemas de se organizarem e se recuperarem de mudanças e interrupções sem mudanças em outros estados - ou seja, sistemas "seguros para falhar".	Ahern (2011)
Gestão de negócios e contabilidade; energia; Engenharia; Ciências Sociais;	A resiliência urbana geralmente se refere à capacidade de uma cidade ou sistema urbano de resistir a uma ampla gama de choques e tensões.	Leichenko (2011)
Terra e ciências planetárias; Ciências Sociais;	No caso da adaptação urbana ao clima, uma abordagem baseada na resiliência incentiva os profissionais a considerar a inovação e a mudança para ajudar a recuperar-se de tensões e choques que podem ou não ser previsíveis.	Tyler e Moench (2012)
Engenharia; Ciências Sociais	A resiliência urbana às inundações é a capacidade da cidade de tolerar inundações e reorganizar se ocorrerem danos físicos e distúrbios socioeconômicos para evitar mortes e ferimentos e manter a identidade socioeconômica atual.	Liao (2012)
Ciência ambiental; Ciências Sociais;	Embora a resiliência urbana geralmente se refira apenas à capacidade de manter funções e estruturas, ela deve ser enquadrada nas visões de resiliência (persistência do sistema), transição (mudança incremental do sistema) e transformação (reconfiguração do sistema).	Chelleri (2012)
Ciências Sociais;	Resiliência é a capacidade de um ativo urbano, localização e / ou sistema para fornecer desempenho previsível.	Brugmann (2012)
Gestão de negócios e contabilidade; Ciências Sociais;	Uma cidade resiliente ao clima é aquela que pode resistir ao estresse climático, responder efetivamente a riscos relacionados ao clima e se recuperar rapidamente de impactos negativos residuais.	Henstra (2012)
Gestão de negócios e contabilidade; Ciências Sociais;	Resiliência é a capacidade de um indivíduo, comunidade ou instituição de responder dinâmica e efetivamente às mudanças nas condições climáticas, continuando a funcionar em um nível aceitável	Brown, Dayal e Rio (2012)
Ciência ambiental; Ciências Sociais;	Embora a resiliência urbana geralmente se refira apenas à capacidade de manter funções e estruturas, ela deve ser enquadrada nas visões de resiliência (persistência do sistema), transição (alteração incremental do sistema) e transformação (reconfiguração do sistema)	Chelleri (2012)
Ciências Sociais;	Resiliência é a capacidade de um ativo urbano, localização e / ou sistema para fornecer desempenho previsível.	Brugmann (2012)
Gestão de negócios e contabilidade; Ciências Sociais;	Uma cidade resiliente ao clima é aquela que pode resistir ao estresse climático, responder efetivamente a riscos relacionados ao clima e se recuperar rapidamente de impactos negativos residuais.	Henstra (2012)

Fonte: Ribeiro e Gonçalves (2019) adaptado pela autora (2020).

A partir da leitura do quadro, torna-se possível identificar que a resiliência, para os autores selecionados, pode ser diferenciada por meio de definições identificadas por distúrbios e condutas que um sistema é capaz de “[...] tolerar, manter, neutralizar, apoiar,



persistir, resistir, absorver, sobreviver, reorganizar, ajustar, adaptar, recuperar, responder, transformar e enfrentar um distúrbio no sistema [...]” sejam estes “[...]desastres naturais, condições climáticas, calamidades, crises ou eventos perturbadores [...]” que causam prejuízos ao sistema (RIBEIRO; GONÇALVEZ, 2019, p. 4).

A leitura do quadro evidenciou também que a Resiliência Urbana é utilizada em cinco áreas de pesquisa: mudanças climáticas, planejamento urbano, comunidade urbana, energia e desastres naturais ou antrópicos, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das populações. Destaca-se, portanto, que os quatro pilares básicos da resiliência são: resistir, recuperar, adaptar e transformar.

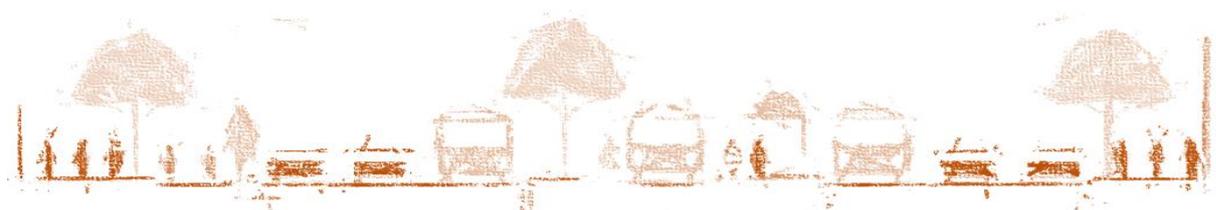
2.4.3.2 *Tendências Globais*

Em razão do aumento do número de artigos sobre resiliência urbana nos últimos anos Wang e Xue (2019) resolveram realizar um estudo para identificar as tendências globais de pesquisa sobre o tema. Em razão da dificuldade de novos pesquisadores em identificar os principais periódicos e as principais publicações em resiliência urbana é que Wang e Xue (2019) decidiram realizar uma análise sobre publicações sobre resiliência.

O estudo em questão analisou artigos de janeiro de 1993 a dezembro de 2016. O ano de 1993 foi o escolhido porque foi o primeiro ano de publicação de periódicos relacionados a estudos urbanos no Web of Science (WOS). Os resultados podem ajudar pesquisadores a identificar áreas de pesquisa de ponta no campo da resiliência urbana.

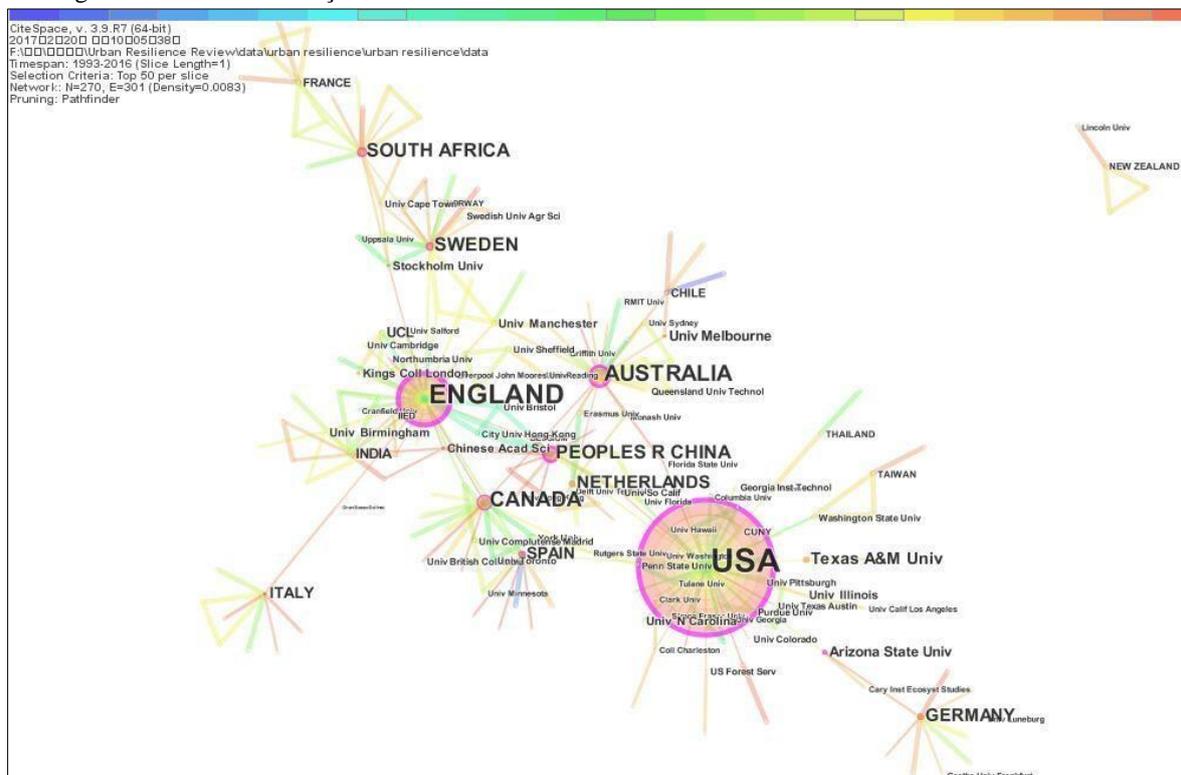
Nas pesquisas foi possível identificar que a grande maioria dos estudos foram publicados na última década, porém, dessas publicações, apenas algumas acompanharam as tendências evolutivas da pesquisa em resiliência urbana. “As tendências emergentes contêm definição de resiliência urbana, modelo de adaptação da resiliência urbana, estudos de caso para resiliência urbana” (WANG; XUE, 2019, p. 1).

Wang e Xue (2019) verificaram que os países que contribuem mais significativamente para o avanço da pesquisa em resiliência urbana são em primeiro lugar EUA, Inglaterra, Austrália, Canadá, China e Suécia (Figura 2.1) O país com maior número de publicações é os EUA com 136. Mostra também que EUA, Inglaterra e Austrália foram os primeiros países a pesquisar resiliência urbana, e embora os EUA



sejam o país que mais publique, a influência da Inglaterra é quase tão relevante quanto a dos EUA.

Figura 2.1 – Rede de relações colaborativas



Fonte: Wang e Xue (2019, p. 8).

O estudo identificou também que a pesquisa se concentra em estudos ambientais, geografia e desenvolvimento de planejamento, apontando que os principais tópicos da pesquisa estão em constante mudança e que os conhecimentos em resiliência urbana estão divididos em cinco grupos: análise exploratória da resiliência, resiliência a desastres, resiliência urbana, prática da resiliência urbana e sistemas sociológicos.

Finalmente a pesquisa mostra que as tendências mais recentes em resiliência urbana incluem a sua definição, um modelo de adaptação, estudos de caso, métodos analíticos e sistemas socioecológicos urbanos, cujo resultado são pesquisas de ponta em resiliência urbana.

Os resultados revelam as tendências evolutivas da pesquisa em resiliência urbana. Os estudos de Wang e Xue (2019) são um importante guia das pesquisas em resiliência urbana, pois mostra os autores mais influentes, as principais instituições de pesquisa, os principais periódicos que desenvolve pesquisa em resiliência urbana. É um trabalho que norteia o desenvolvimento de novas pesquisas nesta área.



O processo de urbanização rápido, constante e intenso das cidades fez com que a resiliência urbana se tornasse uma importante pesquisa científica para analisar as cidades enquanto sistema complexo e adaptável (ONU, 2008). Embora a resiliência urbana ainda não tenha uma definição universalmente aceita, ela “[...] reflete a capacidade dos sistemas urbanos de manter e recuperar rapidamente o *status* desejado, após distúrbios externos, adaptando-se às mudanças e transformando rapidamente os sistemas urbanos em um novo *status* equilibrado (MEEROW *et al.* 2008 *apud* WANG; XUE, 2019).

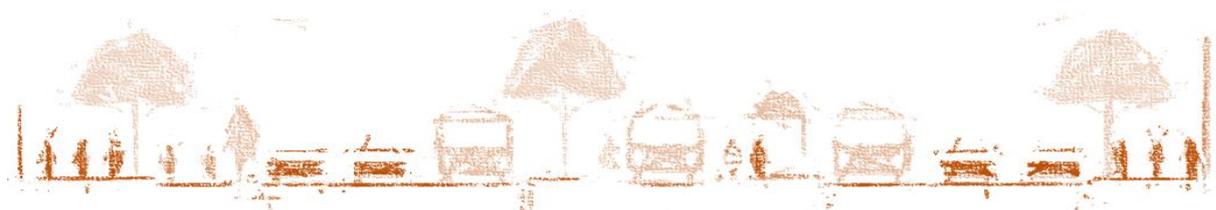
2.4.4 Resiliência Urbana e da Mobilidade no Brasil

A pesquisa sobre Resiliência para essa tese teve início com uma busca genérica. À medida que os estudos foram tomando forma, a pesquisa também foi se redirecionando. A princípio a busca aconteceu com o objetivo de conhecer e entender exatamente o conceito, por isso a prioridade foi explorar artigos e teses estrangeiras. Com o conhecimento da abrangência do conceito, o estudo foi se aprofundando e mudando a sua direção. No final a pesquisa passou a investigar como o conceito estava sendo desenvolvido aqui no Brasil, dentro da temática urbana e da mobilidade.

No Brasil até 2005 não havia escrito nenhum artigo sobre resiliência urbana. Atualmente já se tem uma literatura representativa sobre resiliência. Em consulta no Google Acadêmico pelo termo “Resiliência”, o resultado demonstrou que existem pelo menos 108.000 artigos sobre o tema. No entanto essa consulta leva em consideração todas as áreas que adotam o conceito de Resiliência.

Ao restringir a pesquisa usando o termo “Resiliência Urbana” esse número reduz bastante e obtém-se um resultado de apenas 1.290 artigos. E ainda é mais restrito quando a busca é por “Resiliência da Mobilidade. Apenas 18 artigos brasileiros constam do Google Acadêmico. Esses artigos foram de vital importância para a constituição dessa tese. Porém ao aprofundar os estudos sobre resiliência foi necessário utilizar-se do vocábulo “Vulnerabilidade”.

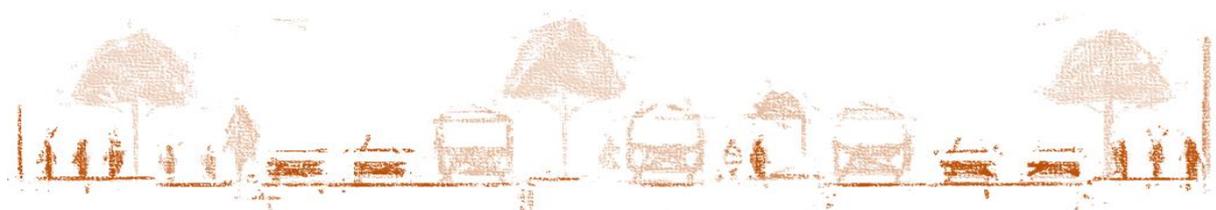
Farias (2017, p. 5) esclarece que a resiliência se refere a uma qualidade, enquanto a vulnerabilidade é um estado. A vulnerabilidade é importante para identificar um estado crítico, enquanto a resiliência seria a parte positiva da vulnerabilidade, sinalizando uma capacidade



de ação. Com isso, o autor finaliza dizendo que as duas, resiliência e vulnerabilidade, estão longe de serem oponentes, pois compartilham o pressuposto de uma capacidade de lidar com uma situação, portanto é possível ser, ao mesmo tempo, vulnerável e resiliente. Para subsidiar essa tese foi feito um levantamento e um estudo das publicações brasileiras que estão descritas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Publicações em Resiliência Urbana e Mobilidade no Brasil (Continua)

	Autores	Artigo	Ano
01	Fernandes, V. A.; Rothfuss, R.; Hochschild, V.; Silva, W. R. Santos, M. P. de S.	Resiliência da mobilidade urbana: uma proposta conceitual	2015
02	Pantaleão, C. C. Cortese, T. T. P.	Capacidade de resiliência urbana: estudo de caso da cidade Adis Ababa na Etiópia	2016
03	Martins, C. da M; Silva, A. N. R. da	Uma avaliação da resiliência na mobilidade em Maceió-Al	2017
04	Leobons, C. M; Campos, V. B. G. Bandeira, R. A. M.	Avaliação do nível de resiliência em sistemas de transporte	2017
05	Leobons, C. M; Campos, V. B. G. Bandeira, R. A. M.	O conceito de resiliência aplicado a sistemas de transporte	2017
06	Fernandes, V. A.; Rothfuss, R.; Hochschild, V.; Silva, W. R.	Resiliência da mobilidade urbana: uma proposta conceitual e de sistematização	2017
07	Farias, J. A.	Resiliência: um bom conceito para o projeto e a reforma urbana?	2017
08	Matiolli, J. A. C; Manzato, G. G. Silva, A. N. R. da	Resiliência urbana a partir de distâncias de viagens não motorizada emitidas com base na grade estatística	2018
09	Martins, M. C; Silva, A. N. R. da	Estudo hipotético para avaliação preliminar da resiliência na mobilidade urbana	2018
10	Martins, C. da M, Silva, A. N. R. da	Uma estratégia para avaliação da resiliência em mobilidade urbana	2018
11	Florianio, T; Fernandes, V. A.	Análise da resiliência frente a ausência de integração tarifária: o caso do município do Rio de Janeiro-Brasil	2018
12	Leobons, C. M; Campos, V. B. G. Bandeira, R. A. M.	Avaliando a resiliência dos sistemas de transporte urbano: uma proposta de Indicadores	2018
13	Florianio, T. S; Fernandes, V. A. Rothfuss, R.; Hochschild, V.; Silva, M. A. V. da	A resiliência urbana frente à dependência do combustível fóssil: o caso da mobilidade urbana do Rio de Janeiro	2019
14	Leobons, C. M; Campos, V. B. G. Bandeira, R. A. M.	Procedimento para avaliação da resiliência de sistemas de transportes	2019
15	Azolin, L. G; Silva, A. N. R. da	Ampliando a abrangência de uma estratégia de avaliação da resiliência na mobilidade urbana para outros modos e locais	2019
16	Medeiros, C. S.	Vulnerabilidade dos sistemas de transporte em áreas de inundação: uma mudança nos padrões de mobilidade e a busca pela adaptação às alterações climáticas	2019
17	Paiva, M. Schicchi, M. C. S.	O conceito de resiliência urbana: Uma ferramenta para a análise de intervenções recentes no centro histórico de São Paulo	2019



18	Morelli, A. B; Cunha, L. C.	Verificação de vulnerabilidades em redes de transporte: uma abordagem pela teoria dos grafos	2019
19	Morelli, A. B;	Análise exploratória de resiliência em redes viárias urbanas	2019
20	Azolin, L. G; Silva, A. N. R. da	Avaliação preliminar da resiliência na mobilidade urbana decorrente do transporte público	2020
21	Matioli, J. A. C.	Relações entre características espaciais de cidades e a resiliência na mobilidade urbana	2020
22	Santos, T. F.	Procedimento para avaliação da resiliência do sistema de transporte público frente a mudanças econômicas	2020
23	Mairinque, L. de A.	A pandemia por covid-19 e seus impactos na mobilidade urbana: um estudo de caso utilizando análise estatística espacial	2021

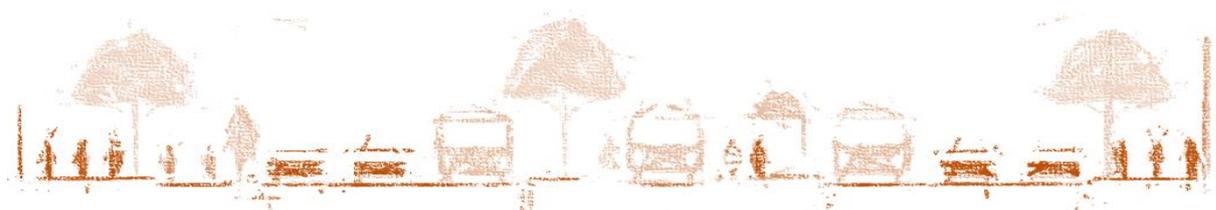
Fonte: Autora (2023)

Essa visão sobre o conceito de vulnerabilidade nos propiciou sair em busca do termo relacionando-o às redes de transporte. Vários foram os resultados, pois ao introduzir o termo transporte, abriu-se uma possibilidade da pesquisa se estender a qualquer tipo de transporte, rodoviário, aéreo, ferroviário, cargas e outros. Mas foi nessa consulta que artigos importantes foram encontrados e foram imprescindíveis para o encaminhamento dessa pesquisa. Todos os artigos e teses brasileiras que foram consultadas para essa tese constam do quadro de artigos, dissertações e teses brasileiras sobre Resiliência.

2.5 CONSIDERAÇÕES

As definições e estudos mostram que a resiliência urbana pode ser útil na reformulação de estratégias para um desenvolvimento mais sustentável das cidades. A resiliência pode ser entendida como um processo por meio do qual uma cidade pode conhecer melhor as suas vulnerabilidades possibilitando assim que em seu planejamento sejam previstas ações que levem o espaço urbano a melhorar sua capacidade adaptativa e transformadora enfrentando os desafios para a manutenção de um equilíbrio socioeconômico

Dados de inúmeros documentos mostram que a maioria das pessoas vivem em cidade e as projeções mostram que no futuro isso será ainda mais evidente. O grau de urbanização, segundo Ribeiro (2008, p.16 e 17) é entendido como o percentual de



população urbana em relação ao total da população. A cada levantamento censitário, o número de pessoas que vivem em área urbana aumenta, bem como o grau de urbanização.

Sabe-se que algumas cidades se localizam em áreas propensas a acidentes naturais ou antrópicos, portanto é necessário contar com a ajuda das pessoas. Zhou, Wang e Yang (2019, p.4272) afirmam que as pessoas exercem um papel muito importante na mitigação, para uma resposta imediata após um desastre. Porque a cidade é um sistema centrado nas pessoas. Isso seria uma maneira de trabalhar de forma colaborativa. É necessário perceber que a resiliência é sempre trabalhada em cenários específicos. Se ela passar a ser entendida como uma propriedade inerente a um sistema, não importa o cenário, o sistema será resiliente.

As estratégias de mitigação para melhorar a capacidade de resistir às vulnerabilidades de um sistema urbano, nem sempre podem ser evitadas. Quando isso não é possível, é momento de pensar em recuperação pós incidente. Existem duas estratégias possíveis: a que tenta ações imediatas e a que busca ações temporárias que aliviam os efeitos do desastre, para que não sejam desencadeadas ações em cascata.

As duas ações têm a possibilidade de recuperar e restaurar o estado original do sistema. Portanto para essa tese a definição de Resiliência que melhor se apresenta é a que trata da capacidade do sistema de manter a sua funcionalidade e para que isso seja possível o sistema em questão tem de ser capaz de resistir, ou de se recuperar, ou de se adaptar, ou de se transformar.

Para esse capítulo a proposta foi a de trazer conhecimentos selecionados acerca da resiliência urbana. Isso foi contemplado a partir de uma revisão bibliográfica que apontou diversos autores e suas definições acerca de resiliência. A cidade é um exemplo de sistema interdependente, afinal para que o seu funcionamento seja eficiente ela depende do funcionamento de vários outros sistemas.

Eficiência é a característica de ser competente, produtivo, de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros ou despesas. As cidades continuarão enfrentando novos e contínuos desafios, entretanto se for possível antever, amenizar ou solucionar os possíveis danos nos sistemas, ela será resiliente.



3 TRANSPORTE, MOBILIDADE E RESILIÊNCIA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Que ações poderiam melhorar as cidades tornando-as resiliente? Fortalecer o papel do estado como provedor de Políticas Públicas focando em priorizar os Direitos Sociais garantidos pela Constituição Federal Brasileira (1988) por certo é um dos caminhos.

Capítulo II, Art. 6º São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição (CF, 1988).

A redação dada pela Emenda Constitucional nº 90, de 2015, acrescenta o transporte como um Direito Social. A inclusão foi motivada pela publicação da Lei 12.587 em janeiro de 2012, que instituiu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana no Brasil, e se tornou um marco regulatório brasileiro, onde o Governo Federal propõe questões alusivas ao trânsito e ao transporte.

Mas transporte e mobilidade são a mesma coisa? Para Balbim (2016) a palavra mobilidade apresenta vários sentidos além de seu sentido original, portanto é considerada um termo polissêmico, o que por vezes é confundida com o conceito de circulação, acessibilidade, trânsito ou transporte.

No entanto, o surgimento do termo mobilidade traz um novo sentido às abordagens relativas ao transporte. Este capítulo contempla o surgimento da palavra mobilidade e como ela veio reafirmar o entendimento do termo transporte, fazendo uma alusão aos modos de deslocamento motorizados, mas acima de tudo evidenciando os modos não motorizados e a maneira como esses deslocamentos são realizados e a importância do sistema viário como elemento essencial para a mobilidade de uma cidade.

3.2 MOBILIDADE EM CONCEITO

O vocábulo mobilidade, etimologicamente é proveniente da língua latina. Do latim *mobilitas.atis*. que significa “o que pode se mover”. A palavra é um substantivo feminino, e é entendida como a qualidade daquilo que se move, do que se consegue



movimentar (MOBILIDADE, 2022). Para Copi (1978) conhecer o significado da palavra evita a ambiguidade na linguagem facilitando assim a sua compreensão. No entanto quando um vocábulo começa a ser mais difundido, ele, e o seu significado tornam-se mais abrangentes.

Wilson (2005, p.14) afirma que “quando lidamos com perguntas sobre conceitos, somos convidados a tomar consciência do significado de nossas palavras”, portanto entender o conceito de mobilidade é importante para que se possa entender como acontece essa mudança de significado, de um simples vocábulo, para um conceito muito mais abrangente. Magalhães (2015, p. viii) afirma que “sem dúvida, há um avanço conceitual em se tratar o tema mobilidade não simplesmente adstrito ao transporte”.

A palavra que nos remete aos primórdios da mobilidade parece ter sido proferida em 1628. Segundo Balbim (2016) foi uma referência à circulação ou movimento do sangue no organismo humano. A partir da generalização dos paradigmas, a palavra circulação passa a ter outros usos e o vocábulo é utilizado nas cidades europeias para se referir à necessidade de circulação do ar e a ventilação no combate à insalubridade, como fonte de purificação.

Assim surgem às primeiras recomendações urbanísticas, que possibilitariam essa situação, como o alargamento das vias das cidades. Essa preocupação com a desinfecção urbana, e a aeração dos centros urbanos e dos lugares públicos, só possibilitou que a palavra circulação fosse utilizada em referência aos deslocamentos humanos, depois do surgimento da medicina moderna e social (BALBIM, 2016).

A circulação de pessoas, mercadorias, do ar, da água, quando passa a ser vista como benéfica, vai suscitar a necessidade de intervenção para melhoria do espaço urbano. Para Balbim (2016) a ideia de circulação só será entendida como um conceito de mobilidade quando o urbanismo passa a ser tido como uma ciência. Isso só dará a acontecerá a partir da necessidade de ampliação do tecido urbano de Barcelona em razão de um crescimento populacional muito rápido que toma proporções extremas.

Calabi (2012) conta que Barcelona, uma cidade medieval, murada, com o crescimento do setor têxtil, vai se industrializando e dos 70 mil habitantes em 1759, passa a 130 mil em 1800, e a 150 mil em 1859, chegando a alcançar uma densidade populacional de 1.700 habitantes por hectare. Enquanto a cidade de Londres apresentava 400 habitantes por hectare e Berlim 200 habitantes.



Nas palavras de Calabi (2012, p.25) “um despacho real, de junho de 1859, impõe a adoção de um plano do Engenheiro Idelfonso Cerdà”, para a expansão do tecido urbano da cidade de Barcelona. Cerdà, formado em Madri pela Real Escuela de Caminos, Canales, Puertos, segue a sua carreira interessado em obras viárias e fornecimento de água. Em 1844 passa um ano na França para estudar o sistema ferroviário. Mais tarde retorna a Paris, em 1856, onde presencia as primeiras alterações da cidade de Paris, promovida pelo plano de Haussmann.

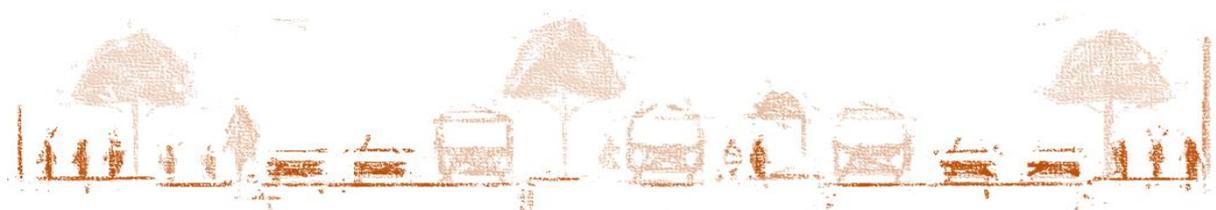
É possível perceber que aí despontava uma predominância da função de circulação na cidade. Ainda não se falava em automóvel, mas o discurso higienista e a ideia de modernidade trouxe mudanças significativas para a malha urbana e várias avenidas e bulevares foram construídas no centro medieval da cidade de Paris. Lara (2016, p.132) assevera que “O automóvel, que ainda não existia quando Haussmann mudava a configuração de Paris, seria brevemente incorporado como máquina preferencial nessa equação”.

Cerdà também em seu plano apresenta propostas utilizando o discurso das questões higienistas, mas a supremacia fica por conta do Sistema Viário, numa preocupação em facilitar as trocas e as relações sociais. “A ciência do Urbanismo que Cerdà propõe é um instrumento de Planejamento Urbano” (CALABI, 2012, p.27). Para Balbim (2016, p. 25) a estruturação em vias fez do Plano de Cerdà o primeiro exemplo efetivo de uma cidade cientificamente planejada para o conjunto dos movimentos.

A ideia do urbanismo como ciência, portanto, vai se consolidar com o Plano de Expansão de Barcelona (Ensanche) e posteriormente com a publicação da Teoría General da la Urbanizacion, 1859.

“Cerdà será o primeiro urbanista no sentido moderno do termo, na medida em que consegue coordenar os aspectos espaciais e físicos com preocupações funcionais, sociológicas, econômicas e administrativas, tratando pela primeira vez a cidade como um organismo complexo e integrador de vários sistemas (LAMAS, 2017, p.216).

O fator incentivador e motivador da criação de um plano urbano onde o sistema viário é o grande protagonista tem, portanto, duas justificativas. A primeira é a necessidade premente de circulação de pessoas e de bens dentro da área urbana restrita. O momento coincidia com a Revolução Industrial, que sugeria que as indústrias fossem



instaladas na área urbana e era para lá que as pessoas se dirigiam em busca de oportunidades e emprego. A segunda justificativa é a própria formação de Cerdà e seu interesse por obras viárias e formas de transporte, indo se especializar na França em sistema ferroviário.

Fazendo uma correlação entre o Plano de Barcelona e a criação do automóvel, Romacheli (2018) afirma que até meados do século XIX a forma de organização das cidades era baseada no deslocamento a pé, no entanto a partir do final do século XIX, com o surgimento dos bondes elétricos, das estradas de ferro e das primeiras linhas de metrô, as cidades passaram a apresentar uma nova dinâmica.

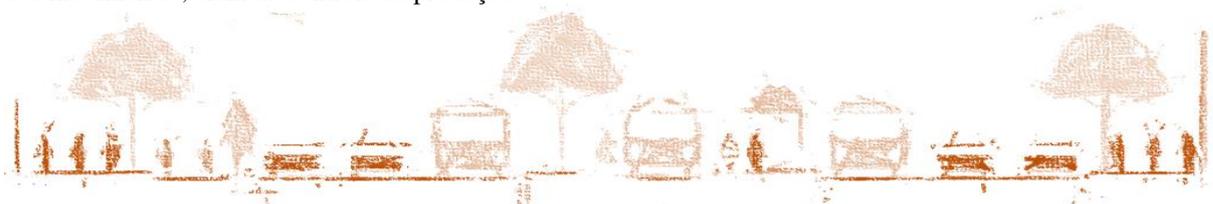
Ainda no final do século XIX, em 1880 Gottlieb Daimler e Carl Benz criam o motor a combustão interna e por volta de 1895, 135 carros são produzidos na Alemanha e 134 na França (DUPUY, 1998). Mas, é sobretudo nos Estados Unidos, que se desenvolve a verdadeira indústria automobilística.

Em outubro de 1908, Henry Ford apresenta oficialmente o automóvel Ford T, considerado o primeiro carro popular da história. Segundo descrição do próprio Ford, o carro era seguro, simples, confiável e barato. No entanto, somente a partir de 1913, baseado nos preceitos de Frederick Taylor sobre a linha de montagem (Taylorismo)², é que Henry Ford aprimora o modelo por meio do controle das fontes de matérias-primas e a produção de peças (Fordismo), e concebe um carro em grande série, produzido a um custo muito baixo.

A princípio o automóvel pouco alterou a vida nas cidades, porque a motorização demora a se consolidar. Porém, à medida que a produção em série passa a ser uma realidade, tornando o automóvel acessível à toda massa da população, a cidade passa a ser reconfigurada e modificações substanciais começam a surgir na estrutura do espaço urbano.

Não apenas pelo automóvel, mas também pelo momento em que a cidade se viu condicionada a uma nova realidade trazida pela Revolução Industrial, pensar a cidade era também aceitar os novos conceitos advindos da ideia de “cidade moderna” e as várias “funções sobrepostas na vida da cidade” classificadas pelo franco-suíço Charles-Édouard

² O Taylorismo é um sistema de gestão do trabalho que tem como premissa aumentar a produção em menor tempo. Se resume em aumentar a produtividade por meio da racionalização da mão de obra e dos movimentos, além do controle da produção.



Jeanneret-Gris, mais conhecido pelo seu pseudônimo Le Corbusier em: habitar, trabalhar, cultivar o corpo e o espírito e **circular** (BENÉVOLO, 2015, p.630).

Quando o automóvel passou a ocupar o espaço nas cidades, a princípio, ele foi rejeitado e essa reação negativa aconteceu em virtude de sua periculosidade e dos acidentes (ROMACHELLI, 2018). Ele, porém, possibilitou maiores deslocamentos, o que contribuiu para o surgimento de inúmeras formas de abastecimento ampliando o raio de ação dos consumidores e passou, assim, a ser um elemento essencial de circulação dentro das cidades. Com isso, o espaço destinado ao pedestre no sistema viário, precisava ser repensado e ampliado trazendo maior segurança.

Na concepção para a realidade da nova cidade do início do século XX, a circulação tradicional deveria ser definida, segundo Benévolo (2015, p. 631), observando-se as características dos diferentes meios de transporte e as outras funções segundo a sua importância: “A rua-corredor, com calçadas para o pedestre e asfalto onde se misturam todo tipo de veículos, deve ser substituída por um sistema de percursos separados para os pedestres, as bicicletas, os veículos lentos e os veículos velozes.” A cidade passa então a ser um espaço de circulação de pessoas, por meio dos mais variados modos possíveis. Assim muitos autores fazem alusão a este novo espaço urbano concebido como lugar de fixos e fluxos.

Para Gondim (2014), por exemplo, a cidade é um espaço de movimento e repouso e exemplifica o seu pensamento através de uma frase de Cerdà:

[...] a vida urbana se compõe de dois elementos essenciais, que englobam todas as funções e todos os atos da vida. O homem repousa, o homem se move: isto é tudo. Não existe senão repouso e movimento [CERDÀ apud GONDIM (2014, p. 11)]

O mesmo pensamento está claro e presente nas obras de Rossi (2001) que afirma que a cidade é formada por áreas fixas e de mobilidade. Para Santos (2008) que afiança que o espaço urbano é formado por fixos e fluxos. E ainda para Villaça (2001) que assevera que os elementos que formam uma cidade apresentam importantes relações espaciais otimizando o uso e ocupação do território com os deslocamentos espaciais, ou seja, define a articulação entre fixos e fluxos.



Mas a palavra mobilidade, dentro do contexto dessa tese, e que representa os fluxos ou o deslocamento no espaço urbano, surge pela primeira vez como uma expressão das ciências sociais na década de 1920. Segundo Kaufmaan (2021) foi nos trabalhos de Pitirim Sorokin, um pesquisador russo que emigrou para os Estados Unidos, que ao lançar um livro, faz alusão à palavra no próprio título do livro “Mobilidade Social”.

Nesse livro Sorokin lançou as bases para a investigação de um dos campos mais importantes da sociologia, que definia a possibilidade de alteração na hierarquia socioprofissional de forma ascendente ou descendente como mobilidade vertical, ou a mudança de status profissional, sem alteração da hierarquia social, definida como mobilidade horizontal.

A Escola de Chicago, também nas décadas de 1920 e 1930, colocou a pesquisa de mobilidade no sistema social da cidade, mostrando quais eram os cidadãos mais hábeis na locomoção dentro de uma cidade: o estrangeiro, o judeu, ou o vagabundo (KAUFMAAN, 2021).

Por outro lado, a preocupação com o deslocamento não parou aí. O surgimento da ciência do trânsito ocorreu em conjunto com o aparecimento do automóvel, entre as décadas de 1910 e 1920 nos Estados Unidos. Kaufmaan (2021, p.2) afirma que: “Tornou-se essencial, com o crescimento dos fluxos de tráfego rodoviário, a necessidade de regulá-los; primeiro desenvolve-se as ferramentas e modelos para simular fluxos, atualmente experimentados pela economia de transporte”.

Esta nova ciência inteiramente dedicada ao movimento pelo espaço geográfico ocorreu em particular em torno do tema do automóvel, que se tornou um objeto central de pesquisa para a ciência do trânsito. Foi desenvolvido pelos engenheiros, um conceito de fluxo para pensar em movimento e esse movimento era sinônimo de transporte, com foco nos modos motorizados.

Existia a ideia de otimizar o fluxo de tráfego para dar fluidez e para isso foram construídas as leis de trânsito. No entanto não se falava em andar a pé ou em modos não motorizados. Esses movimentos estavam ali presentes no espaço urbano, no entanto os técnicos e estudiosos do assunto estavam mais preocupados com a fluidez dos veículos.

Com a criação do automóvel e a necessidade de formar profissionais com habilidades técnicas para conceber uma infraestrutura especificamente voltada ao transporte como vias, pontes, estradas, portos, aeroportos, garantir a operação efetiva e



segurança de bens e pessoas, surge a Engenharia de Transporte, responsável pela manutenção e criação de todo e qualquer sistema de transporte.

Em países como a França, a Espanha, como citado anteriormente, já haviam escolas voltadas especificamente aos estudos técnicos para construção de vias como a escola frequentada por Cerdà em Madri, Real Escuela de Caminos, Canales, Puertos, no século XIX.

Macedo e Sapunaru (2016 *apud* SANTOS et al, 2020) atestam que a área de transporte no Brasil se desenvolveu dentro da Engenharia, de forma a propiciar o desenvolvimento do país. O objetivo era a execução da infraestrutura viária para a formação de núcleos urbanos através de ações militares. O mais comum era a existência de disciplinas isoladas que orientavam o estudante quanto a importância dos Sistemas de Transporte.

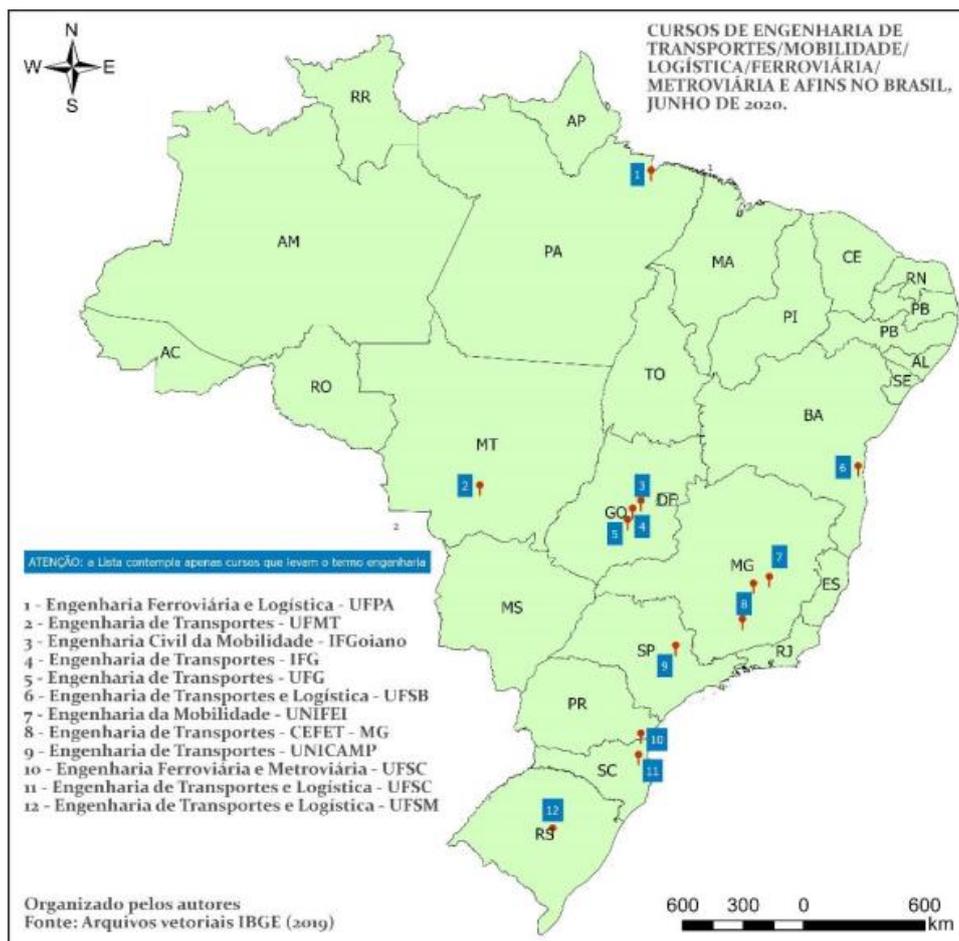
Segundo Castro (2010, *apud* SANTOS et al, 2020) a primeira escola de Engenharia no Brasil data de 1648 – 1650, entretanto os cursos específicos de graduação em Engenharia de Transportes em Universidades Federais no Brasil são muito recentes, e foram instituídos em 2009 (SANTOS et al, 2020). O surgimento se deu em decorrência da importância dos Sistemas de Transporte para a atualidade (SILVA JÚNIOR, 2014, *apud* SANTOS et al, 2020).

Os 13 cursos de Engenharia de Transporte no Brasil, são recentes e a implantação dos primeiros datam de 2009 e pode ser visto na figura 3.1. Em sua grande maioria, são voltados ao estudo da infraestrutura, planejamento, operação e logística do transporte de pessoas e carga (Figura 3.2). Dois desses cursos são voltados para o Transporte Ferroviário (SANTOS et al, 2020). Percebe-se que o foco principal é a infraestrutura voltada para o veículo, o seu planejamento e sua operação. Mesmo um dos cursos mais recente que é a Engenharia Civil da Mobilidade, de 2014, não tem um foco voltado para a Mobilidade de Modos não Motorizados.

Mas em verdade a atenção voltada aos modos não motorizados no Brasil é marcada pela criação da Lei 12.587 de janeiro de 2012, mais conhecida como da Lei da Mobilidade. Esse marco regulatório da mobilidade cria para o Brasil a Política Nacional de Mobilidade Urbana, que traz consigo a obrigatoriedade que os gestores, antes voltados apenas aos modos de transporte motorizados, sejam direcionados aos modos de transporte não motorizados.

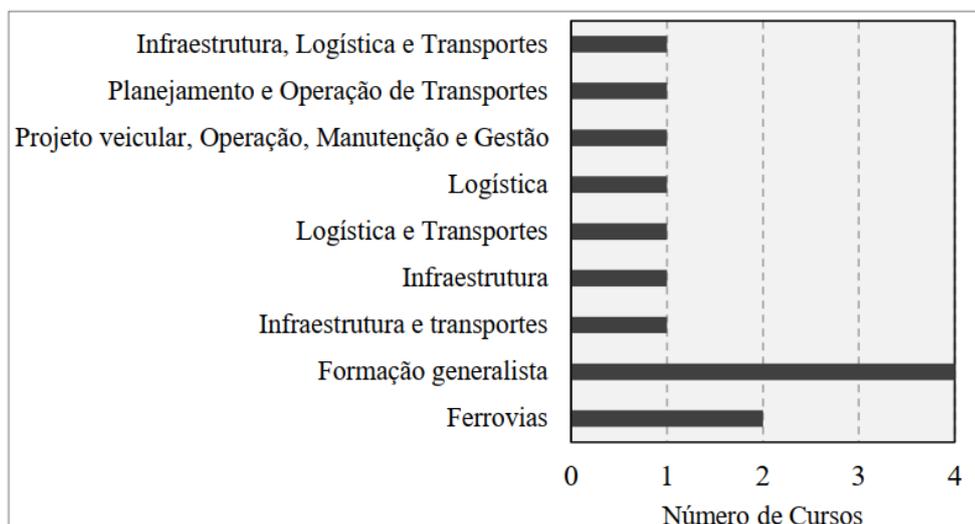


Figura 3.1 – Localização dos cursos em instituições federais no Brasil.

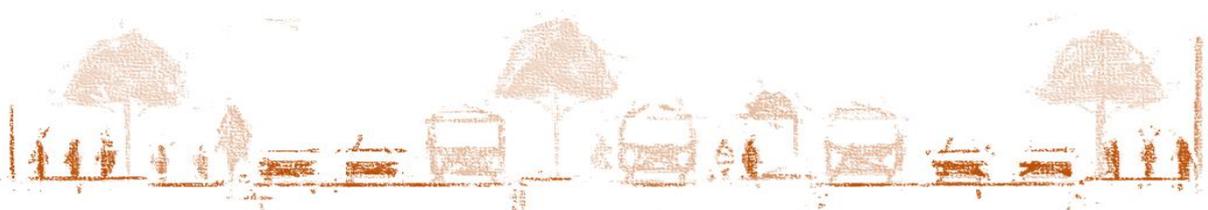


Fonte: Santos et al, 2020.

Figura 3.2 – Área de formação dos cursos de Engenharia de Transporte.



Fonte: Santos et al, 2020.



“essencial olhar para a natureza desse objetivo para entender as forças motrizes e motivações da mobilidade.

Assim nasceu o paradigma da mobilidade que é uma maneira de analisar a sociedade prestando a atenção em como os movimentos desempenham um papel de organizador das relações sociais. Para Kaufmaan (2021) a mobilidade diz respeito a todos os movimentos feitos pelos seres humanos no espaço, assim como levantar a mão, dançar, migrar até pegar um ônibus, tudo isso é mobilidade.

Em uma cidade as pessoas se deslocam no Sistema Viário e para a análise do desse sistema é necessário fazer o mapear a malha viária da cidade, pois ela é um importante indicador da qualidade dos deslocamentos. A identificação de centralidades é outro aspecto importante para o estudo da rede viária, pois é na centralidade que a maior parte dos deslocamentos acontece. As centralidades são espaços urbanos que se assemelham ao centro tradicional de uma cidade.

A estrutura espacial das cidades possui uma forte ligação com o centro tradicional. As cidades cujos surgimentos se deram de forma espontânea, sem um eixo estruturador para seu desenvolvimento, apresentam uma gama considerável de moradias em seus centros, além da tendência expressiva de concentração de bens e serviços. Isto assegura que a articulação de todo o fluxo de veículos e pedestre ocorra em direção ao centro da cidade.

Cidades maiores, antes mononucleadas, passam então a apresentarem subcentros urbanos. Nesse sentido, em muitos casos, o sistema viário, ao se formar, não consegue acompanhar esta nova estruturação do território (KNEIB, 2014a). Colby (1958) foi um dos primeiros geógrafos a apresentar estudos sobre a descentralização das cidades.

Colby, corroborado por Corrêa (1995) e McMillen (2001), acredita que as cidades monocêntricas não representam mais a estrutura urbana das cidades contemporâneas. Portanto, a identificação de subcentros ou centralidades, ou seja, locais que se assemelham ao centro principal, seria a forma mais adequada de tentar entender como as atuais estruturas urbanas das cidades se organizam (MENDONÇA, 2016).

Existe uma relação intrínseca entre as formas de deslocamento e a estrutura urbana das cidades. O espaço urbano se estrutura a partir das centralidades mais significativas, pois estas refletem as alterações dinâmicas das atividades socioeconômicas da cidade. Somado a isto, é necessário buscar a adequação das formas de deslocamento,



de forma a verificar se a rede viária é suficiente para atender às demandas da estrutura urbana da cidade, que foi se alterando com o decorrer do tempo.

Em uma cidade, existem outros locais que se assemelham ao centro principal, os quais também precisam estar servidos de acessibilidade e dispor de formas de deslocamento. A identificação de centralidades é um processo que possibilita estabelecer esses locais, e pressupõe uma forma de planejamento para a mobilidade urbana devido à relação de proximidade entre o transporte e o uso e ocupação do solo. Nesse trabalho será utilizada uma estratégia para identificação das centralidades das cidades a serem estudadas que está detalhada na metodologia.

3.4 MOBILIDADE E RESILIÊNCIA

Usar o termo Sistemas de Mobilidade Urbana é falar da mobilidade de uma forma mais abrangente. É compreender como as pessoas podem se deslocar dentro da cidade. O Sistema de Mobilidade pode ser visto como um sistema sociotécnico. Por exemplo podem ser comparados aos sistemas ecológicos. Num ecossistema, dependendo do tipo de ambiente, comparado aqui a diferentes cidades, distintas estratégias poderão ser adotadas para a sua compreensão. Holling quando estudou os sistemas ecológicos, em 1973, atribuiu a eles a qualidade da resiliência.

Estudar o Sistema de Mobilidade como sistema sociotécnico, é permitir avaliar a resiliência desse sistema. A infraestrutura urbana faz parte do Sistema de Mobilidade de uma cidade, que tem por finalidade atender às necessidades individuais e coletivas da sociedade. O sistema viário é parte integrante da infraestrutura urbana. A partir daí percebe-se, que vários são os sistemas que estão interligados entre si e o sistema viário é um deles.

O funcionamento das cidades é dependente de uma série de sistemas. Sistema de abastecimento de água, sistemas de comunicação, sistemas elétricos, sistemas de transporte e outros sistemas. Eles trabalham de forma interdependentes fornecendo produtos e serviços essenciais à vida cotidiana. Entretanto, estes sistemas são vulneráveis e estão sujeitos a interrupções, sejam elas causadas por desastres ou mesmo interrupções antrópicas.



O Sistema de Mobilidade está entre os sistemas de infraestrutura urbana, mais suscetíveis a desastres como furações e terremotos. Zhou, Wang e Yang (2019) apontam que eventos como o terremoto do Chile, em 2010, o terremoto acompanhado do Tsunami em Tohoku, em 2011, o furacão Irene, em 2011, assim como o furacão Sandy, em 2012, que trouxeram danos econômicos significativos ao sistema viário e o transporte de Nova York, que atingiram a cifras 7,5 bilhões de dólares.

Ocorrências como essas não são muito comuns no Brasil, pois o país apresenta uma baixa ocorrência de desastres naturais como tsunamis e terremotos. Mas deslizamentos por excesso de chuvas e eventos antrópicos também são responsáveis por paralizações no sistema viário, assim como nos transportes. O exemplo do rompimento da barragem de Brumadinho é um desses eventos, que interrompeu vias e paralisou transporte, levando à necessidade de criação de um sistema de “logística humanitária” para socorrer os feridos. Esse evento deixou claro que o Brasil é um país despreparado para situações extremas.

O conceito de resiliência tem sido utilizado nos estudos relativos aos sistemas mobilidade quando este está exposto a algum tipo de evento, seja ele um evento do dia a dia ou mesmo desastres naturais raros. Acredita-se que um sistema resiliente reúna as características que torna possível enfrentar interrupções inevitáveis, mesmo que para isso ele tenha de reduzir seu desempenho para enfrenta-lo. Portanto, um sistema robusto, confiável e flexível seria capaz de absorver as interrupções e manter suas funções (ZHOU; WANG; YANG, 2019).

O conceito de resiliência sob os mais diversos olhares, é aqui tratado, especificamente em relação à mobilidade, e nesta ótica, embora tratado de forma diversa da resiliência urbana, mantém a mesma ideia de que é a capacidade de um sistema de retornar a sua condição normal após interrupções que alteram o seu estado. “A capacidade de um sistema de reduzir com eficiência a magnitude e a duração do desvio dos níveis de desempenho projetados é a conotação mais significativa de resiliência” (ZHOU; WANG; YANG, 2019, p. 4262 *apud* CHOPRA *et al.*, 2016).

A primeira definição de resiliência em sistemas sociotécnicos foi de Holling em 1973. Ele estudou a persistência de sistemas ecológicos e a relação entre as espécies quando estas enfrentavam distúrbios provocados pelo homem (resíduos domésticos, industriais) e a isso deu o nome de resiliência. Posteriormente Holling (1986; 1992)



apresentou mais duas definições de resiliência. Estas falavam de sistemas ecológicos suportarem os distúrbios sem alterarem seu estado (ADJETEY-BAHUN et al, 2016, p. 2).

O conceito para sistemas sociotécnicos, evoluiu bastante e foi adaptado para outros campos. Uma das definições mais citadas é a de Bruneau et al (2016) que define a resiliência como a capacidade de um sistema de reduzir as probabilidades de falha; as consequências de falhas, as consequências sociais; e o tempo de recuperação.

Bruneau et al (2016) aponta a possibilidade de agir sobre o sistema antes de ocorrer o distúrbio e a capacidade do sistema de voltar ao estado normal. Estes aspectos não constavam das definições de resiliência de Holling, o que inclui a capacidade do sistema de atuar durante o distúrbio.

“Bruneau et al (apud ADJETEY-BAHUN et al, 2016, p. 2) propõem uma visão conceitual da resiliência do sistema que consiste em avaliar a evolução do desempenho do sistema ao longo do tempo” e apresenta quatro propriedades para que um sistema seja resiliente: robustez, redundância, desenvoltura e rapidez (quadro 3.1), ao qual deu o nome de “R4 framework”: robustness, redundancy, resourcefulness, rapidity (TIERNEY e BRUNEAU, 2007).

Quadro 3.1 – Propriedades de um sistema resiliente

Resiliência	Capacidade de:
Robustez (<i>Robustness</i>)	evitar ou mitigar consequência de perturbações evitando perda de desempenho (a capacidade de suportar o nível de um dado estresse, sem sofrer degradação ou perda de função)
Redundância (<i>Redundancy</i>)	continuar operando mesmo com funções que sofreram falhas.
Desenvoltura (<i>Resourcefulness</i>)	detectar e analisar os distúrbios visando a identificação de medidas capazes de superar as perturbações.
Rapidez (<i>Rapidity</i>)	recuperar rapidamente o nível desempenho ou uma performance aceitável

Fonte: Bruneau et al 2003 apud ADJETEY-BAHUN et al, 2016, p.2) adaptado pela autora, 2021.



Para Adjetey-Bahun et al (2016) estas são características difíceis de quantificar quando se trata de mobilidade. Considera-se ainda que, o estudo da resiliência, quando são observadas as várias características simultaneamente, é raro na literatura. Importante esclarecer que o trabalho de Adjetey-Bahun et al (2016) com o objetivo de quantificar a resiliência foi relativo a um sistema ferroviário que apresenta um perfil muito distinto do sistema de mobilidade urbana brasileira.

Relativo ainda a Sistemas sócio-técnicos, Adjetey-Bahun et al (2016) apresenta outros autores que definem resiliência. Para Berkeley et al, (2010, apud ADJETEY-BAHUN, 2016) robustez é o mesmo que robustez e redundância de Bruneau et al. Ele define um sistema resiliente também em quatro características: robustez, engenho, velocidade e adaptabilidade.

Steen e Aven (2011) consideram que resiliência deve caracterizar o estado geral do sistema diante de todas as perturbações e sua definição reflete apenas a capacidade do sistema de atenuar as consequências do evento perturbador, não focando na recuperação do sistema para um estado aceitável. Por fim Haimes (2009) define resiliência como a capacidade do sistema de suportar o evento danoso e de se resuperar dentro de prazo e custos aceitáveis, reduzindo os seus riscos.

Percebe-se que as definições de resiliência em sistemas sócio-técnicos são diversas e apresentam diferentes significados, como na revisão sobre resiliência urbana. A resiliência em sistemas de mobilidade não é muito diferente. Assim como Holling (1973) e Bruneau et al (2007) são referências na definição de resiliência para sistemas sócio-técnicos, Berdica (2002) é referência no estudo de vulnerabilidade em sistemas de transporte, considerando parâmetros que se relacionam com a resiliência em transportes.

Estas definições evoluíram a longo do tempo. Para delinear a resiliência em sistemas de mobilidade, será utilizado o estudo de Zhou, Wang e Yang (2019, p. 4265) que apresentam uma revisão de literatura recente e completa a partir de 2006, realizada em periódicos de referência e que vai além da vulnerabilidade.

Murray-Tuite (2006) é uma referência em estudos de resiliência em mobilidade considerou que considerou que a resiliência tem dez dimensões: redundância, diversidade, eficiência, componentes autônomos, força, colaboração, adaptabilidade, mobilidade, segurança e a capacidade de se recuperar rapidamente. Para Zhou, Wang e Yang (2019)



esta quantidade de dimensões são complexas e interrelacionadas o que torna difícil a obtenção de uma métrica abrangente.

3.5 CONSIDERAÇÕES

As principais definições de resiliência, consideradas mais relevantes por Zhou, Wang e Yang (2019) avaliam a resiliência a partir das perspectivas da capacidade de manter a funcionalidade sob interrupções, tempo e recursos necessários para restaurar o nível de desempenho após interrupções.

As definições de resiliência apresentadas para a Mobilidade são abrangentes. Embora a realidade dos sistemas de mobilidade brasileiros seja diferente dos sistemas de mobilidade de países europeus ou norte-americanos, é possível uma adaptação à realidade brasileira.

Sabe-se que no Brasil, entre os estados, entre as capitais e mesmo entre as metrópoles os sistemas de mobilidades são muito distintos. E ainda fora do Brasil, os países estão sujeitos a eventos muito nocivos como terremotos, tsunamis e furações, enquanto na realidade brasileira os maiores problemas são os fatores antrópicos

Os sistemas de transporte brasileiro são vulneráveis às gestões ineficazes, a falta de manutenção do sistema, falta de recursos para investimentos em melhoria e alto custo da tarifa, baixa cobertura da rede, falta de comunicação entre órgão e vários outros, embora tenhamos também a situação de fatores naturais e eventuais que afetam a mobilidade. A definição e identificação de parâmetros de resiliência para o sistema de transporte brasileiro, que na maioria das vezes passa pela negligência dos gestores, pode possibilitar a sua melhoria.



4. SISTEMA VIÁRIO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O sistema viário é o mais caro do conjunto de sistemas urbanos pois abrange um percentual de 50% do custo total da urbanização. É importante entender que o sistema viário é o conjunto que corresponde a calçada, local destinado ao trânsito de pedestres, e o leito carroçável, parte destinada ao trânsito de veículos (MASCARÓ E YOSHINAGA (2013). Embora a nomenclatura “leito carroçável” possa parecer um tanto ultrapassada, pois faz referência à circulação de carroças, o termo aqui é utilizado apenas para definir o espaço onde circula o modo motorizado e calçada, onde circula o pedestre.

O Sistema Viário de um município e suas redes de transportes promovem transformações de ordem socioeconômica, política e cultural, pois permitem a circulação de pessoas, de informações, de mercadorias e de serviços (SANTANA et al., 2016), caracterizando-se como uma das mais importantes infraestruturas urbanas para o desenvolvimento da cidade.

A qualidade dos deslocamentos das pessoas, que depende das características do sistema viário e das diferentes formas de transporte, é um fator relevante para caracterizar a qualidade de vida de uma cidade (KNEIB, 2008). Para Santos (2000), a qualidade e a eficiência de uma rede viária podem ser verificadas através de uma série de fatores ligados à disponibilidade de formas de locomoção.

Santos (2000) elenca alguns itens que são determinantes para a eficiência e para a qualidade das viagens. Dentre estes atributos, dois são os que melhor traduzem especialmente a qualidade dos deslocamentos em uma cidade: a acessibilidade e a disponibilidade de diferentes formas de se movimentar.

A acessibilidade, que é entendida como a facilidade de locomoção, normalmente, pressupõem facilidade de deslocamento de pessoas. No entanto essa tese não trata desse aspecto, mas sim dos modos motorizados e de como esse deslocamento, quando feito de forma correta, observando-se a velocidade definida para cada tipo de via, pode refletir em maior segurança para as pessoas.

Deslocar-se no espaço urbano pressupõe lugares diferentes para modos também diferentes. Esse espaço que constitui uma das estruturas territoriais mais importantes da



área urbana tem a competência de viabilizar o funcionamento da cidade. Ele pode ser definido como o “conjunto de infraestrutura física que compõe a malha definida e hierarquizada, necessária à circulação, estruturação e operação do sistema de transporte” (D.F., 2015).

Para tanto a classificação de vias e ruas, segundo a função que exercem dentro do sistema viário, representa o passo inicial do processo de planejamento, já que visa estabelecer uma hierarquia de vias para atendimento dos deslocamentos dentro da área urbana. [...] (BRASIL, 2010, p.43).

Analisar o Sistema Viário de uma cidade não é algo simples. Existem inúmeras variáveis que condicionam esta análise. É preciso, portanto, estabelecer uma metodologia que requer um esforço na tentativa de elencar critérios que devem ser levados em consideração. A primeira característica que deve ser levada em consideração é que se as cidades podem ser planejadas ou podem surgir de forma espontânea, esse é motivo suficiente para perceber que o tecido urbano destas cidades será muito diferente.

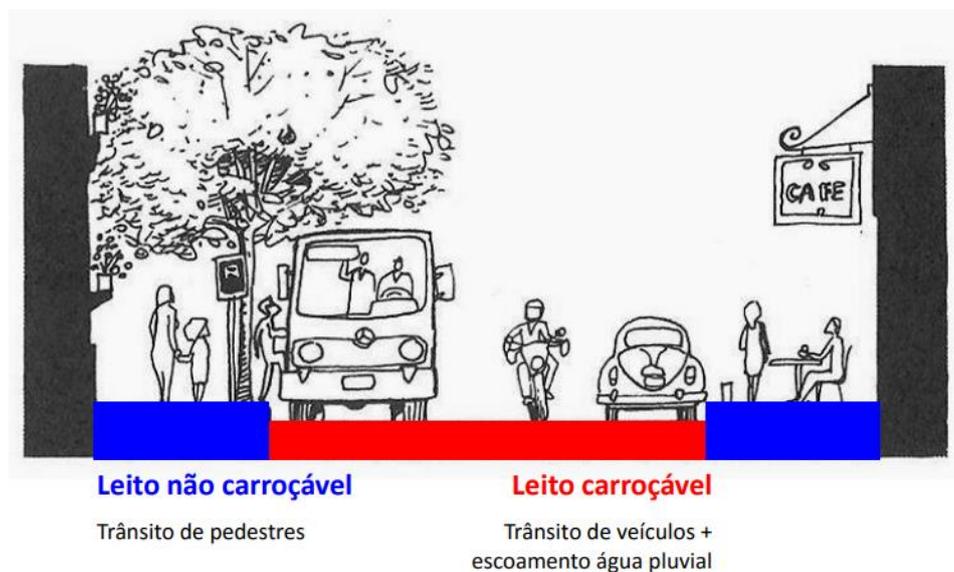
4.2 DIMENSÃO E HIERARQUIA DO SISTEMA VIÁRIO

Dá-se o nome de Sistema Viário ao conjunto de ruas de uma cidade. Rua é a unidade básica do espaço urbano por meio do qual as pessoas vivenciam a cidade. De acordo com o Dicionário Aurélio, rua é uma “via pública para circulação urbana, total ou parcialmente ladeada de casas”, enquanto avenida é uma “via urbana mais larga do que a rua, em geral com diversas pistas para circulação de veículos”. É interpretado de forma equivocada quando é entendido como espaço bidimensional por onde passam os automóveis deslocando-se de um lugar a outro (GUIA GLOBAL DE DESENHO DE RUAS, p. 4).

As ruas são espaços de múltiplas funções e de várias dimensões e a sua largura engloba a face de uma propriedade até a face da outra, assim como as quatro estruturas que a compõem: calçadas, meio fio, sarjeta e leito carroçável (por onde passam os veículos) (Figura 4.1 e 4.2). As cidades devem garantir que suas ruas sejam espaços que promovam a equidade em seu uso, tanto de pessoas, como dos transportes.

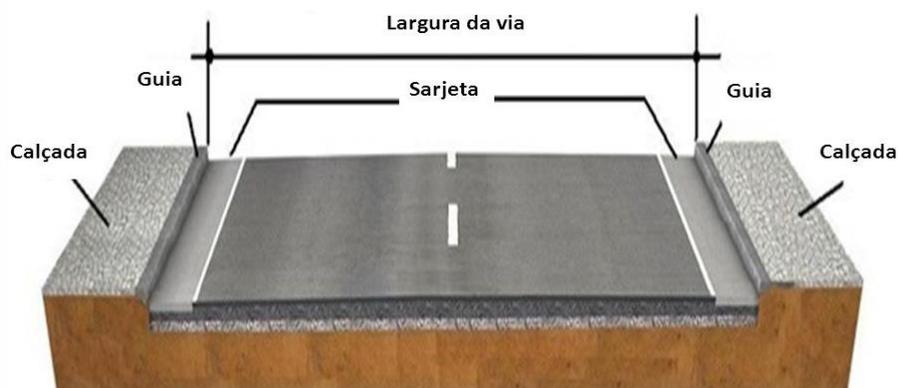


Figura 4.1 – Sistema Viário Urbano.



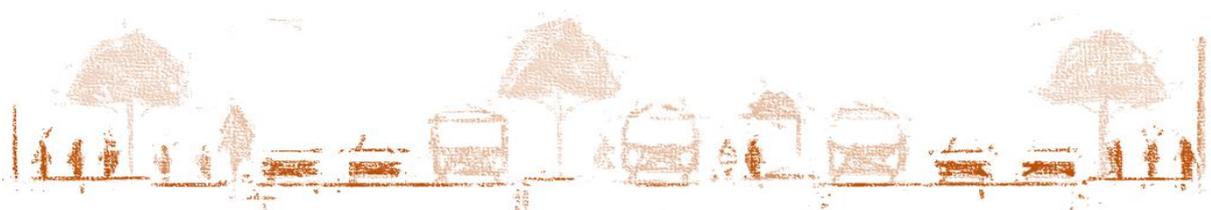
Fonte: <https://www.ufjf.br/> (2011)

Figura 4.2 – Estruturas que compõem o Sistema Viário Urbano.



Fonte: <https://www.ufjf.br/> (2011)

A Hierarquia Viária é uma forma de ordenar a cidade e a sua expansão de forma planejada, estabelecendo quais são as mais importantes, quais as vias mais ou menos largas, as vias mais solicitadas, dependendo do fluxo de tráfego que cada uma delas apresenta. A hierarquia viária visa definir as funções que cada via exerce e como elas interagem entre si. Definir as funções da via pode auxiliar o Poder Público a estabelecer restrições de tráfego e a mitigar diferentes conflitos entre as várias formas de deslocamento.



O Código de Trânsito Brasileiro – CTB (2005) estabelece em seu Art. 60 que as vias de circulação se classificam em Vias Urbanas e Vias Rurais. As vias urbanas vão se dividir em: vias de trânsito rápido, vias arteriais, vias coletoras e vias locais. O Anexo I do CTB (2005) é onde estão os conceitos e definições e apresenta o seguinte texto para os conceitos:

Via Urbana - ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificados ao longo de sua extensão.

Via de trânsito rápido - aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.

Via arterial - aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.

Via coletora - aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.

Via local - aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

A classificação funcional pode sofrer variações de acordo com o planejamento, e o porte da cidade. O desenho da via também pode sugerir classificações um pouco diferentes. Por exemplo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT (2010) apresenta uma classificação com variações em relação a apresentada no CTB.

No Manual de Projetos Geométricos e Travessias Urbanas o DNIT (2010) sugere que a Via de Trânsito Rápido, por exemplo, seja chamada de Via Arterial Principal e a Via Arterial poderá ser classificada como Via Arterial Secundária. A exemplo dessa alteração as Vias Coletoras também podem ser divididas em Via Coletora Principal e Via Coletora Secundária.

Para exemplificar a figura 4.3 traz a classificação funcional das vias da cidade de Araucária – PR que utilizada a classificação do DNIT.



Figura 4.3 – Classificação Funcional ou Hierarquia Viária.

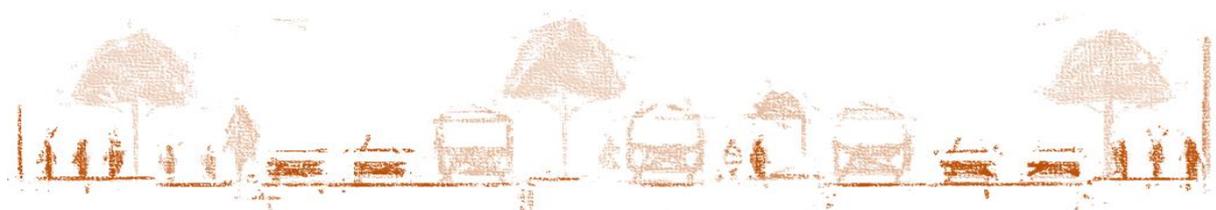


Fonte: <https://paranainterativo.pr.gov.br>

O DNIT (2010) assevera que a classificação funcional das vias urbanas deve ser baseada nos desejos de deslocamento da população. As quantidades de deslocamentos permitem a estruturação em termos de importância, conforme o tipo de serviço que oferecem e a função que exercem, para isso as viagens devem ser canalizadas de forma lógica e eficiente dentro da rede viária (BRASIL, 2010).

Se em uma rede viária houver uma obstrução por qualquer motivo, impedindo o deslocamento do fluxo, o ideal é que essa rede tenha vias que possam absorver e suportar o fluxo, exercendo o mesmo papel da via que foi obstruída, não trazendo assim prejuízos como paralizações, congestionamentos ou atrasos para os veículos dos sistemas de transporte que utilizam a via. Caso haja essa possibilidade sem prejuízos para o fluxo de tráfego, pode-se dizer que o sistema viário da cidade é resiliente.

Para analisar o sistema viário de uma cidade é necessário estabelecer a hierarquia para que seja possível a sua identificação na centralidade definida. Para Spirn (1995) “eficiência do movimento é o objetivo das vias expressas e arteriais; o acesso e a qualidade do ambiente devem ter precedência em ruas coletoras e locais” (SPIRN, 1995



apud Gondim, 2010). Portanto o que se pretende nessa tese é que, sob o prisma da eficiência, verificar se há disponibilidade de vias para o desvio do tráfego nas centralidades definidas na pesquisa realizada nas cidades estudadas.

Se a classificação ou hierarquia viária não estiver disponível no Plano Diretor, é possível estabelecê-la por meio das seguintes características: dimensão, fluxo de tráfego e uso e ocupação do solo. O uso desses dados vai depender da disponibilidade em cada cidade. Para essa tese serão utilizadas as dimensões das vias. E para definir a hierarquia serão utilizadas as informações do Caderno de Desenho – CICLOVIAS (GONDIM, 2020).

Gondim (2010, p. 32) estabelece larguras mínimas, recomendáveis e máximas para as faixas de tráfego das vias, segundo a sua categoria, visando orientar as dimensões adequadas para se estabelecer a hierarquia viária (quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Largura da faixa de tráfego acordo com a hierarquia.

Tipo de Via	Largura Mínima (m)	Largura Recomendada (m)	Largura Máxima (m)
Local	2.70	2.85	3.00
Coletora	3.00	3.30	3.45
Arterial	3.30	3.45	3.60
Expressa	3.60	3.75	3.90

Fonte: Gondim (2010).

No entanto, Gondim (2010) assevera que é admissível faixas mais reduzidas de 2,70 em vias arteriais e coletoras nas faixas do meio e a esquerda, entretanto afirma que as larguras “recomendadas” são consideradas as mais adequadas para a maior parte das vias urbanas e apresenta um quadro dessas dimensões (Quadro 4.2)

Quadro 4.2 – Largura recomendada para faixa de tráfego.

Posicionamento da Faixa	Largura Mínima (m)	Largura Recomendada (m)	Largura Máxima (m)
Lado direito	3.00	3.30	3.90
Central	2.70	3.30	3.90
Lado esquerdo	2.70	3.30	3.90
Estacionamento paralelo	2.25	2.40	2.55

Fonte: Gondim (2010).

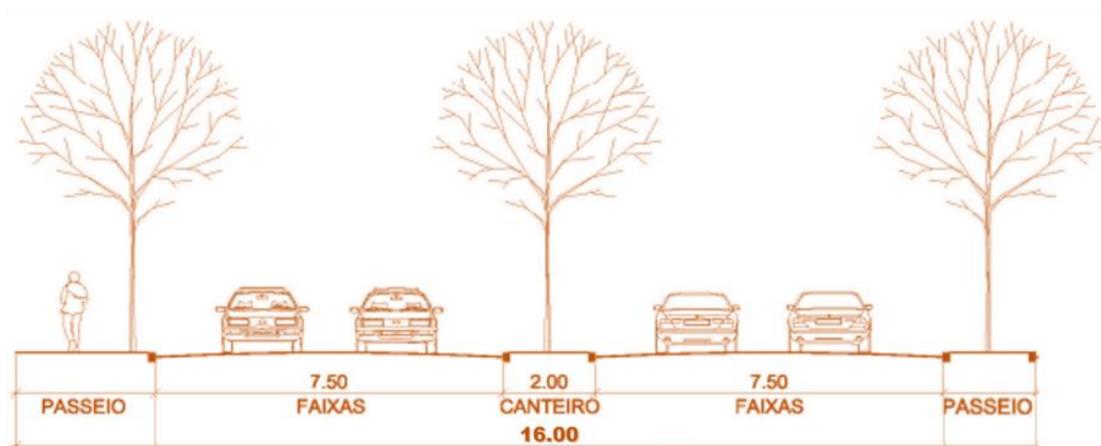


É importante conhecer as dimensões adequadas, porque à medida que as cidades vão crescendo e se desenvolvendo, é necessário que as medidas recomendadas sejam utilizadas na hora de se estabelecer os critérios para os novos parcelamentos ou novos empreendimentos, pois o número de veículos vem aumentando sobremaneira e os espaços de circulação precisam corresponder à nova realidade da cidade. Por isso é necessária uma análise do espaço urbano para se estabelecer a hierarquia de vias, pois em cidades de pequeno e médio porte, que não tiveram seus espaços urbanos planejados, as vias podem apresentar dimensões ainda menores.

Nessa tese, as cidades nas quais será aplicado o método para definir a hierarquia, são de pequeno porte, com população de aproximadamente 50 mil habitantes, e a implantação delas não foi planejada. As cidades cresceram de forma espontânea. Embora tenham número de habitantes semelhantes, apresentam características muito diferentes. A descrição das cidades é parte integrante dos capítulos 6 e 7, para isso será estabelecido um perfil viário único para classificação de forma a atender o perfil das duas cidades (Figura 4.4 e 4.5). Para a identificação utilizando-se da dimensão, centralidade, e caso possuam, uso e ocupação do solo e fluxo de veículos. Para isso serão utilizados os seguintes perfis viários que foram estabelecidos conforme o viário das cidades:

Figura 4.4 – Dimensões para via arterial.

VIAS ARTERAIS



Fonte: Prefeitura Municipal de Canoas adaptado (2010).

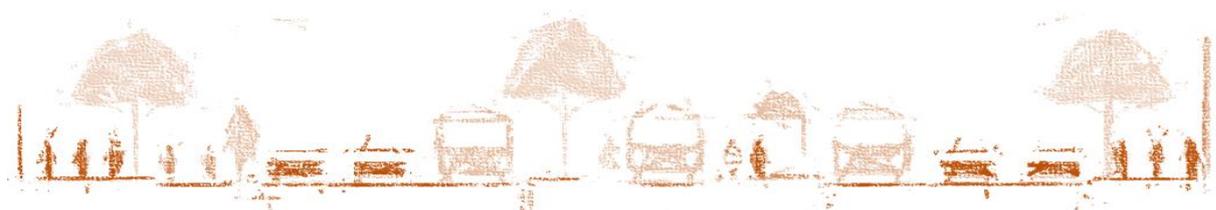
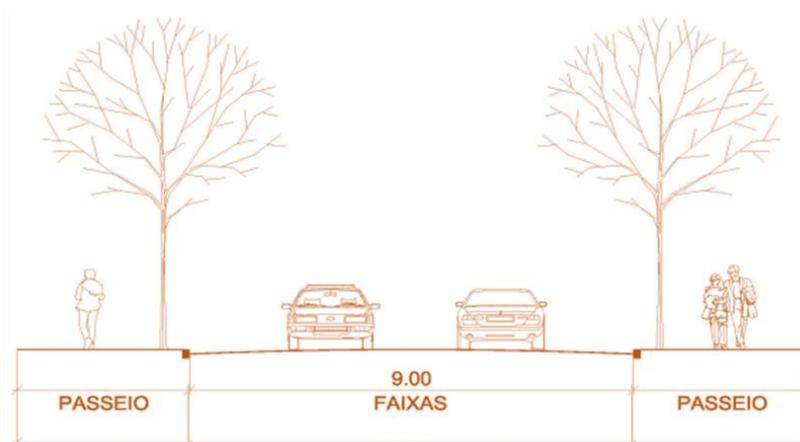


Figura 4.5 – Dimensões para via coletora.

VIAS COLETORAS



Fonte: Prefeitura Municipal de Canoas adaptado (2010).

Para as vias arteriais será estabelecido a medida do leito carroçável de $\geq 16\text{m}$. Em razão da referência ser de duas cidades diferentes, estabeleceu-se uma média de valores baseado nas teorias apresentadas por Gondim (2010) e na realidade das cidades. A dimensão das calçadas ou passeios não foram demarcadas porque não serão observadas essas medidas para avaliação da hierarquia. As calçadas, normalmente, têm dimensões diferentes de acordo com o ano em que surgiram e podem apresentar grandes variações.

Para as vias classificadas como coletoras será estabelecido a dimensão do leito carroçável no intervalo entre $< 16\text{m}$ e $\geq 9\text{m}$. Vias com dimensões inferiores a 9m serão consideradas vias locais. Para a hierarquização poderá ser utilizado um software GIS que automatiza a classificação a partir de inserção de dados na tabela de atributos. O procedimento está descrito no capítulo 5, metodologia.

Sendo a Mobilidade o grau de facilidade de deslocar-se e a Acessibilidade o grau de facilidade que a via oferece para conectar a origem de uma viagem com seu destino, segundo definição do DNIT (BRASIL, 2010), com o intuito de permitir a mobilidade e acessibilidade, assim será estabelecida a classificação funcional da via. O DNIT apresenta no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas um gráfico da relação entre os níveis de Acessibilidade e Mobilidade (Figura 4.6).

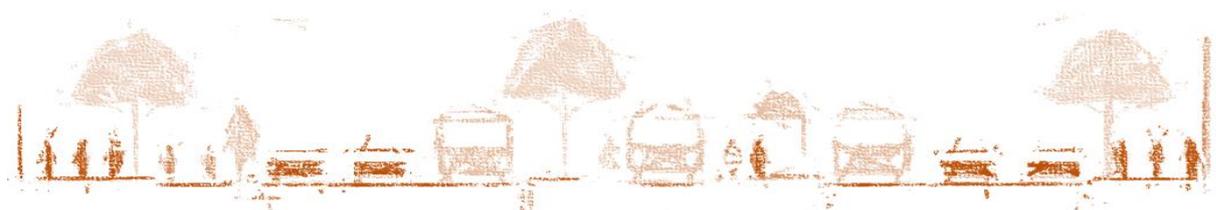
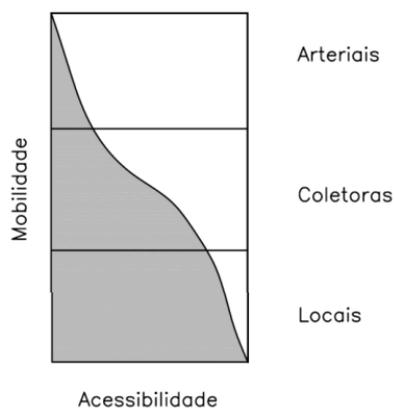


Figura 4.6 – Relação de acessibilidade e mobilidade para as diferentes vias



Fonte: BRASIL (2010).

“A velocidade é o fator mais importante na segurança de uma rua e é diretamente proporcional ao risco de fatalidade com pedestres em caso de colisão” (NACTO, p.10, 2016). Mas proporcionar o uso eficiente e seguro do sistema viário para a locomoção de pessoas e bens, não é algo fácil, porque um sistema viário inseguro não é um sistema viário eficiente. Para uma operação viária eficiente é necessário um conjunto complexo de atuações de forma a estabelecer fluidez do trânsito, capacidade viária, segurança viária, economia nos deslocamentos e combate às externalidades.

É importante entender que a referência à fluidez, que pode, numa visão inicial, representar velocidade, aqui está associada a ideia de capacidade de tráfego e velocidade adequada de acordo com a capacidade da via (USP, 2020). A figura 4.7 mostra a velocidade ideal de acordo com a hierarquia das vias.

Figura 4.7 – Velocidade de tráfego em vias urbanas.



Fonte: CTB (1997).



As referências ao DNIT, CTB podem dar margem a interpretações de que estes parâmetros estão ultrapassados, já que o CTB é de 1997, e que os primeiros Manuais de Projeto Geométricos de Vias datam de 1999, tempo que DNIT era nomeado DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Também pode aventado que o DNIT é um órgão que trata de rodovias e não de vias urbanas, mas as referências aqui utilizadas são as vias urbanas

A que se considerar que, esta tese se propõe a trazer reflexões e contribuições que possam auxiliar na incrementação de Políticas de Mobilidade para a cidade, e que as leis são os parâmetros de referência para nortear estas ações. No entanto é importante fazer aqui um adendo. Embora estas leis e manuais sejam as recomendações, já existe referência mais recente que a Lei da Mobilidade, nº 12.587 de janeiro de 2012. Esta que se tornou o marco regulatório brasileiro da Política Nacional de Mobilidade Urbana e que em alguns aspectos diverge das leis mais antigas, traz novos conceitos que poderiam ser revistos e considerados para a atualização do CTB e Manuais do DNIT.

4.3 SISTEMA VIÁRIO E GRAFO

As variações no fluxo de tráfego podem interferir nas regras de funcionamento do sistema viário e induzirem a novas conexões, trazendo assim uma nova forma de tecer a rede de vias. O sistema pode se adaptar às novas condições de fluxo ou criar novas possibilidade de maneira a facilitar os deslocamentos. Para pensar a relação entre a rede e o território é importante perceber que os elementos que se interrelacionam estão sujeitos a ações antrópicas ou mesmo ações de intempereis que podem obstruir trechos dessa rede.

É fato que a rede é um elemento que traz uma grande possibilidade de relação consigo e com o território. Para facilitar o estudo da rede viária pode-se transformá-la em um grafo. Segundo Taylor (2004), as redes por onde circulam os transportes são as que exercem a maior influência em um território, e os estudos que norteiam a análise estrutural de uma rede têm foco principal nos seus elementos componentes que são os arcos e nós.

Em 1736, Leonard Euler fundamentou a Teoria dos Grafos, e este fato é um marco histórico para o estudo das redes. A Teoria dos Grafos é um ramo da matemática que se utiliza de modelos (os grafos) para estudar as relações entre os objetos de um conjunto. A palavra “grafo” é um neologismo derivado da palavra graph em inglês e foi usada, pela

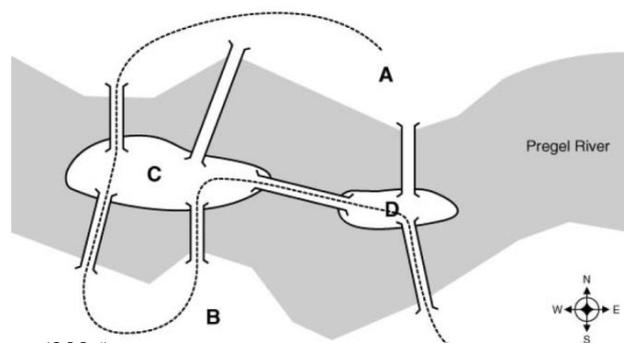


primeira vez, pelo matemático inglês James Joseph Sylvester (1814-1897) (FEOFILOFF, KOHAYAKAWA, WAKABAYASHI, 2011).

A teoria surgiu com os trabalhos de Leonard Euler, Gustav Kirchhoff e Arthur Cayley para resolver um problema sobre as pontes de Königsberg da Prússia, atual cidade de Kaliningrado na Rússia. Esse foi o primeiro e talvez o mais famoso problema a ser resolvido por Euler em 1736, e é visto como o primeiro resultado formal de Teoria dos Grafos (NETTO, 2006).

Kaliningrado é uma cidade na Rússia que é cortada pelo Rio Pregel. Este rio divide a cidade criando ilhas. O problema consistia em determinar se é possível ou não fazer um passeio começando e terminando no mesmo lugar, cruzando cada ponte exatamente uma única vez. Ninguém foi capaz de encontrar um caminho que satisfizesse o quebra-cabeças até que uma nova ponte fosse construída em 1875. Entretanto, quase 150 anos antes da construção da nova ponte, em 1736, Euler ofereceu uma prova matemática dizendo que não existia um caminho que passasse por todas as sete pontes de uma única vez (Figura 4.8).

Figura 4.8 – Esquema de pontes de Kaliningrado sobre o rio Pregel

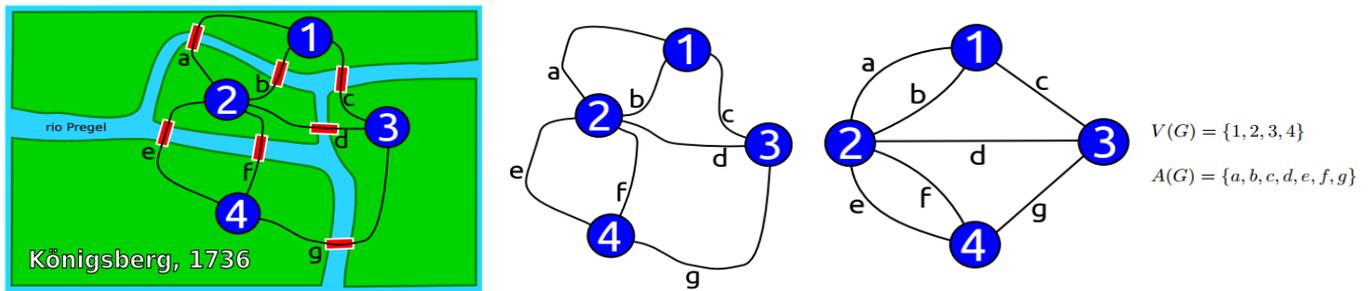


Fonte: Netto (2006).

Euler mostrou que não existe tal trajeto. Provou que existe o trajeto desejado, se e somente se, em cada região ocorrer um número par de pontes. Esta solução é considerada o primeiro teorema em Teoria dos Grafos (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Teoria, Modelos, Algoritmo.

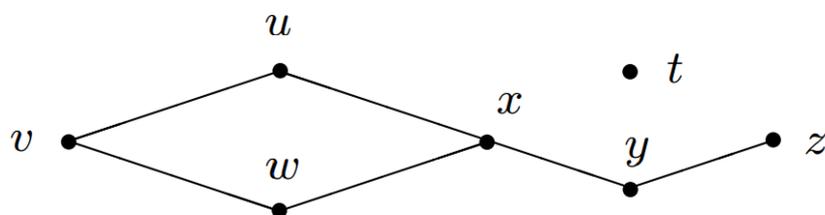


Fonte: Netto (2006).

São várias as situações que podem ser representadas por grafos: trajeto entre cidades, rotas de veículos, sistema viário, sistemas rodoviários, redes de computadores, redes de transporte coletivo urbano. As estruturas que podem ser obtidas de dados e de algoritmos eficientes para a manipulação de grafos são uma área de bastante interesse da ciência da computação.

Para entender o que são os grafos, tem-se que um par ordenado (V, A) em que V são vértices e os elementos A arestas, onde V é um conjunto qualquer e A é um subconjunto de V , o conjunto de todos os pares não-ordenados de V . Denominam-se os elementos V de vértices e os elementos A de arestas. Considerando dois vértices U e V e uma aresta que os conecta, denominada por UV ou VU . Então diz-se que (LUCCHESI, 1979) a aresta UV em U e em V , ou então que U e V são pontas da aresta UV . O exemplo da figura 4.10 representa um grafo.

Figura 4.10 – Exemplo de Grafo.



Fonte: Lucchesi (1979).

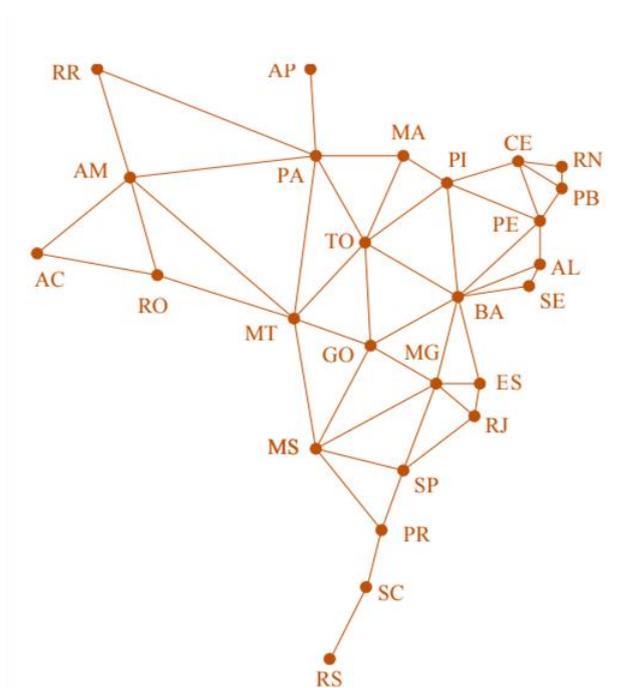
A figura é um desenho do grafo cujos vértices são t, u, v, w, x, y, z , e cujas arestas são vw, uv, xw, xu, yz e xy . Se o grafo for denominado G , o conjunto dos seus vértices será denotado por $V(G)$ e o conjunto das suas arestas por $A(G)$ (NETTO, 2006).



O grau de um vértice é definido como o número de arestas incidentes em tal vértice. O grafo dos estados do Brasil, por exemplo, é definido assim: cada vértice é um dos estados da República Federativa do Brasil; dois estados são adjacentes se têm uma fronteira comum. A figura 4.11 mostra um grafo cujos vértices são as capitais dos estados brasileiros e a ligação entre estas capitais adjacentes formam as arestas do grafo.

Um grafo pode conter caminhos ou circuitos. Um caminho é qualquer grafo da forma $(\{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \{v_i v_{i+1} : 1 \leq i < n\})$. Em outras palavras, um caminho é um grafo C cujo conjunto de vértices admite uma permutação (v_1, v_2, \dots, v_n) tal que $\{v_1 v_2, v_2 v_3, \dots, v_{n-1} v_n\} = A(C)$. Os vértices v_1 e v_n são os extremos do caminho. O caminho que foi descrito de $v_1 \cdot \cdot \cdot v_n$ descreve o que pode ser denotado simplesmente por $v_1 v_2 \cdot \cdot \cdot v_n$.

Figura 4.11 – Adjacência entre capitais dos estados do Brasil.



Fonte: Lucchesi (1979).

Um circuito é um grafo da forma $(\{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \{v_i v_{i+1} : 1 \leq i < n\} \cup \{v_n v_1\})$, com $n \geq 3$. Em outras palavras, um circuito é um grafo O com $n(O) \geq 3$ cujo conjunto de vértices admite uma permutação (v_1, v_2, \dots, v_n) tal que $\{v_1 v_2, v_2 v_3, \dots, v_{n-1} v_n\} \cup \{v_n v_1\} = A(O)$. Esse circuito pode ser denotado simplesmente por $v_1 v_2 \cdot \cdot \cdot v_n v_1$.



O comprimento de um caminho ou circuito é o número de arestas do grafo. É claro que um caminho de comprimento k tem $k + 1$ vértices e um circuito de comprimento k tem k vértices. Um triângulo, quadrado, pentágono e hexágono são o mesmo que um circuito de comprimento 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Um caminho ou circuito é par se tem comprimento par, e ímpar se tem comprimento ímpar (LUCCHESI, 1979).

Um grafo pode ser chamado bidirecional se a aresta que liga os dois vértices não é direcionada. Então na aresta bidirecional aresta (U,V) será igual a (V,U) , assim os vértices conectados a esta aresta serão ditos adjacentes ou vizinhos (CORMEN E BALKCOM, 2017).

A malha viária urbana é o conjunto de vias de um município normalmente classificadas e hierarquizadas segundo critérios funcionais, observando-se padrões urbanísticos estabelecidos como já dito anteriormente. No caso dessa tese, para avaliar as vias de um município será usada a vetorização da malha ou rede viária que consiste na transformação da rede em um grafo, que é a simplificação da rede real.

Constituído de arcos e nós o grafo irá representar a rede viária da cidade. Segundo Sousa (2010) se a rede viária é simplificada e representada de forma abstrata, ou seja, sob a forma de um grafo, haverá uma variedade de possibilidades de ferramentas para que sejam exploradas as propriedades topológicas e físicas entre os lugares ao longo do estudo das redes. No capítulo da metodologia dessa pesquisa está descrito o passo a passo para a vetorização da rede viária de uma cidade e conseqüentemente a sua transformação em um grafo.

A geometria do grafo permite a resolução de problemas complexos que envolvam distâncias não euclidianas, tais como a busca de rotas mais curtas, rápidas ou otimizadas para instalação de facilidades, a partir de critérios pré-definidos. A partir da transformação do viário em um grafo e definindo-se apenas o ponto de origem e o ponto de destino, podem ser avaliados os caminhos mínimos, caminhos mais rápidos ou rotas otimizadas.

Atribuindo-se peso às arestas, de acordo com a impedância que for estabelecida, nesse caso será o seu comprimento em km, será utilizado o algoritmo Dijkstra para a comparação entre a rotas selecionada. A via arterial da centralidade representa a via principal e possui um nó de origem e outro de destino. Permanecendo o nó de origem e o



nó de destino a via (arco do grafo) será retirada e a partir do algoritmo de Dijkstra será realizada a busca por outro caminho com a mesma origem e o mesmo destino.

4.4 O ALGORITMO DE DIJKSTRA

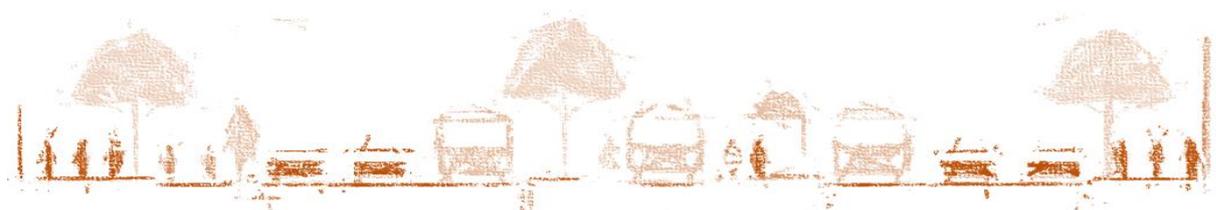
Nascido em Roterdã, na Holanda em 11 de maio de 1930, Edsger Wybe Dijkstra foi um pesquisador na área da Ciência da Computação. Filho de pai químico e mãe matemática, Dijkstra estudava matemática e computação em paralelo. Em 1952 o diretor do Departamento de Computação do Centrum Wiskunde & Informatica (CWI), de Amsterdã, o contratou como programador, porém não foi aceito porque na época essa profissão ainda não era reconhecida (KRZYSZTOF, 2002).

Em 1962 se tornou professor do departamento de Matemática da Universidade Tecnológica de Eindhoven, no sul da Holanda. Em 1984 mudou-se para a Texas, nos Estados Unidos para Universidade de Austin. Trabalhou nesta universidade até se aposentar em 1999. Em 2002 voltou para Nuenen na Holanda, onde veio a falecer seis meses depois (KRZYSZTOF, 2002).

Dijkstra moldou e influenciou o campo da ciência da computação, suas contribuições tanto na engenharia da computação, quanto na teoria, cobriram várias áreas. Em 1959, ele publicou em um artigo intitulado “Uma nota sobre dois problemas em conexão com grafos” o célebre algoritmo para encontrar o caminho mais curto em um grafo, atualmente chamado de algoritmo de Dijkstra (KRZYSZTOF, 2002).

O impacto dessa criação foi traduzido num artigo de Mikkel Thorup, “*Undirected single-source shortest paths with Positive integer weights in linear time*” (Caminhos mais curtos de origem única não direcionados com pesos inteiros positivos em tempo linear), do Journal of the ACM 46(3): 362– 394, 1999: Desde 1959, todos os desenvolvimentos teóricos em SSSP - Single-Source Shortest Paths (Caminho mais curto de fonte única) para grafos gerais direcionados e não direcionados foram baseados no algoritmo de Dijkstra (KRZYSZTOF, 2002).

4.5 CONSIDERAÇÕES



Vulnerabilidade pode ser entendida como uma condição de risco, ou seja, quando se identifica que alguém ou alguma coisa está em uma situação de fragilidade. Este conceito de vulnerabilidade está associado aos aspectos físicos, sociais e econômicos e às implicações resultantes da capacidade de um sistema de lidar com o evento perturbador. Poder reagir a esta situação de vulnerabilidade, no contexto de um incidente, é frequentemente tratada como o inverso da fragilidade e por muitos chamada de resiliência. Estudiosos, por exemplo, se referem ao aumento da resiliência de uma estrutura por meio de medidas específicas para reduzir a probabilidade de um colapso.

À medida que a resiliência aumenta, o grau do dano para um determinado perigo de grande intensidade, diminui. Por exemplo a capacidade de um sistema de absorver o impacto de um evento danoso, sem mudanças profundas nas suas funções ou estrutura, é considerado resiliência. Proag (2014, p. 369) exemplifica a situação com a seguinte comparação: “Enquanto um carro antigo ou carruagem, construído sobre suportes rígidos, certamente teria eixos quebrados ao passar por estradas ruins, o carro moderno pode absorver os mesmos impactos com seu sistema de suspensão”.

Se esta mesma situação for pensada para à realidade do sistema viário de uma cidade é possível perceber que, utilizando-se de ferramentas disponíveis e dados igualmente acessíveis, a rede viária poderá ser avaliada frente as suas vulnerabilidades. Intempéries que provocam alagamentos, desmoronamentos ou mesmo ações de manutenção necessárias em redes subterrâneas às redes viárias, podem impedir o fluxo viário normal de uma cidade.

Esse trabalho se propõe, por meio de ferramentas simples existentes, engendrar um processo que permita verificar a vulnerabilidade da rede viária, e observando se mesmo tendo obstruído parte de seu sistema viário principal é possível que os deslocamentos continuem acontecendo ou se existe o risco de parte da cidade ficar ilhada por não conseguir contornar o problema.

Para tanto fará a caracterização do viário hierarquizando as vias. Posteriormente realizará uma pesquisa para identificar as centralidades da cidade com o objetivo de certificar qual a via arterial principal. De posse da rede viária da centralidade, faz-se a vetorização transformando a rede em um grafo. Identifica-se o viário principal a partir da rede hierarquizada. Suprime-se o viário principal e através do algoritmo de Dijkstra verifica-se a possibilidade de um novo percurso sem utilizar o viário retirado.



Por fim será construída uma tabela estabelecendo valores para definir a resiliência da rede viária final. Esta tabela levará em consideração as diferentes características em relação a situação normal e a anterior. Será estabelecida a semelhança com o viário suprimido: tipo de via (dupla ou simples), canteiro central (ausente ou presente), número de faixas (igual ou diferente), e sentido da via (mão dupla ou simples), velocidade estabelecida para a via. Também será levado em consideração o aumento do percentual de quilometragem em relação ao novo percurso se é superior ou permanece o mesmo e o tempo de percurso levando em consideração a velocidade estabelecida para a via.



5 METODOLOGIA DE ANÁLISE DA RESILIÊNCIA EM SISTEMA VIÁRIO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A crescente urbanização pela qual as cidades passam reflete-se no espaço urbano e acaba por transformá-lo. À medida que as cidades vão se urbanizando, outros espaços semelhantes ao centro pioneiro vão surgindo, são as novas centralidades. A grande dificuldade enfrentada pelos gestores municipais no planejamento urbano é a falta de dados para avaliar as políticas públicas necessárias para essas novas centralidades.

A mobilidade é uma política pública, e um direito fundamental do cidadão, garantido pela constituição. A discussão sobre a mobilidade nos centros urbanos tem sido tema recorrente em estudos e pesquisas voltados aos processos de deslocamento dos indivíduos no espaço.

Por mobilidade urbana entende-se todas as formas de deslocamento por meio de transporte motorizado ou não motorizado. Os transportes estão sujeitos às vulnerabilidades e, em razão disso, é necessário reduzir as consequências desses transtornos (BERDICA, 2002). Essas adversidades podem ser interrupções das vias da cidade por congestionamentos, por inundações, por manifestações populares, deslizamentos de terra ou qualquer evento.

Se a via principal de uma cidade é interrompida, e é possível desviar os deslocamentos, sem prejuízos à circulação de cargas e pessoas, é o mesmo que dizer que o este sistema viário é resiliente. Por isso esse capítulo trata de estabelecer, a partir das teorias expostas, um processo metodológico por meio do qual será possível analisar a resiliência do sistema viário de cidades.

Esta forma de análise servirá, não apenas para verificar se a rede de vias é resiliente, mas como ferramenta para nortear a tomada de decisão de gestores, quando for preciso fazer um desvio nas vias da cidade, para uma obra, um reparo na infraestrutura viária, tendo assim a “segurança para encontrar novos caminhos”. A partir do conhecimento da possibilidade de manter a normalidade do fluxo de tráfego, é possível utilizar-se de outras alternativas de viário, caso seja necessário a interrupção por ações da gestão, esse procedimento poderá ser utilizado na busca de alternativas para suprir o viário interrompido.



Existem várias maneiras e softwares para análise de redes urbanas e por certo esse assunto não se esgota aqui. Entretanto a análise específica do Sistema Viário não é muito comum. É mais obvio de serem encontradas análises de redes de transporte e não do próprio Sistema Viário, que por vezes se apresenta como um limitador das redes de transporte, por não apresentarem alternativas para a circulação ou conexão.

Nessa tese, a ideia é a utilização de software livre e de dados abertos, como os chamados “cloud computing”, ou seja, dados nas nuvens, para a viabilização da análise. Isso contribuirá para a democratização de técnicas e de informações, reforçando conceitos como a “participação popular” e “governo aberto”. Softwares proprietários podem ser utilizados, no entanto significam custo que, por vezes, não é viável ou não está nas possibilidades do município para sua utilização.

Intenta-se, portanto, a partir da utilização de um software SIG (GIS) livre, da teoria dos grafos, e do algoritmo de Dijkstra, analisar o Sistema Viário, vias arteriais, das Centralidades de duas cidades do estado de Goiás – Quirinópolis e Jaraguá. O entendimento é assim constituir um instrumento de análise viária, não apenas em momentos de desastre, mas em situações corriqueiras, em que seja necessário o desvio do trânsito de veículos.

5.2 A CIDADE, O SISTEMA VIÁRIO E A RESILIÊNCIA

A população urbana apresentou um crescimento significativo nas últimas décadas. Ribeiro e Gonçalves (2019) apontam que em 1900 apenas 10% da população vivia em cidades e segundo a ONU (2022) o percentual de pessoas que vivem em áreas urbanas deve aumentar de 55% para 68% em 2050. Sabe-se, no entanto, que o processo de urbanização é elemento chave no desenvolvimento econômico das cidades e que elas representam cerca de 75% do consumo mundial de recursos (RIBEIRO E GONÇALVES, 2019).

Dessa forma, as repostas de nossos gestores devem estar voltadas às condições locais e estes devem estar de posse de ferramentas e instrumentos capazes de auxiliá-los na construção de uma urbanização sustentável e resiliente.

Sabe-se que as cidades são suscetíveis e vulneráveis a eventos extremos e desastres, que podem ameaçar suas áreas urbanas, sejam estes eventos antrópicos ou



naturais, assim também seu sistema viário. Um dos aspectos primordiais para que a mobilidade aconteça é a existência de uma malha de circulação viária abrangente. Se parte dessa malha for interrompida, e ainda assim, ela possibilitar a conectividade aos mesmos pontos, esta malha urbana é resiliente.

A cidade é a interação de pessoas e organizações sociais distribuídas em espaços densamente construídos, servidos por infraestruturas e administrados por organizações políticas e sociais. A interoperabilidade entre estes sistemas que compõem a cidade é imprescindível para que não haja interrupções nos deslocamentos diários. No entanto os cenários da cidade podem tornarem-se críticos frente às questões urbanas ao longo do tempo, em lugares onde as práticas de engenharia estão sujeitas a falhas (BETTENCOURT, 2014).

O conceito de resiliência tem sido utilizado nos estudos relativos aos sistemas urbanos quando este está exposto a algum tipo de evento, seja ele um evento do dia a dia, como uma interrupção para reparo em uma adutora, ou recapeamento da via ou mesmo desastres naturais raros.

Acredita-se que um sistema resiliente reúna as características que torna possível enfrentar interrupções inevitáveis, mesmo que para isso ele tenha de reduzir seu desempenho para enfrentá-lo. Portanto, um sistema robusto, confiável e flexível seria capaz de absorver as interrupções e manter suas funções (Zhou; Wang; Yang, 2019).

A Rockfeller Foudation e Arup (2016), ao pesquisar a resiliência, sugerem quatro dimensões para avaliar a resiliência urbana: saúde e bem-estar, economia e sociedade, infraestrutura e meio ambiente, liderança e estratégia. Nesta avaliação o item infraestrutura diz respeito ao lugar, tratando da qualidade ou da robustez da infraestrutura.

Também fala da estabilidade dos serviços prestados, que devem continuar acontecendo, mesmo em situações críticas de choque ou estresse. Para tanto, apresenta três metas a serem alcançadas e dentre estas metas está a mobilidade. Entendendo nesse caso a mobilidade sendo possível se o sistema viário estiver livre de qualquer interrupção.

O sistema viário é parte integrante do conjunto de sistemas urbanos imprescindível e fundamental para o pleno funcionamento das cidades. Entretanto, ele está propenso a uma ampla gama de choques agudos, desastres naturais, desgastes ou mesmo acidentes com outros sistemas que levam à sua obstrução (REGGIANI; NIJKAMP; LANZI, 2015).



Sob o ponto de vista dessa abordagem, um sistema viário resiliente é aquele que mantém sua capacidade de mobilidade, possibilitando a continuidade do deslocamento de pessoas, veículos e cargas, mesmo que parte desse viário esteja interrompida.

Zhou; Wang; Yang (2019) afirmam que “a capacidade de um sistema de reduzir com eficiência a magnitude e a duração do desvio dos níveis de desempenho é a conotação mais significativa de resiliência”. Bruneau et al (2016) complementa ao afirmar que, a possibilidade de agir sobre o sistema antes de ocorrer um distúrbio, e a habilidade do sistema de voltar ao estado normal, inclui a capacidade do sistema continuar atuando durante o distúrbio.

Faturechi e Miller-Hooks (2015) assevera que o ciclo para restauração de um desastre em qualquer sistema é dividido em quatro fases: mitigação, preparação, resposta e recuperação. Para que seja possível aumentar a resiliência, os sistemas devem ter acompanhadas as suas estratégias de aprimoramento na perspectiva dessas quatro fases.

As estratégias de mitigação tentam melhorar a capacidade de resistir às interrupções, mas nem sempre os desastres podem ser evitados. Quando isso não é possível, é momento de disponibilizar recursos para a resposta ou a recuperação pós-desastre. A diferença entre estas duas é que a estratégia de resposta tenta ações imediatas e temporárias, aliviando os efeitos do desastre, para que não sejam desencadeadas ações em cascata, ao passo que as ações de recuperação restauram o estado original do sistema (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Ciclo para restauração de um desastre

Quatro fases	Ciclo para restauração de um desastre
Mitigação	Melhorar a capacidade de resistir
Preparação	Recursos disponíveis para a resposta
Resposta	Ações imediatas e temporárias
Recuperação	Restaurar o estado original

Fonte: Autora (2023)

Zhou, Wang e Yang (2019, p. 4272) afirmam que as pessoas têm um papel muito importante na mitigação para uma resposta imediata após uma interrupção, principalmente no sistema viário, porque este sistema é centrado nas pessoas. Isso seria



uma maneira de trabalhar de forma colaborativa. É necessário perceber que a resiliência é sempre trabalhada em cenários específicos. Se ela passar a ser entendida como uma propriedade inerente a um sistema, não importa o cenário, o sistema será resiliente.

Para delinear uma forma de avaliar a malha viária de uma cidade sob a abordagem da resiliência aqui definida, quatro passos serão estabelecidos: a identificação das centralidades utilizando-se da metodologia dos especialistas. Em seguida valer-se-á da teoria dos grafos.

A vetorização da malha viária das centralidades a serem estudadas propiciará a sua transformação em um grafo. Por fim, a partir do uso do algoritmo de Dijkstra será verificado o caminho mínimo nos grafos obtidos. Por fim, após a obtenção dos resultados e utilizando-se de uma Escala de Avaliação será feita a avaliação e análise dos resultados.

A seguir cada uma das etapas desse processo será abordado, norteando os procedimentos para ao final fazer-se a avaliação a partir de métricas também definidas nesse capítulo (Quadro 5.2).

Quadro 5.2 – Passos para avaliar a Malha Viária

Quatro passos	Avaliação da Malha Viária
Centralidades	Identificação de Centralidades (Metodologia dos Especialistas)
Vetorização	Transformação do Sistema Viário em grafo (OSM)
Dijkstra	Verificação do caminho mínimo (Algoritmo de Dijkstra)
Análise	Avaliação do caminho gerado (Tabela com Escala de Avaliação)

Fonte: Autora (2023)

5.3. A IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES

O primeiro dado a ser obtido para a análise do sistema viário será a identificação das centralidades. O cenário de análise escolhido foi a centralidade porque é o local de maior atratividade de uma cidade. É onde o fluxo de pessoas e veículos é maior pela disponibilidade de comércios e serviços. Normalmente a interrupção da via de uma centralidade, por necessidade de desvio do trânsito, em razão de uma obra ou de um incidente, traz um enorme transtorno para a cidade, principalmente se esse desvio for por longo tempo e numa via arterial da cidade.



A Metodologia para a identificação da centralidade a ser aplicada é a dos Especialistas. Ela foi concebida pela Profa. Érika Kneib (KNEIB, 2008) e desde então tem sido um processo amplamente empregado em razão do seu baixo custo e da facilidade de operação. O método consiste na associação da Metodologia Delphi com uma escala de pontos para a mensuração, utilizando-se de cores e uma ferramenta de geoprocessamento.

Para a identificação das centralidades pelo Método dos Especialistas serão selecionados os técnicos da própria prefeitura, de diversas áreas, para que eles possam fazer a identificação dos subcentros. Por meio da utilização do mapa de setores censitários, e da demarcação das principais vias e ainda de pontos de referência importantes da cidade, os especialistas, em número de dez pessoas, vão colorir os setores censitários com o objetivo de hierarquiza-los através de cores padrão.

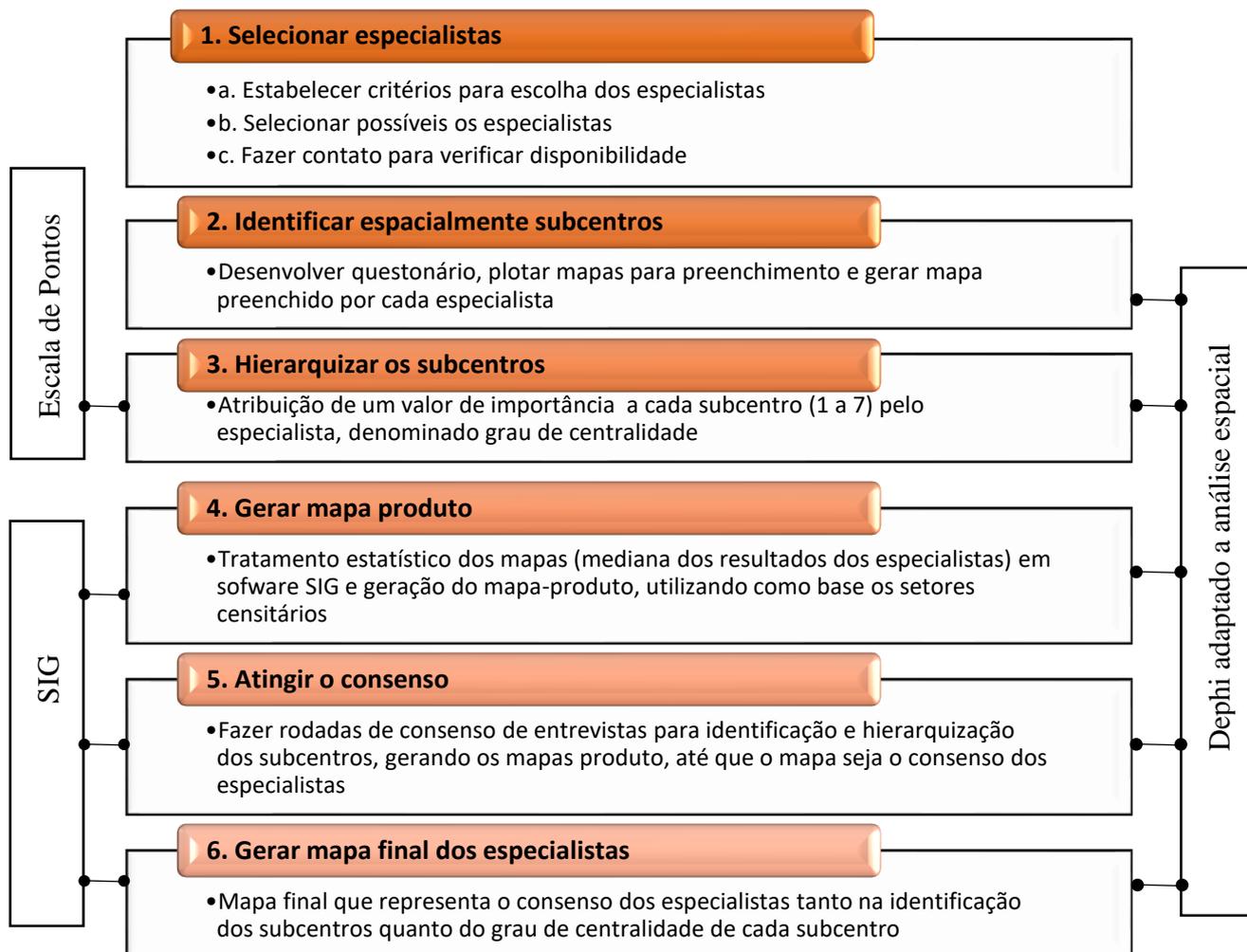
A hierarquização dos subcentros, se dará conforme a Escala de Pontos, obedecendo aos critérios de quatro cores descritas da seguinte forma: a cor marrom é a centralidade de maior pontuação e varia de 5 a 7 pontos. A cor vermelha vem a seguir, e embora não seja considerada ainda uma centralidade consolidada, está caminhando nesse sentido e sua variação é de 3 a 5 pontos. A cor laranja representa o espaço urbano que, dependendo das ações apontadas pelo planejamento urbano, poderá se transformar no futuro em uma centralidade e seu valor varia de 1 a 3 pontos. A cor amarela denota o que ainda não é considerada uma centralidade, normalmente são espaços urbanos onde há o predomínio de residências e a variação é de 0 a 1 ponto.

Este processo, que busca o consenso a partir dos mapas coloridos pelos especialistas, representa a metodologia Delphi aplicada. Esta operação de colorir os setores censitário se repetirá quantas vezes se julgar necessário. O processo será finalizado quando existir o consenso entre todas as partes. Gera-se, então, o mapa final dos especialistas, no qual são identificadas as centralidades. O mapa produto do consenso é gerado a partir do tratamento estatístico (mediana dos dados) em um software SIG e o resultado é o mapa de setores censitários coloridos.

A figura 5.1 apresenta um esquema ilustrativo das etapas dos procedimentos metodológicos para identificação de centralidades.



Figura 5.1 – Esquema ilustrativo de identificação de centralidades.



Fonte: Mendonça, 2016.

A identificação de centralidades é parte do procedimento dessa tese para a análise da resiliência, pois esta deverá ser realizada a partir do sistema viário das centralidades que serão vetorizadas e transformadas em grafos e posteriormente processada por um software SIG.

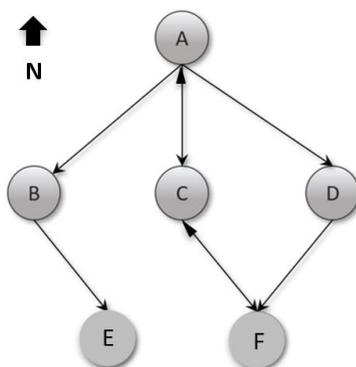
5.4 SISTEMA VIÁRIO E GRAFOS

Entendendo que o sistema viário urbano é a rede de caminhos utilizados para que as pessoas, cargas e veículos possam circular por toda a cidade, esta rede ou malha pode ser representada por meio de um grafo.



Conforme já dito anteriormente o grafo é um par ordenado que pode ser representado por letras do alfabeto latino. Quando se trata da malha viária de uma cidade, podem existir vias de mão única e vias de mão dupla. As vias de mão dupla são aquelas chamadas de bidirecionais, na figura 4.2, representado pelas arestas (A, C) e (C, F). Já as vias de mão única são aquelas representadas por arestas direcionadas, na figura 5.2 (A, B); (B, E) e (A, D) e (D, F). Dessa forma tem-se o que se chama de grafo direcionado acíclico.

Figura 5.2 – Grafo direcionado acíclico. Fonte: autora



Fonte: autora

Usando como recurso a Teoria dos Grafos esta tese se propõe a conceber um procedimento metodológico para a análise da malha viária urbana aliado às ferramentas de análise espacial. Para avaliar as vias de um município será utilizada a vetorização da malha ou rede viária de uma centralidade que consiste na transformação dessa rede em um grafo. Essa transformação é a simplificação da rede real.

Constituído de arcos e nós o grafo irá representar a rede de atendimento a todos os bairros. Segundo Sousa (2010) se a rede viária é simplificada e representada de forma abstrata, ou seja, sob a forma de um grafo, haverá uma possibilidade grande de ferramentas para que sejam exploradas as propriedades topológicas e físicas entre os lugares ao longo do estudo das redes.

Transformar a malha viária em um grafo servirá a dois propósitos. O primeiro deles é auxiliar na hierarquização do sistema viário da cidade, isto é identificar quais são as vias arteriais, coletoras e locais, caso a cidade não tenha esse dado. A hierarquização viária é necessária para estabelecer o viário principal da centralidade identificada.



Normalmente esta hierarquização é estabelecida no Plano Diretor, entretanto em cidades de pequeno porte, cujos planos diretores ainda são insipientes, esta hierarquização pode não ter sido realizada. Para tanto por meio de critérios baseados em dimensões das vias, fluxo de tráfego, uso do solo e presença na centralidade será estabelecida a hierarquia das vias.

Com a difusão do SIG na Geografia, a partir da década de 1980, as pesquisas aliando Teoria do Grafos e SIG passou a ser difundida com aplicações às redes viárias, sendo realizadas a partir de técnicas de geoprocessamento, levando-se em consideração a rede, no sentido de nós e arcos como um conjunto de dados espaciais a ser processado para obtenção de resultados, como por exemplo, os índices de acessibilidade, estrutura e mudanças nas redes (BRAZ E COSTA, 2017).

O segundo propósito é aplicar o algoritmo Dijkstra. Esse algoritmo, como já dito anteriormente é utilizado para encontrar o caminho mais curto entre dois nós de um grafo. O procedimento para a utilização do algoritmo Dijkstra será explanado detalhadamente a frente.

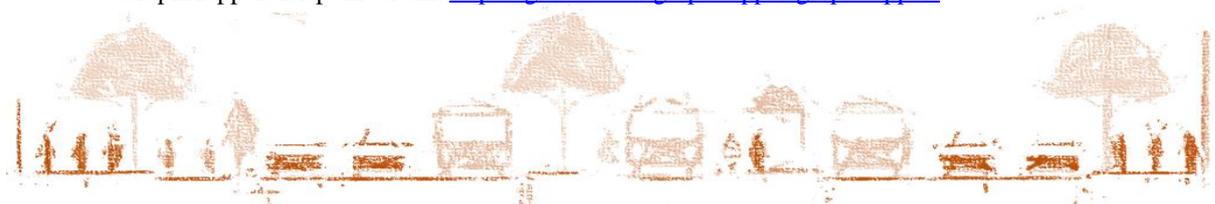
5.5 A OBTENÇÃO DO GRAFO

Para a obtenção do grafo a princípio será feita a vetorização do sistema viário utilizando-se do OpenStreetMap – OSM. O OSM é um mapeamento colaborativo, a nível mundial, que possibilita a criação e distribuição de dados geográficos gratuitamente. É uma alternativa para desenvolvedores que buscam criar aplicações que utilizem mapas, sem se preocupar com restrições legais de uso.

Juntamente com o OSM será utilizado o GraphHopper³ que é uma biblioteca *open source*. Ele utiliza dados a partir de arquivos do OSM por meio de mecanismos de paralelização para ganho de desempenho. O GraphHopper permite configurações para uso de diferentes algoritmos, como Dijkstra e suas versões bidirecionais, que é exatamente o que será utilizado.

Os dados obtidos do OSM podem estar em vários formatos dentre eles o formato Shapefile. O formato Shapefile é um formato de dados vetoriais geoespaciais para software de sistema de informações geográficas (SIG). Ele é desenvolvido e

³ GraphHopper: Disponível em: <https://github.com/graphhopper/graphhopper/>



regulamentado pela Esri como uma especificação amplamente aberta para interoperabilidade de dados entre a Esri e outros produtos de software SIG (ESRI, 1998).

Esse formato descreve geometrias tais como pontos, linhas e polígonos e se divide em diferentes arquivos que são as três extensões obrigatórias definidas na especificação do ESRI (2015). São elas “.shp”, que define a própria geometria, o “.shx”, que representa os índices das geometrias definidas no “.shp”, e por último o “.dbf”, que armazena os atributos contidos nas geometrias. Esse mesmo padrão é aplicado no OSM e em órgãos governamentais como IBGE e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, e os dados são disponibilizados abertamente (SILVA, 2016).

Após a obtenção do grafo, o arquivo “.dbf” traz a tabela de atributos. Essa tabela apresenta informações sobre as feições de uma camada selecionada. Cada linha da tabela representa uma feição e cada coluna contém uma informação específica sobre a feição. As feições da tabela podem ser pesquisadas, selecionadas, movidas ou mesmo editadas. Para hierarquização das vias, caso a tabela de atributos não apresente os dados necessários eles deverão ser acrescentados para tornar possível a operação.

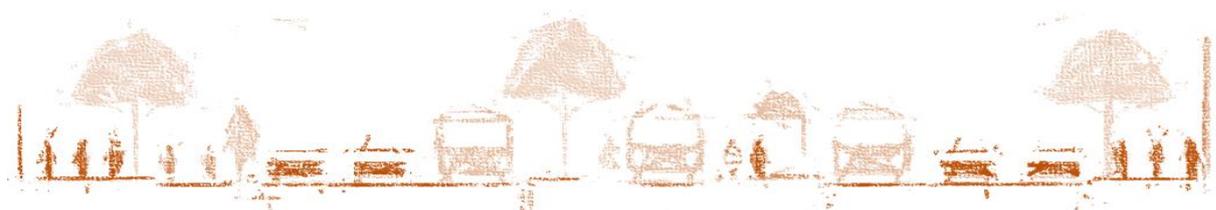
Por exemplo, se a tabela de atributos não possui os dados de dimensões das vias, estes deverão ser acrescentados à tabela para depois possam ser realizado o procedimento para a hierarquização viária.

Outro dado necessário ao procedimento é o direcionamento das vias. Por exemplo vias de mão única, vias de mão dupla, estes sentidos, caso não estejam especificados devem ser acrescentados à tabela de atributos. Assim como a velocidade das vias de acordo com a hierarquia devem estar na tabela de atributos.

Para baixar os dados do OSM na sua ferramenta de análise especial, é necessário ir na aba “complementos”, “gerenciar e instalar complementos”, buscar o plugin OSM downloader e instalar. A partir daí será criada uma caixa de ferramentas. Por meio dessa caixa poderá ser selecionada a área ou o município que se deseja trabalhar.

De posse desses dados, as coordenadas já estarão disponíveis, e o arquivo deverá ser salvo. Ao salvar, deve-se habilitar o “*load layer after download*”, pois dessa forma os dados serão inseridos no arquivo. Uma janela se abrirá e caso sejam necessários todos os dados ali existentes, seleciona-se tudo, e ok.

O arquivo de linhas que é gerado é exatamente o arquivo dos eixos viários onde obtém-se a vetorização do sistema viário. Dependendo da colaboração, vários dados



estarão disponíveis na tabela de atributos como nome das vias, sentido, dimensões e outros. Caso os dados necessários não estejam disponíveis na tabela de atributos podem ser acrescentados. E depois o arquivo deve ser salvo como um *shapefile* – “shp” para sua utilização.

5.6 PROCEDIMENTO PARA HIERARQUIZAÇÃO VIÁRIA

Para realização da hierarquização viária, além dos conceitos e definições do CTB (2005) já apresentados no capítulo 5 - Sistema Viário, será utilizada a tabela de atributos do software SIG. Se a tabela de atributos não apresentar as dimensões das vias, esse dado deverá ser acrescentado à tabela conforme dito anteriormente.

Para as cidades a serem analisadas será feita a hierarquização das vias da seguinte forma. Acessando a tabela de atributos verifica-se os dados do sistema viário estão disponíveis. É importante que exista o nome da via, as dimensões e sentido dos eixos viários.

Para definir a hierarquia faz-se a edição da tabela. Para isso na “calculadora de campo” procura-se a ferramenta “case when”. Estabelece-se a largura e o nome da classificação local, coletora ou arterial, utilizando-se os parâmetros já estabelecidos anteriormente. A entrada de dados também pode ser realizada manualmente, via por via, basta selecionar cada uma delas e editar a sua classificação caso já exista no Plano Diretor da cidade.

É importante perceber que cada cidade pode apresentar características muito diferentes conforme a sua criação. Se a cidade é espontânea, ou seja, surgiu sem um plano prévio, os parâmetros de medidas das ruas podem ser diferentes de uma cidade que nasceu planejada. Se a cidade é turística os parâmetros também podem ser outros. Cada cidade, dependendo de suas características, apresentarão diferenças, por isso devem ser analisadas caso a caso.

As duas cidades escolhidas para esse trabalho são Quirinópolis e Jaraguá. Elas não foram planejadas então, após visita “in loco” e de acordo com os quadros 4.1 e 4.2, do capítulo 4 - Sistema Viário, estabeleceu-se o seguinte perfil para análise das vias de acordo com os seus viários existentes (Quadro 5.3).



Quadro 5.3 – Quadro de Perfil Viário existente e estabelecido

Perfil Viário - Quirinópolis	Faixas	Largura	Total	Proposta	Total
Via Arterial – Canteiro Central	1	2.60m	16.60m	2.20m	≥16.00m
Via Arterial – Faixas	4	3.50m		3.20m	
Via Coletora – Canteiro Central	1	2.00m	14.00m	2.00m	<16.00m
Via Coletora – Faixas	4	3.00m		3.00m	≥9.00m
Vias Locais	2	2.70m	5.40m	-----	<9.00m
Perfil Viário - Jaraguá	Faixas	Largura	Total	Proposta	Total
Via Arterial – Canteiro Central	1	2.50m	16.10m	2.20m	≥16.00m
Via Arterial – Faixas	4	3,40m		3.20m	
Via Coletora – Canteiro Central	1				<16.00m
Via Coletora – Faixas	4				≥9.00m
Vias Locais	2				<9.00m

Fonte: Autora (2023)

Ficará estabelecido para hierarquização que, vias com largura igual ou superior a 16.00m ($\geq 16.00m$) serão consideradas arteriais. Para as vias com largura menor que 16.00m e maior ou igual a 9.00m ($< 16.00m \geq 9.00m$) serão consideradas coletoras. E, por fim as vias com largura menor que 9.00m ($< 9.00m$) serão consideradas vias locais.

5.7 RETIRADA DE ARCOS E NÓS DO GRAFO

Vários podem ser os motivos que levam as interrupções de tráfego em uma via. Por exemplo se a companhia de saneamento ou de abastecimento de água precisa fazer um reparo em uma adutora, e esta rede de abastecimento passa sob uma via, a companhia poderá interromper o tráfego por algumas horas ou alguns dias para reparos. Um acidente de trânsito também pode ser o responsável pela interrupção. Uma obra de arte a ser instalada ou até mesmo uma interrupção por deslizamento de terra, ou seja, qualquer evento perturbador, pode interromper o tráfego de uma via.

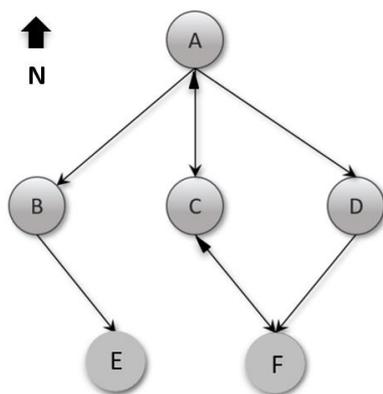
De posse do Sistema Viário em formato de um grafo, tem-se que cada arco representa uma via ou parte dela, e os nós representam o cruzamento entre as vias. O primeiro passo para análise do viário será o recorte da centralidade a ser analisada. Essa



ferramenta, já é disponibilizada pelo software na caixa processar, se não aparecer é só habilitar. Esse procedimento será utilizado pois o sistema viário a ser subtraído está na centralidade de maior pontuação do mapa, e aparece na cor marrom, portanto não será necessário usar o grafo da cidade toda.

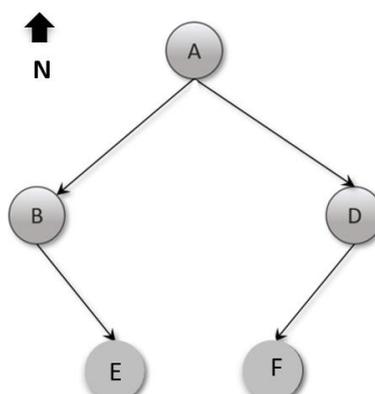
A simulação do evento perturbador será feita a partir da supressão dos arcos e nós do viário principal da centralidade de maior pontuação. Excetuando-se o nó de origem e o nó de destino final. Eles deverão ser utilizados para demarcar a origem e o destino onde, o viário que irá substituir o principal iniciará o percurso com o objetivo de exercer o mesmo papel. A figura 5.3 ilustra o grafo da centralidade e a figura 5.4 ilustra o grafo com os arcos e nós já retirados.

Figura 5.3 – Grafo do viário da centralidade.



Fonte: autora

Figura 5.4 – Grafo sem o viário principal



Fonte: autora

Por meio do mapa topológico, e a supressão do viário principal, é possível investigar se a partir da mesma origem e do mesmo destino existe a possibilidade de encontrar uma alternativa ao viário principal. Para a busca de um menor caminho alternativo, para que o deslocamento possa continuar ocorrendo, será utilizado o algoritmo Dijkstra.

5.8 O USO DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

Krzysztof (2002) afirma que o algoritmo Dijkstra é um dos mais eficazes para resolver o problema do caminho mais curto entre dois vértices. Existem outros algoritmos



que determinam o caminho mínimo, como o algoritmo de Bellman-Ford, porém este normalmente é utilizado quando se tem arestas com valores negativos. O algoritmo Dijkstra resolve o mesmo problema, porém em um tempo menor, no entanto todas as arestas devem ser positivas, como é o caso desta tese que utiliza a quilometragem positiva.

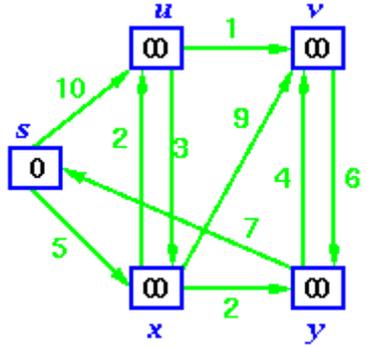
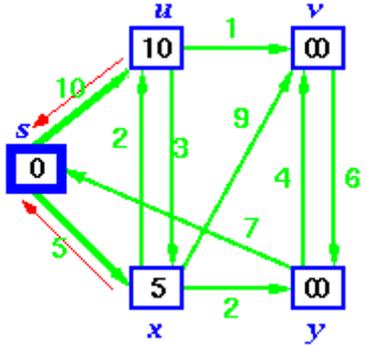
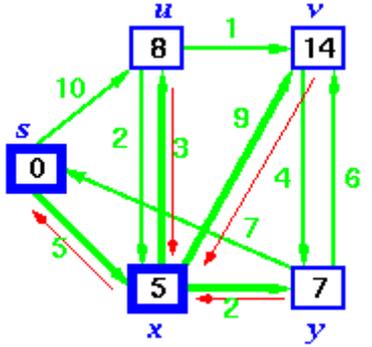
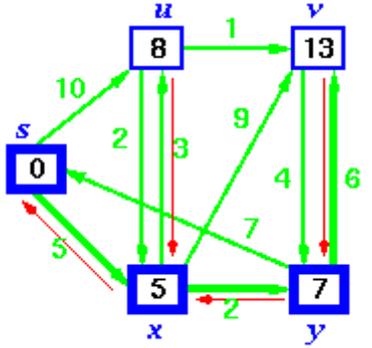
O Algoritmo funciona da seguinte maneira: escolhe-se um vértice que será caracterizado como uma origem e este calcula o caminho mínimo deste vértice para todos os demais vértices até chegar àquele que será estabelecido como o vértice de destino final. O cálculo é feito a partir do vértice de origem para todos os demais vértices seguintes, estabelecendo o menor caminho até o vértice de destino. O algoritmo considera que um vértice estará fechado quando já tiver sido obtido o caminho a partir do vértice de origem (Quadro 5.4).

Algoritmo: Seja $G (V, A)$ um grafo orientado e s um vértice de G (UFSC, 2020):

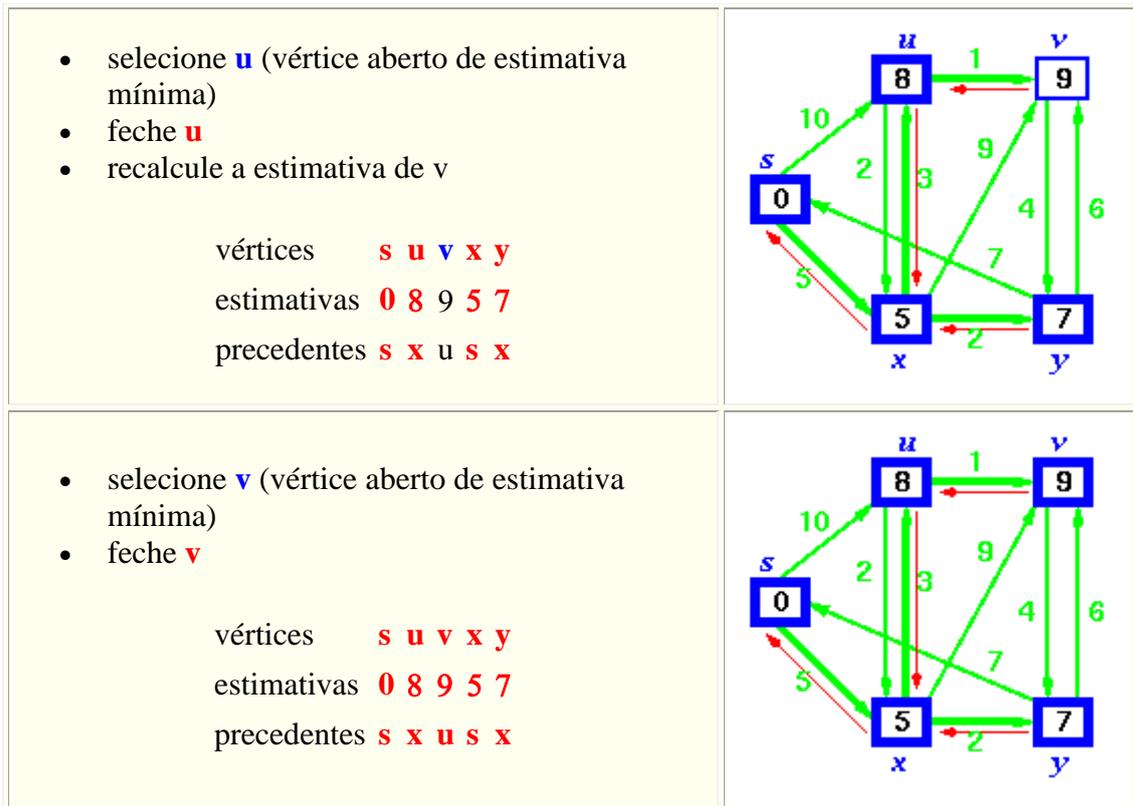
1. Atribua valor zero à estimativa do custo mínimo do vértice s (a raiz da busca) e infinito às demais estimativas;
2. Atribua um valor qualquer aos precedentes (o precedente de um vértice t é o vértice que precede t no caminho de custo mínimo de s para t);
3. Enquanto houver vértice aberto:
 - seja k um vértice ainda aberto cuja estimativa seja a menor dentre todos os vértices abertos;
 - feche o vértice k
 - Para todo vértice j ainda aberto que seja sucessor de k faça:
 - some a estimativa do vértice k com o custo do arco que une k a j ;
 - caso esta soma seja melhor que a estimativa anterior para o vértice j , substitua-a e anote k como precedente de j .



Quadro 5.4 – Sequência de diagramas que ilustra o Algoritmo de Dijkstra – Continua

<ul style="list-style-type: none"> A sequência de diagramas ilustra o funcionamento do Algoritmo de Dijkstra. Inicialmente todos os nodos tem um custo infinito, exceto s (a raiz da busca) que tem valor 0: <p>vértices s u v x y</p> <p>estimativas 0 ∞ ∞ ∞ ∞</p> <p>precedentes - - - - -</p>	
<ul style="list-style-type: none"> selecione s (vértice aberto de estimativa mínima) feche s recalcule as estimativas de u e x <p>vértices s u v x y</p> <p>estimativas 0 10 ∞ 5 ∞</p> <p>precedentes s s - s -</p>	
<ul style="list-style-type: none"> selecione x (vértice aberto de estimativa mínima) feche x recalcule as estimativas de u,v e y <p>vértices s u v x y</p> <p>estimativas 0 8 14 5 7</p> <p>precedentes s x x s x</p>	
<ul style="list-style-type: none"> selecione y (vértice aberto de estimativa mínima) feche y recalcule a estimativa de v <p>vértices s u v x y</p> <p>estimativas 0 8 13 5 7</p> <p>precedentes s x y s x</p>	





Fonte: <http://www.inf.ufsc.br/grafos/temas/custo-minimo/dijkstra.html>

Quando todos os vértices tiverem sido fechados, os valores obtidos serão os custos mínimos dos caminhos que partem do vértice tomado como raiz da busca até os demais vértices do grafo. O caminho propriamente dito é obtido a partir dos vértices chamados acima de precedentes. No caso dessa tese o “custo mínimo” será obtido pela “menor distância em km e o menor tempo em km/h”.

RESUMO (NAVONE, 2020):

- O Algoritmo de Dijkstra basicamente começa no nó que você escolhe (o nó de origem) e analisa o grafo para encontrar o caminho de menor custo entre esse nó e todos os outros nós do grafo.
- O algoritmo mantém o registro da distância mais curta atualmente conhecida de cada nó até o nó de origem e atualiza esses valores se encontrar um caminho de menor custo.



- Uma vez que o algoritmo encontrou o caminho de menor custo entre o nó de origem e outro nó, esse nó é marcado como "visitado" e adicionado ao caminho.
- O processo continua até que todos os nós do grafo tenham sido adicionados ao caminho. Desta forma, temos um caminho que conecta o nó de origem a todos os outros nós seguindo o caminho de menor custo possível para chegar a cada nó.

5.9 ÍNDICES PARA MENSURAR A RESILIÊNCIA

A utilização de métricas para mensurar resultados é um direcionamento importante, principalmente em questões ligadas a qualidade dos deslocamentos, satisfação e necessidades dos usuários da uma cidade. Ter números que possibilitem realizar planejamentos apropriados, obter informações que auxiliem as tomadas de decisão, poder avaliar a eficiência do sistema viário, ser capaz de reagir rapidamente em situações críticas, fazer melhor uso dos recursos, melhorar a qualidade do serviço prestado, ter um maior controle de qualidade sobre a gestão, obter resultados dos processos implementados pode mudar a vida de uma cidade.

O conceito de resiliência é muito abrangente e cada área que o adota aponta diferenças em relação a sua definição. Mesmo entre a Resiliência Urbana e a Resiliência na Mobilidade, algumas ponderações são diferentes. Para tanto, esse trabalho dedicou um capítulo de referencial teórico para apresentar definições e conceitos sobre Resiliência Urbana. Posteriormente o capítulo Transporte, Mobilidade e Resiliência trouxe definições específicas para a Mobilidade.

No Brasil, embora já tenhamos alguns trabalhos acerca da Resiliência na Mobilidade, muitos deles trabalham no campo da suposição de acontecimentos e de como seriam as reações caso esses eventos se realizassem. Essa tese também trabalha no campo da pré-suposição de um evento, porém volta a sua atenção para o Sistema Viário de cidades de pequeno porte. A situação apresentada é de uma interrupção no sistema viário. Como esse é um fato corriqueiro nas cidades, a pesquisa pressupõe a utilização de dados e softwares gratuitos e estejam disponíveis para o setor público, ou privado.

Para dar continuidade a pesquisa desenvolvida, estabeleceu-se uma definição abrangente de resiliência que e que norteou o estudo do Sistema Viário nessa tese. Essa



definição é a *capacidade de um sistema de manter a sua funcionalidade sob interrupções, tempo e recursos necessários para restaurar o nível de desempenho, ou seja, o sistema em questão tem de ser capaz de resistir, ou de se recuperar, de se adaptar, ou de se transformar.*

Para que um sistema seja resiliente ele deve conseguir resistir a um desastre evitando uma interrupção no seu funcionamento, ou, mesmo pré-disposto a um desastre, ser capaz de se recuperar imediatamente. Não sendo possível a situação anterior, o sistema, para ser resiliente, deve continuar funcionando de forma precária, ou se adaptar às condições possíveis, mantendo o seu funcionamento. E por fim pode o sistema ainda se transformar e manter a suas funções. Isso é a **Resiliência**.

Essa tese utiliza exatamente a definição de Resiliência como a capacidade do Sistema Viário de se manter em funcionamento, mesmo que de forma precária, adaptando-se às condições possíveis. Para isso simulou interrupções nos trechos principais das vias arteriais das cidades de Quirinópolis e Jaraguá e estabeleceu quatro índices para determinar o percentual de resiliência dessas adaptações, pressupondo que a situação ideal seria o funcionamento original, sem interrupções, nas vias arteriais, com uma resiliência de 100%.

A definição de que a avaliação da resiliência fosse medida em percentuais se deu em razão da escolha de quatro índices que irão representar o desempenho do sistema. Se com as alterações ocorridas o sistema viário continuar operando com a mesma eficiência, ele estaria 100% em estado de normalidade, portanto seria um sistema resiliente, ou seja, independente da situação a que o sistema está pré-disposto ele se mantém inalterado sob quaisquer perturbações.

Considerando que as reduções seriam melhor compreendidas se fossem avaliadas em percentuais, optou-se pela construção de um quadro que mensura quatro métricas: **centralidade, tipo de via, velocidade e distância percorrida**. Caso pós interrupção da parte mais relevante do sistema viário os deslocamentos permaneçam na mesma centralidade, utilizando o mesmo tipo de via, com o mesmo tempo deslocamento em razão da velocidade da via e observando a mesma da distância percorrida, o sistema estaria 100% inalterado, portanto, resiliente.

Para definir o novo caminho a ser trilhado, observando-se a interrupção nas vias arteriais, foi feita a vetorização da rede viária e depois a rede foi transformada em grafo



de onde se subtraiu parte dos arcos e nós que representa um trecho da via. O algoritmo Dijkstra, que define o menor caminho, foi utilizado por meio de uma ferramenta de análise espacial que observa o sentido de tráfego e determina o caminho mais curto em quilômetros.

Foram então estabelecidos índices para calcular a resiliência. O primeiro índice foi a **Centralidade**. Se o novo caminho permanecer todo dentro da centralidade mais forte, a de cor marrom, como o caminho original, o índice é de 100% de resiliência, pois se manteve a situação ideal. Caso o novo caminho passe em outras centralidades foram estabelecidos percentuais de cálculo para cada centralidade de acordo com o quadro.

O segundo índice estabelecido foi o **tipo de via**. Todo o percurso anterior era em uma via do tipo Arterial o que define a situação ideal, com 100% de resiliência. No entanto, ao definir um novo trajeto, outras categorias de vias foram utilizadas, a exemplo das coletoras e locais. Então foram estabelecidos percentuais: 66% para as coletoras e 33% para as vias locais.

O software, ao definir o caminho mínimo, traz a quilometragem percorrida em cada trecho. De acordo com a hierarquia define-se a quilometragem nos diferentes trechos percorridos em cada categoria viária. A partir do coeficiente estabelecido para a resiliência em consonância com a hierarquia viária, considerou-se a extensão percorrida em cada trecho e obteve-se o percentual de resiliência para o novo caminho encontrado.

O fator **velocidade** é o terceiro índice especificado. Na situação ideal, todo o percurso realizado acontece em uma via arterial, e a velocidade para esta via é de 60km/h. No entanto, para o novo caminho, serão percorridos trechos com diferentes classificações, cujas velocidade são: vias coletoras 40km/h, e vias locais 30km/h. Sabe-se que o tempo é um fator inversamente proporcional à velocidade. Quanto maior a velocidade, menor o tempo gasto ou quanto menor a velocidade, maior tempo gasto. Da física tem-se:

$$V = S \times t \quad \longrightarrow \quad t = \frac{S}{V}$$

Onde: V = Velocidade

S = Espaço

t = tempo



Para cada percurso a ser analisado, deverá ser calculado o tempo gasto para percorrê-lo. Esse tempo do percurso original na via arterial permanecerá como referência de resiliência, ou seja, um índice de 100%. Se o novo caminho definido pelo algoritmo mantiver o mesmo tempo para o deslocamento, ele terá o mesmo percentual de resiliência. No entanto como cada trecho do novo caminho será percorrido estão vias de diferente classificação, deverá então ser determinado o tempo de percurso para cada trecho, utilizando a fórmula acima, já que a velocidade é definida com valores diferentes para cada classificação viária.

A somatória total dos tempos encontrados nos diferentes trechos, determinará o tempo total do novo caminho. O tempo a ser medido é a diferença entre o tempo final obtido no novo caminho, e o tempo do percurso original. Para o cálculo final será estabelecido um intervalo percentual como referência que está definido no quadro. À medida que o tempo de percurso for aumentando a resiliência vai diminuindo.

O último índice a ser analisado é a **distância percorrida**. O software utilizado fornece a distância percorrida no trajeto original e depois a distância percorrida pelo novo caminho, por trechos e o percurso total. O que será analisado é a diferença de quilometragem entre o trajeto original e o novo caminho. Para definir o percentual de resiliência foi estabelecido um intervalo que aponta se o percurso for até 10% maior, a resiliência permanecerá 100%. No entanto, à medida que for aumentando a diferença de quilometragem de percurso, a resiliência vai diminuindo conforme o intervalo estabelecido no quadro. O quadro 5.5 apresenta os percentuais para cada tipo de métrica de acordo com o número de eventos de cada um.

Quadro 5.5 – Parâmetros para cálculo da Resiliência

Situação Normal							
Local - Centralidade		Tipo de Via		Velocidade	Tempo*	Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60 km/h	100%		100%
Situação com o evento							
Local - Centralidade		Tipo de Via		Velocidade	Tempo*	Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora	66%	>10% /30%	75%	>10% /30%	75%
Laranja	50%	Local	33%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%		0%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0 %	> 81%/100%	0 %
Total							
* Tempo = Tempo de percurso de acordo com a velocidade da via							

Fonte: autora (2023)



Após assinalar no quadro as métricas encontradas para o caminho alternativo faz-se a soma dos valores e calcula-se a média. Esse resultado representa o percentual de Resiliência do Sistema Viário. Caso todas as métricas permanecessem a mesma, e apenas a distância percorrida e o tempo, em razão da velocidade da via, alcançassem um percentual de 9% a mais, ainda assim, de acordo com os valores estabelecidos, o sistema seria considerado 100% resiliente.

5.10 CONSIDERAÇÕES

O procedimento metodológico aqui exposto possibilita analisar a rede de viária de cidades a partir da utilização métodos associados. A metodologia para a identificação de centralidades que se dará a partir da pesquisa com os especialistas, posteriormente, a rede de vias vetorizada e transformada em um grafo será sobreposta ao mapa resultado da pesquisa com os especialistas. A partir dessa sobreposição será possível identificar a rede viária da centralidade de maior pontuação e aplicar o algoritmo de Dijkstra para determinar o caminho mais curto que substituir a via arterial cuja interrupção é simulada no grafo.

As redes representadas por grafos trazem conceitos de localização, distância, comprimento, orientação e forma como propriedades topológicas. Estas propriedades podem ser de acessibilidade, centralidade, adjacência, conectividade e ligação (SOUSA, 2011).

A partir de grafos, e de seus componentes, os nós e os arcos, e sua hierarquização é possível de ser realizado em SIG uma série de operações, como por exemplo o uso de algoritmos que permitam ações desejadas. Quando da espacialização das redes e a sua estrutura como um grafo, ao ser tratada num SIG, deverá ter importância suas ligações ou conexões entre os nós, através dos arcos. Ou seja, a topologia dos grafos (redes) deverá ser mais importante que sua espacialização (geografia) (SOUSA,2011).

No caso desse trabalho a ação é a busca de um caminho alternativo e para tanto será utilizado o algoritmo de Dijkstra. O algoritmo permitirá encontrar o caminho mais viável para substituir um caminho que, por simulação, foi interrompido. A avaliação do



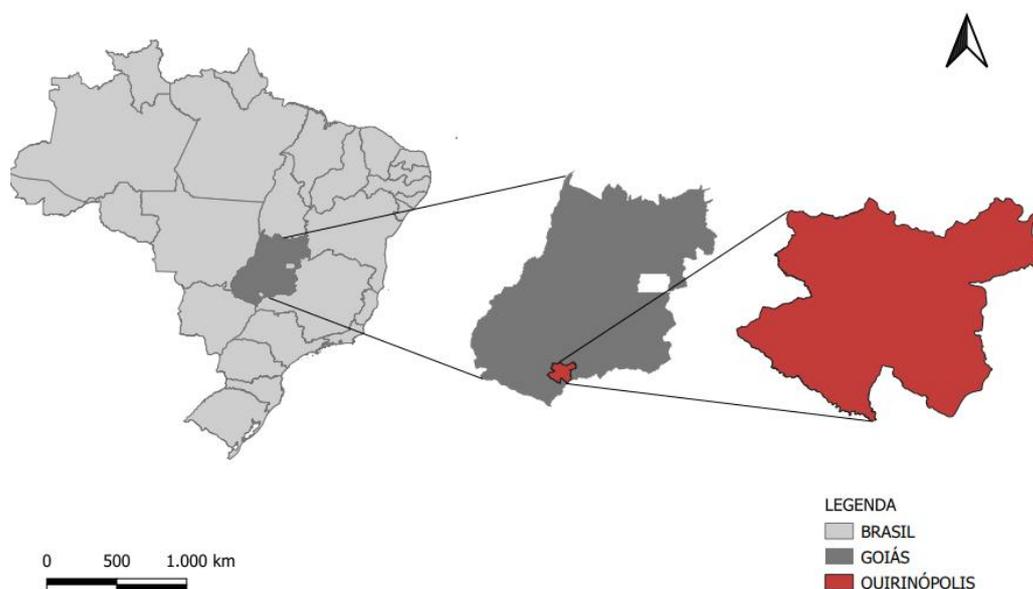
6 A CIDADE DE QUIRINÓPOLIS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A cidade de Quirinópolis está situada na mesorregião do Sul Goiano e dista cerca de 288,5 km da capital do estado de Goiás, Goiânia. A área do município é de 3.786,026 km² e limita-se com as cidades de: Bom Jesus de Goiás, Castelândia, Rio Verde, Cachoeira Alta, Paranaiguara e Gouvelândia e o município mineiro de Santa Vitória (IBGE, 2022).

Sua população estimada pelo IBGE em 2021 foi de 51.323 habitantes. No censo de 2010, a população era de 43.220 habitantes, portanto configura-se uma densidade populacional de 11,41 hab/km. Em razão dos dados expostos verifica-se uma taxa de crescimento de aproximadamente 18,75%, nos últimos dez anos (IBGE, 2022).

Figura 6.1 – Localização da cidade de Quirinópolis em Goiás



Fonte: Autora (2023)

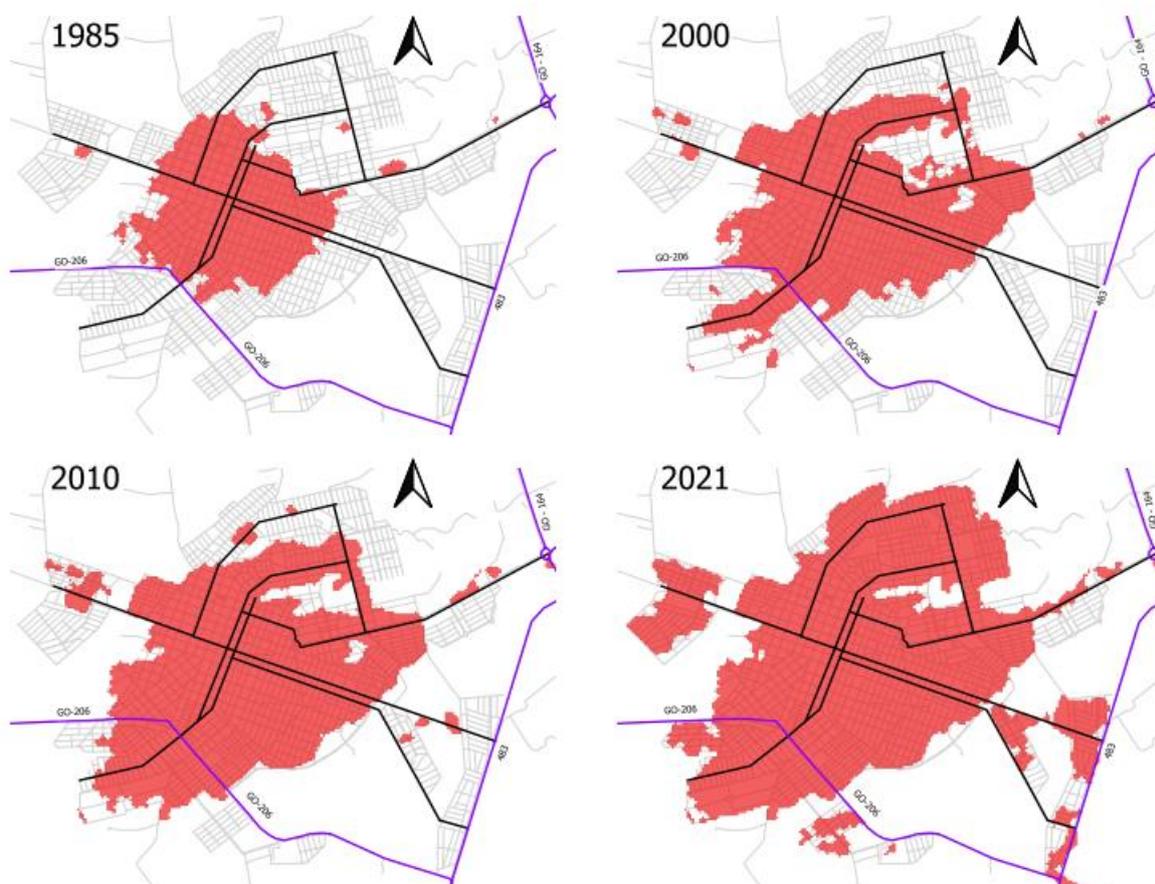
A cidade tem uma economia voltada para o agronegócio. No entanto, nas últimas décadas, ao receber investimentos econômicos dos empreendedores do agronegócio, o município tem se desenvolvido como um importante polo na produção de biocombustível, especialmente o etanol, subsidiando duas usinas sucroalcooleiras de grande porte (ALVES E SILVA, 2017).



6.2 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA

Conforme aponta Leão (2013), na cidade de Quirinópolis houve a substituição da agricultura tradicional camponesa pelas atividades do agronegócio industrial. Por conta disso, ocorreram transformações na dinâmica produtiva do município, bem como na sociedade, no campo e na cidade. Com a chegada das usinas sucrocoleiras, aconteceram transformações rápidas no que tange à infraestrutura e mão de obra; houve um crescimento urbano e demográfico significativo; mudanças no setor econômico; no setor imobiliário e também nas questões sociais. Isso pode ser claramente percebido na evolução da mancha urbana da cidade.

Figura 6.2 – Evolução da Mancha Urbana de Quirinópolis



Fonte: IBGE (2022)



Sua formação administrativa refere-se ao ano de 1933, quando ainda era distrito de Rio Verde. Com o Decreto-lei Estadual n.º 8.305, de 31 de dezembro de 1943, Quirinópolis é elevada à categoria de município, sendo desmembrada de Rio Verde. As condições favoráveis viabilizaram a exploração agropastoril, sendo que um marco importante para o desenvolvimento socioeconômico do município foi a inauguração da hidrelétrica de Cachoeira Dourada em 1966, decorrente da forte expansão agropecuária do Sul e Sudoeste goiano (ITCO, 2022).

As mudanças ocorridas nas atividades econômicas de Quirinópolis propiciaram o aumento do fluxo de veículos individuais, de ônibus, de utilitários e de caminhões, o que trouxe entraves para a mobilidade urbana. O deslocamento na malha urbana pode ser avaliado buscando-se a melhoria dos acessos e de circulação pela cidade. Estas relações podem ser ainda mais fortalecidas, para trazer melhorias para a mobilidade. A gestão da mobilidade é algo complexo, porque envolve diferentes áreas de conhecimento, portanto pesquisas para auxiliar a compreensão da estruturação do espaço urbano são ferramentas que auxiliam nessa questão (ITCO, 2022).

A pesquisa de identificação de centralidades na estrutura espacial urbana de uma cidade é uma ferramenta que pode ser estrategicamente utilizada para reconhecer como o uso e ocupação do solo estão diretamente associados às Políticas de Mobilidade Urbana, já que as centralidades são espaços da cidade que se assemelham ao centro. A identificação de centralidades pode ser utilizada no planejamento urbano, já que a centralidade é um espaço urbano de características marcantes, como o seu simbolismo, a sua maior acessibilidade, sua integração e concentração de atividades de comércio e serviços e, ainda, o valor de seu solo (KNEIB e SILVA, 2014).

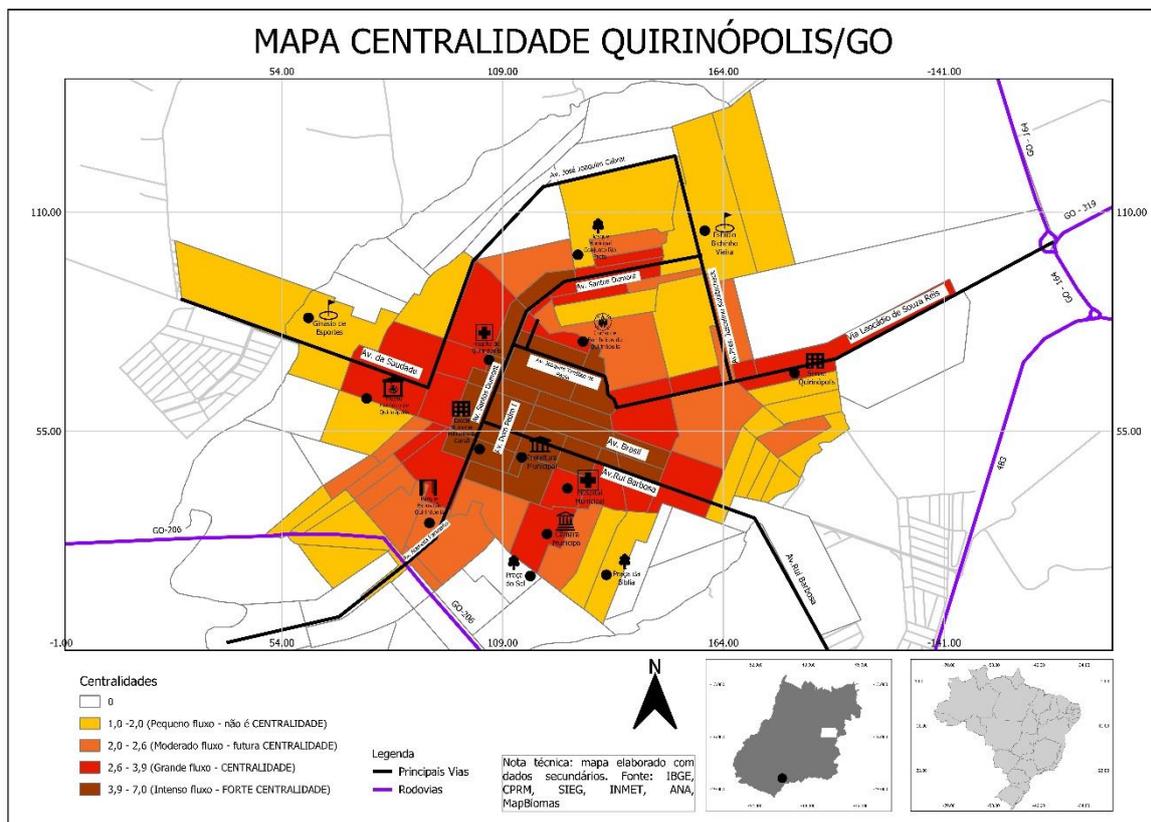
6.3 IDENTIFICAÇÃO DE CENTRALIDADES

A identificação de centralidades é um processo que possibilita estabelecer os locais da cidade que são semelhantes ao centro tradicional. Pressupõe uma forma de planejamento para a mobilidade urbana devido à relação de proximidade entre o transporte e o uso e ocupação do solo. Na cidade Quirinópolis, as centralidades foram identificadas utilizando-se a Metodologia dos Especialistas concebida por Kneib (2008) e está descrita em detalhes no capítulo 5 - Metodologia no item 5.3.



regiões como menores aglomeração de comércio e serviço e mais habitações, são elas as cores laranja e o amarelo.

Figura 6.4 – Mapa das centralidades de Quirinópolis



Fonte: Autora (2022)

Quirinópolis é uma cidade com 51.323 habitantes, portanto, dentro os parâmetros do IBGE, é classificada como uma cidade de pequeno porte. Sua centralidade mais representativa é o próprio centro tradicional. Isso significa que é onde está a maior concentração de comércios e serviços da cidade, localizadas no próprio centro tradicional. Embora seja possível perceber que estas centralidades começam a trazer um perfil de linearidade em avenidas que se destacam como Av. Brasil e Av. Rui Barbosa no sentido sudeste/noroeste, com perfil de centralidades já consolidadas.

No o sentido norte/sul o destaque é para a Av. Santos Dumont, talvez pela sua estrutura contínua no tecido urbano e a Av. Dom Pedro I, que embora não acompanhe todo o trajeto da Av. Santos Dumont, pois não possui uma continuidade no sentido norte, mas se destaca como uma via de muito comércio e serviço. No sentido noroeste destaca-



se a Av. Leocádio de Sousa Reis que se desponta como uma futura centralidade, pois apresenta-se como uma das vias de acesso à cidade a partir da rodovia GO – 164.

A identificação de centralidades permite definir diretrizes para um programa de ações e de melhorias na mobilidade urbana, de forma a possibilitar a apropriação do espaço urbano pelas pessoas que nele habitam. Para Ribeiro (2008), as pessoas que vivem na cidade são as que moldam a sua estrutura, pois são os processos sociais que a definem a cidade. Por isso, é necessário um monitoramento constante junto aos técnicos da cidade e das pessoas que nela vivem, para entender sua dinâmica e, assim, propiciar uma melhor adaptação à nova cidade.

Um dos elementos necessários à essa adaptação à nova cidade é a definição das funções que cada uma das vias exerce. Embora a identificação de centralidades deixe claro quais as vias onde o uso e ocupação do solo apresenta uma maior concentração de comércio e serviços, será utilizada a estratégia proposta por esse trabalho para a definição da hierarquia viária, pois o plano diretor da cidade não traz a definição das funções das vias.

6.4 HIERARQUIA VIÁRIA DE QUIRINÓPOLIS

A relação intrínseca entre centralidades e mobilidade urbana é inegável. A centralidade, por ser um polo de comércio e serviço, dotado de residências e pequenas indústrias, vai necessitar de melhoria na mobilidade para atender aos interesses e às necessidades da população que se desloca nesses subcentros. Portanto, todas as Políticas Públicas de Mobilidade devem estar em sintonia, possibilitando ao cidadão o pleno deslocamento pela cidade, por meio da utilização dos mais diferentes modos de transporte como andar a pé, andar de bicicleta, transporte coletivo ou transporte individual como o carro e a moto.

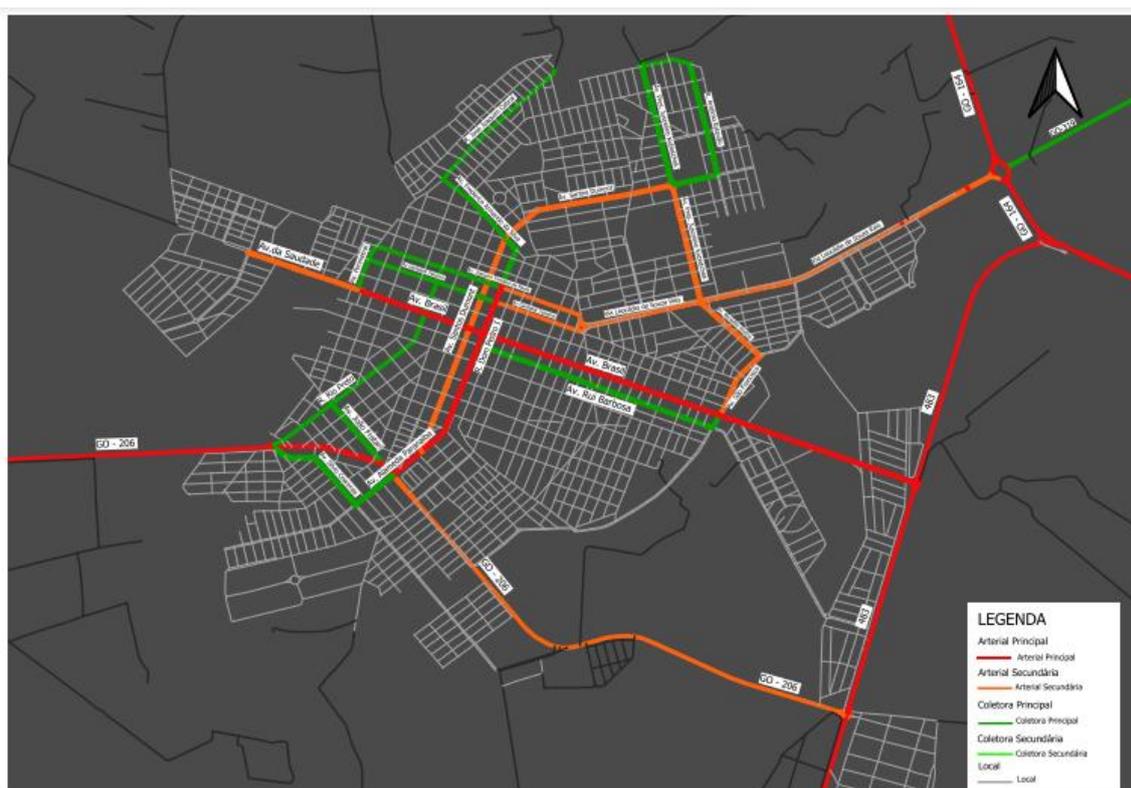
Para um deslocamento pleno das pessoas, há que se considerar a infraestrutura viária. É o sistema viário que propicia o suporte necessário ao deslocamento fácil e seguro dos habitantes de uma cidade. Ele é o responsável por proporcionar uma melhor mobilidade urbana. Para tanto, deve ser planejado, construído e sua hierarquia deve ser estabelecida no Plano Diretor.



Para uma infraestrutura viária compatível com os modos de transporte, desde o deslocamento a pé e de bicicleta, até o transporte motorizado, ela deve ser hierarquizada, de acordo com o que estabelece o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (1987) ou o DNIT, proporcionando, assim, um trânsito mais seguro para as pessoas, para as bicicletas, para as motos, para os automóveis e para o transporte de carga.

A cidade de Quirinópolis está fazendo a revisão de seu plano diretor, mas ainda não estabeleceu a classificação funcional de suas vias. Para realização desse trabalho será necessário estabelecer a hierarquia viária. O procedimento a ser utilizado está o descrito no capítulo 5 - Metodologia, no item 5.6. Procedimento para Hierarquização Viária. Após a realização do procedimento e a compatibilização com centralidades e fluxo viários obteve-se o mapa da figura 6.5.

Figura 6.5 – Mapa de Hierarquia Viária de Quirinópolis



Fonte: Autora (2023)

Av. Brasil e a Av. Dom Pedro I foram classificadas como avenidas arteriais. A Av. Rui Barbosa, paralela a Av. Brasil, foi classificada como coletora principal. Já a Av. Santos Dumont, paralela à Av. Dom Pedro I, foi em classificada em arterial secundária.



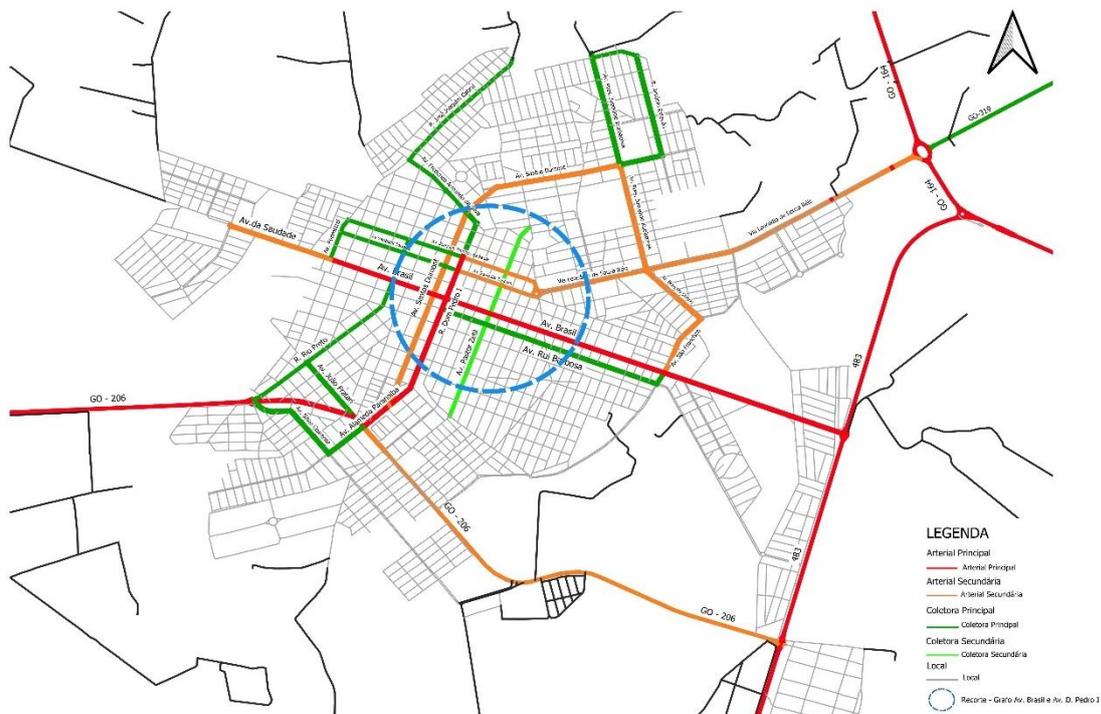
A Av. Leocádio de Sousa Reis, devido a sua dimensão classificou-se em via arterial secundária. É importante ressaltar que a classificação levou em consideração a dimensão, uso e ocupação do solo e fluxo viário.

O DNIT (2010) pontua que a classificação deve ser baseada nos desejos de deslocamento da população e também em fluxo de tráfego e uso e ocupação do solo, assim como já pontuado anteriormente. Embora existam vias com classificações intermediárias, as velocidades serão mantidas de acordo com as classificações: arterial 60km/h, coletoras 40km/h e locais 30km/h.

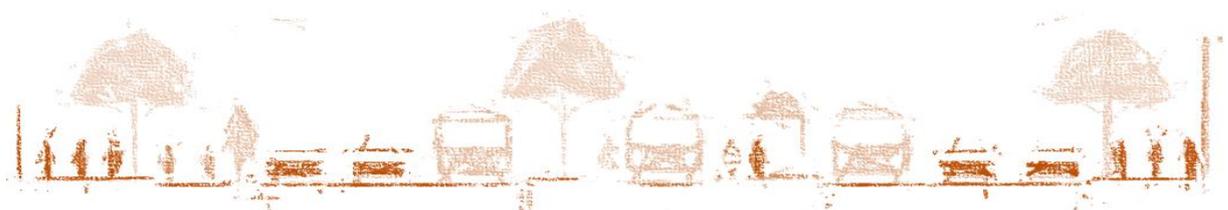
6.5 VETORIZAÇÃO DA REDE VIÁRIA – GRAFO

A malha urbana vetorizada foi utilizada para o no mapa da pesquisa de centralidades. Como já dito anteriormente, para obtenção dos eixos viários ou vetorização da rede viária foi utilizado dados *open source* do OpenStreetMap conforme descrito na Metodologia, item 5.5. A figura 6.6 mostra o mapa da rede vetorizada e a área em destaque é o local a ser transformado em grafo para a simulação do evento de interrupção previsto no método.

Figura 6.6 – Mapa da Rede Vetorizada com a Hierarquia Viária



Fonte: Autora



O círculo no mapa da figura 6.6 destaca as Av. Brasil e Av. Dom Pedro I. De acordo com a classificação essas duas vias são consideradas avenidas arteriais. Essas vias serão suprimidas no grafo simulando o que seria um incidente que provocaria a interrupção de parte da rede viária. Essas interrupções serão simuladas separadamente e os resultados dos caminhos determinados pelo software será apresentado em mapas. Os nós de origem e de destino para início e final do caminho mínimo a ser determinado prevalecerão. Como as avenidas são vias de duplo sentido, o caminho a ser determinado pelo software pode ter trajetos diferentes conforme o sentido do tráfego.

6.6 DEFINIÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO

A partir das classificações do DNIT e CTB, definiu-se que as Av. Brasil e Av. Dom Pedro I são as vias arteriais principais. Foi observado também que nessas duas vias circula a única linha de ônibus da cidade, e as Av. Brasil e Av. Dom Pedro I são as duas vias com o maior número de comércio e serviços. O procedimento para definição do caminho mínimo foi realizado nessas duas vias. As figuras 6.7 e 6.8 mostram respectivamente o recorte no mapa de Quirinópolis com a centralidade sobreposta e a transformação do recorte em grafo, onde foi realizado o procedimento.

Figura 6.7 – Recorte – Grafo com centralidades

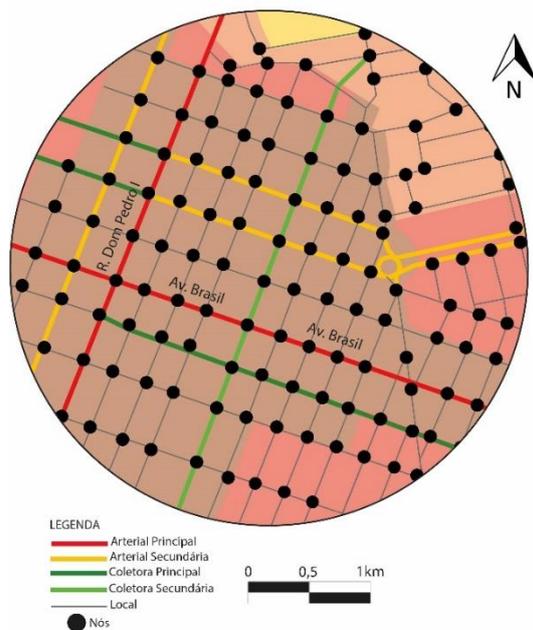
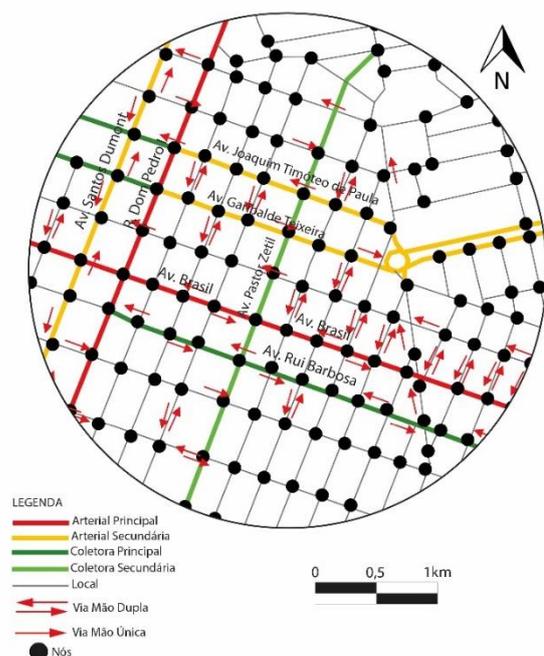


Figura: 6.8 – Nós do Grafo – Av. Brasil e Av. D. Pedro

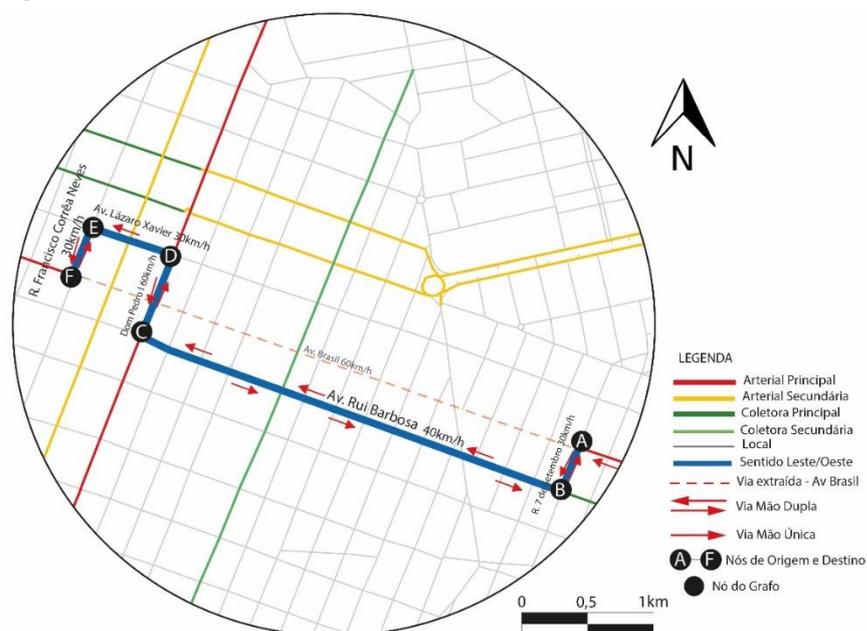


Fonte: autora (2023)



O procedimento realizado foi a supressão dos arcos e dos nós do grafo que representam um trecho Av. Brasil, sendo mantidos o nó de origem e o nó de destino. Após a supressão foi feita a definição do caminho mínimo a partir do mesmo nó de origem e de destino. A figura 6.9 mostra o caminho mínimo definido pelo QGis entre os nós A e F no sentido Leste/Oeste. A análise dos dados obtidos como centralidade, tipo de via, velocidade (tempo de percurso) e distância percorrida será realizada no próximo capítulo.

Figura 6.9 – Caminho Mínimo alternativa à Av. Brasil - sentido Leste/Oeste

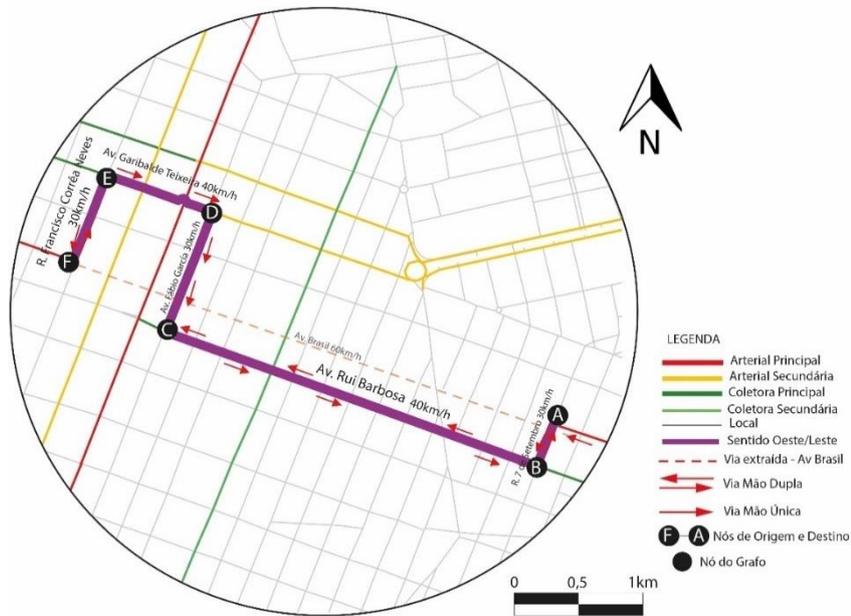


Fonte: autora (2023)

No percurso original realizado pela Av. Brasil, o trajeto tanto no sentido leste/oeste, como no sentido oeste/leste é feito na mesma via. No entanto ao definir o caminho mínimo, o algoritmo encontrou vias de sentido único, tendo, dessa forma de realizar dois caminhos diferentes para os percursos de sentido contrário. A figura 6.10 apresenta o caminho mínimo apontado pelo QGis entre os nós F e A no sentido oeste/leste, onde F é o nó de origem e A o nó de destino. Assim como na figura anterior a análise dos dados obtidos como centralidade, tipo de via, velocidade (tempo de percurso) e distância percorrida será realizada no próximo capítulo.



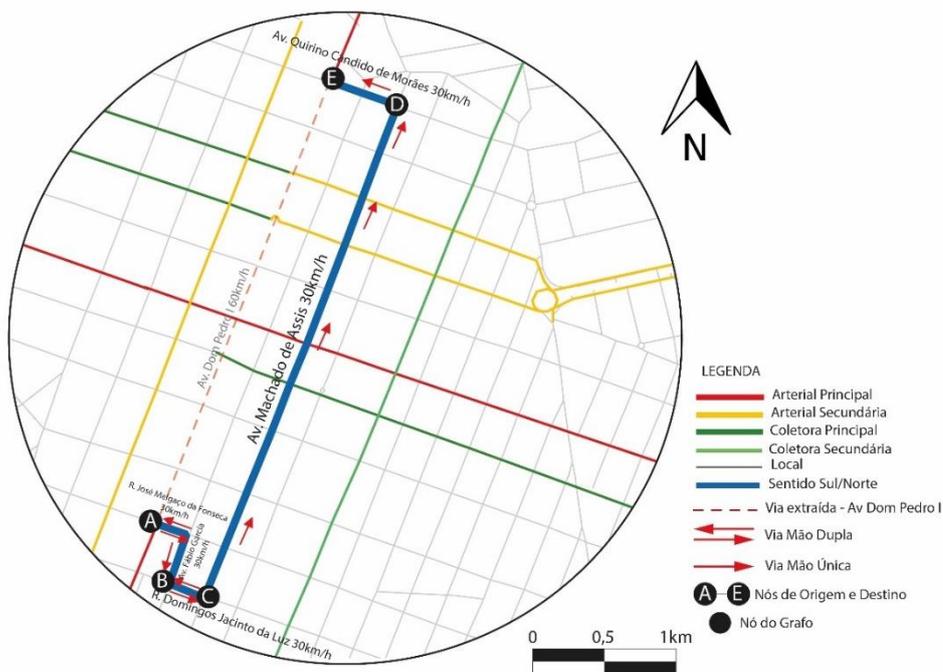
Figura 6.10 – Caminho mínimo alternativo à Av. Brasil – Sentido Oeste/Leste



Fonte: autora (2023)

Posteriormente foi feito o mesmo procedimento para a Av. Dom Pedro I. Foram supridos os arcos e os nós que representam um trecho da Av. Dom Pedro I. A figura 6.11 apresenta o caminho definido pelo algoritmo no sentido sul/norte, onde A é o nó de origem e E é o nó de destino.

Figura 6.11 – Caminho mínimo alternativa à Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte

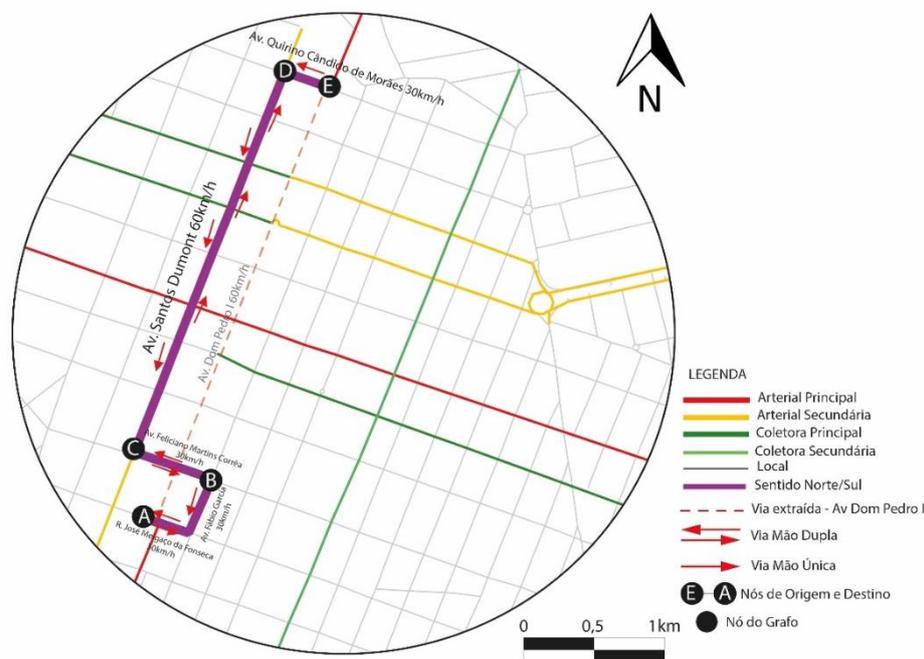


Fonte: autora (2023)



Assim como na simulação anterior, o percurso original, realizado através da Av. Dom Pedro I, o trajeto, tanto no sentido sul/norte, como no sentido norte/sul era feito na mesma via, pois é uma via de mão dupla. Ao ser determinado o caminho mínimo pelo algoritmo Dijkstra, algumas vias tinham sentido único. Portanto foi necessário a realização do procedimento para definir dois trajetos distintos para cada sentido. A figura 6.12 mostra o caminho definido para substituição do percurso original, no sentido norte/sul, nó de origem E nó de destino A. A análise dos dados obtidos como centralidade, tipo de via, velocidade (tempo de percurso) e distância percorrida será realizada no próximo capítulo.

Figura 6.12 – Caminho mínimo alternativa à Av. Dom Pedro I – Sentido Norte/Sul



Fonte: autora (2023)

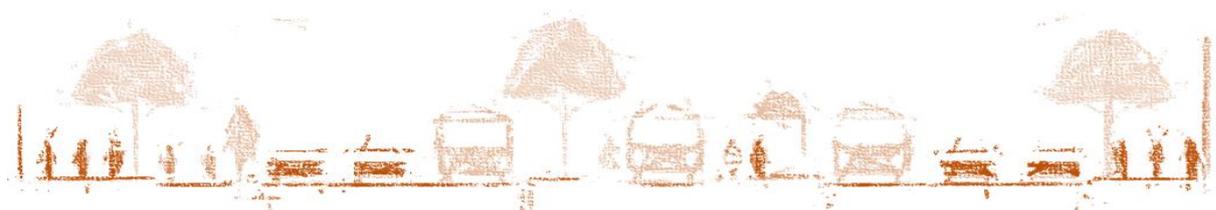
6.7 CONSIDERAÇÕES

O recorte feito na cidade de Quirinópolis tem como objetivo realizar um estudo viário que almeja mensurar a resiliência de caminhos alternativos ao viário principal. A via arterial ou principal da cidade normalmente está localizada na centralidade não forte como mostra a figura 6.7. Após a vetorização da rede fez-se o recorte, e nesse recorte foi



realizada a conversão da rede em grafo (figura 6.8). Esses dados foram inseridos no software de análise espacial e usando um algoritmo foi definido um caminho alternativo para o deslocamento na rede.

Os resultados obtidos nesses procedimentos culminaram em quatro mapas com caminhos distintos, dois para cada via suprimida, observando-se os sentidos dos deslocamentos. Esses mapas serão posteriormente analisados observando-se os dados de distância percorrida, disponibilizados pelo software, o tipo de via que o caminho alternativo utilizou, observando-se a velocidade e o tempo de percurso e a centralidade onde está alocado esse caminho.



7 A CIDADE DE JARAGUÁ

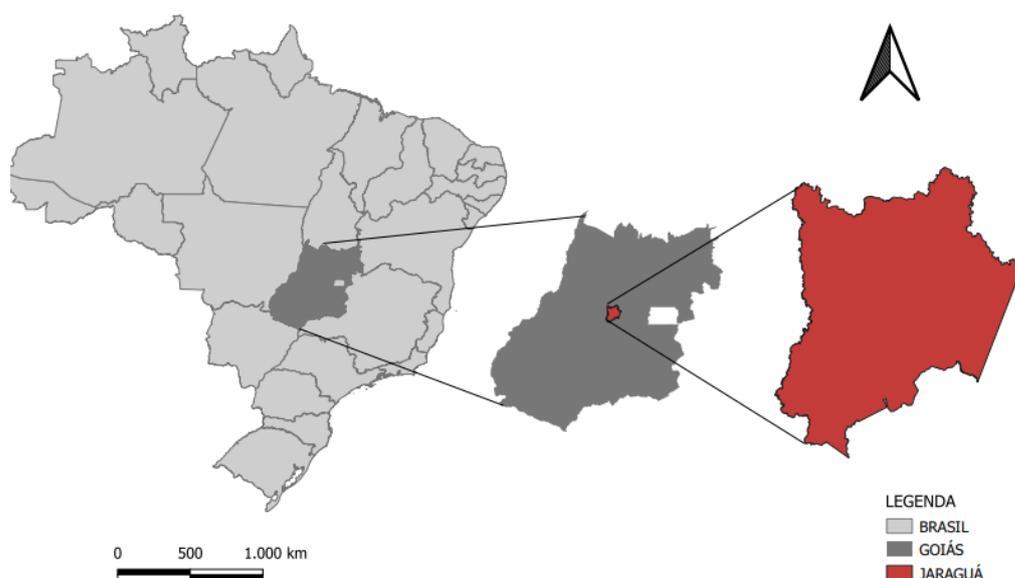
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O município de Jaraguá está localizado no estado de Goiás, na microrregião de Anápolis e mesorregião do Centro Goiano. Encontra-se a uma distância de 125 Km da capital do estado de Goiás, Goiânia. Sua população estimada é de 51.160 habitantes (IBGE, 2020). Embora classificada como uma cidade de pequeno porte, é conhecida por possuir um rico Patrimônio Cultural em razão de ser uma das cidades mais antigas do Estado de Goiás.

Jaraguá é uma cidade histórica e sua fundação teve início com a instalação em 1736 do Arraial de “Córrego do Jaraguá” e está associada ao ciclo do ouro. Ao longo dos anos, após o fim da exploração do ouro, o impulsionamento da agricultura e as rotas de comercialização proporcionam um crescimento significativo à cidade e em 1882, o município de Jaraguá foi emancipado (JARAGUÁ, 2021).

Sua área geográfica é de 1.849,552 km² e apresenta muitos desafios no que se refere ao ordenamento territorial, impostos pelas questões ambientais, resultantes das características naturais e pelas questões econômicas advindas da principal atividade que sustenta o município, cuja consolidação alavancou o processo de atração de novos contingentes populacionais e conseqüentemente o processo de expansão urbana

Figura 7.1 – Localização da cidade de Jaraguá em Goiás



Fonte: Autora (2022)



Atualmente, trata-se de um Município com características de um entreposto obrigatório, aproveitando-se do tráfego entre o norte e o sul do estado pela BR-153, conhecida como Belém-Brasília, que se encontra em fase de duplicação e com grande potencial de crescimento. Destaca-se como grande polo regional de desenvolvimento econômico.

7.2 EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA

O município de Jaraguá tem uma economia voltada para o ramo de confecção. É considerado o maior Polo de Confeccões da Região Centro Oeste e encontra-se em sexto lugar no ranking nacional de empresas dessa ordem. Conhecida como a capital das confecções e com duas rotas de escoamento importantes como a BR-153 e a Ferrovia Norte-Sul.

Jaraguá possui grandes potencialidades de crescimento e desenvolvimento econômico. A sua localização estratégica, às margens da Belém-Brasília (BR – 153), favoreceu a penetração de seus produtos no mercado regional, se consolidando como um importante polo de confecções, com mais de 800 empresas formais da indústria têxtil.

A evolução urbana da cidade de Jaraguá passa por períodos que determinam a sua malha urbana. A cidade surge em meados de 1730, como núcleo minerador, no período de exploração aurífera de Goiás (PEDROSO, 2008), e até meados de 1950 ocupa somente o sítio correspondente ao que é hoje denominado como centro histórico ou centro tradicional (Figura 7.2).

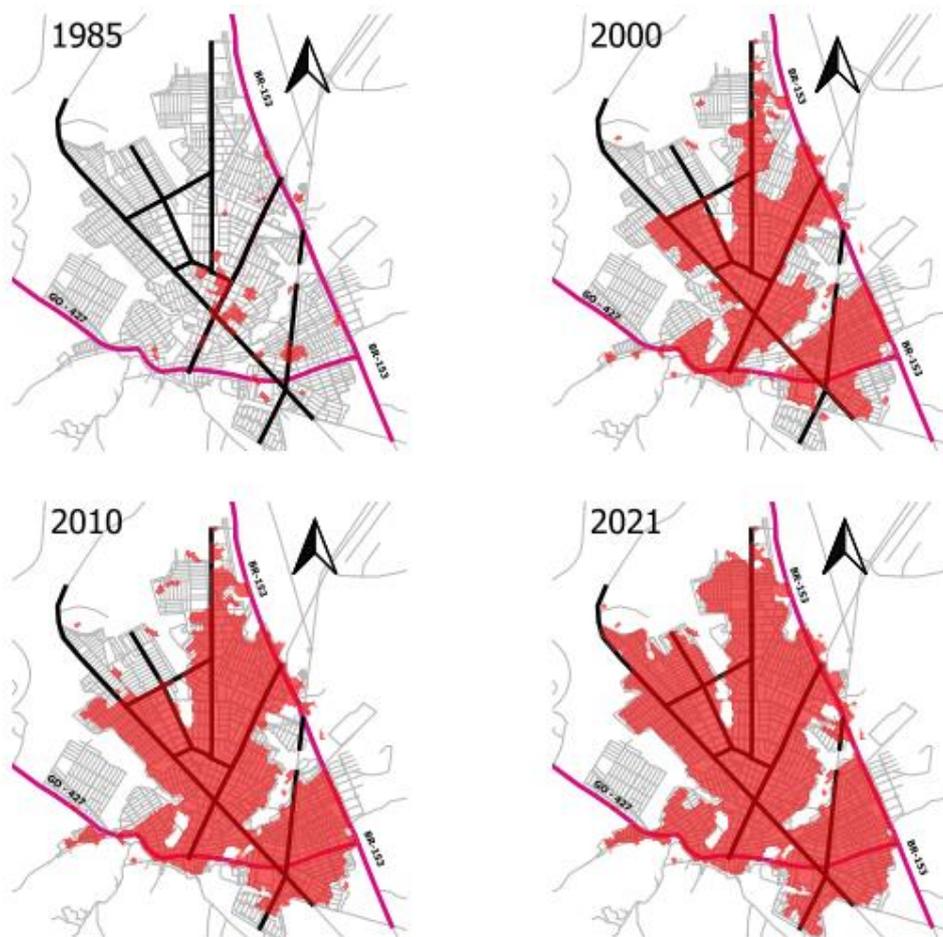
Por volta de 1950, a cidade começa a se expandir a nordeste, rumo à Avenida Bernardo Sayão, que se configura como vetor de crescimento, visto que era uma via de extrema importância, pois conectava a cidade à estrada que ligava Anápolis à Ceres. Antes denominada como uma via estruturante municipal, mas hoje, é classificada como uma estruturante urbana (AZEVEDO NETO, 1999).

Com a construção da BR 153, em 1959 a cidade passa por um crescimento urbano extensivo significativo. Mais à frente, por volta de 1980, a cidade volta a manifestar uma expansão da malha, de maneira fragmentada, com o estabelecimento da indústria do vestuário como principal atividade econômica da cidade. A partir de 2000,



percebe-se um crescimento extensivo a norte e um intensivo nas proximidades do Rio Vermelho.

Figura 7.2 – Evolução da mancha urbana de Jaraguá



Fonte: ITCO (2022)

Com a construção da BR 153, em 1959 a cidade passa por um crescimento urbano extensivo significativo. Mais à frente, por volta de 1980, a cidade volta a manifestar uma expansão da malha, de maneira fragmentada, com o estabelecimento da indústria do vestuário como principal atividade econômica da cidade. A partir de 2000, percebe-se um crescimento extensivo a norte e um intensivo nas proximidades do Rio Vermelho.

A cidade de Jaraguá tem elementos naturais reguladores de crescimento urbano, ou seja, acidentes geográficos naturais e antrópicos que estabelece limites à expansão. Ao Norte está o Rio das Almas, a BR 153 está a leste e a Serra de Jaraguá está a sudoeste. A



cidade cresce de uma forma que une as áreas existentes e inicia-se um tecido urbano mais central. As figuras apontam um significativo aporte de áreas ocupadas entre o ano de 2000 e 2021.

A configuração atual de Jaraguá apresenta uma ocupação predominantemente em malha ortogonal. Na parte sul por onde a cidade se iniciou, o traçado urbano acompanha as curvas de níveis, como é característico em todos os núcleos coloniais de origem portuguesa, na parte mais baixa da cidade, onde está a malha urbana colonial na região central pioneira. De qualquer forma, a malha ortogonal como modelo do traçado do sistema viário ganha simplicidade e a possibilidade de sua continuidade na medida em que a área urbana cresce de forma ordenada.

7.3 IDENTIFICAÇÃO DE CENTRALIDADES

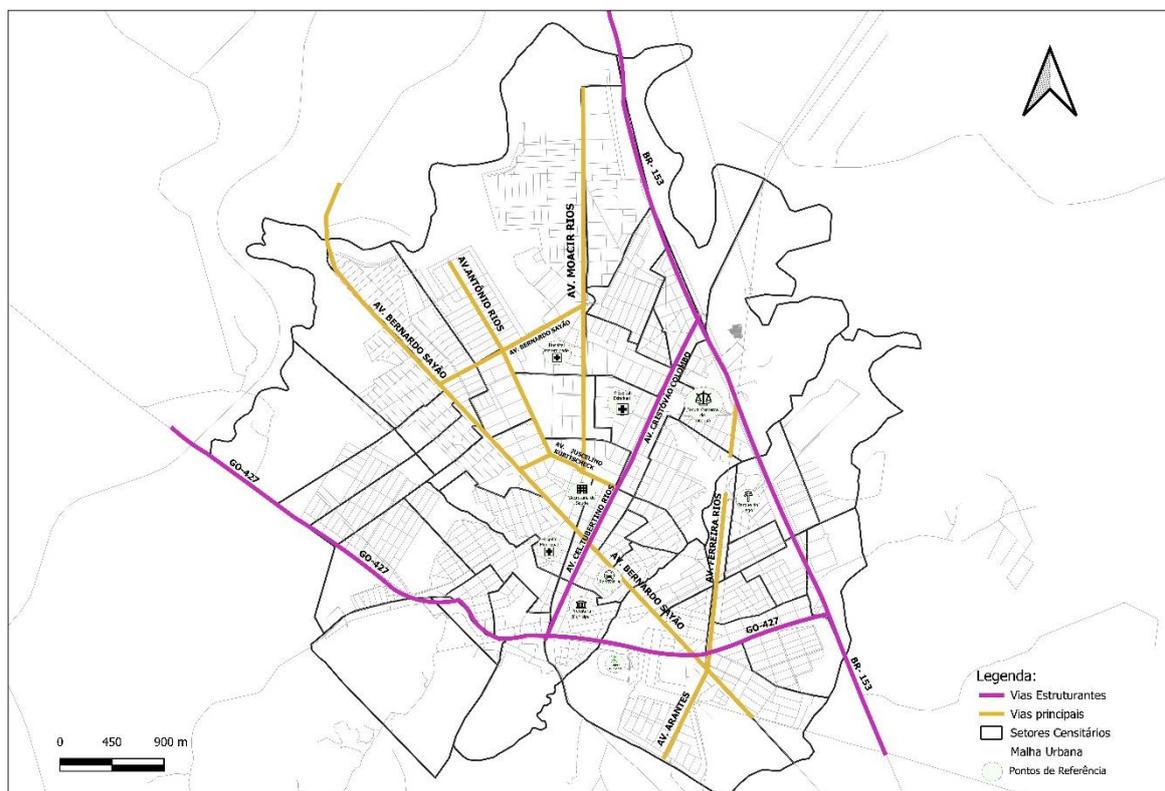
A morfologia urbana de Jaraguá tem se modificado nos últimos 30 anos em função do crescimento da indústria de confecção de roupas e sua cadeia produtiva da moda ao longo de vários estabelecimentos de comércio e de prestação de serviços, gerando inicialmente a adaptação de inúmeras residências e de salas comerciais para esta atividade no próprio tecido urbano existente.

Jaraguá é uma cidade que nasceu de forma espontânea sem um eixo estruturador para seu desenvolvimento. Apresentam uma gama considerável de moradias em seu centro, além da tendência expressiva de concentração de bens e serviços. Isto assegura que a articulação de todo o fluxo de veículos e pedestre ocorra em direção ao centro da cidade. A identificação de subcentros ou centralidades, ou seja, locais semelhantes ao centro principal, seria a forma mais adequada de tentar entender como as atuais estruturas urbanas das cidades se organizam (MENDONÇA, 2016).

Na cidade Jaraguá as centralidades foram identificadas por meio da Metodologia dos Especialistas criada por Kneib (2014b) e está descrita no capítulo 5 - Metodologia no item 5.3. Para a realização da pesquisa foi elaborado um mapa com os seguintes dados: malha urbana da cidade por seus eixos viários, sobreposta aos setores censitários. Foram demarcadas as avenidas e ruas estruturadoras da malha urbana e pontos de referência. Para obtenção dos eixos viários ou vetorização da rede viária foi utilizado dados *open source* do OpenStreetMap conforme descrito na Metodologia, item 5.5 (Figura 7.3).



Figura 7.3 - Mapa para a pesquisa de Identificação de Centralidades

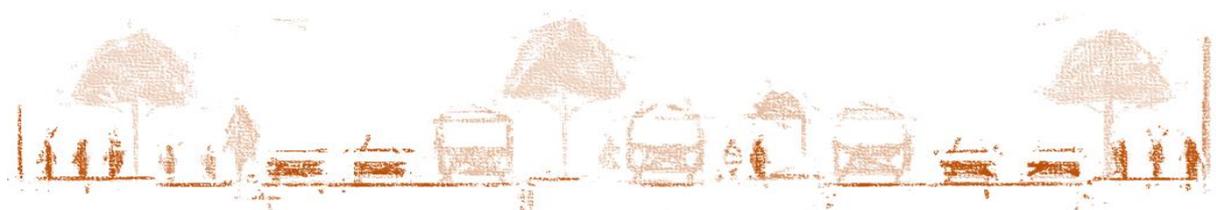


Fonte: Autora (2022)

A pesquisa para a identificação de centralidades foi realizada no dia 12 de setembro de 2022, presencialmente com 10 técnicos da Prefeitura de Quirinópolis, e repetida somente mais uma vez para os técnicos chegarem a um consenso. Para interpretação do mapa, tem-se que a cor marrom representa locais de maior centralidade, que se assemelham ao centro tradicional. Na sequência, tem-se o vermelho, indicando uma centralidade, porém menos atrativa que o centro tradicional. À medida que as cores vão clareando, localizam-se as regiões como menores aglomeração de comércio e serviço e mais habitações, são elas as cores laranja e o amarelo.

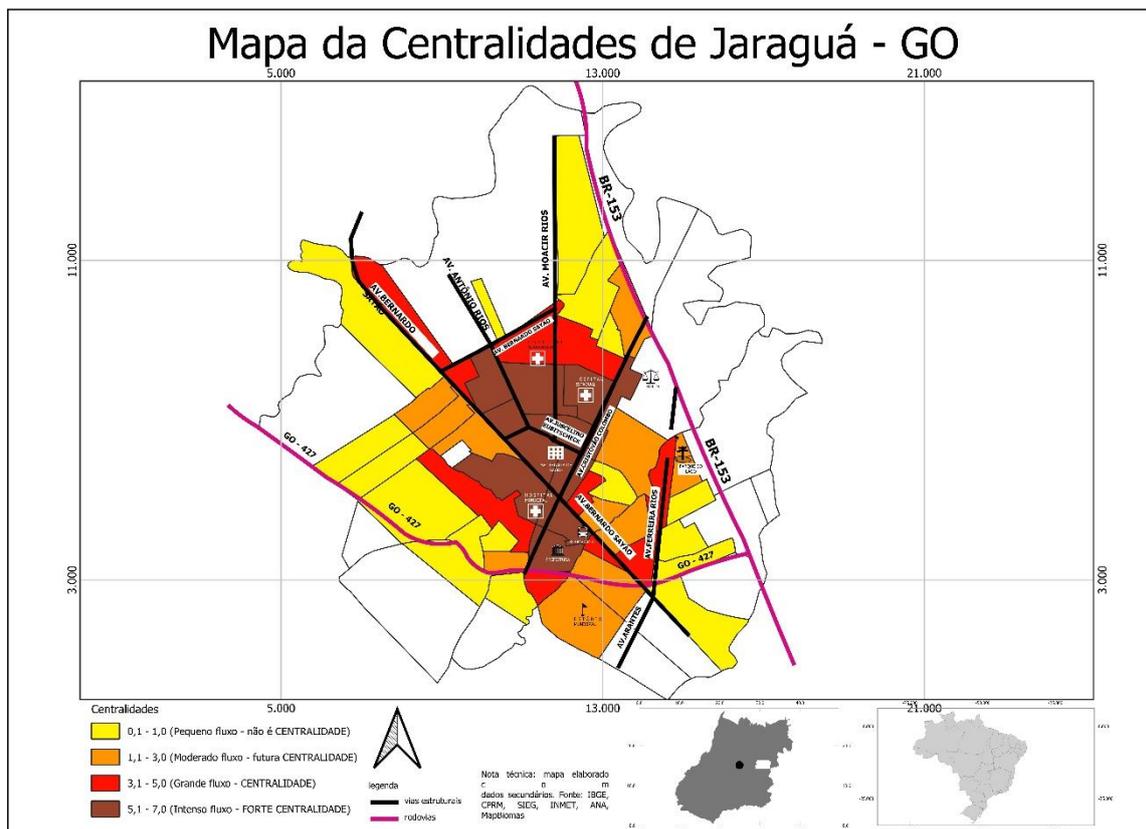
A identificação de centralidades permite definir diretrizes para um programa de ações e de melhorias na mobilidade urbana, de forma a possibilitar a apropriação do espaço urbano pelas pessoas que nele habitam. Para Ribeiro (2008), aponta que estrutura da cidade é fruto da ação das pessoas que nela vivem, pois são os processos sociais que a delinham a cidade.

É necessário que haja um acompanhamento constante, visando decifrar a dinâmica da cidade e, assim, poder se adaptar-se a ela. Intervir em uma cidade não é algo simples.



Sob essa ótica, Lerner (2013) se as cidades fossem pensadas pelas pessoas que as fizeram elas seriam melhores. Em um país diversificado como o Brasil, com riqueza de etnias, faixa etária e renda, existe um cenário urbano igualmente diverso.

Figura 7.4 – Mapa das centralidades de Jaraguá



Fonte: Autora (2022)

A cidade de Jaraguá é uma cidade com uma população estimada de 51.160 habitantes, portanto, dentro dos parâmetros do IBGE, é classificada como uma cidade de pequeno porte. Sua centralidade mais representativa é o próprio centro tradicional. Isso significa que é onde está a maior concentração de comércios e serviços da cidade, localizadas no próprio centro tradicional.

Destacam como principais centralidades os eixos viários consolidados como parte da Av. Cristóvão Colombo, continuação da Av. Tubertino Rios, a principal via da cidade. A Av. Bernardo Sayão, principalmente no sentido Noroeste, e ainda as Av. Juscelino Kubitschek e da Av. Antônio Rios. são centralidades já consolidadas.

A estas vias e ao seu entorno direto, pode ser estabelecida uma distância de 500 m para uma atenção especial com relação ao sistema viário que interliga estas vias, assim



como aos demais elementos que favorecem a mobilidade urbana como calçadas, estacionamentos, áreas de carga e descarga, vias e horários específicos de circulação de veículos de carga de grande porte e outros.

Um dos elementos importantes para a adaptação à nova cidade é a definição das funções que cada uma das vias exerce. Embora a identificação de centralidades deixe claro quais as vias onde o uso e ocupação do solo apresenta uma maior concentração de comércio e serviços, a estratégia proposta por esse trabalho para a definição da hierarquia viária não será utilizada no caso de Jaraguá já que esta definição já está disponível no seu Plano Diretor. O mapa de uso e ocupação do solo, também disponível no Plano Diretor da cidade o que corrobora para a definição das funções das vias.

7.4 HIERARQUIA VIÁRIA DE JARAGUÁ

A hierarquia viária de Jaraguá embora apresente uma nomenclatura bem diferente da estabelecida no CTB e pelo DNIT, pode ser interpretada de acordo com os parâmetros estabelecidos nos dois documentos. A hierarquia da cidade já está estabelecida em seu Plano Diretor e aqui foi apenas interpretada, para a análise dessa pesquisa em conformidade com a nomenclatura usual. A figura 7.5 ilustra essa compatibilização dos nomes.

As que a cidade nomeia de Vias Estruturais Regionais, fazem referência as Rodovias onde, pelo menos uma delas, corta o tecido urbano do município. São rodovias, de alta velocidade, que no CTB são chamadas de vias de trânsito rápido, são respectivamente a BR -153, que margeia o tecido urbano, e a GO – 427, que corta o tecido urbano e nesse caso, no mapa de classificação viária, recebe o nome de Av. Cel, Diógenes de Castro.

As vias denominadas de Vias Estruturais Urbanas A são aquelas que no CTB são denominadas de Arteriais de Primeira Categoria ou Via Arterial Primária. No mapa esta são as Av. Tubertino Rios cuja continuidade recebe o nome de Av. Cristóvão Colombo. O no Plano Diretor existe ainda a classificação de Vias Estruturais Urbanas B, que no caso poderiam ser chamadas de Via Arterial de Segunda Categoria ou Arterial Secundária. Na cidade de Jaguará esta é a via é a Av. Bernardo Sayão. Importante



especificar que esta é a avenida que corta a cidade de Sudeste a Noroeste, já que a cidade possui outra via de mesmo nome.

Figura 7.5 – Mapa de Hierarquia Viária



Fonte: Oliveira (2021)

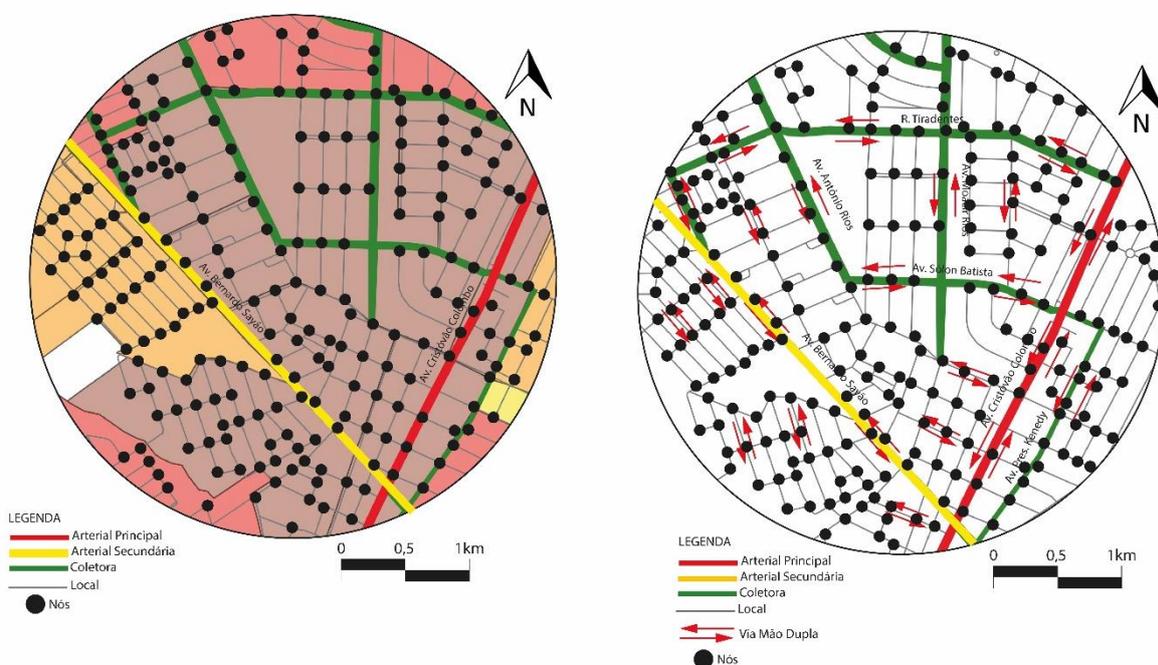
No Plano Diretor estão especificadas ainda as vias coletoras que são a Rua 10, Av. Presidente Kenedy, Av. Nelson de Castro Ribeiro, Av. Ferreira Rios, Rua João Pedro Oliveira, Av. Sólton Batista, Av. Antônio Rios, Rua Tiradentes, Av. Dr. José Peixoto da Silveira, Av. Bernardo Sayão e Av. Moacir Rios.

A importância de termos as avenidas coletoras definidas são para verificação da resiliência. Percebe-se que dentre estas vias coletoras temos nomenclatura de avenidas e ruas. Essa diferenciação se refere principalmente a largura dessas vias. Por isso é importante associarmos não apenas a dimensão da via para sua classificação, mas também o uso e ocupação do solo, o fluxo de veículos e também as centralidades. As demais ruas e avenidas foram classificadas como vias locais.



A princípio será feita a supressão dos arcos e dos nós do grafo que representam um trecho Av. Tubertino Rios, sendo mantidos o nó de origem e o nó de destino. Após a supressão será feito o procedimento que determina o caminho mínimo a partir do mesmo nó de origem e de destino. Posteriormente será feito o mesmo procedimento para a Av. Bernardo Sayão. Serão supridos os arcos e os nós que representam um trecho avenida. Após o procedimento será verificada as condições das vias que irão substituir as vias suprimidas e avaliadas de acordo com a tabela disponível na metodologia para verificação da resiliência.

Figura 7.7 – Recorte – Grafo com Centralidade Figura 7.8 – Nós do Grafo – Av. Tubertino Rios e Av. Bernardo Sayão



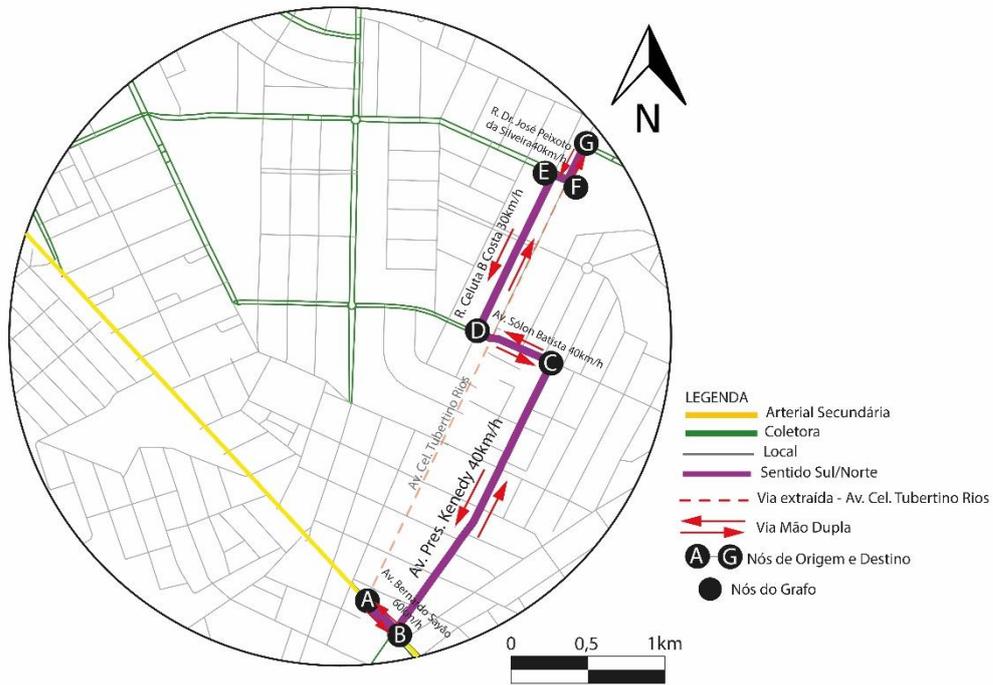
Fonte: Autora (2023)

O procedimento foi realizado nas Av. Tubertino Rios e Bernardo Sayão. Para análise foi feita a supressão dos arcos e dos nós do grafo que representam o trecho dessas avenidas. O procedimento foi feito para cada um dos trechos dentro da centralidade mais fortes das avenidas separadamente. Foram mantidos o nó de origem e o nó de destino. Após a supressão foi feita a definição do caminho mínimo a partir do mesmo nó de origem e de destino.

As figuras 7.9 e 7.10 mostram o caminho mínimo definido pelo QGis entre os nós A e F no sentido sul/norte, e sentido norte/sul em substituição à Av. Tubertino Rios.

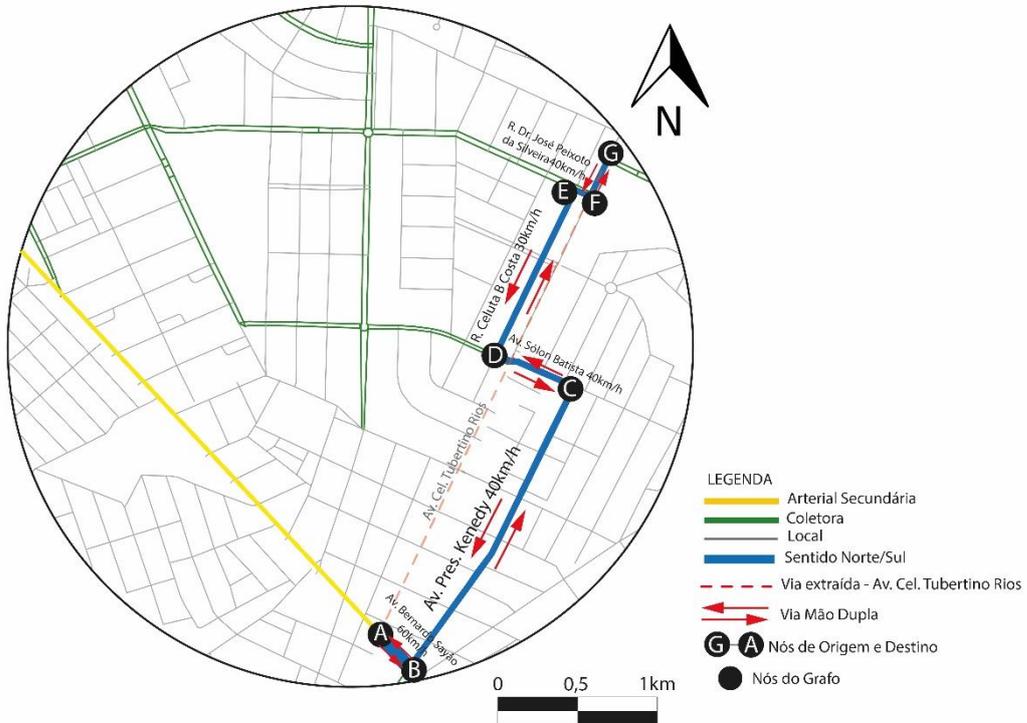


Figura 7.9 – Caminho mínimo alternativa à Av. Tubertino Rios sentido Sul/Norte



Fonte: Autora (2023)

Figura 7.10 – Caminho mínimo alternativa à Av. Tubertino Rios sentido Norte/Sul



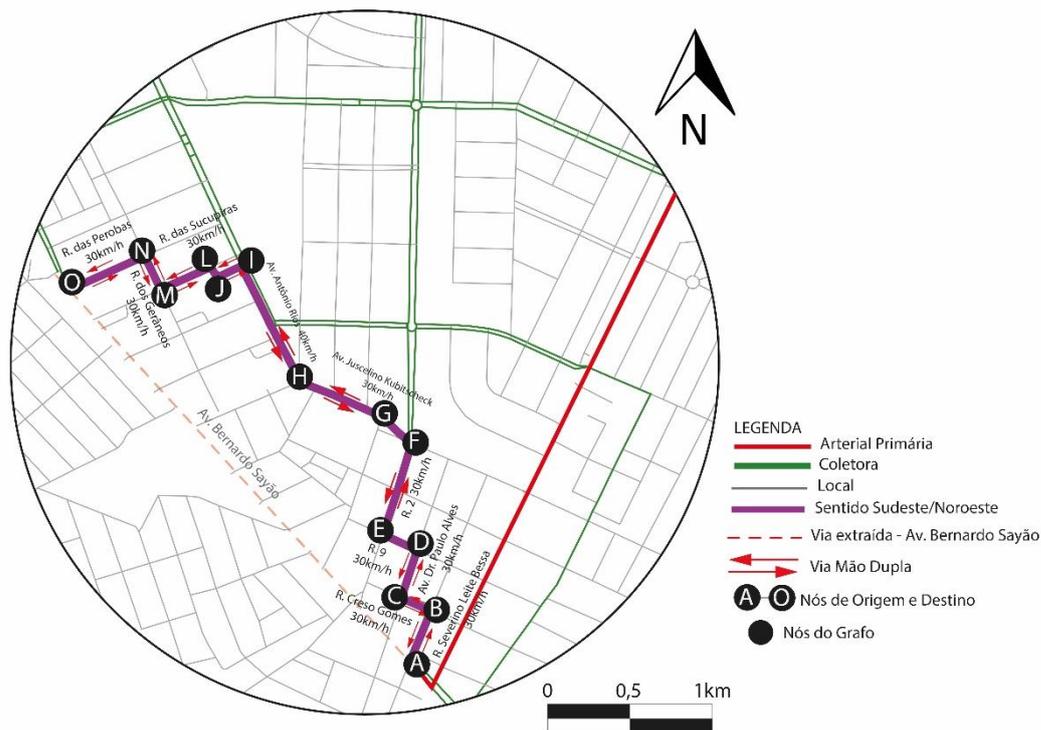
Fonte: Autora (2023)



Ao observar as figuras 7.9 e 7.10, resultados dos caminhos mínimos definidos pelo algoritmo, é possível perceber que ambas apresentam o mesmo trajeto, tanto no sentido sul/norte, quanto no sentido norte/sul. Isso se deve ao fato de que na cidade de Jaraguá quase todas as vias apresentam duplo sentido. Portanto ao definir o caminho mínimo de percurso o algoritmo utilizou as mesmas vias já que elas são mão e contramão.

A mesma situação poderá ser observada nas figuras 7.11 e 7.12 que mostram o produto final da supressão dos arcos e nós da Av. Bernardo Sayão na centralidade mais forte. O caminho mínimo definido pelo algoritmo resultou em um trajeto único, tanto para o sentido sudeste/noroeste, quanto para o sentido noroeste/sudeste. Conforme já dito anteriormente isso se deve ao fato de que, quase todas as vias de Jaraguá apresentam mão dupla.

Figura 7.11 – Caminho mínimo alternativa à Av. Bernardo Sayão sentido Sudeste/Noroeste

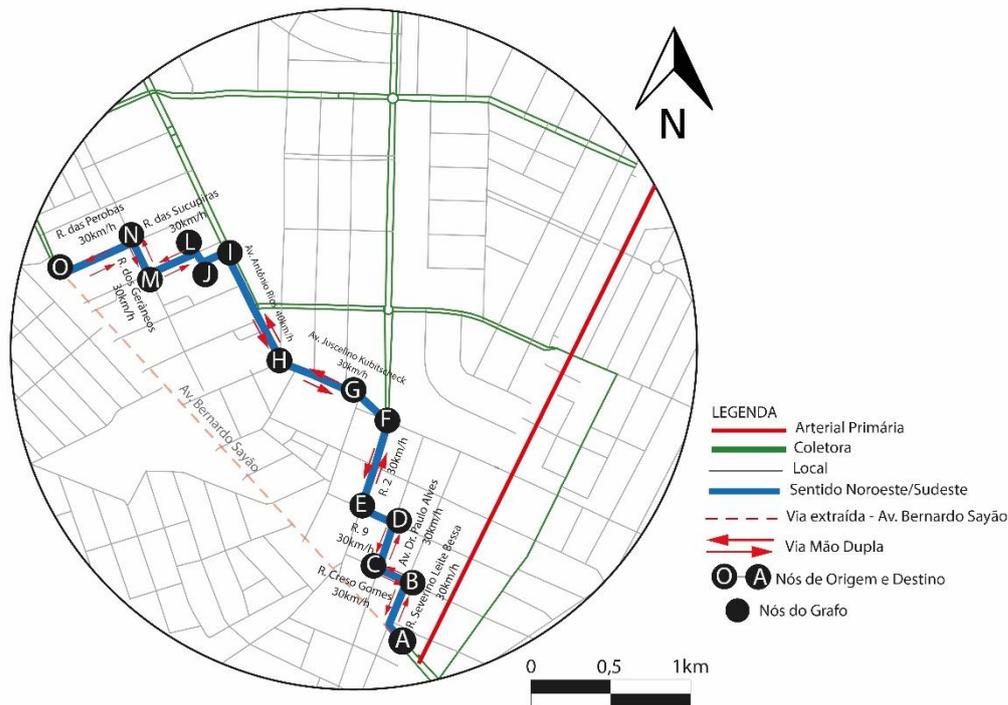


Fonte: Autora (2023)

A análise dos trajetos implementados pelo algoritmo será realizada posteriormente observando-se os dados de distância percorrida, disponibilizados pelo software, o tipo de via que o caminho alternativo utilizou, observando-se a velocidade e o tempo de percurso e a centralidade onde está alocado esse caminho.



Figura 7.12 – Caminho mínimo alternativa à Av. Bernardo Sayão sentido Noroeste/Sudeste



Fonte: Autora (2023)

7.7 CONSIDERAÇÕES

Na cidade de Jaraguá o recorte com o objetivo de fazer uma pesquisa viária sobre resiliência em caminhos alternativos ao viário principal foi realizada nas Av. Tubertino Rios e Av. Bernardo Sayão. Essas vias são arteriais ou principais vias da cidade. Estão localizadas na centralidade não forte como mostra a figura 7.7. Após a vetorização da rede fez-se o recorte, e nesse recorte foi realizada a conversão da rede em um grafo (figura 7.8). Esses dados foram inseridos no software de análise espacial e utilizando-se do algoritmo de Dijkstra foi definido um caminho mínimo alternativo para o deslocamento na rede viária.

Os resultados obtidos nesses procedimentos culminaram em quatro mapas com caminhos distintos, dois para cada via suprimida, observando-se os sentidos dos deslocamentos. Esses mapas serão posteriormente analisados observando-se os dados de distância percorrida, disponibilizados pelo software, o tipo de via que o caminho alternativo utilizou, arterial, coletora ou local, verificando-se a velocidade dessas vias por meio do cálculo do tempo de percurso e a centralidade onde está alocado o novo caminho.



8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAS

Esse capítulo tem por objetivo fazer a análise dos resultados obtidos na busca de um caminho mínimo como alternativa as avenidas arteriais, localizadas nas principais centralidades das cidades de Quirinópolis e Jaraguá. As duas cidades foram escolhidas por se tratarem de cidades que fazem parte de um mesmo estado, que apresentam uma população semelhante, Quirinópolis com 51.323 habitantes e Jaraguá com 51.160 habitantes estimativas do IBGE (2020).

No entanto, essas cidades apresentam diferenças relevantes que também motivaram as suas escolhas. Os processos de ocupação das duas cidades resultaram em espaços significativamente peculiares. Quirinópolis exemplifica um traçado de significativa regularidade, embora seja uma cidade que surgiu de forma espontânea, apresenta uma solução em grelha de forte regularidade, o que resulta em uma malha viária que se assemelha a um tabuleiro de xadrez. Seus cruzamentos viários são predominantemente ortogonais.

Jaraguá, talvez pela irregularidade de seu sítio, ou por ter sido uma ocupação mais antiga e espontânea, a irregularidade das ruas resulta da apropriação diacrônica do terreno. Jaraguá apresenta um desenho radioconcêntrico, onde as ruas da cidade convergem sempre rumo ao seu centro histórico. Embora apresente uma atividade econômica característica da contemporaneidade, ainda se comporta como uma cidade pequena, em que todas as ruas apresentam duplo sentido de tráfego.

É nesse contexto de cidades com malhas viárias tão diferentes que esse trabalho se desenvolve com o objetivo de estudar a mobilidade em sistemas viários urbanos, utilizando-se para isso de um tema tão atual que é o conceito de resiliências urbana e resiliência na mobilidade.

De acordo com o caminho mínimo traçado para cada uma das vias suprimidas será feita a análise por sentido, quando estes forem diferentes. Os critérios obedecerão ao quadro de índices para mensurar a resiliência que mostrado no item 5.8 do capítulo 5 – Metodologia.



8.2 RESULTADOS OBTIDOS

Utilizando-se dos dados de quilometragem fornecidos pelo software de análise espacial e das figuras apresentadas nos capítulos anteriores, os valores e informações foram colocados em quadros e calculados como definido no capítulo da metodologia. A primeira via a ter seus dados computados foi a Av. Brasil e depois a Av. Dom Pedro I, ambas da cidade de Quirinópolis. Para estas vias foram feitos dois quadros diferentes para cada uma, pois os percursos de ida e volta são distintos e podem ser observados nas figuras 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12 no capítulo sobre a cidade de Quirinópolis.

Depois foram elaborados os quadros para as Av. Tubertitno Rios e Av. Bernardo Sayão da cidade de Jaraguá. Para estas vias foram feitos apenas um quadro para cada via, pois os percursos obtidos de ida e volta são os mesmos para cada via e podem ser conferidos nas figuras 7.9, 7.10, 7.11 e 7.12 no capítulo sobre a cidade de Jaraguá.

Por fim foi elaborado um quadro síntese com os resultados finais para cada uma das vias em cada um dos trechos. A análise dos dados obtidos se encontra ao final desses quadros.

8.2.1 Cidade de Quirinópolis

Av. Brasil – Sentido Leste/Oeste = Do = Deslocamento original = 1,30 km

Tempo de Percurso = 1,30'

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – Dn – 1,77 km – Deslocamento novo

Trechos do grafo

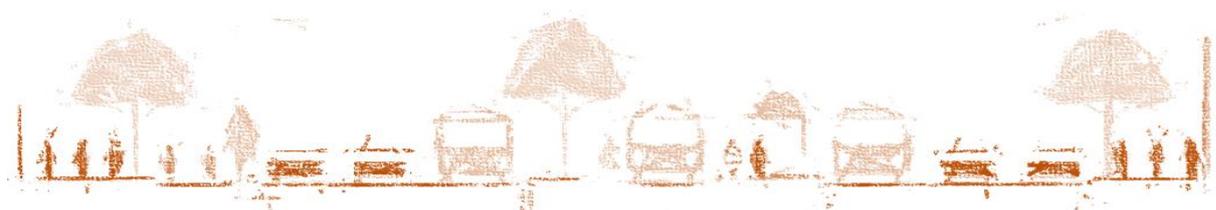
Sentido A-B **Local**: 0,117 km – Km percorrido em porcentagem = 6,61%

Sentido B-C **Coletora**: 1,10 km – Km percorrido em porcentagem = 62,15%

Sentido C-D **Arterial**: 0,217 km – Km percorrido em porcentagem = 12,26%

Sentido D-E **Local**: 0,207 km – Km percorrido em porcentagem = 11,70%

Sentido E-F **Local**: 0,129 km – Km percorrido em porcentagem = 7,28%



A somatória dos percentuais dos percursos em cada tipo de via serão os pesos para determinar o percentual de deslocamento em cada tipo de via.

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 1,77 - 1,30 = 0,47$ km a mais do trajeto inicial
36,15% percentual a mais que o trajeto original

Tempo de Percurso Local = $t = 0,906'$
Tempo Percurso Coletora = $t = 1,65'$
Tempo Percurso Arterial = $t = 0,217'$

$t = 2,773'$

Quadro 8.1 – Av. Brasil – Sentido Leste/Oeste

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,30'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,30 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 2,773'$		Distância = 1,77km	
Marrom	100%	Arterial 12,26x 100%	12,26%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 62,12 x 66%	40,99%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 25,59 x 33%	8,44%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	61,69%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							52,92%

Fonte: autora (2023)

Av. Brasil – Sentido Oeste/Leste = $D_o = 1,30$ km – Tempo de Percurso = $1,30'$

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – $D_n = 2,02$ km – Deslocamento novo

Trechos do grafo

Sentido A-B **Local**: 0,120 km = Km percorrido em porcentagem = 5,94%

Sentido B-C **Coletora**: 1,015km = Km percorrido em porcentagem = 50,24%

Sentido C-D **Local**: 0,345km = Km percorrido em porcentagem = 17,07%

Sentido D-E **Coletora**: 0,295km = Km percorrido em porcentagem = 14,60%

Sentido E-F **Local**: 0,245km = Km percorrido em porcentagem = 12,12%

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 2,02 - 1,30 = 0,72$ km a mais do trajeto inicial
55,38% percentual a mais que o trajeto original



$$\left. \begin{array}{l} \text{Tempo de Percurso Local} = t = 0' \\ \text{Tempo Percurso Coletora} = t = 1,96' \\ \text{Tempo Percurso Arterial} = t = 1,42' \end{array} \right\} t = 3,38'$$

$$\text{Diferença no tempo de percurso} = T_f - T_i = 3,38 - 1,30' = 2,08'$$

A diferença é maior o tempo inicial > 100%

Quadro 8.2 – Av. Brasil – Sentido Oeste/Leste

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,30'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,30 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 3,38'$		Distância = 2,02 km	
Marrom	100%	Arterial 0 x 100%	0%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 64,85 x 66%	42,80%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 35,15 x 33%	11,60%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	54,40%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							44,85%

Fonte: autora (2023)

Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte = $D_o = 1,09$ km - Tempo de percurso = $1,09'$

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – $D_n = 1,65$ km – Deslocamento novo

Trecho do Grafo

Sentido A-B **Local**: 0,070 km = Km percorrido em porcentagem = 4,25%

Sentido B-C **Local**: 0,120 km = Km percorrido em porcentagem = 7,27%

Sentido C-D **Local**: 0,082 km = Km percorrido em porcentagem = 4,97%

Sentido D-E **Local**: 1,218 km = Km percorrido em porcentagem = 73,82%

Sentido E-F **Local**: 0,160 km = Km percorrido em porcentagem = 9,69%

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 1,65 - 1,09 = 0,56$ km a mais do trajeto inicial

51,37% percentual a mais que o trajeto original



$$\left. \begin{array}{l} \text{Tempo de Percurso Local} = t = 0' \\ \text{Tempo Percurso Coletora} = t = 0' \\ \text{Tempo Percurso Arterial} = t = 3,30' \end{array} \right\} t = 3,30'$$

$$\text{Diferença no tempo de percurso} = T_f - T_i = 3,30 - 1,09' = 2,21'$$

A diferença é maior o tempo inicial > 100%

Quadro 8.3 – Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,09'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,09 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 3,30'$		Distância = 1,65km	
Marrom	100%	Arterial 0 x 100%	0%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 0 x 66%	0%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 100 x 33%	33%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	33%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							39,50%

Fonte: autora (2023)

Av. Dom Pedro I – Sentido Sul/Norte = $D_o = 1,09$ km - Tempo de percurso = $1,09'$

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – $D_n = 1,46$ km – Deslocamento novo

Trecho do Grafo

Sentido A-B **Local**: 0,078 km = Km percorrido em porcentagem = 5,34%

Sentido B-C **Local**: 0,135 km = Km percorrido em porcentagem = 9,24%

Sentido C-D **Local**: 0,184 km = Km percorrido em porcentagem = 12,60%

Sentido D-E **Arterial**: 0,958 km = Km percorrido em porcentagem = 65,61%

Sentido E-F **Local**: 0,105 km = Km percorrido em porcentagem = 7,19%

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 1,46 - 1,09 = 0,37$ km a mais do trajeto inicial

33,94% percentual a mais que o trajeto original



$$\left. \begin{array}{l} \text{Tempo de Percurso Local} = t = 1,004' \\ \text{Tempo Percurso Coletora} = t = 0' \\ \text{Tempo Percurso Arterial} = t = 0,958 \end{array} \right\} t = 1,96'$$

$$\text{Diferença no tempo de percurso} = T_f - T_i = 1,96' - 1,09' = 0,82'$$

75,23% percentual maior que o tempo original

Quadro 8.4 – Av. Dom Pedro I – Sentido Norte/Sul

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,09'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,09 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,96'$		Distância = 1,46km	
Marrom	100%	Arterial 65,61 x 100%	65,61%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 0 x 66%	0%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 34,38 x 33%	11,34%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	76,95%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							62,98%

Fonte: autora (2023)

8.2.2 Cidade de Jaraguá

Av. Cel. Tubertino Rios - Sentido Sul/Norte e Norte/Sul = $D_o = 1.56$ km T.P = 1,56'

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – $D_n = 1.96$ km – Deslocamento novo

Trechos do Grafo

Sentido A-B **Arterial**: 0,079 km = Km percorrido em porcentagem = 4,06%

Sentido B-C **Coletora**: 0,948 km = Km percorrido em porcentagem = 48,36%

Sentido C-D **Coletora**: 0,241 km = Km percorrido em porcentagem = 12,29%

Sentido D-E **Local**: 0,534 km = Km percorrido em porcentagem = 27,24%

Sentido E-F **Coletora**: 0,043 km = Km percorrido em porcentagem = 2,19%

Sentido F-G **Coletora**: 0,115 km = Km percorrido em porcentagem = 5,86%

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 1.96 - 1.56 = 0,40$ km a mais do trajeto inicial

25,64% percentual a mais que o trajeto original



$$\left. \begin{array}{l} \text{Tempo de Percurso Local} = t = 1,06' \\ \text{Tempo Percurso Coletora} = t = 2,02' \\ \text{Tempo Percurso Arterial} = t = 0,79' \end{array} \right\} t = 3,87$$

$$\text{Diferença no tempo de percurso} = T_f - T_i = 3,87 - 1,56' = 2,31$$

A diferença é maior o tempo inicial > 100%

Quadro 8.5 – Av. Tubertino Rios – Sentido Norte/Sul e Norte/Sul

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,56'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,56 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 3,62'$		Distância = 1,96km	
Marrom	100%	Arterial 4,06 x 100%	4,06%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 68,70 x 66%	45,34%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 27,24 x 33%	8,98%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	58,39%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							58,34%

Fonte: autora (2023)

Av. Bernardo Sayão - Sentido Sudeste/Noroeste e Noroeste/Sudeste

Deslocamento original = 1,28 km Tempo de Percurso = 1,28'

Centralidade = Marrom

Tipo de Via = Arterial

Velocidade = 60km/h

Novo percurso – Dn – 1,87 km – Deslocamento novo

Trechos do Grafo

Sentido A-B **Local**: 0,126 km = Km percorrido em porcentagem = 6,74%

Sentido B-C **Local**: 0,081 km = Km percorrido em porcentagem = 4,33%

Sentido C-D **Local**: 0,128 km = Km percorrido em porcentagem = 6,84%

Sentido D-E **Local**: 0,092 km = Km percorrido em porcentagem = 4,92%

Sentido E-F **Local**: 0,244 km = Km percorrido em porcentagem = 13,05%

Sentido F-G **Local**: 0,101 km = Km percorrido em porcentagem = 5,40%

Sentido G-H **Local**: 0,220 km = Km percorrido em porcentagem = 11,76%

Sentido H-I **Coletora**: 0,345 km = Km percorrido em porcentagem = 18,45%

Sentido I-J **Local**: 0,057 km = Km percorrido em porcentagem = 3,05%



Sentido J-L **Local**: 0,035 km = Km percorrido em porcentagem = 1,87%

Sentido L-M **Local**: 0,137 km = Km percorrido em porcentagem = 7,32%

Sentido M-N **Local**: 0,095 km = Km percorrido em porcentagem = 5,08%

Sentido N-O **Local**: 0,209 km = Km percorrido em porcentagem = 11,17%

Diferença de deslocamento = $D_n - D_o = 1,87 - 1,28 = 0,59$ km a mais do trajeto inicial

46,09% percentual a mais que o trajeto original

Tempo de Percurso Local = $t = 3,05'$

Tempo Percurso Coletora = $t = 0,52'$

Tempo Percurso Arterial = $t = 0'$

$t = 3,57'$

Diferença no tempo de percurso = $T_f - T_i = 3,57' - 1,28' = 2,29'$

A diferença é maior o tempo inicial > 100%

Quadro 8.6 – Av. Bernardo Sayão – Sentido Sudeste/Noroeste Noroeste/Sudeste

Situação Normal – Av. Brasil Sentido Leste/Oeste							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 1,28'$		Distância percorrida	
Marrom	100%	Arterial	100%	60km/h	100%	1,28 km	100%
Situação com o evento							
Local Centralidade		Tipo de Via		Velocidade $t = 3,57'$		Distância = 1,87km	
Marrom	100%	Arterial 0x 100%	0%	0% /10%	100%	0% /10%	100%
Vermelha	75%	Coletora 18,40 x 66%	12,14%	>11% /30%	75%	>11% /30%	75%
Laranja	50%	Local 81,60 x 33%	26,93%	>31%/50%	50%	>31%/50%	50%
Amarela	25%	Total	39,07%	>51%/80%	25%	>51%/80%	25%
Branca	0%			> 81%/100%	0%	> 81%/100%	0%
Total							47,26%

Fonte: autora (2023)

Quadro 8.7 – Resumo dos resultados finais

Cidades	Vias Suprimidas	Resiliência				
		Central	Via	Vel/t	Dist.	Total
Quirinópolis	Av. Brasil L/O	100%	61,69%	0%	50%	52,92%
	Av. Brasil O/L	100%	54,40%	0%	25%	44,85%
	Av. D. Pedro I S/N	100%	33,00%	0%	25%	39,50%
	Av. D. Pedro I N/S	100%	76,95%	25%	50%	62,98%
Jaraguá	Av. Tubertino S/N e N/S	100%	58,39%	0%	75%	58,34%
	Av. Bernardo Sayão N/S e S/N	100%	39,07%	0%	50%	47,26%

Fonte: autora (2023)



8.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a verificação da resiliência no sistema viário das cidades de Quirinópolis e Jaraguá foram implementados alguns procedimentos que levaram em consideração a hierarquia viária, as velocidades de acordo com a classificação viária, as centralidades, e a distância percorrida.

Os procedimentos foram a identificação de quatro vias, duas em cada da cidade que fossem arteriais e que ocupassem a centralidade mais forte. Essas vias foram suprimidas e utilizando-se do algoritmo de Dijkstra, que determina o menor caminho, e uma ferramenta de análise espacial, um novo caminho foi encontrado para substituir a via retirada.

Os resultados obtidos foram colocados em quadros, o qual atribuiu valores percentuais para os resultados, determinando assim a eficiência do novo caminho. Estes quadros se encontram acima e estão numeradas de 8.1 até 8.6. O quadro 8.7 é um quadro resumo desses resultados e podem ser analisados para cada um dos itens do quadro e de forma global.

Observa-se que os percursos encontrados, permaneceram todos eles dentro das centralidades mais forte, o que não trouxe nenhuma variação em relação a esse tipo de índice. O segundo item verificado foi a hierarquia da via do percurso. A via dos percursos anteriores era arterial, no entanto, o caminho definido pelo algoritmo leva em consideração o sentido da via e a menor quilometragem, não se importando com a classificação viária.

Nesse quesito percebe-se que, quando o percurso se dá, na sua maior parte, em vias locais o percentual de eficiência cai bastante, pois nas vias locais a velocidade é menor que nas vias coletoras e arteriais. Percebe-se que os percursos da Av. D. Pedro I sentido Sul/Norte em Quirinópolis e a Av. Bernardo Sayão em Jaraguá tiveram seus percentuais bastante reduzidos, exatamente porque grande parte do percurso se deu em vias locais.

O terceiro item analisado foi a Velocidade verificada em relação ao tempo de deslocamento. Sabe-se que a velocidade é igual ao tempo multiplicado pelo espaço percorrido. Nesse caso, apenas o percurso da Av. D. Pedro I, sentido N/S foi pontuado,



pois em todos os outros percursos o tempo deslocamento foi maior que o dobro do tempo inicial.

Por último tem-se o espaço percorrido. Foi observado nesse quesito o aumento do deslocamento em quilometragem. O destaque ficou para a Av. Tubertino Rios da cidade de Jaraguá cujo trajeto final foi o de menor aumento de quilometragem em relação ao trajeto original. As Av. Brasil sentido O/L e a Av. D. Pedro I sentido S/N, ambas de Quirinópolis, foram os percursos de maior quilometragem em relação ao trajeto original.

No cômputo geral tem-se que o melhor desempenho obtido foi o da Av. D. Pedro I, sentido N/S, de Quirinópolis com resiliência de 62,98%. Em segundo lugar foi a Av. Tubertino Rios de Jaraguá, com 58,34% de resiliência. Isso nos leva a observar que, nesse caso, o fato da malha urbana ser ortogonal ou ser uma malha urbana radioconcêntrica não significaram melhor ou pior desempenho, eficiência ou resiliência.

No entanto esse fator não pode ser considerado uma regra, ou um fato definidor na avaliação do desempenho. Em uma rede viária há que se considerar o sentido das vias. Na cidade de Quirinópolis algumas vias tem sentido único, o que no momento de se escolher o caminho mínimo, faz diferença o sentido adotado. No caso da cidade de Jaraguá, todas as vias tem duplo sentido, portanto o sentido adotado não muda o caminho definido para ida ou volta. Ele será sempre o mesmo. Essas considerações deixam claro que o tipo de malha viária ortogonal ou radioconcêntrica pode, em uma análise de outra cidade, gerar resultados diferentes dos aqui obtidos.

Percebe-se que a diferença significativa está no tipo de via que o programa adota para o percurso alternativo, ou seja, se é uma via arterial, o desempenho será o mesmo, pois a via suprimida era arterial, portanto, se mantém a velocidade. Mas como a diretriz adotada é a menor quilometragem, se a via definida para o menor percurso é coletora, o desempenho diminui, porque em vias coletoras a velocidade permitida é menor. Se o percurso se deu em via local, o desempenho reduz ainda mais, pois a velocidade é ainda menor.

Observa-se que a Av. D. Pedro I, sentido N/S teve o melhor desempenho no percurso com 62,98%, no entanto, no sentido contrário, a mesma via, a Av. D. Pedro I, sentido S/N, foi a que teve o pior desempenho com 39,50%, exatamente porque no caminho alternativo, circulou grande parte do seu percurso em via local e teve o maior aumento de quilometragem no seu deslocamento final.



8.4 CONSIDERAÇÕES

Avaliar o sistema viário envolve muitas variáveis. Aqui foram observados quatro índices e desses, três estão diretamente envolvidos. A velocidade da via, o tempo de deslocamento e a distância percorrida são fatores interdependentes. O que se buscou aqui foi verificar o quanto as interrupções no sistema viário podem trazer dificuldades para o dia a dia das cidades.

Dentre as contribuições com a resiliência na mobilidade, nesse trabalho foi mostrado que a definição adotada seria a capacidade do sistema de RESISTIR, ou RECUPERAR, de ADAPTAR, ou se TRANSFORMAR. Definir uma forma de avaliar, tendo como parâmetro o trajeto suprimido, foi uma maneira de verificar se, mesmo interrompida a principal via da cidade, ainda seria possível manter a circulação entre a mesma origem e o mesmo destino. A resposta obtida foi SIM.

Nas duas cidades analisadas os sistemas viários foram capazes de permanecer em funcionamento, o que denota RESILIÊNCIA de acordo com a definição adotada. O sistema foi capaz de se ADAPTAR, buscando um caminho alternativo entre a origem e o destino em todas as situações. No entanto, percebe-se que o desempenho não permaneceu o mesmo, o que significa que, caso haja interrupção da via principal, o Sistema Urbano, a Cidade, enfrentará problemas de deslocamento, como congestionamento, ou outros percalços, dificultando assim a mobilidade dos modos motorizados o que automaticamente reflete na mobilidade dos modos não motorizados como a bicicleta e também na segurança da mobilidade para as pessoas.

No entanto, observou-se também que existem ferramentas gratuitas, e dados disponíveis sobre o sistema viário que podem auxiliar na obtenção de caminhos alternativos, quando da necessidade de interromper parte do sistema viário. Os caminhos sugeridos, podem ser tão eficientes e igualmente resilientes como os trechos interrompidos das vias da cidade, só depende da disponibilidade e do viário utilizado.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ação do ser humano sobre o território é inata, pois ele é o que tem a maior capacidade de modificar o funcionamento de um ecossistema seja para o bem, seja para o mal (SOUSA, 2010). A partir dessa afirmação pode-se ponderar que, para as cidades, a ação do homem vai fazer diferença quando essa visa o bem estar e planeja um futuro mais alvissareiro. Pensar em resiliência é se valer de conceitos e pensar em cenários futuros que podem deixar as cidades mais preparadas para lidar com as ações antrópicas e os acontecimentos naturais.

Essa tese teve como objetivo geral estabelecer a relação entre o conceito de Resiliência e o Sistema Viário e, conceber um método para avaliar impactos no Sistema Viário visando contribuir para uma leitura da Resiliência. Ela trouxe contribuições de trabalhos internacionais e nacionais para amparar o conceito adotado e assim pode contribuir como mais uma fonte para subsidiar futuras pesquisas sobre resiliência urbana e na mobilidade.

Foi capaz de propor uma metodologia apropriando-se de uma ferramenta de análise espacial de uso livre e um algoritmo, cuja utilização já se encontra disponível dentro do próprio software, cumprindo assim o seu principal objetivo de apresentar uma alternativa de ferramenta para a gestão da mobilidade e também para o planejamento urbano

Apresentou índices simples para definir e avaliar o desempenho de um sistema viários, verificando se ele era capaz de permanecer em funcionamento, o que preconizava uma das definições de resiliência. Propôs índices esses que puderam ser calculados a partir de dados disponíveis e por softwares livres. As análises realizadas foram simples e podem ser utilizadas para qualquer sistema viário de qualquer cidade, independente de sua forma e de seu tamanho.

Se apropriou de dados facilmente disponíveis e gratuitos e que permitem transformar redes viárias em grafos para sua análise, e ainda se utilizou de software de análise espacial livre, e com isso foi capaz auxiliar para o planejamento de uma cidade mais preparada para incidentes futuros.

Analizou, por meio de índices, o desempenho do sistema viário de cidades, que nunca tiveram a preocupação de como a cidade poderia manter o funcionamento de seu



sistema viário mesmo se esse viesse a se ver obstruído por uma interrupção. Simulou um estado de colapso em um trecho viário, o que permitiu uma série de análises, e até mesmo perceber se a cidade está preparada para continuar as atividades e permitir a mobilidade no seu dia a dia.

A metodologia aqui proposta poderá ser replicada em outras cidades com o objetivo de examinar os potenciais efeitos sobre a mobilidade urbana, considerando-se as peculiaridades de cada cidade. O procedimento pode ser útil e servir como um suporte na implementação de políticas públicas que visando dar suporte à mobilidade e criando condições resilientes para às gerações presentes e futuras, ampliando as condições que cada gestor tem de analisar e melhorar os sistemas viários de suas cidades.

A análise da vulnerabilidade de um Sistema Viário é apenas uma das perspectivas de ameaças que uma cidade pode vivenciar. Recomenda-se que a metodologia possa ser replicada em outras cidades para fins de comparação e/ou ser usada como uma ferramenta para auxiliar na implementação de Políticas Públicas de Mobilidade Urbana, que contribuam para a ampliação e melhoria do Sistema Viário. E também a aplicação em outras vias das mesmas cidades, quando necessário. A análise também pode ser feita de forma setORIZADA, utilizando-se para isso a divisão por bairros da cidade e não a pesquisa de centralidades.

O uso do algoritmo de Dijkstra, permite alterações para a definição do caminho mínimo. Por exemplo poderia ser o caminho de menor custo, onde os parâmetros adotados poderiam ser o de menor consumo de combustível. Existem ainda outras maneiras de definir caminhos alternativos, utilizando-se para isso outras ferramentas ou algoritmos. Por exemplo a Sintaxe Espacial permite a busca de caminhos que tenha mais permeabilidade, ou ligações. No entanto o objetivo dessa tese é que os softwares e algoritmos utilizados não tivessem nenhum custo para a obtenção dos resultados, por isso a alternativa do uso do QGIS e do algoritmo de Dijkstra.

Os resultados desta tese também podem servir para a reflexão sobre as Políticas Públicas a serem adotadas para que a obtenção de um Sistema Viário menos vulnerável e mais robusto, aumentando assim a sua resiliência. Recomenda-se uma análise mais profunda da resiliência em Sistemas Viários utilizando-se para isso de outras ferramentas e algoritmos e a criação de mais indicadores que se apropriem de dimensões de vias,



estacionamentos, congestionamentos, sinalização viária, gestão, e novas tecnologias empregadas.

Por fim acredita-se que as problemáticas apresentadas como norteadoras dessa tese foram amplamente discutidas. Os quatro pilares da resiliência: resistir, recuperar, adaptar e transformar, foram justamente os conceitos perseguidos, para dar sustentação ao conceito ampliado de resiliência, que é manter a funcionalidade do sistema mesmo sob interrupções, buscando assim manter os deslocamentos na cidade mesmo após um desastre. A ferramenta de análise espacial aliada a um algoritmo foi exatamente o instrumento que possibilitou a análise realizada.

Considera-se, portanto, que a experiência de apresentar um procedimento metodológico que avaliasse a resiliência foi relevante pois conseguiu atingir o objetivo a que se propôs. Considera-se também, como um fato relevante deste trabalho, a facilidade de se realizar o procedimento em qualquer cidade independente de seu tamanho.

Embora a aplicação da metodologia e dos procedimentos tenha cumprido rigorosamente os passos a que se propôs, as análises podem ser complementadas podendo ser alvo de futuros ajustes, por meio da análise de outros elementos, no sentido de complementar e aprimorar essa tese.

Nesse momento em que as emissões de poluentes precisam ser diminuídas ou controladas, visando contribuir para a sustentabilidade das cidades e do planeta, existe uma alternativa de se criar aplicativos, algoritmos ou software que possam indicar um caminho onde a emissão de poluentes seja menor, isso representaria uma alternativa efetiva na obtenção da Resiliência Urbana e da Mobilidade.



REFERÊNCIAS

ADJETEY-BAHUN, K, BIRREGAH, B. CHÂTELET, E. PLANCHET, J. P. A model to quantify the resilience of mass railway transportation systems. **Reliability Engineering and System Safety**, 153, pp.1–14. 2016.

ARAÚJO, A. C. M.; GOUVEIA, L. B. Uma revisão sobre os princípios da teoria geral dos sistemas. **Revista Estação Científica**, Juiz de Fora, n. 16, jul.-dez. 2016.

AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, 100(4), 341-343, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2011.02.021>. Acesso em: 20 set. 2020.

ALBERTI, M.; MARZLUFF, J. M.; SHULENBERGER, E.; BRADLEY, G.; RYAN, C.; ZUMBRUNNEN, C. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. **BioScience**, 53(12), 1169-1179, December, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1169:IHIEOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1169:IHIEOA]2.0.CO;2). Acesso em: 20 set. 2020.

BALBIM, R. **Mobilidade: uma abordagem sistêmica**. In: Cidade e Movimento: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano. IPEA. Brasília, 2016.

BAR-YAM, Y. Cities as complex systems. In: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. (ed.). **Complexity theory in applied policy worldwide**. Brasília: Ipea, 2014.

BAR-YAM, Y; SIEGENFELD, A.F. **An Introduction to Complex Systems Science and Its Applications**. Academic Editor: Carlos Gershenson. 2020.

BENEVOLO, Leonardo. **História da cidade**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2015.

BERKELEY AR, WALLACE M. **A framework for establishing critical infrastructure resilience goals**. Technical report. National Infrastructure Advisory Council; 2010.

BERDICA, K. **An introduction to road vulnerability**: what has been done, is done and should be done. Stockholm, Sweden: Department of Infrastructure, Royal Institute of Technology, Fiskartorpsvagen, 2002.

BETTENCOURT, L. Cities as complex systems. In: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. (ed.). **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, 2014.

BOCCHINI, P.; FRANGOPOL, D. M.; UMMENHOFER, T.; O, T. **Resilience and sustainability of civil infrastructure: Toward a unified approach**. Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 20, Issue 2, p. 04014004 1-16, 2014.



BRANDÃO, J. M. **Resiliência**: de que se trata? O conceito e suas implicações. 2009. Dissertação (Mestrado em Psicologia Social) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, 2009.

BRANDÃO, J. M.; MAHFOUD, M.; GIANORDOLI-NASCIMENTO, I. F. **A construção do conceito de resiliência em psicologia**: discutindo as origens. Belo Horizonte, MG, 2011. Disponível em: www.scielo.br/paideia. Acesso em: 20 de junho 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria Geral, Diretoria Executiva, **Instituto de Pesquisas Rodoviárias**. 2010.

BRAZ, A. M.; COSTA, N. **Teoria dos grafos e geoprocessamento: aplicação na cidade de Três Lagoas/MS**. Conference: IX GeoPontal. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325904394> . Acesso em: 20 dez. 2022.

BROWN, A.; DAYAL, A.; RIO, C. R. D. From practice to theory: emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience. **Environment and Urbanization**, 24(2), 531-556, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0956247812456490>. Acesso em: 20 set. 2020.

BRUNEAU, M.; CHANG, S. E.; EGUCHI, R.; LEE, G. C.; O’ROURKE, T. D.; REINHORN, A. M.; SHINOZUKA, M.; TIERNEY, K.; WALLACE W. A.; VON WINTERFELDT, D. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. **Earthq. Spectra**, v. 19, n. 4, p. 733-752, 2003.

BRUGMANN, J. Financing the resilient city. **Environment and Urbanization**, 24(1), 215-232, 2012. Disponível: <https://doi.org/10.1177/0956247812437130>. Acesso em: 20 set. 2020.

BURROUGH, P. **Principles of geographical information systems for land e resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1989.

CALABI, D. **História do urbanismo europeu**. São Paulo: Perspectiva, 2012.

CAMPANELLA, T. J. Urban resilience and the recovery of New Orleans. **Journal of the American Planning Association**, 72(2), 141-146, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01944360608976734>. Acesso em: 20 set. 2020.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 8. ed. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2003.



CARVALHO, T. C. C. **Pequeno glossário ilustrado de urbanismo**. Rio de Janeiro. Rio Books, 2020.

CASTELLS, Manuel. **A questão urbana**. São Paulo: Paz e Terra, 1972.

CTB - Código de Trânsito Brasileiro – CTB – LEI N° 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 2005.

CERDÁ, I. *Teoria Generale dell'urbanizzazione*. Milão: Jaca Book, 1985.

CHELLERI, L. From the “Resilient City” to urban resilience. A review essay on understanding and integrating the resilience perspective for urban systems. **Documents d'Anàlisi Geogràfica**, 58(2), 287-306, 2012. Disponível em: http://dag.revista.uab.es/article/view/v58-n2-chelleri/pdf-en#.WrkF1_Oo-Ug.mendeley. Acesso em: 20 set. 2020.

CHOPRA, S. S.; DILLON, T.; BILEC, M. M.; KHANNA, V. A network based framework for assessing infrastructure resilience: a case study of the London metro system. **J. Roy. Soc. Interface**, v. 13, n. 118, p. 2016, May, 2016. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2016.0113>. Acesso em: 20 set. 2020.

CLARK, D. **Introdução à geografia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

COAFFEE, J.; O'HARE, P. Urban resilience and national security: the role for planning. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning**, 161(4), 173-182, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/udap.2008.161.4.173>. Acesso em: 20 set. 2020.

CORMEN, T.; BALKCOM, D. **Descrevendo Grafos**. 2017. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/computing/computer-science/algorithms/graph-representation/a/describing-graphs>. Acesso: 01/05/2022.

COOK, R. I.; RENDER, M. L.; WOODS, D. D. Gaps in the continuity of care and progress on patient safety. **British Medical Journal**, 320, 791-794, March, 2000.

COPI, I. M. **Introdução a lógica**. Tradução Álvaro Cabral. 2ª.ed. São Paulo: Mestre Jou, 1978.

CORRÊA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática S. A. 1989.

DF. NOTA TÉCNICA - N° 02/2015 DAUrb/SUAT. **Diretrizes para o sistema viário Novos parcelamentos**. Distrito Federal, 1 de out. 2015. Disponível em: <https://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/nt02-2015-diretrizes-sist-viario-novos-parcelamentos.pdf>. Acesso em 06/12/2022

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_proj_geom_de_trav_urbanas_publicacao_740.pdf. Acesso em 06 dez. 2022



DUPUY, G. **El urbanismo de las redes**. Teoria e métodos. Vilassar de mar, Barcelona: Oikos Tau, 1998.

ERNSTSON, H. The social production of ecosystem services: lessons from urban resilience research. *In*: ERNSTSON, H. (ed.). **Rhizomia**: actors, networks and resilience in urban landscapes, PhD thesis. Stockholm University, 2008.

ERNSTSON, H.; VAN DER LEEUW, S. E.; REDMAN, C. L.; MEFFERT, D. J.; DAVIS, G.; ALFSEN, C.; ELMQVIST, T. Urban transitions: on urban resilience and human-dominated ecosystems. **AMBIO**, 39(8), 531-545, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0081-9>. Acesso em: 20 set. 2020.

ESRI "**ESRI Shapefile Technical Description**" (PDF). Retrieved 2007-07-04, 1998.

FANTOVA, F. J. M. **Resiliência i voluntad de sentit em la promoció de la salut psicosocial em els docents**: capacitat de reconstrucció positiva a partir d'um contexto inicial d'adversitat. Estudi de cas em um institut d'educació secundària. Tese (Doutorado em Psicologia) – Facultat de Psicologia, Ciències de l'Educació i de l'Esport Blanquerna, Barcelona, Espanha, 2008.

FARIAS, J. A. Resiliência: um bom conceito para o projeto e a reforma urbana? Sessão Temática 10: Perspectiva para o Planejamento Urbano Regional. XVII ENANPUR. São Paulo, 2017.

FATURECHI, R.; MILLER-HOOKS, E. Measuring the performance of transportation infrastructure systems in disasters: a comprehensive review. **J. Infrastruct. Syst.**, v. 21, n. 1, mar. 2015. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000212](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212). Acesso em: 20 set. 2020.

FEOFILOFF, P.; KOHAYAKAWA, Y.; WAKABAYASHI, Y. **Uma introdução sucinta à teoria dos Grafos**. Disponível em: <http://www.lcad.icmc.usp.br/~jbatista/edados/mat/TeoriaDosGrafos.pdf>. 2011. Acesso em 12/12/2022.

FOLKE, C. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Glob. Environ. Chang.**, 16, p. 253-267, 2006.

FORESTI, A. J.; BRESSANI, L. A.; ECKERT, C.; SILVA FILHO, L. C. S. Engenharia de resiliência: uma primeira aproximação com a gestão de riscos de desastres sicionaturais – In book - **Geologia Ambiental - Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável 2** (pp.67-86). Edição 1. Capítulo V. Atena Editora. Paraná, 2017.

FUNDAÇÃO ROCKFELLER/ARUP. Measurement Guide Mach (City Resilience Index). The Rockefeller Foundation/ARUP, Research Report, v. 6/6. 2016.



GODSCHALK, D. R. Urban hazard mitigation: creating resilient cities. **Natural Hazards Review**, 4(3), 136-143, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136)). Acesso em: 20 set. 2020.

GONDIM, M. F. **A travessia no tempo: homens e veículos, da mitologia aos tempos modernos**. 2014. 343 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GONDIM, M. F. **Caderno de desenho de ciclovias**. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

GIRÃO, R. S.; PEREIRA, W. A. A.; FERNANDES, P. J. F. **Elaboração de índice de acessibilidade a partir da análise geoespacial em rede**. Mercator, Fortaleza, UFC. 2017.

HAMILTON, W. A. H. Resilience and the city: the water sector. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning**, 162(3), 109-121, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/udap.2009.162.3.109>. Acesso em: 20 set. 2020.

HAIMES Y.Y. **On the definition of resilience in systems**. *Risk Anal*;29 (4):498–501.2009.

HANSEN, W. How accessibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, n. 2, p. 73-76, 1959

HENSTRA, D. Toward the climate-resilient city: extreme weather and urban climate adaptation policies in two canadian provinces. **Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice**, 14(2), 175-194, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13876988.2012.665215>. Acesso em: 20 set. 2020.

HOLLING, C. Resilience and stability of ecological systems. **Annual review of ecology and systematics**, v. 4, p. 1-23, 1973.

HOLLNAGEL, E.; PARIÈS, J.; WREATHALL, J. **Resilience Engineering in Practice – a guidebook**. Ashgate Publishing Limited; 2011. Reprinted 2013.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Ed. Objetiva, 2017. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/houaiss/>. Acesso em: 6 jun. 2020.

INE/UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. **Caminho de Custo Mínimo - Algoritmo de Dijkstra**. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/grafos/temas/custo-minimo>, 2020. Acesso em: 12 dez. 2022.

ILMOLA, L. Approaches to measurement of urban resilience. *In*: YAMAGATA, Y.; MARUYAMA, H. **Urban resilience**. A transformative approach. Springer International Publishing Switzerland, 2016.



KAUFMANN, V. **History of the concept of mobility**. 2021. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/History-of-the-concept-of-mobility-The-science-of-Kaufmann/bf7287ac381154d3948713ca70af780223e5852f>. Acesso em: 20 set. 2022.

KIM, E.; HEWINGS, G. J. D. An application of integrated transport network: multiregional CGE model II: calibration of network effects of highway. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign, 35 p., 2003.

KNEIB, E. C. **Subcentros urbanos: contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para o planejamento de transportes**. Distrito Federal, 2008.

_____. **Estrutura espacial e a mobilidade urbana por transporte coletivo: procedimento de análise e investigação de relações**. In: Projeto e Cidade: Centralidades e Mobilidade Urbana. Goiânia: Gráfica UFG, 2014a.

_____. **Identificação de subcentros urbanos para o planejamento de transportes e mobilidade: contribuição metodológica baseada em especialistas**. In: Projeto e Cidade: Centralidades e Mobilidade Urbana. Goiânia: Gráfica UFG, 2014b.

KLEIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. T., THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: how useful is this concept? **Environmental Hazards**, n. 5, p. 35-45, 2003. Disponível em: <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0075/Temis-0075362/20080.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

KRZYSZTOF, R. Apt. **Edsger Wybe Dijkstra (1930–2002): A Portrait of a Genius**. CWI, Amsterdam, The Netherlands, and University of Amsterdam, The Netherlands, 2002.

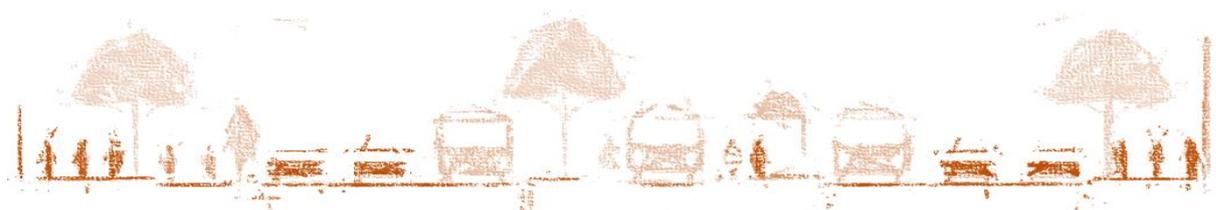
LARA, F. L. **A arquitetura moderna brasileira e o automóvel: o casamento do século**. In: Cidade e Movimento: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano. IPEA. Brasília, 2016.

LEICHENKO, R. Climate change and urban resilience. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 3(3), 164-168, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2010.12.014>. Acesso em: 20 set. 2020.

LERNER, J. Prólogo. In: GEHL, J. **Cidades para as pessoas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013.

LEOBONS, C. M.; GOUVEA, V. B.; BANDEIRA, R. C. A. de M. Avaliação da resiliência em sistemas de transportes. 33º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 2019.

LIAO, K.-H. A theory on urban resilience to floods – A basis for alternative planning practices. **Ecology and Society**, 17(4), 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5751/ES-05231-170448>. Acesso em: 20 set. 2020.



LUTHAR, S.; CICCETTI, D.; BECKER, B. **The constructo of resilience**: a critical evaluation and guidelines for future work. *Child Development*, 2000.

MACMILLAN DICTIONARY [on-line] 2018. Disponível em <http://www.macmillandictionaryblog.com/resilient>. Acesso em: 5 jun. 2020.

MAGALHÃES, S. Prefácio. *In*: PINHEIRO, A. C.; FRISCHTAK, C. **Mobilidade Urbana: desafios e perspectivas para as cidades brasileiras**. Rio de Janeiro: Elsevier: FGV/IBRE, 2015.

MARTIN-BREEN, P.; ANDERIES J. M. **Resilience**: a literature review. New York: Institute of Development Studies (IDS), The Resource Alliance, The Rockefeller Foundation, 2011.

MASCARÓ, J. L. e YOSHINAGA, M. **Infraestrutura urbana**. Masquatro. Porto Alegre, RS, 2013.

MEDEIROS, V. **Urbis brasilae**: o labirinto das cidades brasileiras. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

MENDONÇA, F. A. F. **Reestruturação de redes de transporte coletivo a partir da identificação de centralidade em cidades de médio porte**: procedimento metodológico e definição de diretrizes. 2016. 129f. Dissertação (Mestrado em Projetos e Cidade) – Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

MICHAELIS MODERNO. **Dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2017. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/>. Acesso em: 6 jun. 2020.

MOBILIDADE. *In*: DICIO, **Dicionário Online de Português**. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/risco/>>. Acesso em: 09 set.2022.

MURRAY-TUITE, P. M. A comparison of transportation network resilience under simulated system optimum and user equilibrium conditions. **IEEE Explore**, 3-6 Dec. 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4117764>. Acesso em: 20 set. 2020.

NACTO – National Association of City Transportation Officials. **Global Streets Design Guide**. Disponível em: <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide-pt/>. 2016.

NAHAS, M. I. P. Indicadores Intra-Urbanos como Instrumento de Gestão da Qualidade de Vida Urbana em Grandes Cidades: Discussão Teórico-Metodológica. <http://www.virtual.pucminas.br/idhs/site/imagens/nahas1.pdf>, 2003.



NAVONE, E. C. **Dijkstra's Shortest Path Algorithm - A Detailed and Visual Introduction**. Disponível em: <https://www.freecodecamp.org/news/dijkstras-shortest-path-algorithm-visual-introduction/>, 2020. Acesso em: 12 dez. 2022.

NETTO, Paulo Oswaldo Boaventura. **Grafos: Teoria, Modelo, Algoritmo**. São Paulo, E. Blucher, 2006.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Perspectivas mundiais de urbanização: a revisão de 2007**. Nações Unidas; Nova York, NY, EUA: 2008.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT OECD Environmental Indicators: Development, Measurement and Use. OECD, Paris, 2003.

PENDALL, R.; FOSTER, K. A.; COWELL, M. Resilience and regions: building understanding of the metaphor. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, 3(1), p.71-84, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp028>. Acesso em: 20 set. 2020.

PICKETT, S. T. A.; CADENASSO, M. L.; GROVE, J. M. Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. **Landscape and Urban Planning**, 69(4), 369-384, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035>. Acesso em: 20 set. 2020.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, Florianópolis, v. 4(3), p. 213-227, 1999.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1959.

POPPER, K. R. **Conhecimento objetivo**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1975.

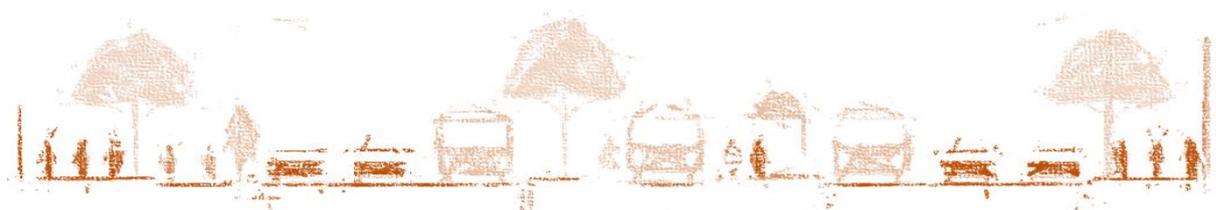
PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS. **Classificação Viária – Anexo 7**. 2018.

PROAG, V. **The Concept of Vulnerability and Resilience**, *Procedia Economics and Finance*, Volume 18. Pages 369-376, ISSN 2212-5671, 2014
[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6)

REGGIANI, A.; NIJKAMP, P.; LANZI, D. Transport resilience and vulnerability: the role of connectivity. **Transp. Res. A Policy Pract.**, v. 81, p. 4-15, November. 2015.

REIMAN, T.; OEDEWALD, P. **Framework for evaluating safety critical organizations**. Proceedings of the 17th Congress of the International Ergonomics Association, 2009.

RIBEIRO, R. J. C. **Índice Composto de Qualidade de Vida Urbana - Aspectos de configuração espacial, socioeconômicos e ambientais urbanos**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.



RIBEIRO, P. J. G. R.; GONÇALVES, L. A. P. J. Urban resilience: a conceptual framework. **Sustainable Cities and Society Journal homepage**, 2019. Disponível em: www.elsevier.com/locate/scs. Acesso em: 20 set. 2020.

RIGHI, A. **Rough seas for renewable energy**: addressing regulatory overlap for hydrokinetic projects on the other continental shelf. *Washington Journal of Environmental Law and Policy*, 2011.

RODRIGUE, J. P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The geography of transportation systems**. Routledge, London and New York, 2006.

ROMACHELI, A. A. **A (des) construção da caminhabilidade: o boom imobiliário e a produção do espaço público em Goiânia (2007 – 2015)**. Tese de Doutorado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

ROSSI, A. **A arquitetura da cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

SANTANA, A. T.; DEUS, J. B.; MARTINS, E.; CHAVEIRO, E. F. **A rodovia BR-060 no Centro-Oeste brasileiro: dinâmica territorial e legendas espaciais**. *Geo UERJ*, n. 29, 2016.

SANTOS, A. M.; CAMPOS, C. I.; ZULUAGA, R. A. G.; CARVALHO, W. L.; SOUZA I. A. M. **História dos cursos de Engenharia de Transportes, Transportes e Logística, Mobilidade e Ferroviária e Metroviária**. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET – 34º ANPET. Disponível em: www.anpet.org.br, 2020.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. 2. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

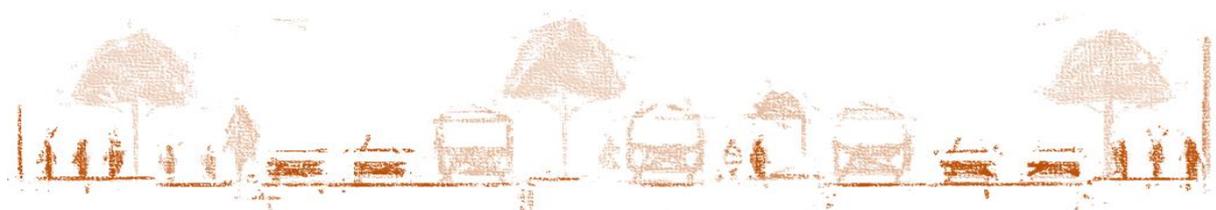
SANTOS, M. **O espaço do cidadão**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1998.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado**. 6. ed. Reimpressão. São Paulo: Edusp, 2014.

SEVCENKO, N. A questão cultural no embate de diferentes planos: MetrÓpole x região x nação x mundo. In: GONÇALVES, Maria Flora (org.). **O novo Brasil urbano: impasses, dilemas, perspectivas**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1995. p. 187.

SHARIFI, A.; YAMAGATA, Y. **Resilient urban planning: major principles and criteria**. *Energy Procedia*, 61, p. 1491-1495, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.154>. Acesso em: 20 set. 2020.

SILVA, R. C. **Extração de dados geoespaciais do Openstreetmap para geração de redes de ruas**. 2016. TCC (graduação em Engenharia de Software) - Universidade Federal do Ceará, Campus Quixadá, Quixadá, 2016.



SOUSA, P. A. M. **Efeito estruturante das redes de transporte no território - Modelo de Análise**. Universidade de Lisboa. FURBS, 2010.

STEEN R, AVEN T. **A risk perspective suitable for resilience engineering**. *Saf Sci* 2011;49(2):292–7., 2011.

TAYLOR, P. **Worldcitynetwork. A global urbananalysis**. New York, Routledge, 2004.

TIERNEY, K.; BRUNEAU, M. **Conceptualizing and measuring resilience: a key to disaster loss reduction**. *TR News*, v. 250, p. 14-18, 2007.

TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. **Climate and Development**, 4(4), 311-326, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>. Acesso em: 20 set. 2020.

TIMOSHENKO, S. P. **History of strength of materials**: with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures. New York: McGraw-Hill, 1953.

TSAY, M.; XU, H.; WU, C. Journal co-citation analysis of semiconductor literature. **Scientometrics**, 57, p. 7-25, 2003.

TUAN, Y-F. **Espaço e lugar**: a perspectiva da experiência. São Paulo: Difel, 1983.

USP – Universidade de São Paulo. **Organização do Sistema Viário**. São Paulo, 2020. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/ptr2377/Cap%C3%ADtulo2a.pdf>

VILLARROEL, X. C. L.; AZEVEDO FILHO, M. A. N. Compreensão da problemática da vulnerabilidade em sistemas urbanos. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. **Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas**. Abordagem de sistemas complexos para políticas públicas. Brasília: Ipea, 2015.

WANG, L.; XUE, X. Exploring the evolution trends of urban resilience research. *ASCE Library*, 2019. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784481745.003>. Acesso em: 20 set. 2020.

WANG, L.; XUE, X.; ZHANG, Y.; LUO, X. Exploring the emerging evolution trends of urban resilience research by scientometric analysis. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 15, p. 2181, 2018.

WARDEKKER, J. A.; DE JONG, A.; KNOOP, J. M.; VAN DER SLUIJS, J. P. Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes. **Technological Forecasting and Social Change**, 77(6), 987-998, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2009.11.005>. Acesso em: 20 set. 2020.

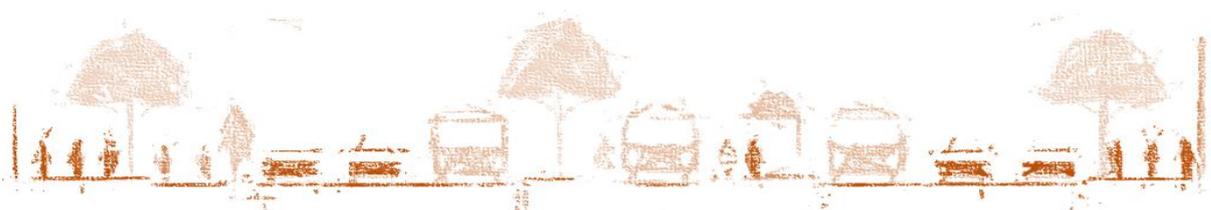
YUNES, M. A. M.; SZYMANSKI, H. Resiliência: noção, conceitos afins e considerações críticas. *In*: TAVARES, J. (org.). **Resiliência e educação**. São Paulo: Cortez, 2001. p. 13-42.



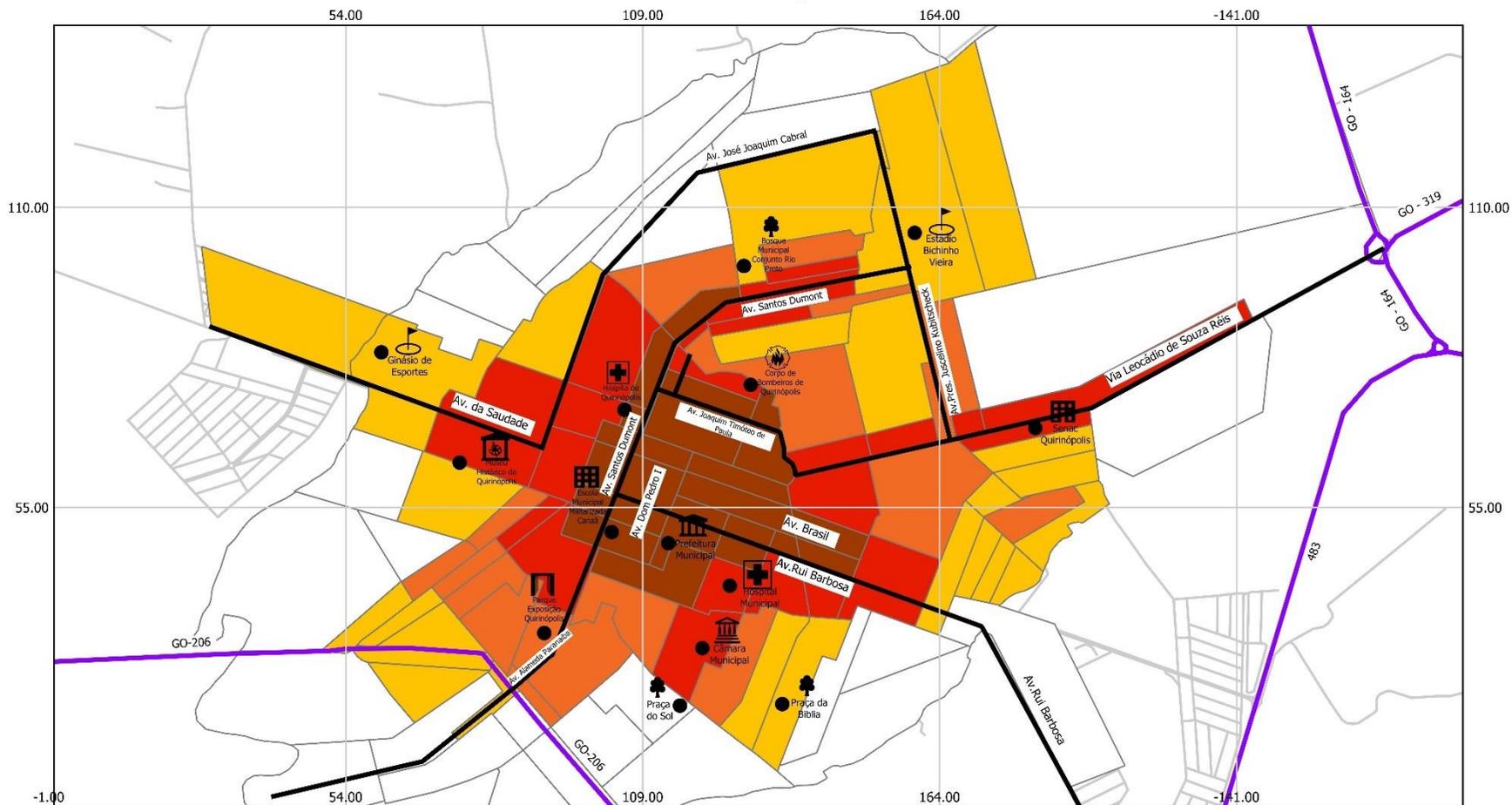
ZHOU, Y.; WANG, J.; YANG, H. Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems** [e-book], v. 20, n. 12, Dec. 2019. Disponível em: doi: 10.1109/TITS.2018.2883766. Acesso em: 20 set. 2020.



ANEXOS - MAPAS



MAPA CENTRALIDADE QUIRINÓPOLIS/GO



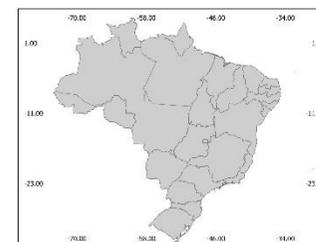
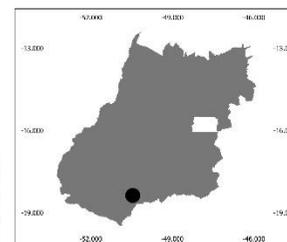
Centralidades

- 0
- 1,0 - 2,0 (Pequeno fluxo - não é CENTRALIDADE)
- 2,0 - 2,6 (Moderado fluxo - futura CENTRALIDADE)
- 2,6 - 3,9 (Grande fluxo - CENTRALIDADE)
- 3,9 - 7,0 (Intenso fluxo - FORTE CENTRALIDADE)

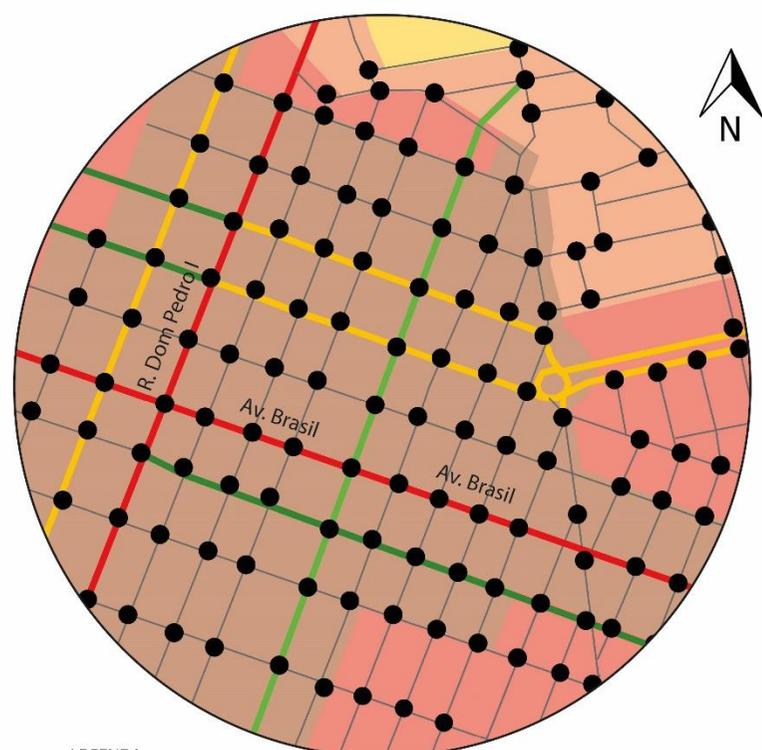
Legenda

- Principais Vias
- Rodovias

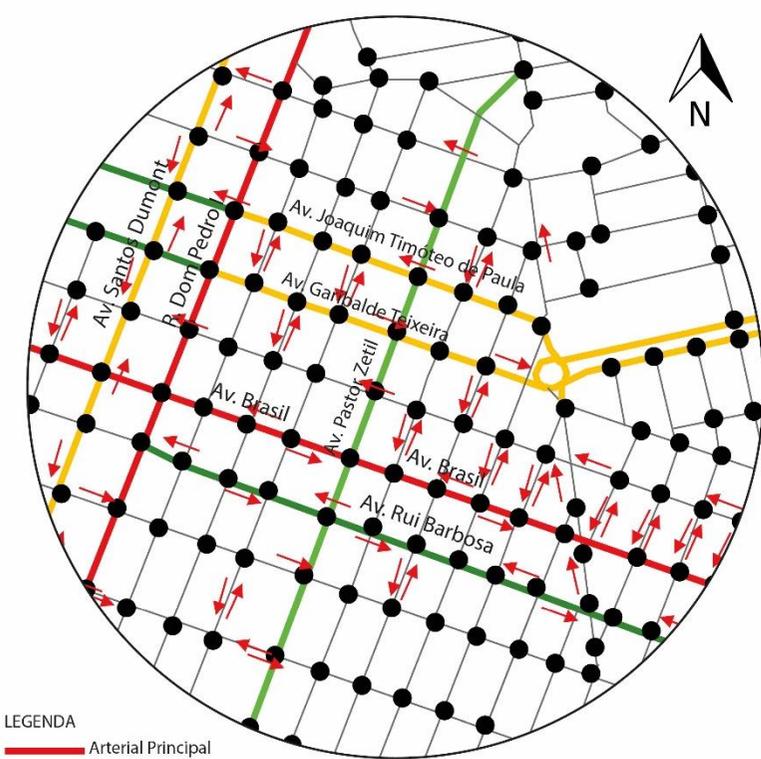
Nota técnica: mapa elaborado com dados secundários. Fonte: IBGE, CPRM, SIEG, INMET, ANA, MapBiomias



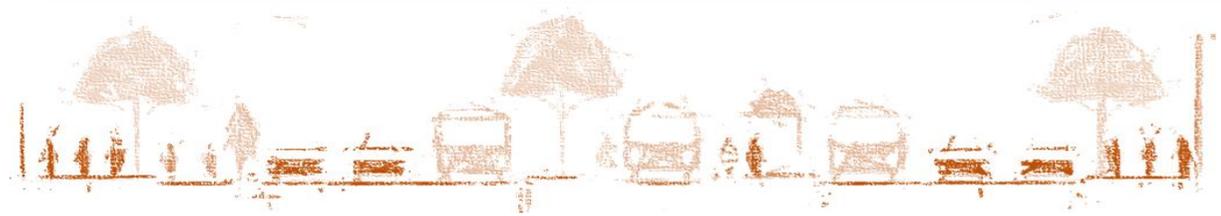
Recorte – Grafo com centralidades Nós do Grafo – Av. Brasil e Av. D. Pedro



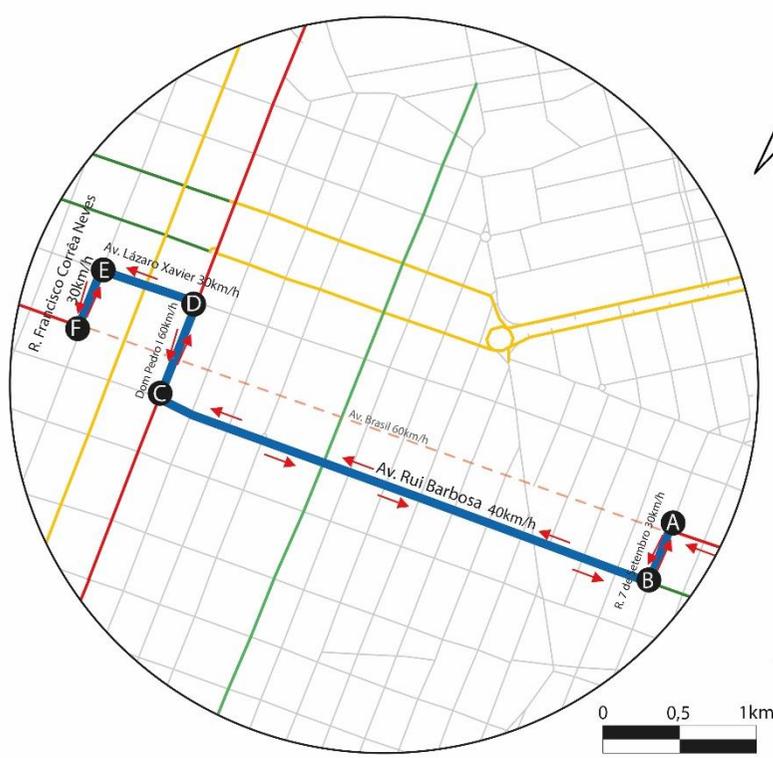
- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - Nós



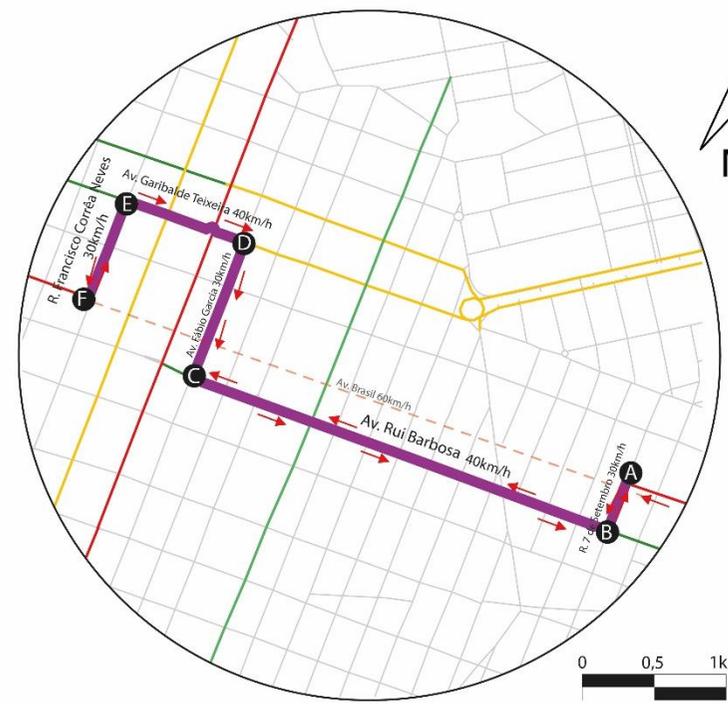
- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - ↔ Via Mão Dupla
 - Via Mão Única
 - Nós



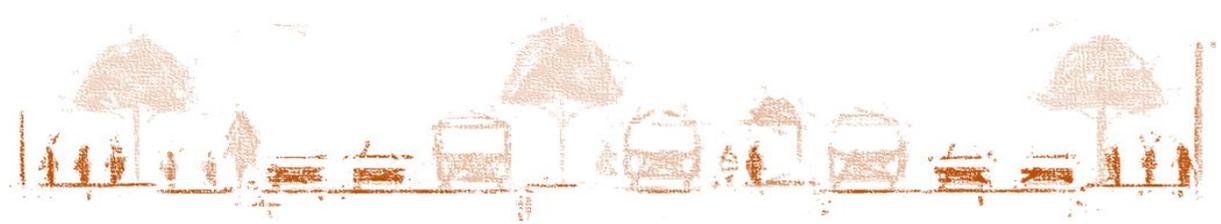
Caminho mínimo Av. Brasil – Sentidos Leste/Oeste – Oeste/Leste



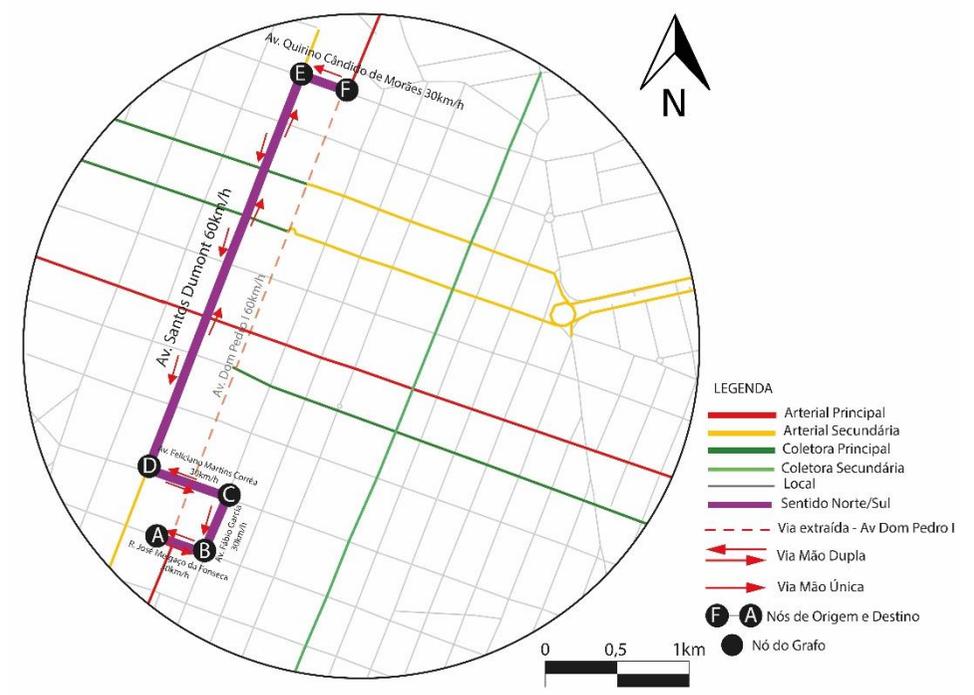
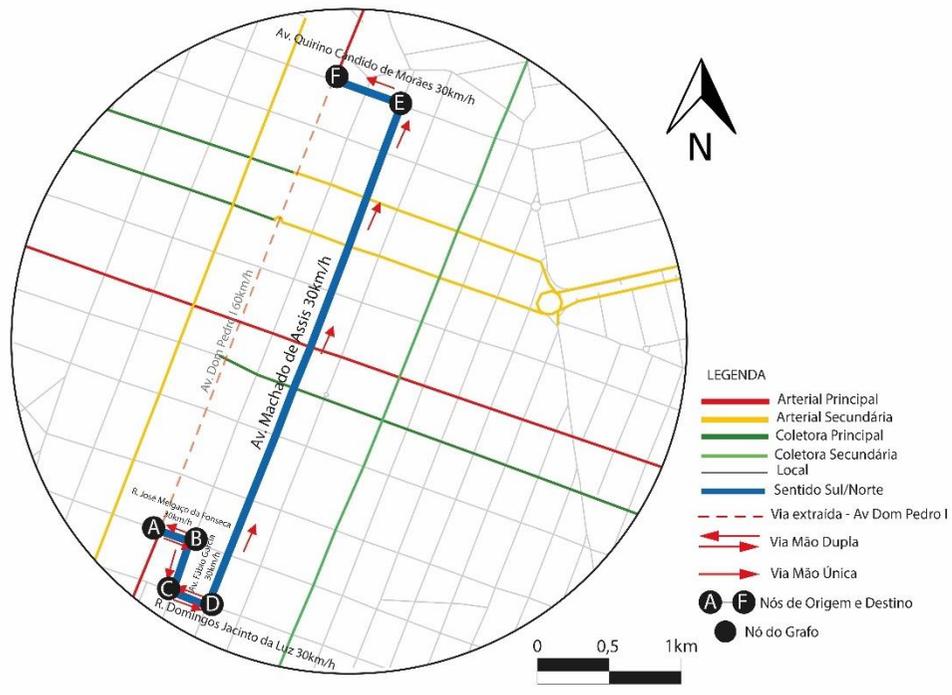
- LEGENDA**
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - Sentido Leste/Oeste
 - Via extraída - Av Brasil
 - ↔ Via Mão Dupla
 - Via Mão Única
 - Nós de Origem e Destino
 - Nó do Grafo



- LEGENDA**
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - Sentido Oeste/Leste
 - Via extraída - Av Brasil
 - ↔ Via Mão Dupla
 - Via Mão Única
 - Nós de Origem e Destino
 - Nó do Grafo



Caminho mínimo Av. D. Pedro – Sentidos Leste/Oeste – Oeste/Leste

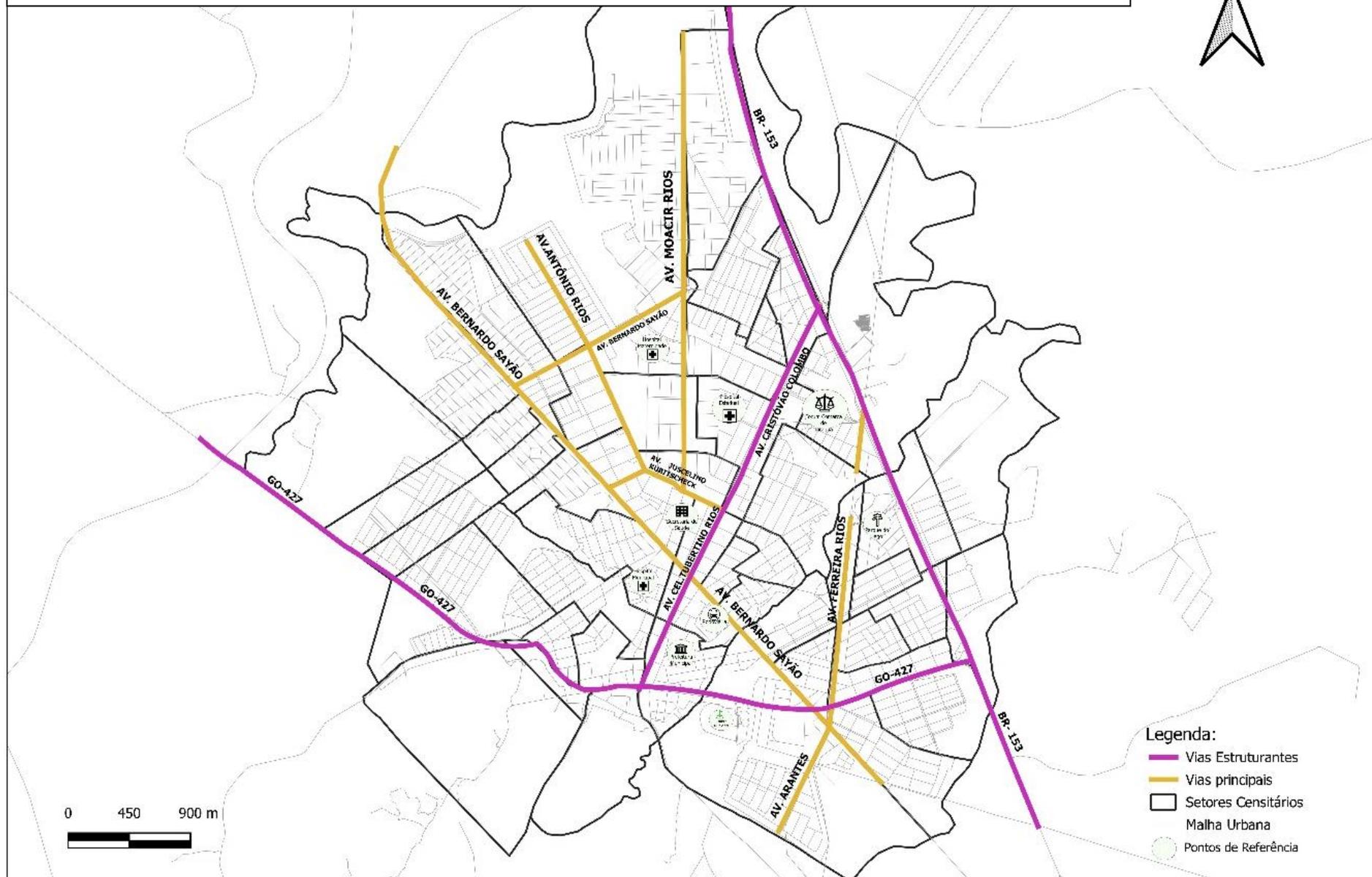


- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - Sentido Sul/Norte
 - Via extraída - Av Dom Pedro I
 - Via Mão Dupla
 - Via Mão Única
 - A F Nós de Origem e Destino
 - Nó do Grafo

- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora Principal
 - Coletora Secundária
 - Local
 - Sentido Norte/Sul
 - Via extraída - Av Dom Pedro I
 - Via Mão Dupla
 - Via Mão Única
 - F A Nós de Origem e Destino
 - Nó do Grafo



Mapa para a pesquisa de Identificação de Centralidades Jaraguá



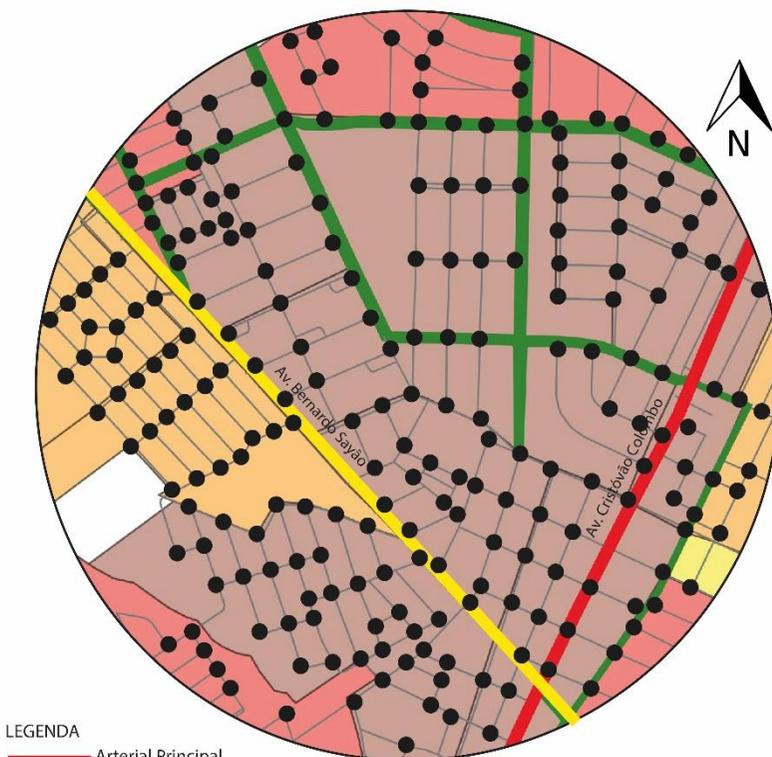
MAPA HIERARQUIA VIÁRIA - JARAGUÁ



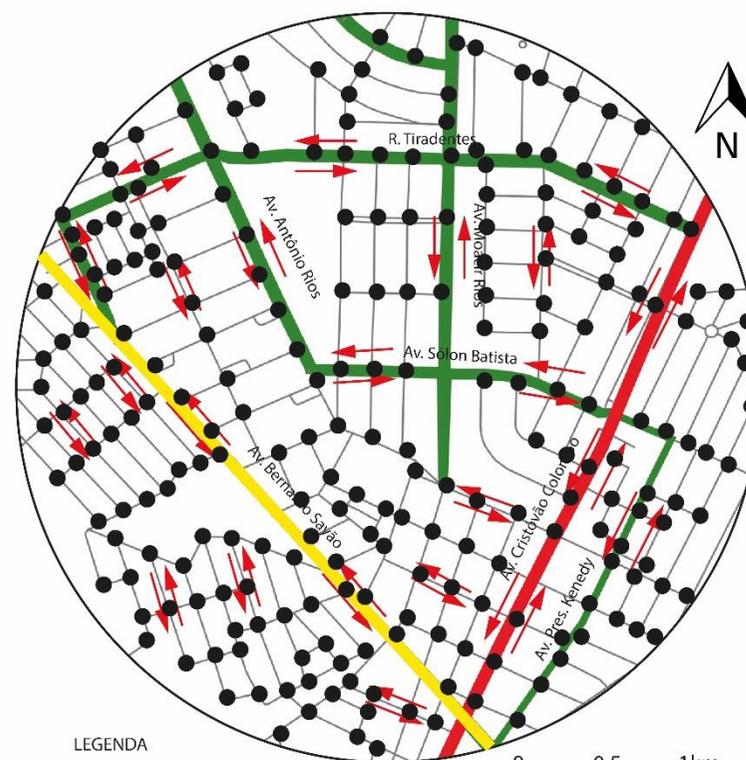
MAPA HIERARQUIA VIÁRIA - JARAGUÁ



Recorte – Grafo com centralidades Nós do Grafo – Av. Tubertino Rios e Av. Bernardo Sayão



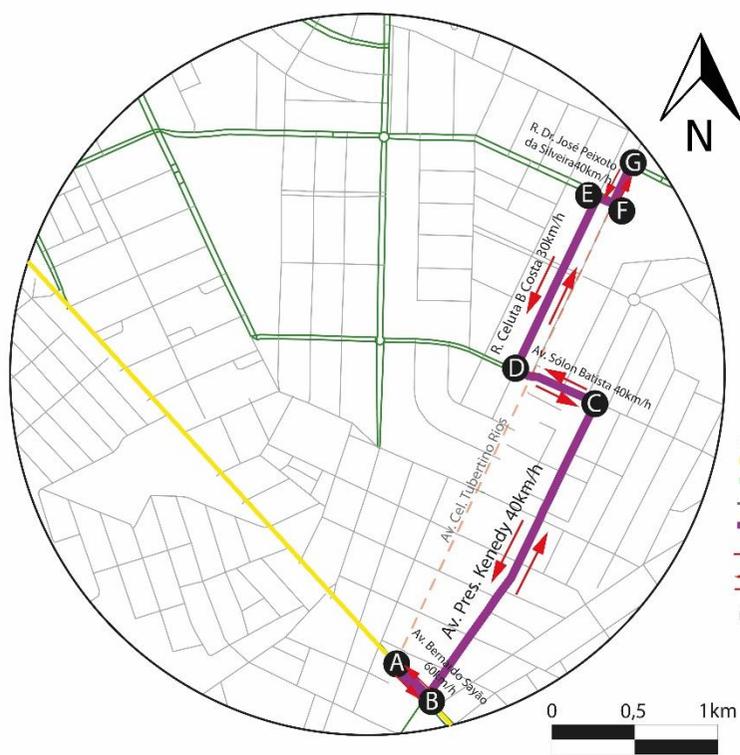
- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora
 - Local
 - Nós



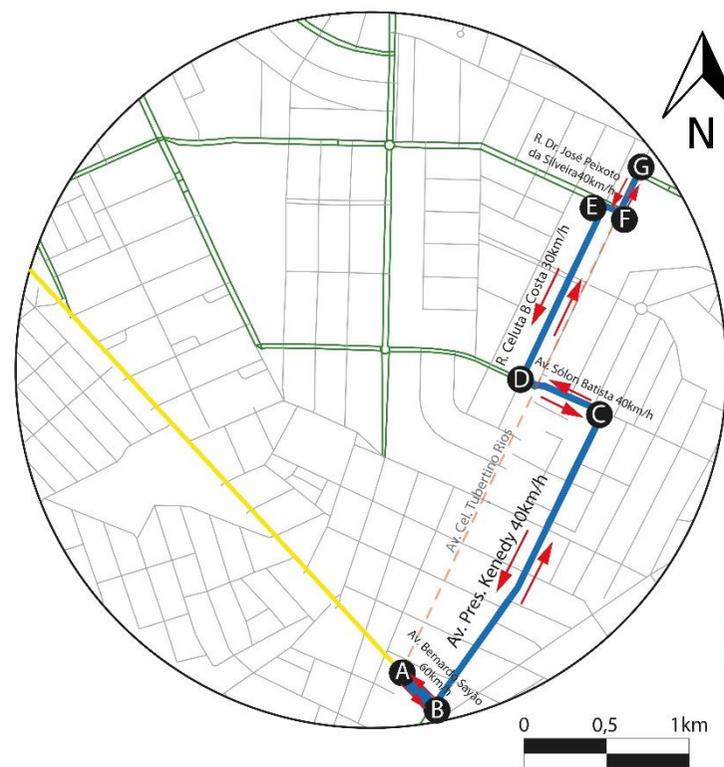
- LEGENDA
- Arterial Principal
 - Arterial Secundária
 - Coletora
 - Local
 - ↔ Via Mão Dupla
 - Nós



Caminho mínimo Av. Tubertino Rios – Sentidos Sul/Norte – Norte/Sul



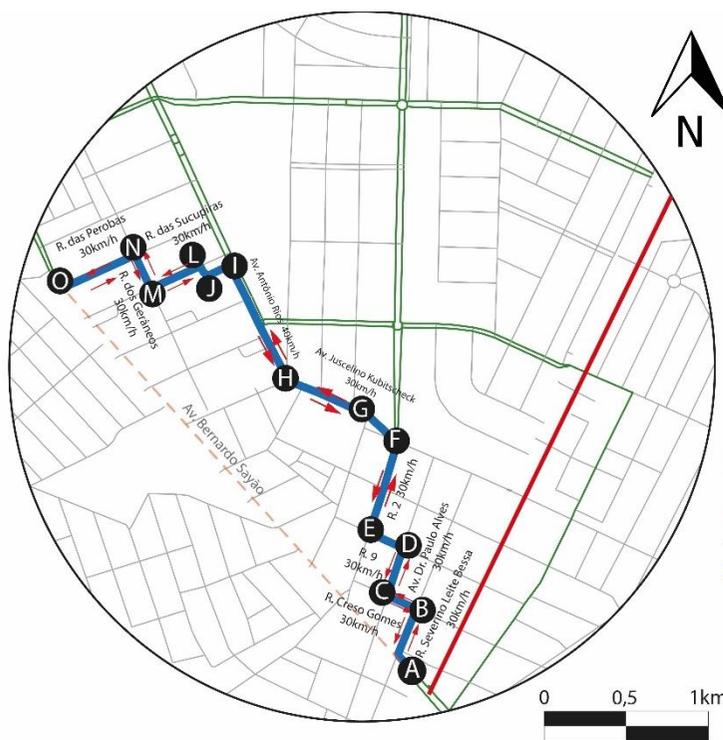
- LEGENDA**
- Arterial Secundária
 - Coletora
 - Local
 - Sentido Sul/Norte
 - - - Via extraída - Av. Cel. Tubertino Rios
 - ↔ Via Mão Dupla
 - A** **G** Nós de Origem e Destino
 - Nós do Grafo



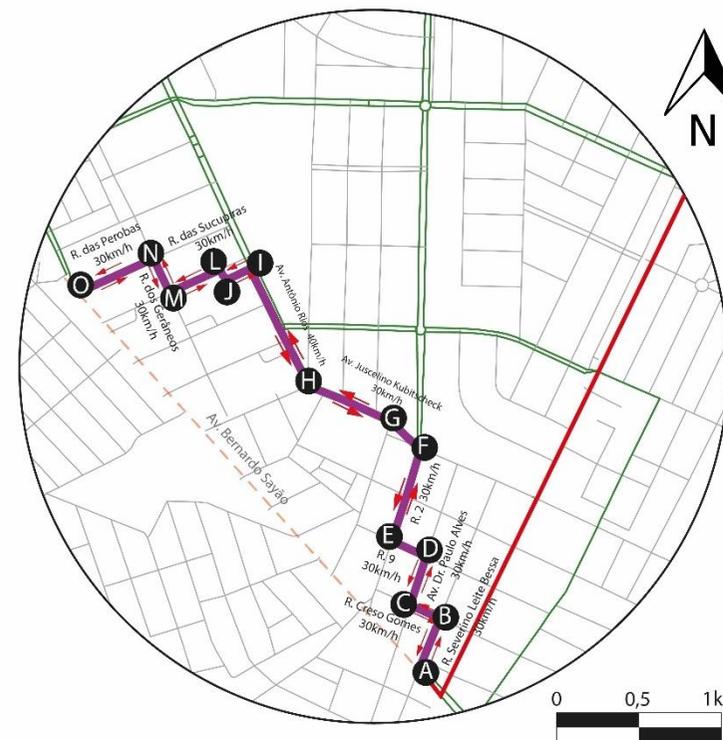
- LEGENDA**
- Arterial Secundária
 - Coletora
 - Local
 - Sentido Norte/Sul
 - - - Via extraída - Av. Cel. Tubertino Rios
 - ↔ Via Mão Dupla
 - G** **A** Nós de Origem e Destino
 - Nós do Grafo



Caminho mínimo Av. Bernardo Sayão – Sentidos Noroeste/Sudeste – Sudeste/Noroeste



- LEGENDA
- Arterial Primária
 - Coletora
 - Local
 - Sentido Noroeste/Sudeste
 - Via extraída - Av. Bernardo Sayão
 - ← Via Mão Dupla
 - O A Nós de Origem e Destino
 - Nós do Grafo



- LEGENDA
- Arterial Primária
 - Coletora
 - Local
 - Sentido Sudeste/Noroeste
 - Via extraída - Av. Bernardo Sayão
 - ← Via Mão Dupla
 - A O Nós de Origem e Destino
 - Nós do Grafo

