



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**XIMENA CECILIA LEÓN VILLARROEL**

**AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DA VULNERABILIDADE NA  
ACESSIBILIDADE AO TRABALHO NAS CIDADES DE LA PAZ E EL ALTO - NA  
BOLÍVIA**

**FORTALEZA**

**2017**

XIMENA CECILIA LEÓN VILLARROEL

AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DA VULNERABILIDADE NA ACESSIBILIDADE  
AO TRABALHO NAS CIDADES DE LA PAZ E EL ALTO - NA BOLÍVIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Mario Angelo Nunes de Azevedo Filho, D.Sc.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L593a León Villarroel, Ximena Cecilia.  
Avaliação da Problemática da Vulnerabilidade na Acessibilidade ao Trabalho nas Cidades de La Paz e El Alto - na Bolívia / Ximena Cecilia León Villarroel. – 2017.  
97 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho.

1. vulnerabilidade. 2. transportes. 3. uso do solo. 4. análise espacial. I. Título.

CDD 388

---

XIMENA CECILIA LEÓN VILLARROEL

AVALIAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DA VULNERABILIDADE NA ACESSIBILIDADE  
AO TRABALHO NAS CIDADES DE LA PAZ E EL ALTO - NA BOLÍVIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Aprovada em: 10 / 03 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho, D.Sc. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Bruno Vieira Bertoncini, D.Sc.. (Examinador Interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Antônio Néelson Rodrigues da Silva, D.Sc (Examinador Externo)  
Universidade de São Paulo - São Carlos (EESC-USP)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por ter sido o apoio constante e as pessoas que me deram a fortaleza para continuar com meus estudos, por terem me ensinado a assumir compromissos e concluí-los com responsabilidade. A eles que me deram a coragem para vir morar no Brasil e fazer este mestrado.

Aos meus irmãos Daniel, Andrea e Pamela, por terem me acompanhado desde longe no tempo em que estive fora do meu país.

Ao professor Mário, que viu em mim uma pessoa capaz de fazer este mestrado e deu um voto de confiança no intuito de encarar a presente pesquisa; por acreditar que uma arquiteta pode navegar no oceano dos engenheiros. A ele, que foi mais que um professor, pois me fez sentir sempre em casa. Ficarei grata de ter aproveitado as horas de discussão e conversa na sua sala.

Ao professor Felipe, quem embora não tinha sido meu orientador, não fez questão de me aconselhar e transmitir seus conhecimentos, por ter me dado a oportunidade de participar dos encontros do seu grupo de pesquisa, os quais foram essenciais para dar o rumo a esta pesquisa.

Aos professores que formam parte do PETRAN, Manoel, Flávio e Bruno, que com paciência e pré-disposição me transmitiram seus conhecimentos. Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, que sempre me brindaram ajuda quando eu precisei.

Às minhas amigas da Bolívia, Paloma, Lucía, Giovanna e Leny, por estar sempre me acompanhando e por fazer dos dias complicados mais fáceis de passar. A gente soube como continuar com nossa amizade apesar da distância geográfica.

À minha turma do mestrado, que me acolheu desde o dia que eu cheguei ao GTTEMA. A eles que compartilharam comigo os dias de estudo e criaram os *pica-picas* como uma distração nos momentos de estresse. Eu senti muito apoio de vocês, especialmente nos momentos mais difíceis.

Às meninas, Beatriz, Joana, Julie e Vanessa. Sou grata à vida por ter me colocado cada uma de vocês no meu caminho, sou grata por cada momento compartilhado de lágrimas e risos inesquecíveis, porque *“é a prova que duas almas não se encontram por acaso”*. Eu sei que temos marcado um próximo encontro em algum lugar do mundo.

À Tais, porque sua amizade desde o primeiro dia de aula foi muito especial, ficarei sempre grata pelo apoio e por fazer mais leve a minha estadia em Fortaleza.

À Lisel, porque assim que fomos apresentadas, você me deu o apoio e a ajuda nos momentos que eu precisei. Quem ia saber que uma boliviana ia se encontrar com cubana em terras brasileiras? E que fruto desse encontro criou-se uma amizade que tem muito mais de cumplicidade porque a gente teve que aprender a fazer que essa saudade seja mais passageira.

Ao pessoal do *Gobierno Autónomo Municipal de La Paz*, pelo apoio desde a minha partida ao Brasil, e o fornecimento da informação para realizar esta pesquisa.

À Organização dos Estados Americanos e a CAPES pela bolsa de estudo concedida.

## RESUMO

A cidade é um conjunto de sistemas dinâmicos que interagem e, caso exista algum problema em um destes, pode-se produzir desequilíbrios nos outros subsistemas devido à interdependência. Existem abordagens que utilizam a modelagem integrada de uso de solo e transportes. Estas têm sido consideradas, nas últimas duas décadas, na preparação de planos de mobilidade. As cidades dos países em desenvolvimento tiveram um crescimento urbano que não responde, em sua maioria, aos planos urbanos. Os assentamentos humanos invadiram zonas que não tinham sido planejadas para ser habitáveis. Isto contribuiu para a geração de vulnerabilidades no sistema urbano. Essas condições impactam na acessibilidade das pessoas às suas atividades diárias e dizem respeito não apenas ao local de moradia, mas também ao espaço utilizado nos deslocamentos. O objetivo desta pesquisa é o de propor um método para avaliar os impactos da vulnerabilidade da acessibilidade da população que trabalha nas cidades de La Paz e El Alto, na Bolívia. Existe, na literatura, uma grande quantidade de indicadores que avaliam como a vulnerabilidade pode afetar o nível de serviço do sistema de transporte, ou seja, com foco na oferta do sistema em um nível operacional. Nesta pesquisa, o propósito foi o de trazer este conceito para o planejamento da acessibilidade. Foi proposto um método para compreender a problemática da vulnerabilidade nos deslocamentos da população destas cidades, através da utilização de indicadores de acessibilidade aos locais de trabalho e da necessidade de deslocamentos utilizando transporte público. Foram identificadas relações causais dos problemas de conectividade da rede como fator impactante na acessibilidade.

**Palavras Chave:** vulnerabilidade, transportes, uso do solo, análise espacial

## ABSTRACT

The city is a set of dynamic systems that interact and, if there is any problem in one of them, it can produce imbalances in the other subsystems due to interdependence. There are approaches that use integrated land use and transport modeling. In the last two decades, these have been considered for preparation of mobility plans. However, developing countries cities had an urban growth that does not respond, mostly, to the urban plans. Human settlements invaded areas that had not been planned to be habitable. This contributes to the generation of vulnerabilities in the urban system. These conditions affect the accessibility of people to their daily activities and concerns not only the place of dwelling but also the space used in the trips. The objective of this research is to propose a method to evaluate the impacts of the accessibility vulnerability of the population working in the cities of La Paz and El Alto in Bolivia. There is a large number of indicators in the literature that assess how vulnerability can affect the level of service of the transportation system, focusing on system offerings at an operational level. In this research, the purpose was to bring this concept to accessibility planning. A method had been proposed to understand the vulnerability problem in the displacements of the population of the studied cities, by using indicators of accessibility to the work places and the necessity of displacements using public transportation. Causal relationships of network connectivity problems were identified as an impact factor in accessibility.

**Keywords:** vulnerability, transport, land use, spatial analysis

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das cidades de La Paz e El Alto .....	18
Figura 2 - Modelo das zonas concêntricas.....	22
Figura 3 - Modelo de Setores.....	23
Figura 4 - Estrutura urbana de múltiplos núcleos .....	24
Figura 5 - Relações que conformam a estrutura urbana .....	25
Figura 6 - Modelo conceitual “a-priori” uso de solo, transportes e atividades, ALUTI.....	26
Figura 7 - Matriz do risco: combinação da probabilidade e da consequência.....	29
Figura 8 - Curva do risco mostrando a probabilidade cumulativa e os cenários de consequências maiores ou iguais a “x” .....	29
Figura 9 - Dimensões da resiliência.....	30
Figura 10 - Processo de crescimento da mancha urbana 1938 - 1956 .....	36
Figura 11 - Processo de crescimento da mancha urbana 1978 - 1988 .....	37
Figura 12 - Processo de crescimento da mancha urbana 1996 - 2011 .....	37
Figura 13 - Distritos de La Paz e El Alto.....	38
Figura 14- Comparação da forma de crescimento das cidades de La Paz e El Alto.....	39
Figura 15 - Densidade demográfica La Paz e El Alto .....	40
Figura 16 - Distribuição da População Economicamente Ativa.....	41
Figura 17 - Mapa de Distribuição da Renda - até 2 salários mínimos.....	42
Figura 18 - Mapa de Distribuição da Renda - renda média .....	43
Figura 19 - Mapa de Distribuição da Renda - mais de 14 salários mínimos .....	43
Figura 20 - Mapas de risco de 1978 até 2011 .....	45
Figura 21 - Demanda de viagens por dia (1997).....	47
Figura 22 - Distribuição das viagens - transporte particular.....	50
Figura 23 - Distribuição das viagens - transporte público .....	51
Figura 24 - Distribuição das viagens - transporte não motorizado .....	51
Figura 25 - Distribuição das viagens (2012) - motivo trabalho.....	52
Figura 26 - Distribuição das viagens (2012) - motivo estudo.....	52
Figura 27 - Distribuição das viagens (2012) - motivo compras.....	53
Figura 28 - Distribuição das viagens (2012) - outros motivos.....	53
Figura 29 - Concentração das Ofertas de Emprego .....	54
Figura 30 - Número de pessoas por zona censitária - período diurno .....	54

Figura 31 - Número de pessoas por zona censitária - período noturno .....	55
Figura 32 - Delimitação da pesquisa.....	57
Figura 33 - Árvore de problemas e relações de causalidade.....	58
Figura 34 - Representação da vulnerabilidade espaço – temporal e os impactos nos outros subsistemas .....	59
Figura 35 - Fluxograma da compreensão da problemática .....	60
Figura 36 - Esquema resultante da interpretação das três abordagens da representação da problemática do planejamento urbano integrado, com foco na acessibilidade .....	61
Figura 37 - Hipótese 1 - aplicação do IPTP .....	63
Figura 38 - Hipótese 2 - aplicação do ITPN .....	64
Figura 39 - Hipótese 3 - aplicação do ITPG .....	65
Figura 40 - Diagnóstico da vulnerabilidade.....	67
Figura 41 - Situação atual (a), situação vulnerabilidade tipo 1 (b), vulnerabilidade tipo 2 (c) .....	68
Figura 42 - Índice de Provisão de Transporte Público.....	70
Figura 43 - Índice de necessidades por transporte público .....	71
Figura 44 - Índice de Provisão de Transporte Público.....	73
Figura 45 - Box Map do Índice de Provisão de Transporte Público.....	73
Figura 46 - LISA Cluster Map do IPTP.....	74
Figura 47 - Mapa de distribuição do Índice de Necessidades por Transporte Público .....	75
Figura 48 - Box Map para o Índice de Necessidades por Transporte Público.....	76
Figura 49 - LISA Cluster Map para o Índice de Necessidades por Transporte Público .....	77
Figura 50 - Índice de Gaps de Transporte Público .....	77
Figura 51 - Box Map do Índice de Gaps de Transporte Público .....	78
Figura 52 - LISA Map Índice de Gaps por Transporte Público.....	79
Figura 53 - Rede de transporte público - situação atual.....	80
Figura 54 - Rede de transporte público - situação vulnerável tipo 1 .....	80
Figura 55 - Rede de transporte público - situação vulnerável tipo 2 .....	80
Figura 56 - IPTP - situações vulneráveis tipo 1 e 2 .....	81
Figura 57 - Box Map IPTP - situações vulneráveis tipo 1 e 2 .....	82
Figura 58 - LISA Map IPTP - situação vulnerável tipo 1 .....	83
Figura 59 - LISA Map IPTP - situação vulnerável tipo 2.....	83
Figura 60 - Índice de Gaps de Transporte Público (IPTG) - situação atual.....	84
Figura 61 - IPTG - Situações vulneráveis tipo 1 e 2.....	84
Figura 62 - Box Map IPTG - Situações vulneráveis tipo 1 e 2.....	85

Figura 63 - LISA Cluster Map IPTG situação vulnerável 1 .....	86
Figura 64 - LISA Cluster Map IPTG situação vulnerável 2 .....	86
Figura 65 - Relação causa – efeito da distribuição espacial nas oportunidades .....	87
Figura 66 - Relação causa – efeito da distribuição espacial nas oportunidades para situações tipos 1 e 2.....	88
Figura 67 - Mapa de Moran - relação necessidades de deslocamento com acessibilidade às oportunidades - situação atual .....	89
Figura 68 - Mapa de Moran - relação necessidades de deslocamento com acessibilidade às oportunidades - situações vulneráveis 1 e 2 .....	89
Figura 69 - Lisa Map - Relação acessibilidade às oportunidades com necessidades de deslocamento - situação atual .....	90
Figura 70 - Lisa Map - Relação acessibilidade às oportunidades com necessidades de deslocamento – situações vulneráveis tipo 1 e 2 .....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência.....	31
Tabela 2 - Distribuição da população na Região Metropolitana de La Paz.....	39
Tabela 3 - Distribuição percentual da População Economicamente Ativa em 2011 .....	41
Tabela 4 - Plano de Desenvolvimento Urbano (1977).....	47
Tabela 5 - Plano Maestro Urbano de Tráfego e Transporte (1997).....	47
Tabela 6 - Plano de Modernização do Transporte Público para a área Metropolitana de La Paz (2004) .....	48
Tabela 7 - Resumo de viagens diários La Paz e El Alto (2012) .....	48
Tabela 8 - Média de viagens La Paz e El Alto.....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Registro de eventos de risco de desastres períodos 1970 – 2011 .....	44
Gráfico 2 - Número de viagens por hora .....	49
Gráfico 3 - Resumo dos dados de viagens (1977 - 2011).....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemas de Pesquisa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Questões de Pesquisa</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos de pesquisa</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da Dissertação</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÃO DE CONCEITOS</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Modelos Urbanos</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência urbanas</b> .....	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DA VULNERABILIDADE NOS DESLOCAMENTOS MOTIVO TRABALHO DAS CIDADES DE LA PAZ E EL ALTO.</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Processo de crescimento das duas cidades</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Impactos da vulnerabilidade no contexto urbano</b> .....	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Impactos da vulnerabilidade na mobilidade urbana</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Representação da problemática da vulnerabilidade na acessibilidade dos deslocamentos aos empregos.</b> .....	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Identificação</b> .....	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização</b> .....	<b>62</b>
<b>4.3</b>	<b>Diagnóstico</b> .....	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E DIAGNÓSTICO DA PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização da situação atual</b> .....	<b>69</b>
<b>5.1.1</b>	<i>Acessibilidade das oportunidades de emprego</i> .....	<b>72</b>
<b>5.1.2</b>	<i>Identificação das necessidades por transporte público</i> .....	<b>74</b>
<b>5.1.3</b>	<i>Identificação dos Gaps de Transporte Público</i> .....	<b>76</b>
<b>5.2</b>	<b>Diagnóstico da vulnerabilidade</b> .....	<b>79</b>
<b>5.2.1</b>	<i>Situações vulneráveis tipo 1 e tipo 2</i> .....	<b>79</b>
<b>5.2.2</b>	<i>Definição dos <math>\Delta</math> de vulnerabilidade, para a identificação dos Gaps de Transporte Público</i> .....	<b>83</b>
<b>5.2.3</b>	<i>Quantificação das relações causa – efeito</i> .....	<b>87</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades, entendidas como um conjunto de sistemas espaciais, estão compreendidas por aglomerações urbanas, sistemas de transportes e redes de migração. No entanto, estas características, com o decorrer do tempo, parecem crescer sem controle e isso produz, em alguns casos, distúrbios que podem levar o conjunto de sistemas ao desequilíbrio (REGGIANI; NIJKAMP; LANZI, 2015). Este processo evolutivo apresenta uma dinâmica constante na relação do crescimento populacional com as modificações espaciais urbanas. Contudo, este mesmo dinamismo acarreta uma série de problemas a partir do desequilíbrio de oportunidades, propiciando o surgimento de inequidades entre os estratos populacionais, assim como a deterioração do espaço urbano.

Nestes últimos anos, o crescimento da população urbana mundial, em comparação à população rural, levou a uma parcela de 54% habitando as cidades e a tendência indica que este valor crescerá para 66% no ano 2050 (UNITED NATIONS, 2014). Na América Latina o fenômeno é mais acentuado, com um crescimento acima da média mundial, onde 80% da sua população vive nas cidades. Este crescimento nas cidades latino-americanas que, geralmente, contam com orçamentos limitados, faz com que as vulnerabilidades estejam em grande mutação e se intensifiquem. Entende-se que a vulnerabilidade não é apenas a possibilidade de sofrer danos, mas também a propensão das populações a gerá-las ou amplificá-las.

Como consequência de vários fatores: a exposição crescente a ameaças destrutivas, a transformação urbana que não integra as condições locais de desenvolvimento ou que não foi pensada para longo prazo; o aumento da pobreza e a exclusão social; e a diminuição dos recursos orçamentários alocados ao desenvolvimento urbano preventivo; fazem com que os sistemas de gestão de crises se tornem inoperantes (HARDY, 2015).

Nestes últimos anos o acréscimo de problemas de riscos, devido às mudanças climáticas tais como temperaturas altas, incremento do nível do mar, chuvas mais intensas e secas, tem afetado as infraestruturas urbanas, o que faz com que a população esteja mais vulnerável. Por isso, deve-se questionar se as cidades se encontram preparadas para este tipo de eventos, e como poder-se-ia quantificar o nível de vulnerabilidade e, posteriormente, estimar, em relação a esta medida, o estado de resiliência.

A resiliência é a capacidade das cidades de continuarem funcionando enquanto acontece um evento de estresse ou impacto, sem sofrer alterações na sua funcionalidade (relativo aos sistemas urbanos), nem afetar as pessoas. Trata-se da capacidade de um sistema

de se manter ou recuperar a funcionalidade em um evento de ruptura e perturbação, porque os sistemas complexos estão em constante mudança e adaptação (SILVA, 2015).

As questões referentes às mudanças climáticas e aos desastres naturais são os pontos principais para o desenvolvimento de conceitos relacionados com vulnerabilidade e resiliência. Considerando as características multidisciplinares da resiliência, Folke et al. (2010) sugerem que ela seja entendida como um sistema dinâmico e complexo, com características de múltiplos patamares de desenvolvimento, distintos períodos graduais de atuação e rápidas mudanças, com impactos em distintas escalas espaciais.

A visão sistêmica da vulnerabilidade é composta por fatores inerentes tanto ao sistema humano como, também, ao seu entorno e é definida como um fator interno a cada um deles. Esta condição é a medida da propensão à mudança que os mesmos têm ante uma ameaça, ou seja, ante qualquer situação ou conjunção de situações capazes de modificar ou destruir a organização e funcionamento de um sistema, gerando nele uma resposta adaptativa. A ameaça pode ser interna ou externa e a capacidade de resposta do sistema, ante a tal exposição, permite que ele se mantenha, se adapte ou desapareça no tempo e no espaço (BERDICA, 2002).

Os sistemas urbanos complexos, especialmente aqueles referentes a infraestruturas, estão expostos a uma série de ameaças externas que, em muitos casos, são inevitáveis, tais como desastres naturais, atos terroristas e problemas tecnológicos. Porém, aqueles sistemas que conseguirem resistir aos choques externos podem ajudar a evitar falhas nas interações entre outros sistemas. Essa resistência é entendida como uma medida de robustez do sistema.

Nas cidades, os riscos de desastres se apresentam devido a esta conjunção de fatores internos e externos. Os fatores internos são, em geral, de ordem social e tecnológica, vinculados ao desenvolvimento do próprio sistema. Os externos vinculam-se à realidade do uso de solo e das condições socioeconômicas da cidade. Com referência ao sistema de transportes, o conceito de vulnerabilidade está ligado aos atributos de desempenho da rede viária, urbana e interurbana, com relação a congestionamento e qualidade do serviço.

Neste tipo de problema é difícil prever a ocorrência do próximo evento. No entanto, em virtude da maior frequência com que estes vêm se manifestando nos últimos tempos, devem ser considerados como uma ameaça para o planejamento estratégico urbano. A definição de risco mais comum é aquela que vem do par ameaça/vulnerabilidade, mas a maioria dos estudos procura aprofundar o conhecimento das opções para reduzir as ameaças. Porém, este tipo de enfoque não permite abordar de maneira eficaz a complexidade e a

incerteza. Existe uma necessidade da compreensão dos fatores que geram a vulnerabilidade (HARDY, 2015).

As pesquisas realizadas na área dos sistemas de transportes, em relação à vulnerabilidade, têm se concentrado nos aspectos de operação e de especificação da oferta. A análise isolada do sistema de transportes contradiz uma abordagem como a dos sistemas complexos urbanos. Para isto é necessário que a análise considere, pelo menos, a integração dos sistemas como uso de solo e de atividades.

A proposta do modelo ALUTI (*Activities, Land Use and Transport Interaction*) (LOPES, 2015) para a modelagem conceitual da acessibilidade urbana, constitui uma ferramenta de conjunção para uma análise integrada entre as outras áreas que fazem parte do planejamento urbano. Na literatura científica ainda existe uma lacuna na análise da vulnerabilidade e os seus impactos nos outros subsistemas do planejamento urbano.

A problemática do espraiamento urbano e da superpopulação trouxe outros problemas de expansão das áreas urbanas, segregando as zonas destinadas a moradia daquelas destinadas a outras atividades. Isto gera impactos na mobilidade e na acessibilidade, porque aumentam os tempos de viagem e ocorre uma queda no nível de serviço do transporte público, pois este não consegue atender a demanda da população que precisa viajar maiores distâncias.

## **1.1 Problemas de Pesquisa**

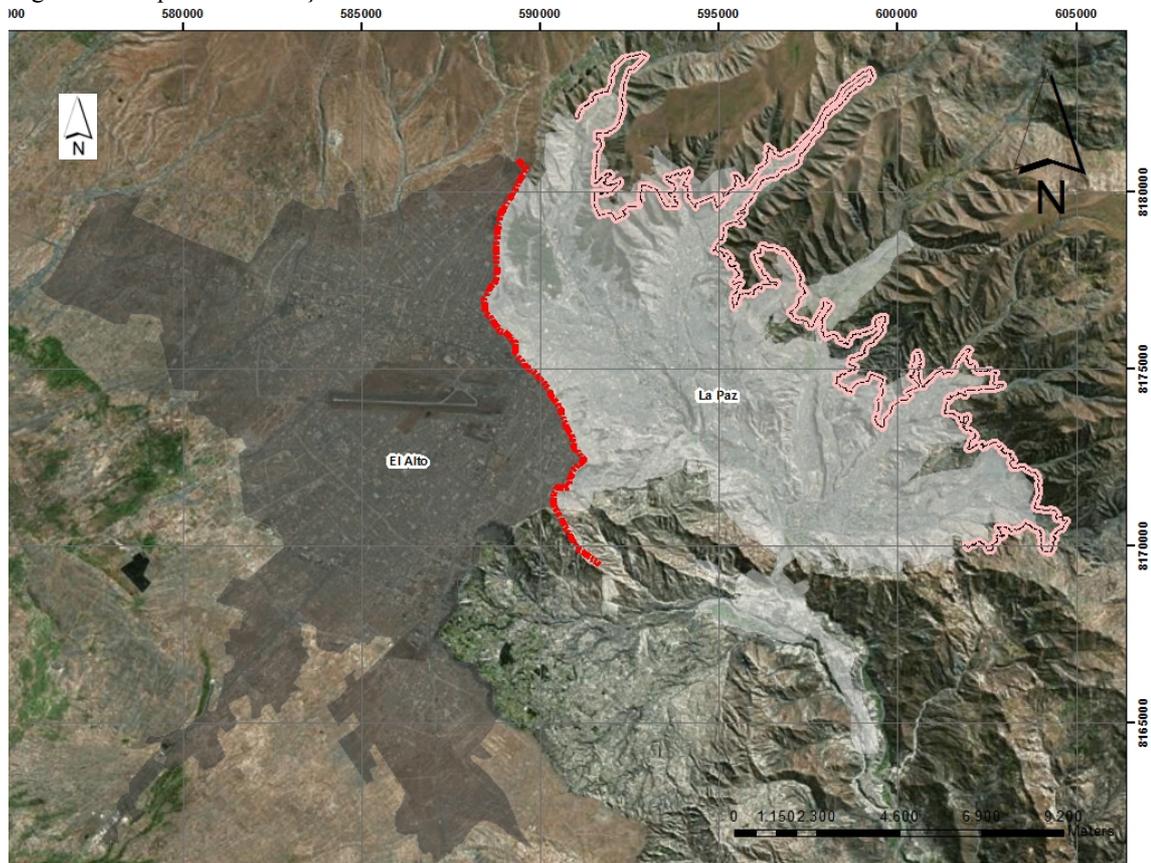
Para poder explicar o problema relacionado à vulnerabilidade na acessibilidade e na conectividade na cidade de La Paz, Bolívia, faz-se necessário entender, primeiramente, o contexto do processo urbano das cidades de La Paz e El Alto (ver Figura 1).

Ao longo do tempo, as cidades da Bolívia foram crescendo pelo simples incremento da sua população, sem um processo muito regular de urbanização, ultrapassando até as competências institucionais. Isto gerou uma saturação das fontes de emprego, ou seja, não existe um equilíbrio entre o excedente rural e as fontes de emprego urbano (VELÁZQUEZ CHÁVEZ, 2014). Quando comparado com as outras cidades da América Latina, este processo foi tardio. Até o ano de 1979 a parcela da população rural do país era de 68,5% e La Paz era a única cidade com mais de 500.000 habitantes.

O crescimento urbano em La Paz é produto dos processos de mobilidade migratória da população. Para Pereira Morató (2009) este processo ocorreu com a migração das áreas rurais aos centros urbanos e dos centros urbanos menores aos centros urbanos maiores, mas o autor também reforça que o crescimento vegetativo da população é um fator importante a ser considerado. A população de La Paz é resultado de populações migrantes que

se alocaram nas periferias urbanas. A cidade se formou a partir de um centro rodeado por bacias hidrográficas. Já El Alto, se expande no entorno dos eixos das autoestradas.

Figura 1 - Mapa de localização das cidades de La Paz e El Alto



Fonte: Elaboração própria.

As famílias pobres, quando buscam meios de subsistência e de melhoria da qualidade de vida, o que significaria maior segurança e condição econômica, não veem problema com ameaças ou riscos a que se expõem. Na cidade de La Paz, uma grande parcela da vulnerabilidade resulta da falta de espaço para construir, o que se traduz em uma urbanização de encostas íngremes, expostas a movimentos de massa (METZGER; ROBERT, 2013). Para Velázquez Chávez (2014), são as pessoas que decidiram se estabelecer nas zonas de risco alocadas nas ladeiras da cidade. Renunciar ao risco, para eles, significaria renunciar às possibilidades de renda, e é por isso que eles preferem conviver com o risco. Segundo o autor, “existe um modo urbano de viver com o risco, como uma escolha de vida”.

A problemática da vulnerabilidade da população da cidade de La Paz impacta na economia da cidade e este impacto afeta não só aqueles que moram em zonas de risco, mas também a acessibilidade da população que trabalha na cidade. A ocorrência de um desastre pode comprometer a conectividade do sistema de transporte. Deve-se considerar que quando

um evento ocorre, seja de origem natural, ou provocado pelo homem, produz uma situação anormal não apenas no espaço danificado, mas também no espaço onde o evento acontece e o espaço até o qual se estendem as consequências diretas e indiretas (HARDY, 2015).

Pelo exposto no parágrafo anterior, existe uma lacuna na literatura relacionada aos impactos que acontecem na acessibilidade das pessoas às atividades. As viagens ao trabalho, de moradores de La Paz ou El Alto, constituem a grande parte dos deslocamentos diários. Um evento que interrompe parte da rede de transportes pode impactar na acessibilidade das pessoas e na conectividade do sistema de transportes.

A compreensão da problemática referida à vulnerabilidade nos sistemas urbanos tem sido analisada de maneira isolada, sem considerar quais são os possíveis impactos que as soluções propostas podem provocar em outros componentes do sistema urbano, gerando maior exposição deste. Não ter conhecimento de quais são as possíveis causas do problema pode trazer propostas de soluções com resultados negativos nos outros subsistemas. Uma análise aprofundada sobre o tipo de problema, assim como suas causas e efeitos, é a ação fundamental para a resolução dos problemas, pois isto faz parte do processo de decisão (GARCIA, 2016).

Em cidades susceptíveis a eventos de desastre, especialmente naquelas que concentram populações pobres, com condições de habitabilidade não muito boas, qualquer evento de desastre pode derivar em problemas maiores, com custos de recuperação inviáveis.

O não conhecimento dos impactos da vulnerabilidade, juntamente com suas relações causais e efeitos nos subsistemas de transportes, uso de solo e atividades, é a principal motivação da presente pesquisa.

## **1.2 Questões de Pesquisa**

A questão geral de pesquisa é a de como determinar a vulnerabilidade da acessibilidade da população que trabalha na cidade de La Paz e El Alto e seus impactos no sistema de transportes, uso do solo e atividades. Destacam-se a seguir as questões específicas a serem investigadas no desenvolvimento desta pesquisa:

- Como a distribuição espacial das moradias afeta a acessibilidade das pessoas às suas atividades diárias?
- Como a forma urbana influencia a demanda por deslocamentos de pessoas?
- Como identificar as vulnerabilidades dos subsistemas urbanos que possam produzir desequilíbrios na mobilidade das pessoas

### **1.3 Objetivos de pesquisa**

O objetivo geral desta pesquisa é o de propor um método para avaliar os impactos da vulnerabilidade da acessibilidade da população que trabalha nas cidades de La Paz e El Alto. Para atingir tal meta, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar indicadores para medir as oportunidades de acesso a postos de trabalho da população de La Paz e El Alto;
- ii. Identificar indicadores de necessidades por deslocamento, por motivo trabalho, e sua relação com a estrutura urbana da cidade de La Paz;
- iii. Sistematizar um conjunto de procedimentos para diagnosticar a vulnerabilidade dos deslocamentos por motivo trabalho.

### **1.4 Estrutura da Dissertação**

A estrutura da presente pesquisa obedece a ordem que permite colocar em perspectiva a representação da problemática, desde a proposição metodológica da identificação, caracterização e diagnóstico, possibilitando um entendimento para a avaliação da vulnerabilidade na acessibilidade dos deslocamentos ao trabalho nas cidades de La Paz e El Alto. Após a introdução e contextualização geral, apresentadas neste capítulo, tem-se o Capítulo 2, que traz uma revisão da literatura sobre os conceitos relativos aos processos urbanos, especialmente em países latino-americanos, assim como os conceitos relacionados à vulnerabilidade desde o ponto de vista dos sistemas urbanos. Como produto deste capítulo destacam-se conceitos a serem aplicados ou demonstrados como possíveis causas do problema a ser estudado.

No Capítulo 3 se apresenta a identificação da problemática, no qual se procede a uma revisão dos processos urbanos de La Paz e El Alto, e do problema da vulnerabilidade como fator de impacto no processo urbano das duas cidades, além da identificação dos problemas de mobilidade. Como principal contribuição do capítulo está a representação da problemática da vulnerabilidade na acessibilidade dos deslocamentos aos empregos e a formulação das hipóteses de relação causal.

No Capítulo 4, apresenta-se o método proposto para a compreensão da problemática, descrevendo cada etapa e os passos a seguir para a caracterização e diagnóstico. Leva-se em consideração a proposta de indicadores que servirão para caracterizar a situação

atual e, posteriormente, avaliar e diagnosticar os cenários propostos como situações de vulnerabilidade.

No Capítulo 5, prossegue a aplicação do método proposto no capítulo anterior para a compreensão da problemática na acessibilidade dos deslocamentos ao trabalho nas cidades de La Paz e El Alto. Como produto final se apresenta a validação das hipóteses propostas no Capítulo 3.

Finalmente, no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões obtidas a partir da realização desse trabalho, bem como recomendações para trabalhos futuros.

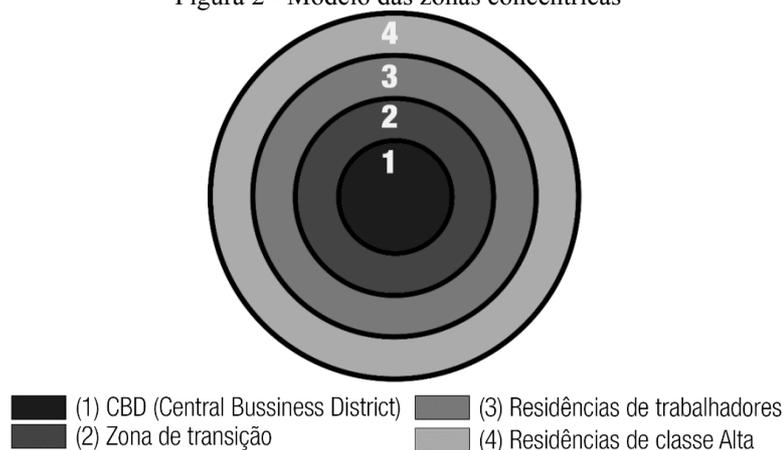
## 2 DEFINIÇÃO DE CONCEITOS

O presente capítulo tem como objetivo esclarecer os conceitos e está dividido em duas áreas. Os primeiros têm relação com os modelos relativos à abrangência sobre o planejamento urbano, que são seguidos por aqueles relacionados com vulnerabilidade e resiliência.

### 2.1 Modelos Urbanos

Até a primeira metade do século XX existe um predomínio dos paradigmas regionais para compreender as cidades. O modelo espacial proposto por Burgess (1967) tentou representar a composição das cidades através do modelo dos anéis concêntricos, no entorno do seu CBD (*Central Business District*, que pode ser traduzido para Centro de Negócios). Analisando o crescimento urbano desde o ponto de vista físico, definiu a cidade como uma aglomeração, mas também reconheceu a existência de um processo de conturbação. Neste caso, ante um crescimento urbano, as aglomerações se fundem, emergindo o conurbado dos núcleos urbanos que estavam geograficamente separados. Neste sentido, cada anel é uma etapa de expansão e estabilização do uso do solo. Para o citado autor, as distâncias de viagens entre o CBD e as zonas externas ao anel estavam entre 30 a 60 minutos de viagem (ver Figura 2).

Figura 2 - Modelo das zonas concêntricas

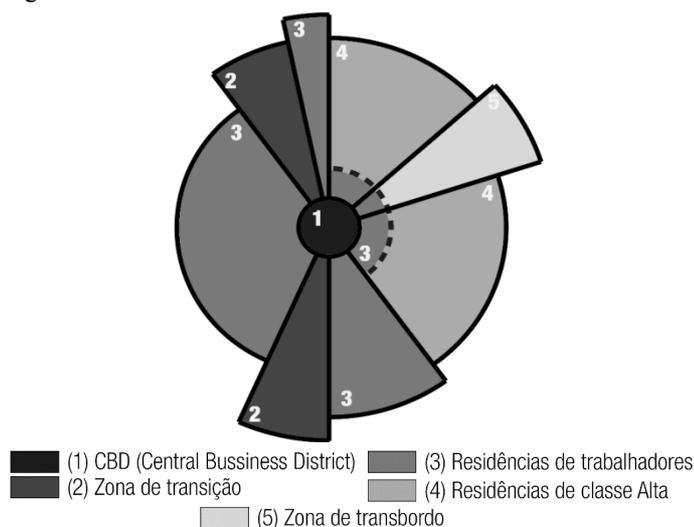


Fonte: Burgess (1967)

Foi Hoyt (1939) que propôs que o padrão geral de renda com relação ao solo não é distribuído espacialmente de forma aleatória. Este apresenta um padrão de alocação setorizada. Isto ocorre, especialmente, ligado aos eixos do sistema de transporte e sofre influência dos aspectos topográficos, aspectos naturais, como bacias hidrográficas, e aspectos

relacionais (compatibilidade dos usos de solo). A ampliação da infraestrutura para a vinculação do sistema de transportes baixou a fricção espacial e permitiu a comunicação entre centro e periferia, mas também propiciou o afastamento das residências aos CBD's. Começaram a aparecer os pontos especializados gerando os clusters de locações específicas (Figura 3).

Figura 3 - Modelo de Setores



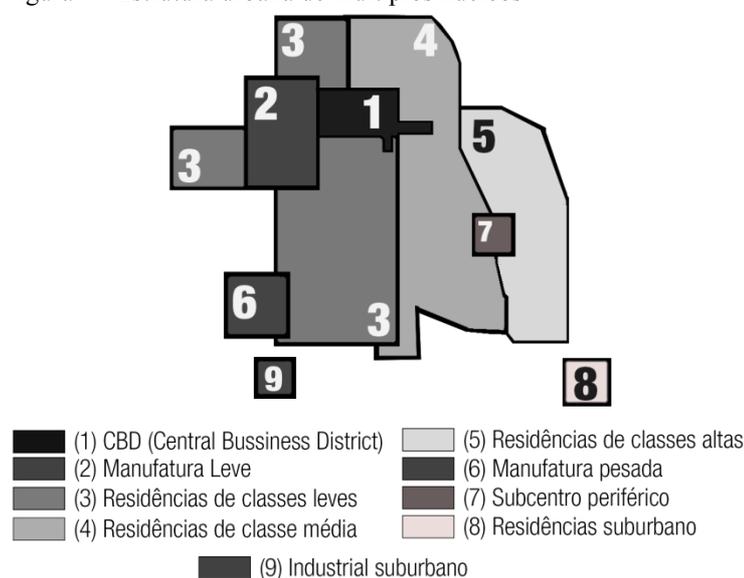
Fonte: Hoyt (1939)

Harris e Ullman (1945) formularam o modelo dos *múltiplos núcleos*, no qual entenderam que as cidades são únicas, porém as funções ou padrões espaciais podem se generalizar em três tipos: (1) as cidades como pontos centrais geram configurações, áreas de influência regulares; (2) os transportes geram serviços que são distribuídos espacialmente de forma linear; e (3) os serviços altamente especializados apresentam altas concentrações que são associadas com áreas de grande influência. O CBD é o ponto mais acessível e de maior valor do solo, as residências para aluguel seguem os eixos do transporte e na parte exterior das cidades aparece a zona industrial. A área residencial de alta renda começa se afastar das principais ruas de circulação (ver Figura 4).

Quanto aos modelos espaciais nas cidades de América Latina, Buzai (2003) indica que tanto para as cidades da primeira metade do século XIX, como para as posteriores, que mantiveram um tamanho menor, é comum que tenham preservado a forma da cidade colonial, com a malha urbana tipo tabuleiro, no centro; o nível econômico dos habitantes vai diminuindo com relação à distância até o centro, mas uma característica de destaque é o crescimento acelerado da população e a importante expansão física. Isto produz sérias consequências nas características dos assentamentos populacionais e nas estruturas dos usos

de solo urbano, considerando três padrões espaciais diferentes: (1) A estrutura espacial antiga, a cidade colonial com o CBD central e, próximos, as residências e comércios; a indústria na borda da cidade, próxima às residências de baixa renda espalhadas. (2) Estrutura moderna setorial, produto do afastamento das zonas residenciais, através da suburbanização das famílias de renda alta, seguindo a direção das áreas comerciais; as zonas de indústria concentram a população de baixa renda, geralmente produto de processos migratórios. (3) Estrutura celular na periferia, formada principalmente por bairros informais e ilegais, projetos do governo para residência de baixa renda e uma expansão de grupos de alta renda em uma zona afastada.

Figura 4 - Estrutura urbana de múltiplos núcleos



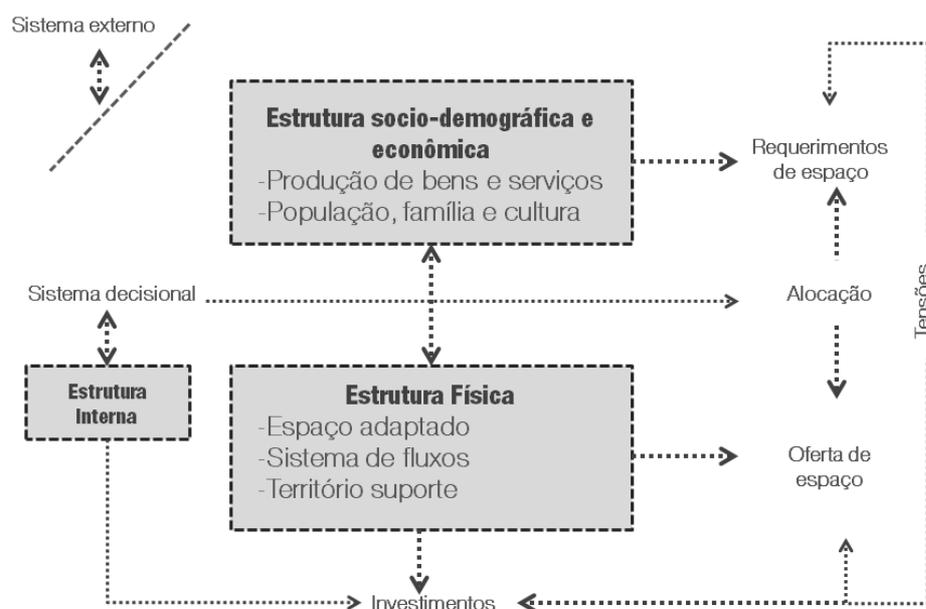
Fonte: Harris e Ullman (1945)

Yujnovsky (1971, apud BUZAI, 2003) foi quem realizou uma análise sobre a estrutura interna das cidades olhando, além do uso de solo, para as atividades que as pessoas realizam, as quais terão importante relação com a eficiência que a cidade mostrará no seu desenvolvimento, tanto em termos de qualidade de vida dos seus habitantes, como também no desempenho no nível regional e nacional. Deste modo, ele propõe estudar a estrutura das cidades desde os processos que as geram.

O autor argumenta que o fracasso do planejamento das cidades ocorre porque estas não foram analisadas como um sistema, onde qualquer ação em um sector poderá repercutir sobre todos os demais setores. Uma dessas considerações está relacionada com as atividades e o autor indica que elas são as que vão moldar a configuração espacial dos usos de solo. Tendo por base a forma de ocupação, através da sua arquitetura, e a infraestrutura de

vinculação, é através das redes e da permanência dos aspectos físicos que se produzem os desajustes na dinâmica das atividades, gerando tensões sociais e ambientais diversas. Na Figura 5, se apresenta o modelo da estrutura urbana proposto pelo autor no qual representa as relações denominadas como tensões entre a oferta e demanda do espaço.

Figura 5 - Relações que conformam a estrutura urbana



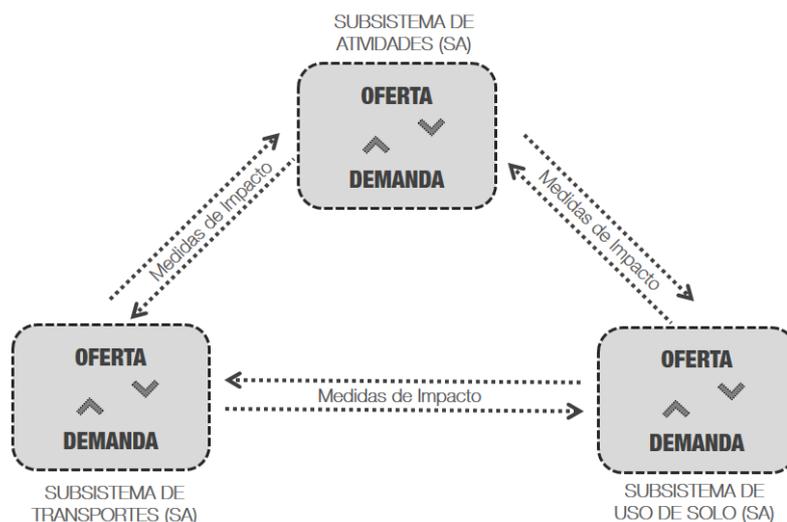
Fonte: Yujnovsky (1971 apud BUZAI, 2003)

Lopes (2015), através do modelo conceitual “*a-priori*” das relações entre uso de solo, transportes e atividades (ver Figura 6), propõe uma análise com as dinâmicas dos sistemas urbanos, que busca definir as premissas de causalidade entre as partes componentes do sistema e propor indicadores que permitam caracterizar os efeitos entre estas e as denominadas “tensões” que o autor propôs no seu modelo da estrutura urbana.

## 2.2 Conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência urbanas

A presente seção tem como objetivo apresentar os conceitos adotados pela comunidade científica para explicar os efeitos produzidos pelas atividades humanas e naturais nas cidades e como estas podem deixar mudanças irreversíveis nos sistemas urbanos. Quando se considera a diversidade de atores e escalas, seu poder e interesse em recursos naturais na dinâmica dos processos econômicos, sociais e naturais, verifica-se a possibilidade de aumento da vulnerabilidade social e dos sistemas. Para isto contribuem os fenômenos naturais (inundações, secas, terremotos, alagamentos, etc.) e aqueles eventos produzidos pela intervenção do homem (incêndios, atos terroristas, fome, pandemias e superpopulação).

Figura 6 - Modelo conceitual “a-priori” uso de solo, transportes e atividades, ALUTI



Fonte: Adaptado de Lopes (2015)

Estas características ajudam a descrever como unidades específicas de exposição respondem às mudanças climáticas. A vulnerabilidade está referida à medida que cada sistema é susceptível ao dano e, geralmente, é considerada como função da exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

A literatura científica referente aos impactos das mudanças climáticas dá destaque à vulnerabilidade relacionada com os conceitos de exposição, sensibilidade, adaptabilidade, robustez e resiliência. Todos estes ajudam a descrever como certos elementos respondem às mudanças climáticas. A vulnerabilidade é a medida de suscetibilidade de um sistema exposto a um evento e sua capacidade adaptativa (O’BRIEN; SYGNA; HAUGEN, 2004).

A resiliência é determinada pela capacidade em confrontar um desastre, o que significa os recursos necessários e a capacidade de se organizar por si mesma (METZGER; ROBERT, 2013).

A complexidade é caracterizada pelo questionamento das relações de causa e efeito, a não linearidade dos fenômenos e a multiplicidade das interações entre numerosos elementos. Os sistemas complexos sofrem, inevitavelmente, perturbações e devem se preparar ou se adaptar para enfrentá-las, ou seja, o sistema deve ser capaz de absorver choques e, ao mesmo tempo, manter sua estrutura fundamental e a sua trajetória.

A vulnerabilidade pode ser entendida como uma característica negativa, porque esta ressalta as falhas de um sistema, enquanto que a resiliência enfatiza os aspectos positivos de certas funções da vulnerabilidade. A diferença é que a vulnerabilidade se antecipa a um fenômeno, e a resiliência enfrenta, resiste e se recupera depois do acontecido.

Risco é a possibilidade de se perder aquilo a que se lhe atribui importância, isto é, elementos essenciais ou representativos de um sistema que permitem seu desenvolvimento e funcionamento.

Do ponto de vista metodológico, com o enfoque sistêmico da resiliência, Metzger e Robert (2013) propõem dois passos para analisar os riscos: (1) identificar os elementos essenciais ou representativos do sistema urbano, o que leva a identificar os elementos-chaves para o funcionamento da cidade (que serão diferentes segundo seus atores e escalas territoriais); e (2) analisar a vulnerabilidade destes elementos identificados, o que vai permitir conhecer a vulnerabilidade do sistema em conjunto.

Então, do ponto de vista da resiliência, a vulnerabilidade se caracteriza pela possibilidade de falhar, como resultante do balanço da fragilidade e a capacidade de resistir e enfrentar perturbações. Pelo lado positivo, a visão da vulnerabilidade remete à capacidade do sistema para poder enfrentar uma perturbação e se recuperar, o que pode ser entendido como uma forma de resiliência.

Portanto, a vulnerabilidade e a resiliência podem ser consideradas como o estado de um elemento em um dado momento. Poder-se-ia considerar a vulnerabilidade e a resiliência como dois extremos de uma mesma linha. No entanto, estes dois elementos não são incompatíveis nem opostos, pois um elemento pode ser muito vulnerável, pela sua exposição ante uma ameaça, mas também pode ser resiliente. Este é o caso dos bairros pobres que, no momento que são afetados por uma perturbação, serão os mais danificados. No entanto o tempo de recuperação pode ser muito mais rápido do que outros bairros menos vulneráveis, demonstrando sua resiliência. A integração desta teoria sistêmica proveniente do conceito de resiliência permite enriquecer o enfoque sobre a capacidade de um sistema territorial de funcionar e se manter no tempo apesar das perturbações (internas ou externas). Esta capacidade está vinculada às características dos elementos que conformam o sistema e às suas inter-relações. A análise da resiliência do sistema urbano se apresenta como complemento à análise da vulnerabilidade dos elementos essenciais do mesmo sistema. Contudo, o conceito da resiliência permite analisar dois tipos de fenômenos que contribuem para a vulnerabilidade das aglomerações urbanas, (1) referentes às debilidades relacionadas com as interações entre os elementos do sistema urbano e (2) das interações entre os sistemas em distintas escalas (METZGER; ROBERT, 2013).

O não funcionamento, a falha ou a perda de um elemento pode impactar sobre outros, mas também no conjunto do sistema territorial. As análises dos efeitos em cadeia enfatizam a interconexão, cada vez mais complexa, das redes. Trata-se aqui de se tentar

entender as articulações fundamentais entre os elementos essenciais do território e as consequências, em termos de vulnerabilidade. Esta interdependência pode se concretizar em maus funcionamentos generalizados. Com este enfoque se evidencia a resiliência de um território, que depende da vulnerabilidade das redes que garantem seu funcionamento. Se as condições de acessibilidade dessas redes, isto é, a conexão entre a população e algum serviço, pode produzir desigualdades, a análise destas permite entender melhor a resiliência e a vulnerabilidade do território. A resiliência das interações dos sistemas depende das relações entre os outros sistemas, em outras escalas, e consiste em identificar as pressões e retroações.

Berdica (2002) define vulnerabilidade no sistema de transportes do ponto de vista da redução de acessibilidade que acontece por distintos motivos, dando ênfase na função referente aos aspectos físicos da rede viária. Os parâmetros de acessibilidade, segundo a autora, definem a oportunidade proporcionada pelo sistema de transporte para que as pessoas façam parte de alguma atividade particular ou uma série de atividades. Assim, a acessibilidade vai depender do funcionamento do sistema de transportes e a autora sugere que o problema da vulnerabilidade seja analisado do ponto de vista da oferta do sistema, avaliando o nível de serviço e capacidade da rede viária e a qualidade do modo de transporte. Para Berdica (2002), a oferta do sistema de transportes é uma medida que representa a utilidade do sistema e esta pode ser afetada por incidentes que ocorrem na rede.

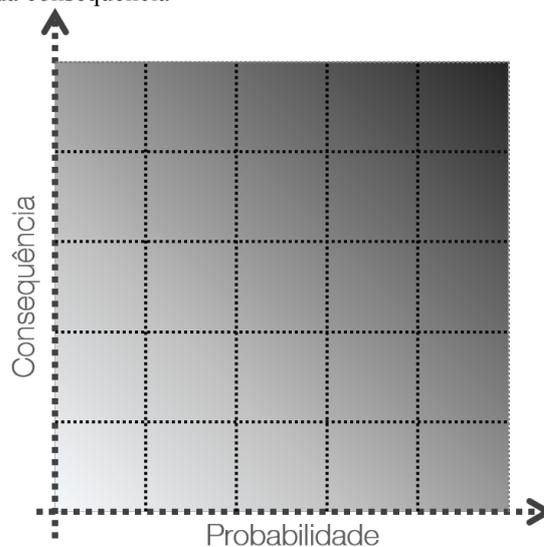
O risco envolve a combinação da probabilidade que um evento negativo de impacto ocorra e, uma vez que este tenha acontecido, a extensão das consequências. Também envolve a incerteza e, ainda que as probabilidades e consequências sejam teoricamente mensuráveis para a ocorrência de acidentes menores, é pouco provável que as falhas resultem em danos sérios. A Figura 7 descreve como isto poderia ser colocado na matriz de risco dependendo da combinação da probabilidade e das consequências.

A vulnerabilidade é a suscetibilidade de ocorrência de riscos em distintas escalas, enquanto que as vítimas podem mudar o curso dos eventos e contribuir na recuperação. Um sistema vulnerável é um sistema susceptível a eventos extremos, a derivação de um problema que é considerado “normal”. No sistema de transportes ela é a suscetibilidade que os incidentes possam resultar em uma redução da utilidade.

Jenelius (2010) indica que os problemas de vulnerabilidade no sistema de transportes têm relação com a deficiência da acessibilidade para os diferentes pares origem-destino. A existência de trechos de vias fechados traz, como consequência, incrementos nos tempos de viagem. Quando existe um problema de bloqueio de alguma via, o motorista deverá pensar em um novo plano de viagem, escolhendo a alternativa de rota mais próxima.

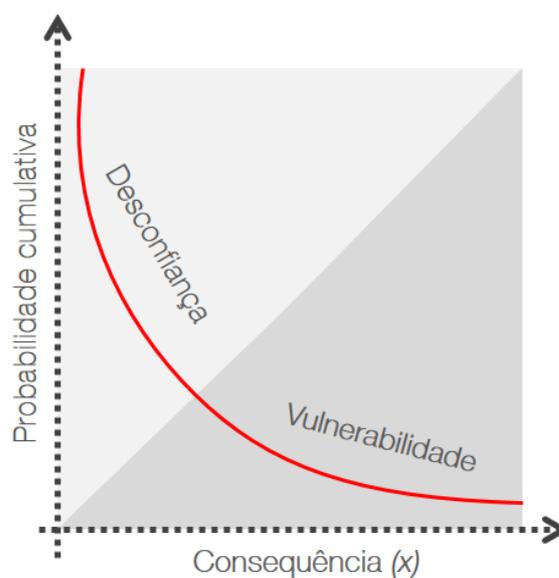
Este é o risco da sociedade. O conceito de risco pode ser ilustrado sob a forma de uma curva de risco (ver Figura 8). Os cenários no eixo horizontal são classificados para o aumento da gravidade da consequência  $x$ . O eixo vertical indica a probabilidade cumulativa de cenários com consequências maiores ou iguais a  $x$  e ilustra-se, também, a distinção entre desconfiança e vulnerabilidade.

Figura 7 - Matriz do risco: combinação da probabilidade e da consequência



Fonte: Adaptado de (BERDICA, 2002).

Figura 8 - Curva do risco mostrando a probabilidade cumulativa e os cenários de consequências maiores ou iguais a "x".

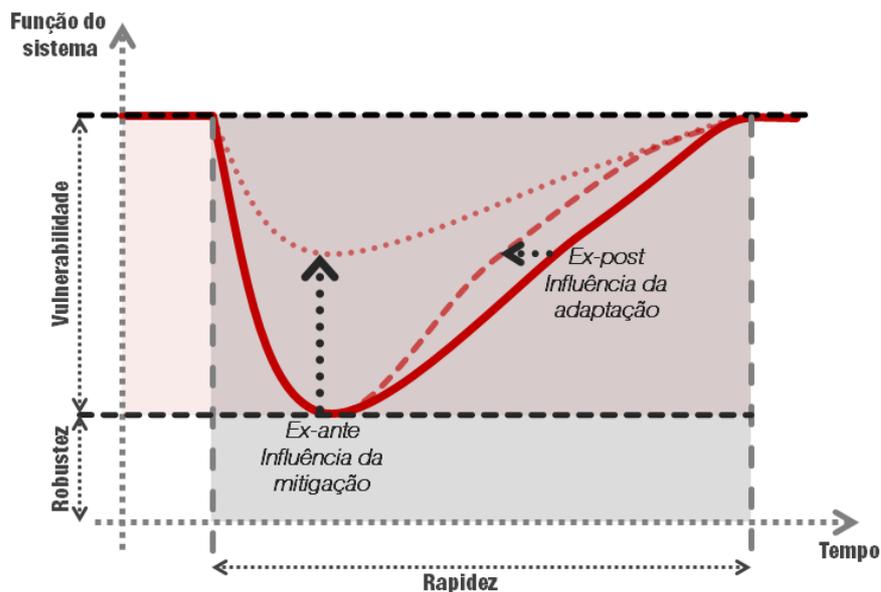


Fonte: (JENELIUS, 2010)

A resiliência refere-se à habilidade de absorver os choques de eventos extremos. Ela possui três propriedades: (1) Capacidade de absorver um distúrbio quando estiver acontecendo, mantendo o mesmo estado funcional ou poder de atração; (2) Potencialidade de auto-organização; (3) Capacidade de aprendizagem e adaptação.

A primeira das propriedades está focada nos sistemas de infraestruturas e as duas últimas são entendidas como meios para manter a resiliência ao longo do tempo (MCDANIELS et al., 2008). A mesma não pode ser medida apenas com um tipo de indicador. A sua análise compreende áreas distintas como econômica, técnica, organizacional e social. Duas dimensões utilizadas para medir a resiliência são a robustez e a rapidez. A robustez é entendida como a habilidade para resistir a certo nível de choque sem sofrer a degradação ou perda total da função do sistema. A rapidez é a capacidade de atender as prioridades e atingir objetivos num tempo hábil para poder conter as perdas e evitar futuras rupturas do sistema (ver Figura 9). Na figura também são representadas as melhorias no desempenho para a robustez e a rapidez na tomada de decisão “*ex-ante* and *ex-post*”, isto é, a resiliência pode ser reforçada por atividades de mitigação de riscos realizadas antes de acontecer o desastre e, também, por atividades de resposta após o evento.

Figura 9 - Dimensões da resiliência



Fonte: Adaptado de (MCDANIELS et al., 2008).

A vulnerabilidade, para alguns autores, é uma etapa da resiliência. Outros a consideram como outro parâmetro de avaliação. A resiliência refere-se à velocidade com a qual uma rede retorna ao seu equilíbrio, depois de um choque ou perturbação, e como estes

poderiam ser absorvidos. A vulnerabilidade, por outro lado, refere-se à susceptibilidade aos eventos extremos, num sistema dinâmico, e à análise da propagação dos choques em uma rede (REGGIANI; NIJKAMP; LANZI, 2015).

A Tabela 1, apresenta um resumo dos conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência encontrados na literatura, assim como alguns indicadores para avaliar estes fenômenos. Existe uma variabilidade de conceitos e, muitas vezes, não se consegue separar o limite que poderia distinguir vulnerabilidade de resiliência. Em todo caso, a vulnerabilidade é vista, olhando numa linha de tempo, como o passo a se antecipar a um evento de desastre e pode descrever os problemas ou “fraquezas” de um sistema. A resiliência é vista, pela maioria dos autores, como uma capacidade de se poder atuar tanto *ex-ante*, através de certas medidas de prevenção, como *ex-post*. Pode parecer que ambas sejam complementares, porquanto a vulnerabilidade é um passo prévio à resiliência, isto é, poder-se-ia entender como uma etapa imprescindível para conhecer o problema. Por outro lado, Hardy (2015) destaca que a vulnerabilidade varia em função ao espaço e temporalidade, ou seja, não existe uma população única vulnerável, pois é a atividade e o lugar onde a pessoa a realiza que vai permitir atribuir a condição de vulnerável. O autor dá o exemplo de uma população de baixa renda que mora na cidade de El Alto e só é vulnerável quando se desloca até a cidade de La Paz para trabalhar. Neste período do dia e no trajeto utilizado para o trabalho é que ela se torna vulnerável.

Tabela 1 - Resumo de conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência

Autor	Vulnerabilidade	Resiliência	Medida de Desempenho
(BERDICA, 2002)	A redução de acessibilidade que acontece por distintos motivos, dando ênfase na função do sistema nos aspectos físicos da rede viária	Atingir um novo estado de equilíbrio após de um evento de risco ter acontecido.	Acessibilidade infraestrutural, tempo de viagem, a possibilidade de chegar ao destino, confiabilidade na conectividade para atingir um destino escolhido, capacidade de confiança da capacidade da oferta em um nível de serviço aceitável.
(DELGADO, 2002)	Fatores inerentes ao sistema; susceptibilidade de um sistema sofrer uma queda no seu desempenho ante uma ameaça (externa ou interna)	Capacidade de antecipação, resposta e adaptação de um sistema ante uma ameaça (externa ou interna)	
(O'BRIEN; SYGNA; HAUGEN, 2004)	A medida em que um sistema é suscetível a sofrer danos; pode ser considerado como um estado dinâmico, pelas influências biofísicas e condições socioeconômicas.	Geralmente é considerada como o oposto da vulnerabilidade. Refere-se a uma capacidade para resistir, recuperar ou se ajustar a um evento ou choque. Não fica clara a diferença entre os dois conceitos. Às vezes os dois se sobrepõem.	Indicadores sociais sobre emprego podem ajudar a reconhecer a distribuição geográfica da população socialmente vulnerável.

Tabela 1 - Resumo de conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência

Autor	Vulnerabilidade	Resiliência	Medida de Desempenho
(MCDANIELS et al., 2008)	Considerado como o oposto da resiliência; impacto negativo, dentro dos sistemas infraestruturais, que deve ser reduzido.	Existem duas dimensões cruciais. A rapidez (a capacidade de atender as prioridades e atingir objetivos em tempo hábil, a fim de conter as perdas e evitar interrupções). A robustez (a capacidade de suportar o nível de um dado estresse, sem sofrer degradação ou perda de função), fornecem uma abordagem para as decisões sobre eventos extremos <i>ex-ante</i> e <i>ex-post</i> .	As medidas devem ser consideradas nas dimensões tecnológicas, organizacional, social e econômica, para as duas propriedades: robustez, e rapidez.
(KIRSHEN; RUTH; ANDERSON, 2008)	No sistema de transportes são as perturbações relacionadas com problemas da mudança do clima, que podem ser resolvidas aumentando a redundância da infraestrutura tanto das estradas como a oferta do transporte público.		Indicadores sócio econômicos para identificar populações mais afetadas,
(FOLKE et al., 2010)		Transformabilidade e adaptabilidade. A capacidade de um sistema para mudar, adaptar-se e ainda permanecer dentro dos limites críticos. A adaptabilidade representa a capacidade de reajustar as respostas à mudança de condutores externos e processos internos. Transformabilidade é a capacidade de cruzar limiares em novas trajetórias de desenvolvimento.	
(JENELIUS, 2010)	1) Vulnerabilidade topológica das redes de transporte (grafos) com pares ordenados de vértices (nós) e links 2) Vulnerabilidade em sistemas de redes de transporte, nos modelos de demanda e oferta. A rede é ponderada com pesos correspondentes a comprimentos, tempos de viagem, custos ou uma combinação de custos generalizados.	A capacidade intrínseca de um sistema para ajustar seu funcionamento antes, durante ou após as mudanças e distúrbios, de modo que ele possa sustentar as operações necessárias sob condições esperadas e inesperadas	Considerando uma rede conectada $G$ , a distância $d_{ij}$ em que dois pares de nós, $i$ e $j$ ( $i \neq j$ ) pode ser definido pela distância mais curta entre todas as rotas possíveis, o indicador de eficiência seria a distância média entre todos os nós. $C = G \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i \neq j \in G} d_{ij}$
(ROMERO LANKAO; QIN, 2011)	O impacto potencial e a sensibilidade de um sistema urbano ante a exposição de um perigo iminente, como um processo dinâmico baseado na capacidade decrescente de uma cidade ou de suas populações de lidar com um conjunto de riscos e estresses sociais e ambientais.	A resiliência reflete uma mudança geral da vulnerabilidade para o fortalecimento da capacidade de resposta com duas propriedades inerentes às pessoas e as cidades que se sobrepõem.	

Tabela 1 - Resumo de conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência

Autor	Vulnerabilidade	Resiliência	Medida de Desempenho
(TAYLOR; TYLER; MOENCH, 2012)	<p>- Um nó de rede é vulnerável se perde um pequeno número de ligações e diminui significativamente a acessibilidade do nó, medida por um índice padrão de acessibilidade.</p> <p>- A perda de um link se torna crítica quando a acessibilidade da rede diminui significativamente a possibilidade de atingir oportunidades.</p>		<p>Mudanças na acessibilidade / afastamento de locais diferentes na região sob diferentes estados para a rede de transporte intacta ou degradada. Isso pode ser feito para locais especificados e para toda a região.</p> <p>Os modelos conceituais utilizam tanto um índice de acessibilidade (A) como um índice de afastamento (R), apresentados como variáveis da região.</p> <p>Um índice de acessibilidade A (x, y) para a localização (x, y) numa região <math>\Phi</math> pode ser representado por uma função matemática que inclui a própria localização e as atividades associadas a ela, parâmetros e variáveis que representam a configuração e o estado da rede de transporte e as instalações e serviços acessíveis através da rede.</p>
(METZGER; ROBERT, 2013)	Capacidade do sistema para enfrentar uma perturbação e se recuperar, podendo ser entendida como uma forma de resiliência.	Como uma propriedade positiva que permite, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de um sistema.	
(VALE, 2014)		Capacidade de resposta a mudanças súbitas, mas também pode ajudar a traçar transformações mais graduais, ajudando a responder ante distintos tipos de eventos, previsíveis ou não. O conceito de resiliência é entendido como um "retorno" a algum <i>status quo</i> anterior à perturbação, que se supõe ser mais desejável que o presente.	
(REGGIANI; NIJKAMP; LANZI, 2015)	Refere-se à suscetibilidade aos eventos extremos, num sistema dinâmico, e à análise da propagação dos choques na rede.	A rede de transportes é sinônimo de confiabilidade. Uma falha nesta rede afeta gravemente as atividades sociais e econômicas.	
(HARDY, 2015)	Tentar identificar, através de indicadores, uma população vulnerável é entender que a vulnerabilidade é uma característica intrínseca. Pelo contrário, as condições de vulnerabilidade variam em função ao espaço de temporalidade.	A recuperação a um custo mínimo poder-se-ia entender como uma forma de resiliência, porque pode ser que seja uma população muito vulnerável, mas, no entanto, os custos e o tempo de recuperação serão mais rápidos do que aqueles que investiram mais.	
(SILVA, 2015)	Entendida como uma medida a ser confrontada através da robustez das redes de transporte.	A capacidade das cidades para funcionar. As pessoas que vivem e trabalham nas cidades - em particular os pobres e vulneráveis - sobrevivem e prosperam sem se importar com os estresses ou choques que tenham atravessado.	Propõem sete tipos de indicadores para medir a resiliência das cidades: Reflexivos, Robustos, Redundantes, Flexíveis, Inclusivos, Integrados, e Versáteis.

Tabela 1 - Resumo de conceitos sobre vulnerabilidade e resiliência

Autor	Vulnerabilidade	Resiliência	Medida de Desempenho
(JABAREEN, 2013)		Entendida como a persistência das relações entre os sistemas e a habilidade destes de absorver as mudanças, no intuito de se tornar menos vulnerável e mudar a um estado mais resiliente.	
(LIAO; VAN WEE, 2016)	A variabilidade dos tempos de viagem está ligada ao conceito mais geral de robustez do sistema de transporte, o que é o oposto da vulnerabilidade.	Os custos de viagem generalizados (GTC) não devem apenas incluir tempo de viagem, custos monetários e problemas / conforto, mas também a previsibilidade / variabilidade dos tempos de viagem. Termos relacionados incluem robustez, confiabilidade, vulnerabilidade, flexibilidade e resiliência, etc.	Medidas de robustez que considerem o número de oportunidades de viagem que uma pessoa possui para realizar. Medidas de origem – destino, em relação às oportunidades que a pessoa possui separando-as em oportunidades fixas (trabalho, estudos, etc.) ou flexíveis (atividades de lazer ou de compras).
(MEEROW; NEWELL; STULTS, 2016)		Capacidade de um sistema urbano - e todas as suas redes constituintes, através de escalas temporais e espaciais - de manter ou retornar rapidamente às funções desejadas diante de uma perturbação, de se adaptar à mudança ou transformar rapidamente sistemas que limitam a capacidade de adaptação atual ou futura.	
(FERREIRA; BERTOLINI; NÆSS, 2017)		O localismo pode ser uma ideia altamente promissora quando se pensa em resiliência. Uma crítica que os autores fazem é sobre tentar fazer o sistema de transportes mais resistente a ameaças e interrupções fazendo mais complexos os sistemas de mobilidade. Em termos de resiliência isto resulta, normalmente, em um problema.	

Fonte: Elaboração própria

### **3 IDENTIFICAÇÃO DA PROBLEMÁTICA DA VULNERABILIDADE NOS DESLOCAMENTOS MOTIVO TRABALHO DAS CIDADES DE LA PAZ E EL ALTO.**

O terceiro capítulo tem por objetivo apresentar os problemas produzidos pela vulnerabilidade nos deslocamentos motivo trabalho, nas cidades de La Paz e El Alto, como estes impactam na acessibilidade, como podem ser representados, como evoluíram no tempo e, por fim, quais são as relações de causa e efeito entre os subsistemas de uso de solo e transportes.

Considera-se aqui que a vulnerabilidade social é uma condição intrínseca de certo grupo populacional (CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003), mas também que a vulnerabilidade é uma condição espaço temporal (HARDY, 2015). Pode ser que uma população considerada como socialmente vulnerável, não habite ou realize outras de suas atividades (trabalhar, estudar, comprar) em zonas de risco. No entanto, estas pessoas podem ficar vulneráveis no momento em que se deslocam para uma zona que tem risco. Isto acontece diariamente com aquelas pessoas que moram na cidade de El Alto, mas cujas atividades, principalmente o trabalho, são feitas na cidade de La Paz. Esta última concentra várias áreas de risco que podem ocasionar a interrupção do acesso das pessoas às suas atividades. É sobre esta problemática que o presente capítulo é desenvolvido.

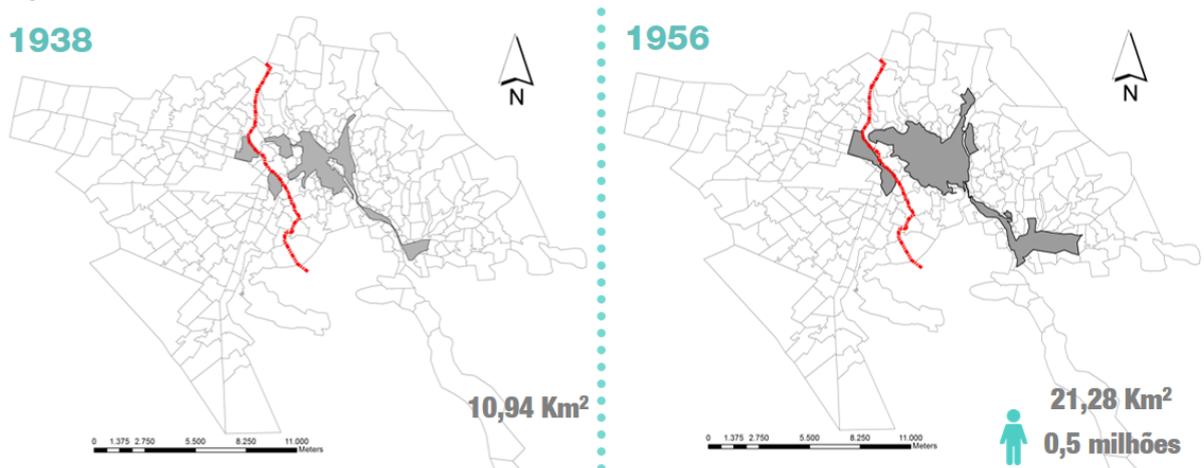
#### **3.1 Processo de crescimento das duas cidades**

No começo do século XX, após a Revolução Federal, a cidade de La Paz cresce e fortalece sua hegemonia populacional e ocupação territorial, em comparação com as outras cidades da Bolívia, após assumir sua condição de sede de governo. As oligarquias mineiras e de proprietários rurais começam a morar nesta cidade e, deste modo, as infraestruturas de transportes são instaladas na região do altiplano. O trecho ferroviário entre El Alto e Viacha é o laço conector comercial de La Paz com o oceano pacífico. No ano de 1923 se instalam dois equipamentos importantes na cidade de El Alto, o Aeroporto Internacional e as instalações de Yacimientos Pretrolíferos Fiscales Bolivianos (BARRIENTOS ZAPATA, 2012)

Até o ano de 1950, a cidade de La Paz foi constituída por um centro colonial e outro indígena, o que é conhecido como o Casco Urbano Central e rodeado pela periferia que se constituía, geralmente, de habitações autoconstruídas pelos indígenas. A partir do ano de 1955 as migrações foram se estabelecendo no anel interior que rodeia o Casco Urbano Central

e, com menor intensidade, dentro desta área. Surge uma primeira periferia que, entre os anos 1955 e 1965, começa a ser povoada (ver Figura 10). O Estado tenta resolver o problema do déficit de residências e cria os Conselhos de Vivenda para os setores de trabalhadores. Da mesma forma, os sindicatos de setores de manufatura e mineração criam cooperativas para poder intervir no mercado imobiliário e, assim, atender à demanda da população por moradias.

Figura 10 - Processo de crescimento da mancha urbana 1938 - 1956



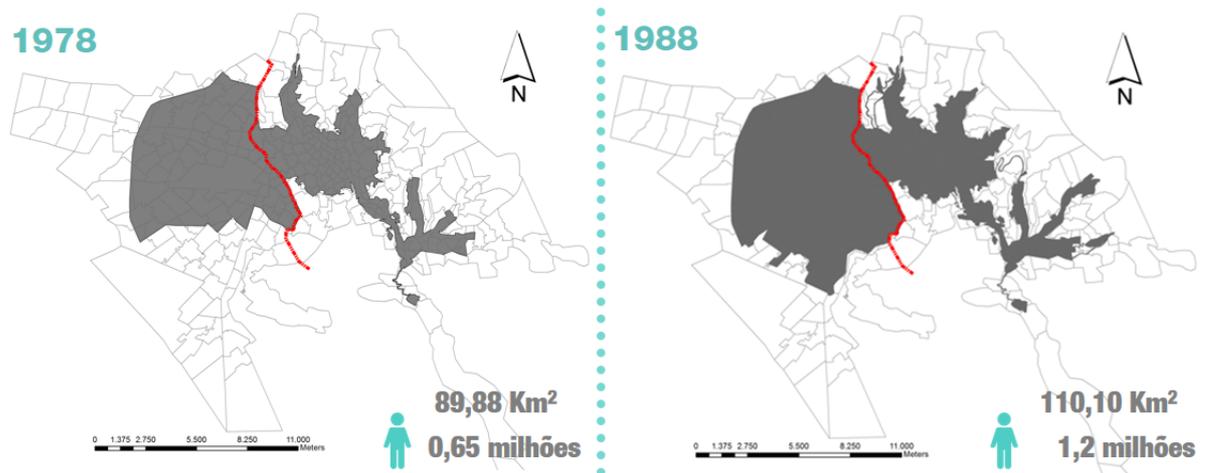
Fonte: Elaboração própria.

O processo do crescimento urbano vertiginoso deveu-se às mudanças econômicas dos anos 1970. Após o ano de 1975, a zona que fica entre a cidade de La Paz e El Alto começa a ser um polo atraente para novos migrantes, enquanto a mancha urbana de La Paz cresce circundando as bacias hidrográficas. El Alto vai se expandindo de maneira centrífuga. Foi posterior à queda e fechamento das empresas mineradoras (1988) e o processo inflacionário da mesma época, que a Bolívia se transformou em um país com predominância de população urbana e a cidade de La Paz como o maior captador de empregos do setor público (ver Figura 11). Entre La Paz e El Alto existe uma continuidade urbana e populacional que não pode ser dissolvida por divisões jurisdicionais e pela dependência da população de El Alto dos serviços prestados em La Paz (BEDREGAL VILLANUEVA, 2015). Todavia, cabe ressaltar que La Paz também depende de El Alto, por ser o canal de comunicação viária com os outros departamentos do país e com as fronteiras com o Peru e o Chile.

Em 1992, a superfície urbana continuou se expandindo. O crescimento anual de La Paz, em 16 anos, foi de 1,1%, enquanto a cidade de El Alto cresceu a uma taxa de 2,2% no mesmo período (HARDY, 2015). Nos anos 1990, a oferta de emprego do setor privado não chegou a atender à demanda da população, e o Estado não teve capacidade de oferecer mais

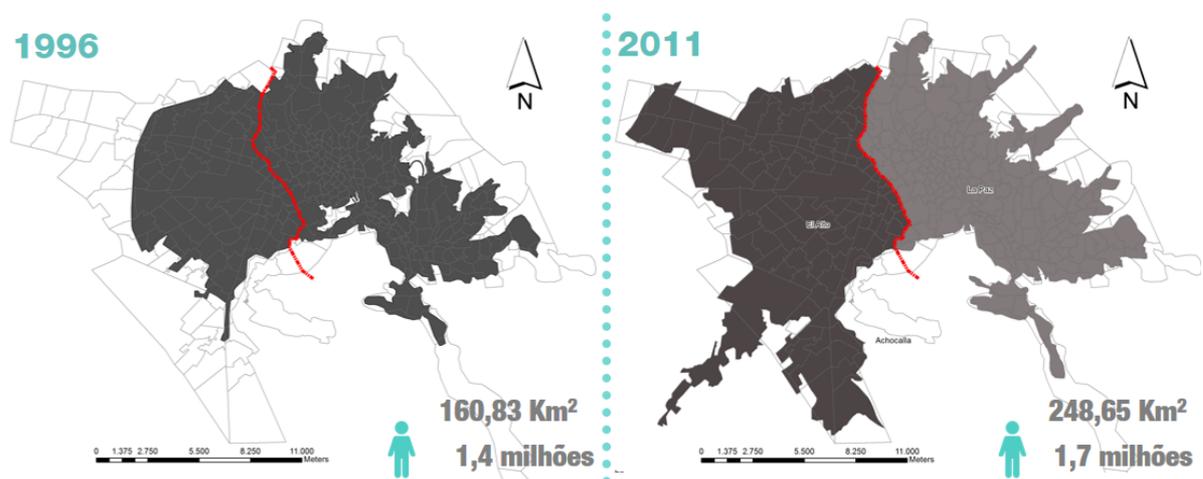
fontes de emprego. O setor informal se tornou a alternativa para a geração de renda (TORRICO FORONDA, 2011). O crescimento de El Alto ocorreu a taxas maiores do que La Paz, tanto em população como em ocupação do território. No entanto, El Alto não é uma cidade capaz de absorver todas as demandas de emprego e serviços dos seus habitantes, e isto faz que estes procurem supri-las na cidade de La Paz (Figura 12).

Figura 11 - Processo de crescimento da mancha urbana 1978 - 1988



Fonte: Elaboração própria.

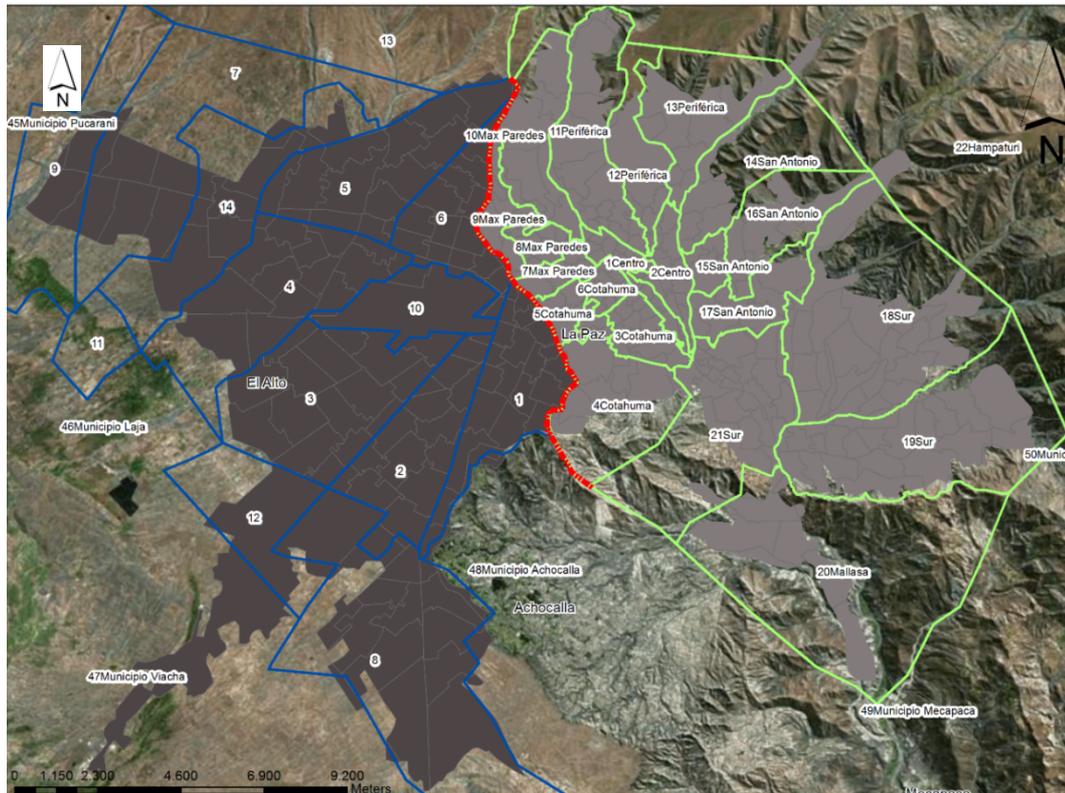
Figura 12 - Processo de crescimento da mancha urbana 1996 - 2011



Fonte: Elaboração própria.

La Paz é composta por sete macro distritos urbanos (Cotahuma, Max Paredes, Periférica, San Antonio, Sur, Mallasa e Centro) e dois rurais (Hampaturi e Zongo). El Alto é constituído por 8 distritos urbanos e três rurais, que estão sempre se modificando, em função da expansão urbana. As principais autoestradas de conexão com as outras cidades da Bolívia, com o Peru e o Chile se localizam na cidade de El Alto. (Figura 13).

Figura 13 - Distritos de La Paz e El Alto



Fonte: Elaboração própria

A diferença de distribuição da forma urbana das duas cidades se deve a que a cidade de La Paz foi crescendo no entorno de um centro (Figura 14a) e a sua expansão foi limitada pelas condições geofísicas (Figura 14b), que não permitiram que a cidade ultrapassasse os limites físicos. A cidade de El Alto, por outro lado, teve o seu centro localizado no limite com a cidade de La Paz (Figura 14c) e seu crescimento acelerado e sem controle ocorreu no entorno aos eixos das autoestradas (Figura 14d).

O último censo populacional, elaborado em 2012 pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), indica que a população na Bolívia é de aproximadamente 10 milhões de habitantes, das quais 27% moram no Departamento de La Paz, e 17,9% na Região Metropolitana de La Paz (Tabela 2). O artigo n.º. 280 da Constituição Política do Estado (CPE, 2009) estabelece que as conurbações maiores que 500.000 habitantes poderão conformar regiões metropolitanas.

Figura 14- Comparação da forma de crescimento das cidades de La Paz e El Alto

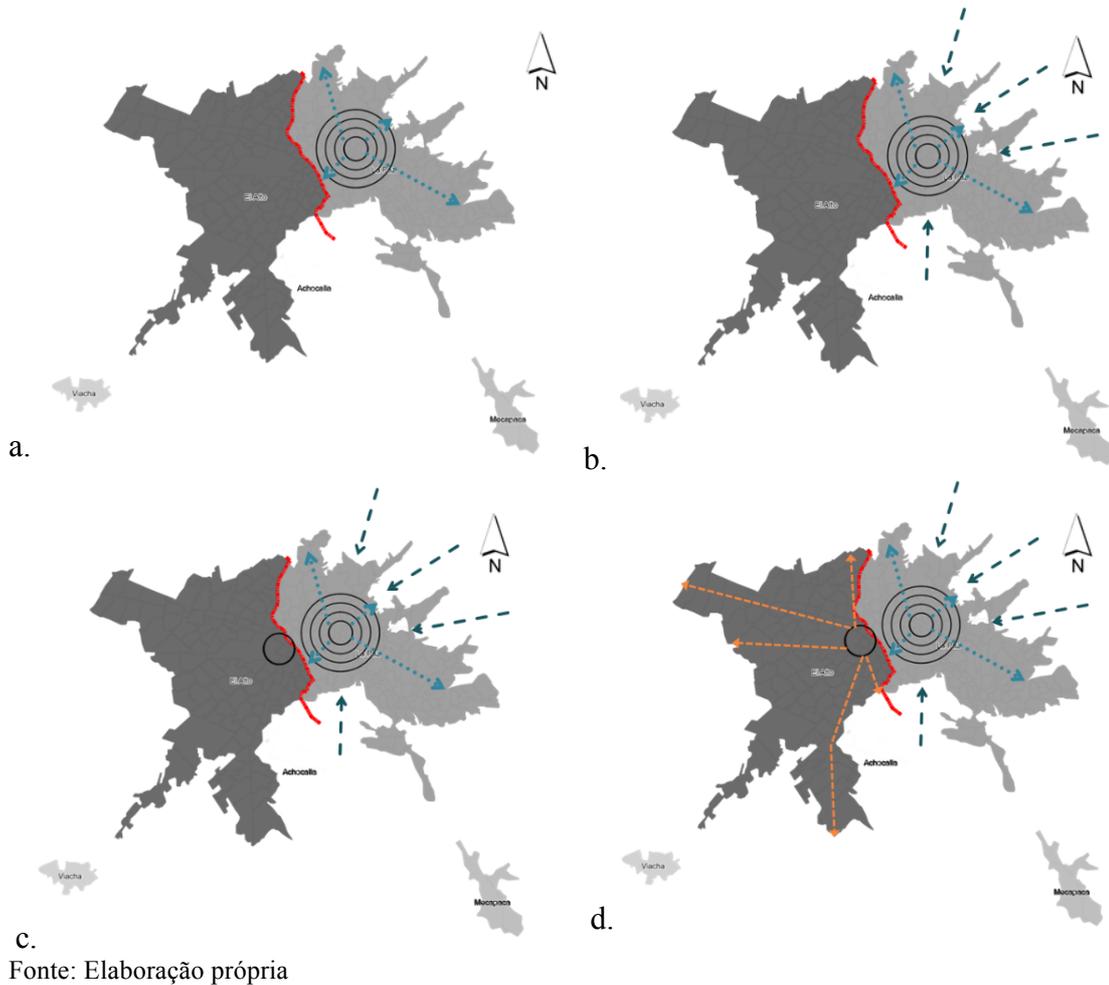


Tabela 2 - Distribuição da população na Região Metropolitana de La Paz

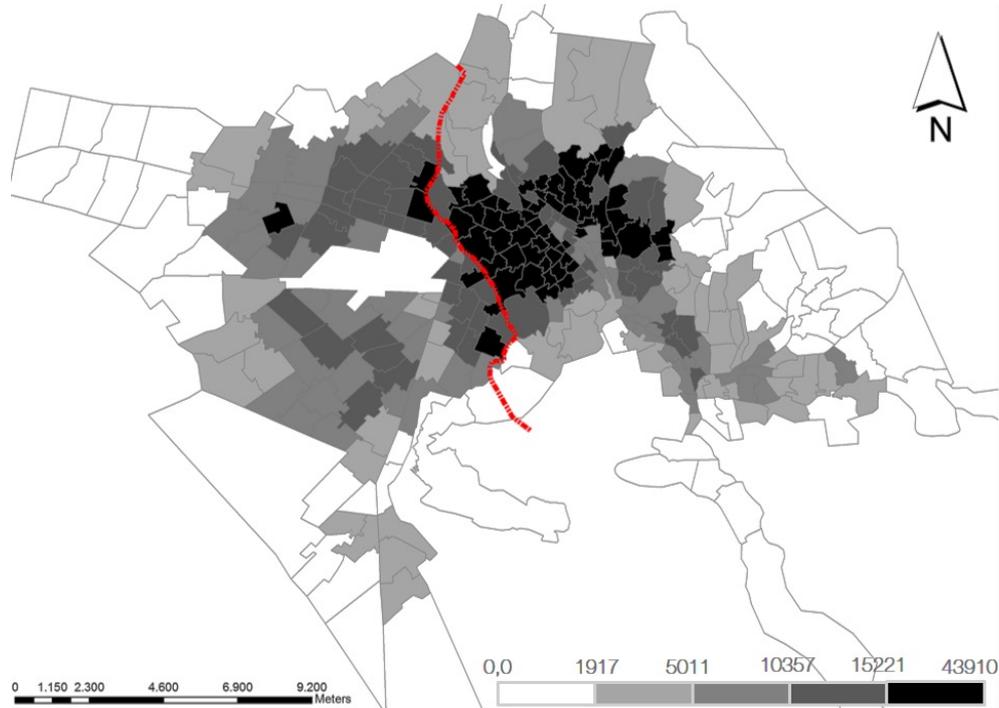
Município	Superfície km <sup>2</sup>	População Nº pessoas	% de pop	Densidade pess./km <sup>2</sup>
El Alto	385	843934	47,10%	2192
La Paz	3152	764617	42,67%	242
Palca	749	16622	0,93%	22
Mecapaca	509	16027	0,89%	31
Achocalla	226	16993	0,95%	75
Viacha	3331	80388	4,49%	24
Pucarani	1210	29594	1,65%	24
Laja	716	23673	1,32%	33
TOTAL	10278	1791848	100%	174

Fonte: Plan 2040 Governo Municipal de La Paz (2015)

As duas cidades acolhem perto de 90% da população da região, cuja distribuição é representada na Figura 15. Esta mostra que os setores periféricos às duas cidades são os menos adensados. O centro da cidade de La Paz, como ilustra o mesmo mapa, apresenta uma

densidade que oscila entre 1917 até 5011 habitantes/km<sup>2</sup>, similar ao que acontece com o centro da cidade de El Alto. As encostas oeste e leste são as áreas mais adensadas.

Figura 15 - Densidade demográfica La Paz e El Alto



Fonte: Elaboração própria

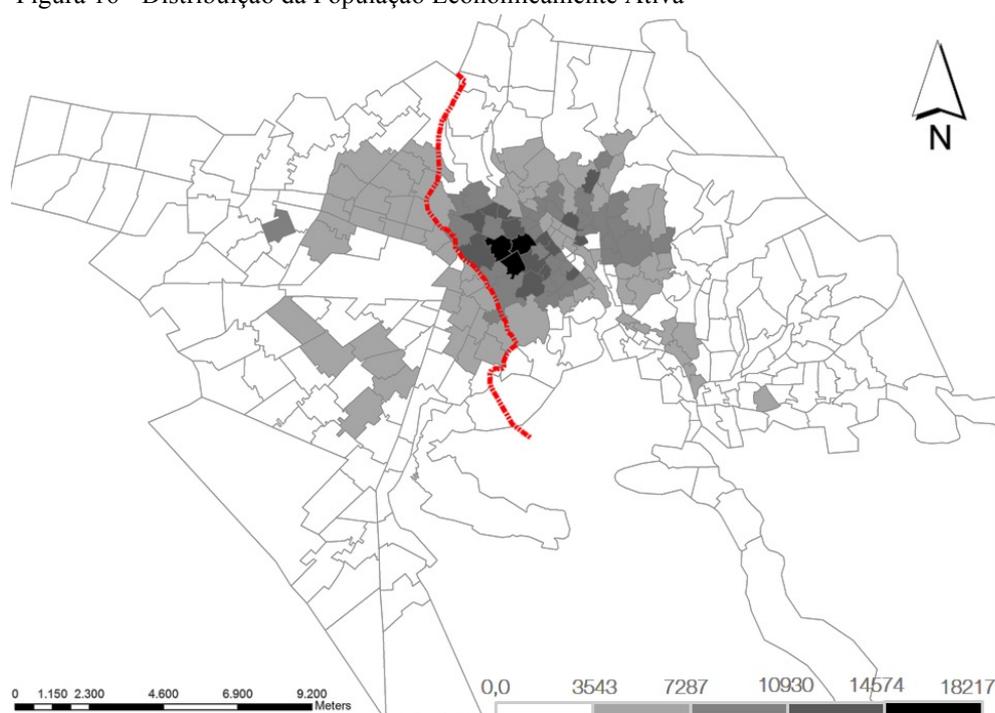
A distribuição do emprego nas duas cidades, demonstra que a População Economicamente Ativa (PEA) é majoritariamente empregada por negócios familiares (comércio, manufatura, trabalhadores por conta própria). Os empregos do setor público atingem apenas a 15,5 % do total na cidade de La Paz, e muito menos (8,2%) na cidade de El Alto (ver Tabela 3). Na Figura 16 apresenta-se a distribuição espacial da População Economicamente Ativa. Pode-se observar que o setor que fica entre El Alto e o centro da cidade de La Paz (Distritos Max Paredes e Cotahuma) têm a maior quantidade de pessoas que trabalham, coincidindo com o mapa de densidade populacional.

Tabela 3 - Distribuição percentual da População Economicamente Ativa em 2011

Setor / mercado de trabalho	Bolivia	La Paz	El Alto
Estatual	11,9	15,5	8,2
Empresarial	23	25,3	18,5
Semi empresarial	14,4	10,5	15,7
Familiar	45,3	43,3	55,7
S. doméstico	5,4	5,4	1,9
Total	100,0	100,0	100,0

Fonte: Instituto Nacional de Estadística – INE (2011)

Figura 16 - Distribuição da População Economicamente Ativa



Fonte: Elaboração própria

Os problemas de ocupação do solo sem planejamento trouxeram dois tipos de dificuldade. Na cidade de El Alto, a população que começou a morar nas áreas de expansão não contava com todos os serviços básicos. No caso da cidade de La Paz, aqueles que foram morar na periferia (encostas e ladeiras da cidade) tiveram problemas de vulnerabilidade. O crescimento populacional na periferia, geralmente ocorre em locais altamente vulneráveis (físicos ambientais, sociais, econômicos, culturais e institucionais). Estes, frequentemente, estão expostos à ocorrência de fenômenos naturais (alagamentos, sismos, terremotos, etc.), que podem acarretar em desastres com perdas materiais e humanas.

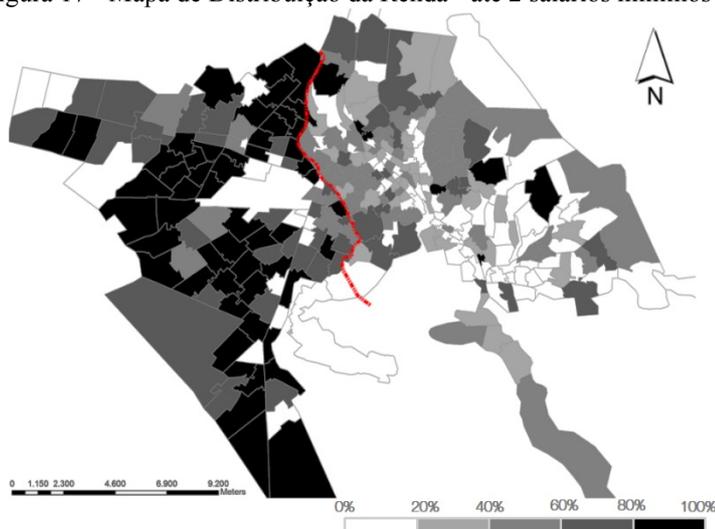
Aqueles que decidiram se estabelecer nas zonas de risco nas ladeiras da cidade sabem que evitar este risco significa renunciar a possibilidades de melhoria de vida. Eles

preferem viver com o risco, inclusive conhecendo os antecedentes, pois conseguem uma residência de menor custo e melhor acessibilidade ao espaço urbano, satisfazendo, assim, suas necessidades (VELÁZQUEZ CHÁVEZ, 2014). Pode-se dizer que esta população, seja de cidadãos de La Paz ou El Alto, sofre um tipo de segregação. Andrade (2016) define como segregação involuntária aquela em que as pessoas, sem alternativas de escolha locacional, vão morar na periferia ou em áreas de risco. A segregação induzida refere-se àqueles em que, apesar das limitações estabelecidas pelo preço da terra e dos imóveis, ainda dispõem de algum tipo de escolha.

A distribuição da população em relação à renda mostra que, para o ano 2012, a população de renda de até dois salários mínimos (Figura 17) se aloca com maior intensidade na cidade de El Alto, enquanto que a população de renda média (Figura 18) tem uma distribuição mais homogênea na cidade de La Paz. Com menor intensidade, e com uma distribuição aleatória, a população de renda alta (acima de 14 salários mínimos) se aloca na cidade de La Paz (Figura 19).

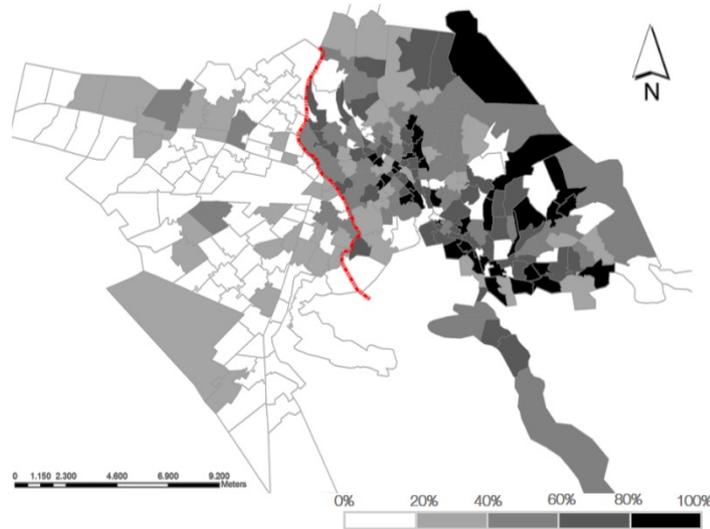
Além dos impactos citados neste capítulo, envolvendo problemas relativos à segregação involuntária ou de assumir o risco de morar em zonas impróprias, porém próximo às ofertas de serviços, a presente pesquisa pretende entender se os problemas de vulnerabilidade de uma cidade produzem impactos na acessibilidade para toda a população que precisa se deslocar aos postos de emprego até a cidade de La Paz.

Figura 17 - Mapa de Distribuição da Renda - até 2 salários mínimos



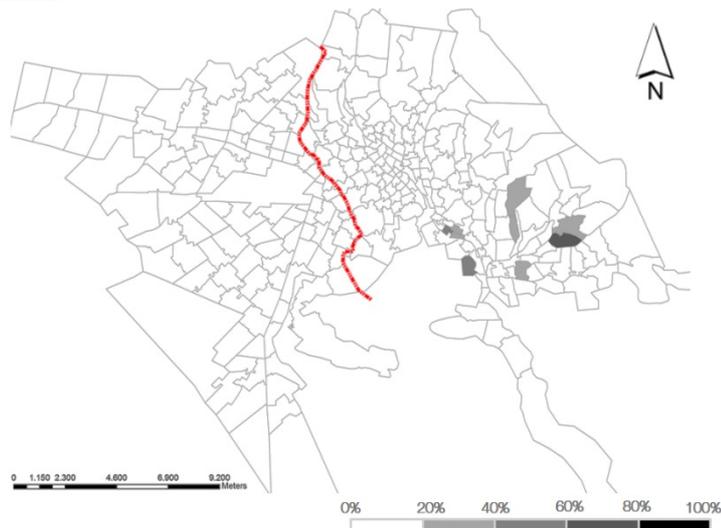
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz (2012)

Figura 18 - Mapa de Distribuição da Renda - renda média



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz (2012)

Figura 19 - Mapa de Distribuição da Renda - mais de 14 salários mínimos



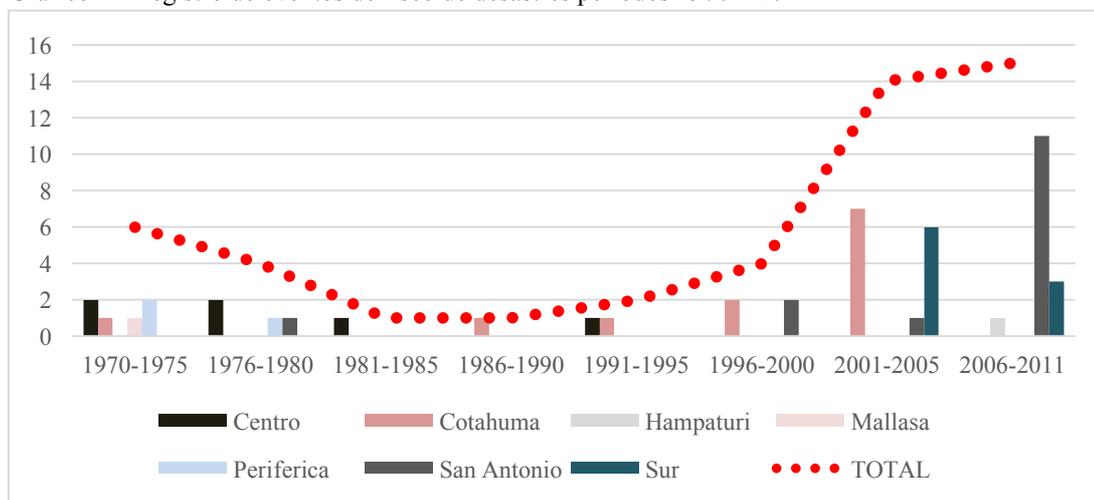
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz (2012)

### 3.1 Impactos da vulnerabilidade no contexto urbano

O Governo Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP) conta com registros históricos de eventos de desastres (movimentos de massa e alagamentos) agregados em número de eventos por macro distrito. Todavia, a informação, pelo menos nos primeiros anos, não considerava a superfície afetada, nem o grau de impacto do evento (ver Gráfico 1). Também são elaborados os mapas de risco e estes servem para definir as zonas não próprias para habitação. Isto, no entanto, não significou que essas zonas não apresentassem

assentamentos populacionais. Em virtude do processo de crescimento da cidade estas foram paulatinamente ocupadas.

Gráfico 1 - Registro de eventos de risco de desastres períodos 1970 – 2011



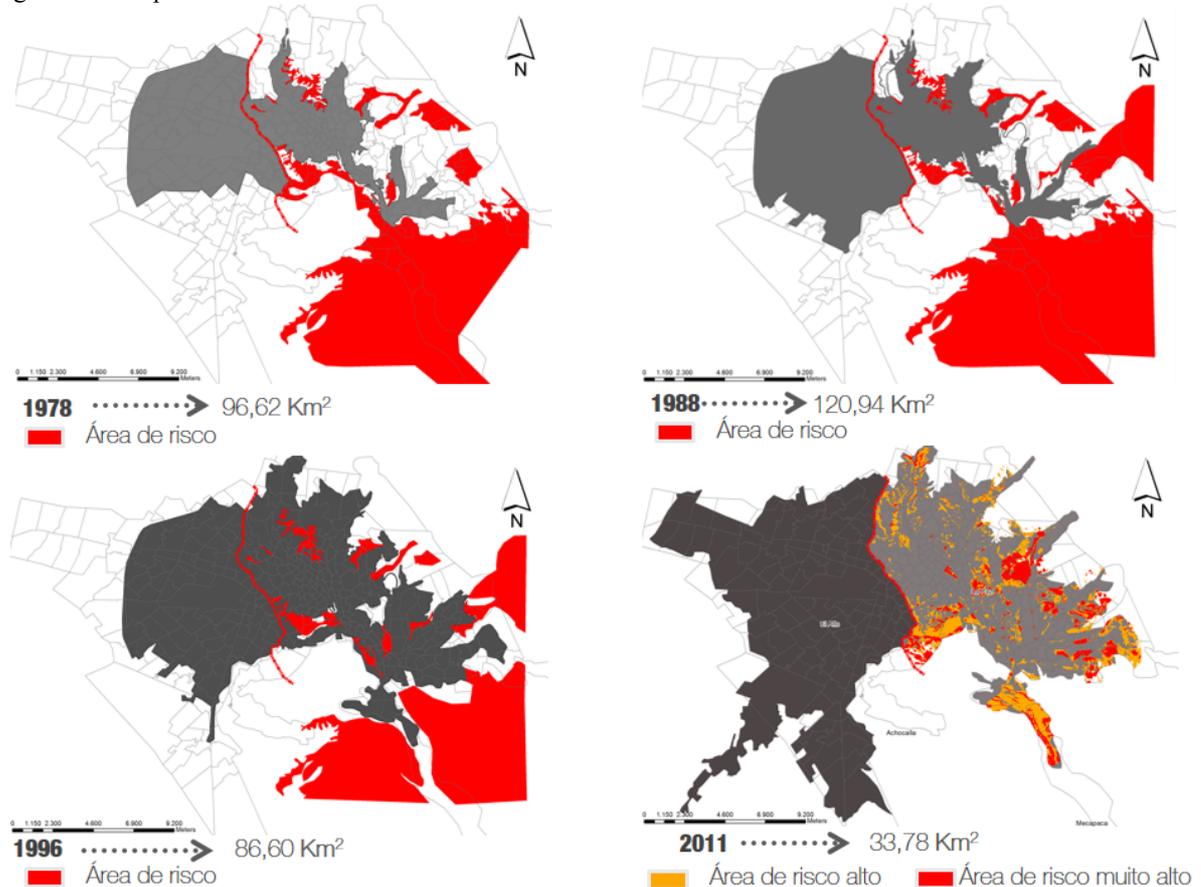
Fonte: Plan Integral, La Paz 2040 (GAMLP, 2014)

Os quatro mapas de identificação das zonas de risco (Figura 20) mostram que a superfície definida como área de risco foi diminuindo no decorrer dos anos. Isto se deve à expansão urbana que trouxe a ocupação de áreas classificadas como de risco, mudando a categoria de uso do solo para “áreas destinadas para residência”. Porém, isso não significou que o risco havia desaparecido.

Existem nos registros dois eventos de desastre natural que tiveram um efeito de grande magnitude. O primeiro foi a chuva de granizo do dia 19 de fevereiro de 2002, que durou uma hora e vinte e cinco minutos, com precipitação de 41 mm, dos quais 39,4 mm caíram em uma hora. Isto deixou como resultado 69 pessoas mortas, 130 feridas e 50 desaparecidas. As perdas estruturais (estradas, edifícios públicos e privados) foram avaliadas em 10 milhões de dólares americanos (HARDY, 2015). O impacto desse evento também provocou problemas em El Alto. Esta cidade conta com uma rede viária do tipo radial e o seu centro é o nó conector com a cidade de La Paz, cuja rede viária se estende ao longo do eixo conector principal. Este ponto foi interrompido na hora crítica do evento (entorno das 14:30 horas), quando era alta a densidade de tráfego no centro de La Paz, e muitos bairros ficaram isolados. Hardy (2015) indica que a vulnerabilidade infraestrutural da aglomeração transferiu a vulnerabilidade dos espaços diretamente afetados pela ameaça a outros que se encontravam indiretamente afetados, pois não faziam parte do centro da ocorrência do fenômeno. Portanto,

não é suficiente identificar os espaços onde poderia acontecer a crise, é necessário medir esses impactos.

Figura 20 - Mapas de risco de 1978 até 2011



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz (2011)

Outro evento significativo foi o acontecido nos dias 26 e 27 de fevereiro de 2011, com um movimento de massa das zonas sudeste de La Paz. Foram diretamente afetados aproximadamente 6000 habitantes e uma superfície de 140 hectares, com custos dos danos estimados em torno de 92,3 milhões de dólares americanos. Novamente, o evento impactou em outras partes da cidade, pois nesta zona estava projetada a estrada que iria conectar as novas áreas de expansão urbana de La Paz com o centro, projeto que se viu postergado. Este é o tipo de impacto que se pretende avaliar nos sistemas urbanos (uso de solo, transporte), procurando determinar como eles afetam as pessoas nos deslocamentos para realizar suas atividades. Portanto, como uma primeira hipótese de pesquisa, se propõe que a acessibilidade aos postos de emprego é afetada direta ou indiretamente pela vulnerabilidade infraestrutural.

### 3.2 Impactos da vulnerabilidade na mobilidade urbana

Nesta etapa da análise foram considerados os estudos de impacto viário dos anos 1977, 1997, 2004 e 2012, elaborados por empresas de consultoria para o GAMLPL. A intenção é mostrar como a demanda por deslocamentos cresceu na cidade de La Paz.

Em 1977, quando as duas cidades tinham uma população total de 656.663 habitantes, foi elaborado o Plano de Desenvolvimento Urbano. Para esta época, os fluxos diários de veículos particulares representavam a maior quantidade de viagens e tinham por destino o centro de La Paz. As origens principais eram a zona sul (Obrajes, Calacoto) com cerca de 9400 viagens diárias e, com menor fluxo, se apresentavam as viagens a partir de El Alto (1.100 viagens).

As viagens de transporte público mostravam que as zonas de Miraflores e Villa Fátima tinham uma quantidade de 74.000 passageiros/dia. A ladeira leste (Chijini, Bajo Apumalla) gerava 108.000 passageiros/dia e, com uma menor intensidade, a zona sul e El Alto (25.700 passageiros/dia). Aproximadamente 11% dos deslocamentos eram realizados no horário de pico da manhã (8:00 a 9:00 horas), com 33% das viagens por motivo trabalho. Os deslocamentos a pé representavam 36% do total de viagens no dia, sendo 26% delas por motivo trabalho. A Tabela 4 representa uma síntese das informações deste plano. Posteriormente, em 1997, foi elaborado o *Plano Maestro Urbano de Tráfico e Transporte (PUTT)*, para as cidades de La Paz e El Alto, caracterizando a situação apresentada na Tabela 5.

Neste novo levantamento, cerca de 40% das viagens tinham motivo trabalho, 33% estudos, 7% compras e 20% outros. Os deslocamentos a pé representavam 36% do total de viagens no dia, com 26% destas viagens por motivo trabalho. Com uma divisão modal de 57,3% de transporte público, 27,8% a pé, 9,7% para taxis e 9,7% de veículos particulares, a análise da demanda mostrava que os volumes mais altos de viagens se apresentavam entre o Centro de La Paz e a ladeira Leste (77.000 viagens/dia), Centro – El Alto (93.000 viagens/dia) e Ladeira Leste – El Alto (65.000 viagens dia). A maioria das viagens tinha como destino o centro da cidade, zonas de San Pedro e Sopocachi, Zona Norte, ladeira leste e a zona sul. Começavam, também, a aparecer viagens com outros destinos, como os deslocamentos de Villa Fátima (Ladeira leste - El Alto), e dentro da zona sul (Obrajes – Calacoto). As viagens El Alto – Zona Sul apresentavam um volume menor. Estes fluxos são representados na Figura 21.

Tabela 4 - Plano de Desenvolvimento Urbano (1977)

População	656.663
Quantidade total de veículos registrados	12.687
Taxa de motorização	0,02
Frota de transporte público	4.425
Número total de viagens por dia	1.100.000
Número de viagens por transporte público	166.100
Número de viagens por pessoa	1,69

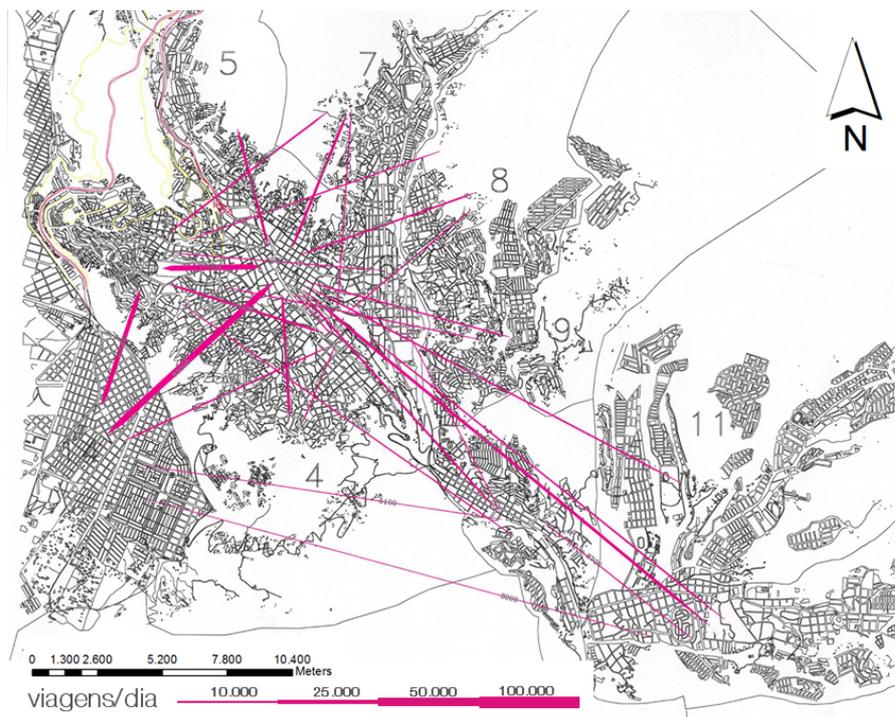
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Tabela 5 - Plano Maestro Urbano de Tráfego e Transporte (1997)

População	1.436.935
Taxa de motorização	0,082
Número total de viagens por dia	1.267.388
Número de viagens por transporte público	725.652
Número de viagens por pessoa	1,77
Taxa de ocupação por veículo	1,92

Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Figura 21 - Demanda de viagens por dia (1997)



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

A informação do relatório aparenta apresentar um erro no cálculo, já que a população para esse ano estava perto de 1,5 milhões de pessoas e, dentre os resultados relatados, indica-se que cada pessoa realizava uma média de 1,77 viagens/dia, o que

significaria que teriam que ser 2.543.375 viagens. Com os resultados apresentados, as viagens por pessoa não chegavam a mais que 0,88.

No ano de 2004 se elaborou o Plano de Modernização do Transporte Público para a área Metropolitana de La Paz, que tinha por objetivo ajustar os dados do Plano Maestro de Tráfego e Transporte. Para este plano não foram feitas pesquisas domiciliares. Foram feitas, no entanto, contagens veiculares para corrigir os erros em relação a quantidade de viagens, que no ano 1997 foram subestimadas (ver Tabela 6).

Tabela 6 - Plano de Modernização do Transporte Público para a área Metropolitana de La Paz (2004)

População	1.453.000
Quantidade total de veículos registrados	129.496
Taxa de motorização	0,09
Frota de transporte público	14.951
Número total de viagens por dia	1.549.128
Número de viagens por transporte público	1.332.250
Número de viagens por pessoa	1,07

Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Como último estudo realizado, que será a base para a presente pesquisa, o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável, elaborado no ano de 2012, realizou uma pesquisa domiciliar, e contagens de veículos e pedestres. A Tabela 7 resume a quantidade e a divisão modal das viagens levantadas na pesquisa.

Tabela 7 - Resumo de viagens diários La Paz e El Alto (2012)

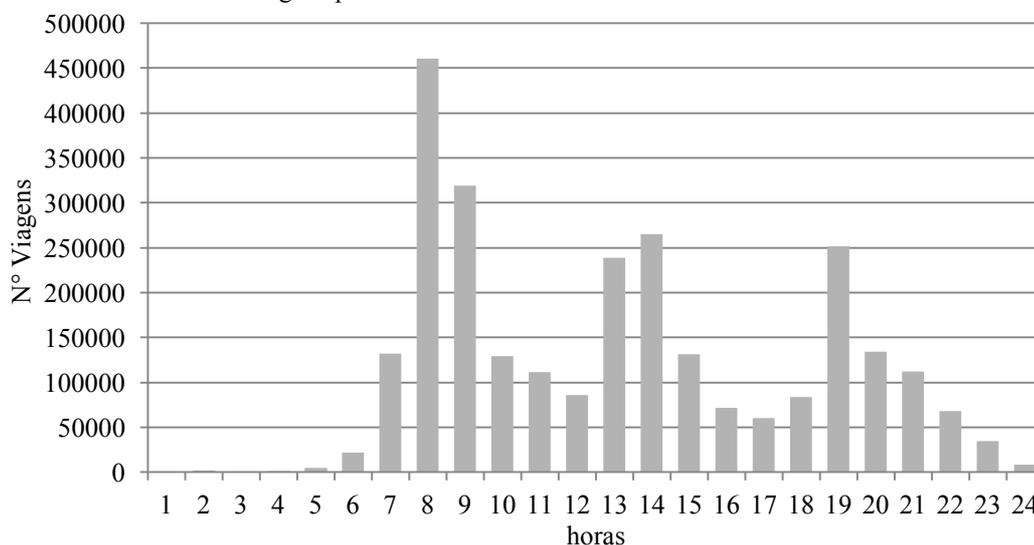
Modo de Transporte	Quantidade de viagens (passageiros/dia)	Porcentagem (%)
Transporte Individual	129.137	4,7%
Transporte Público	1.931.969	71,0%
A pé	656.249	24,1%
Bicicleta	5.639	0,2%
Total	2.722.994	100,0%

Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

A distribuição das viagens mostra um horário de pico de manhã de 7:00 até as 9:00 horas que concentra 33,5% das viagens do dia. Em seguida estão o período das 13:00 até as 14:00 horas, com 18,5%, e o das 19:00 às 20:00 horas, com 9,2% das viagens (Gráfico 2). As viagens de transporte público têm origens em várias zonas da cidade de La Paz e El Alto, e

a maioria tem destino nos centros de La Paz e El Alto. No caso das viagens de transporte individual, a maioria tem origem na zona sul de La Paz com destino ao centro de La Paz.

Gráfico 2 - Número de viagens por hora



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Com relação à média de viagens nas duas cidades, esta é de 1,81 viagens por pessoa (Tabela 8) e pode-se perceber que o macro distrito centro da cidade de La Paz é a zona que produz mais viagens por pessoa. Por outro lado, as zonas de San Antonio e a cidade de El Alto são as de menores médias de viagens. Uma explicação para este fato poderia ser um fator composto por renda e distância, pois outras duas zonas apresentam distância similar até o centro, a zona Sur e Mallasa, porém estas duas zonas apresentam uma proporção de viagens, por modo particular, maior do que as demais.

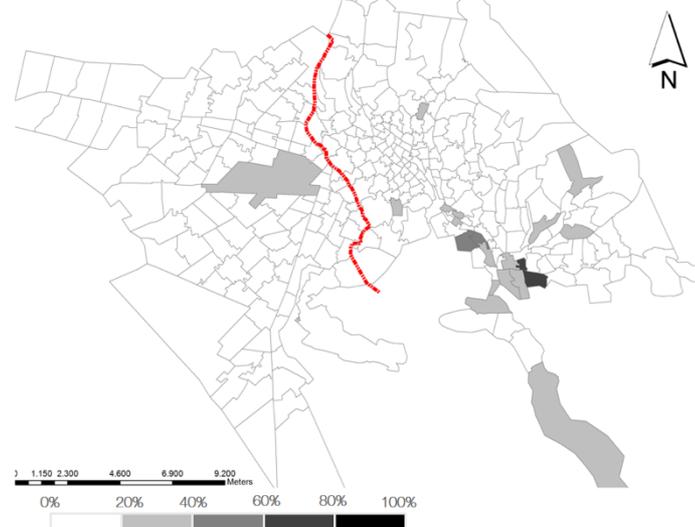
Tabela 8 - Média de viagens La Paz e El Alto

Macro distrito	Viagens/pessoa
1. Cotahuma	1,86
2. Max Paredes	1,83
3. Periférica	1,84
4. San Antonio	1,75
5. Sur	1,89
6. Mallasa	1,82
7. Centro	2,04
Total La Paz	1,86
El Alto	1,76

Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

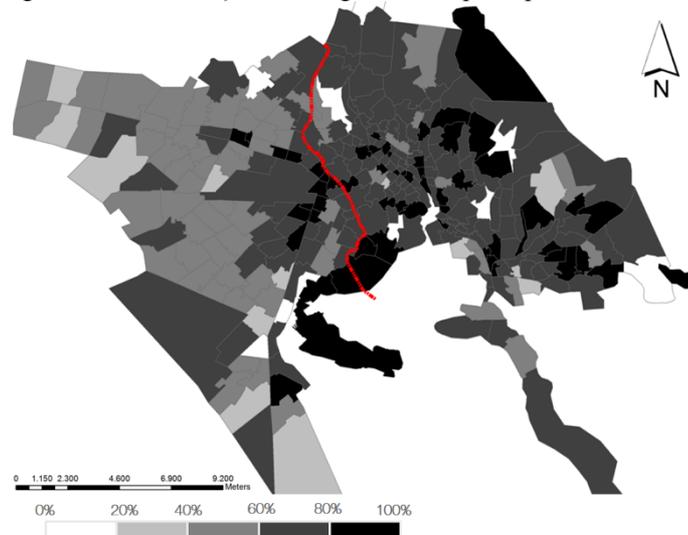
Verifica-se que as viagens de transporte público são significativamente maiores que os outros modos, em todas as zonas. Como se pode observar na Figura 22, a proporção de viagens de transporte particular não é significativa em comparação à proporção das viagens de transporte público (Figura 23). Neste mapa se percebe que na cidade de La Paz as viagens de transporte público representam uma proporção na faixa de 60 até 80%, existindo zonas que as viagens se encontram na faixa de 80 até 100%. No caso da cidade de El Alto, as zonas mais próximas ao centro da cidade e aos corredores das autoestradas tem uma proporção de 80 até 100%, enquanto, em comparação com a cidade de La Paz, existe uma proporção menor que faz uso de transporte público nas zonas mais afastadas. Porém, destaca-se que as viagens a pé constituem cerca de 24% do total das viagens diárias. A Figura 24 mostra que a maioria das viagens a pé ou de bicicleta são realizadas na cidade de El Alto e, com uma intensidade média, nas ladeiras oeste e leste.

Figura 22 - Distribuição das viagens - transporte particular



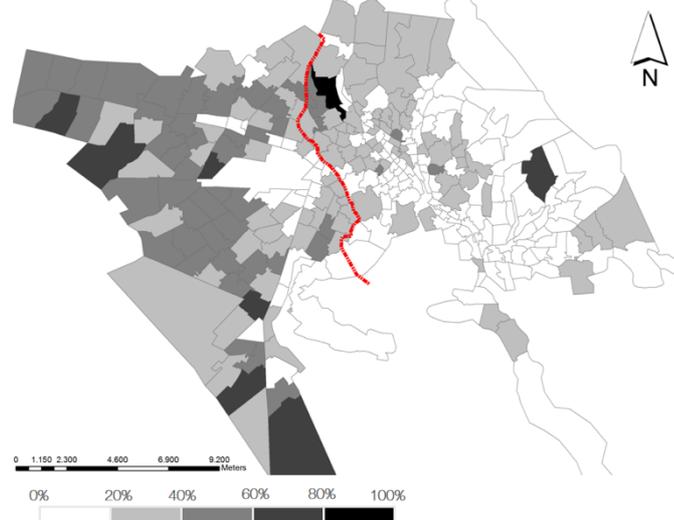
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Figura 23 - Distribuição das viagens - transporte público



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

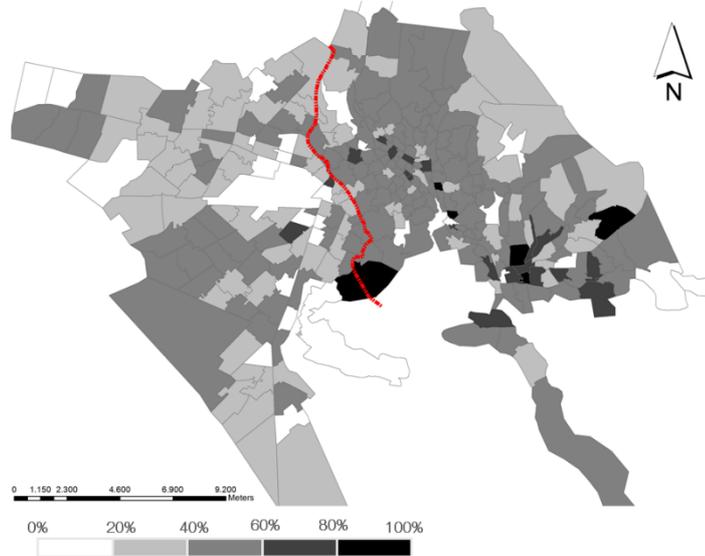
Figura 24 - Distribuição das viagens - transporte não motorizado



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

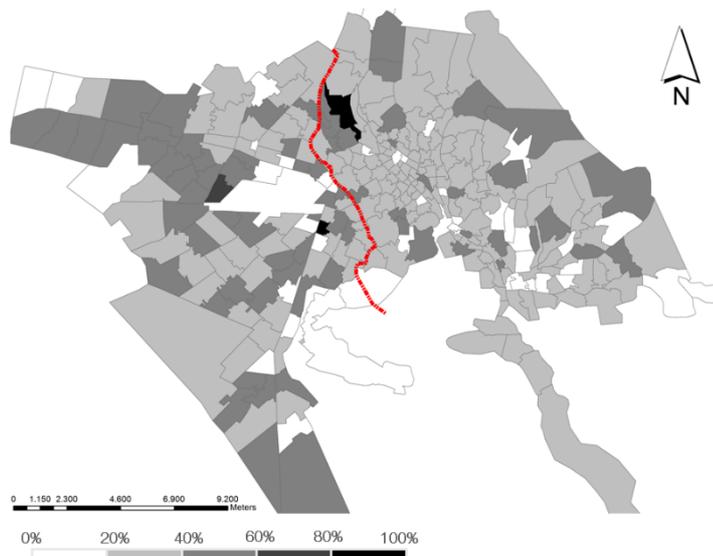
Com relação aos motivos das viagens para o ano de 2012, a Figura 25 apresenta as viagens motivo trabalho, que representam em torno de 42% do total das viagens. As viagens por motivo estudo apresentam uma média de 33% (Figura 26) e 12% é o percentual das viagens para compras (Figura 27). Outros motivos (saúde, lazer, e outro tipo de viagens) respondem pelos 13% restantes (Figura 28).

Figura 25 - Distribuição das viagens (2012) - motivo trabalho



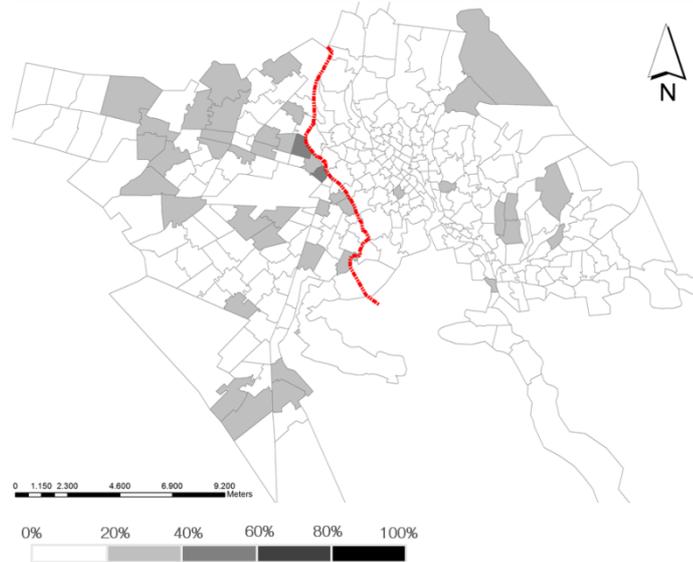
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Figura 26 - Distribuição das viagens (2012) - motivo estudo



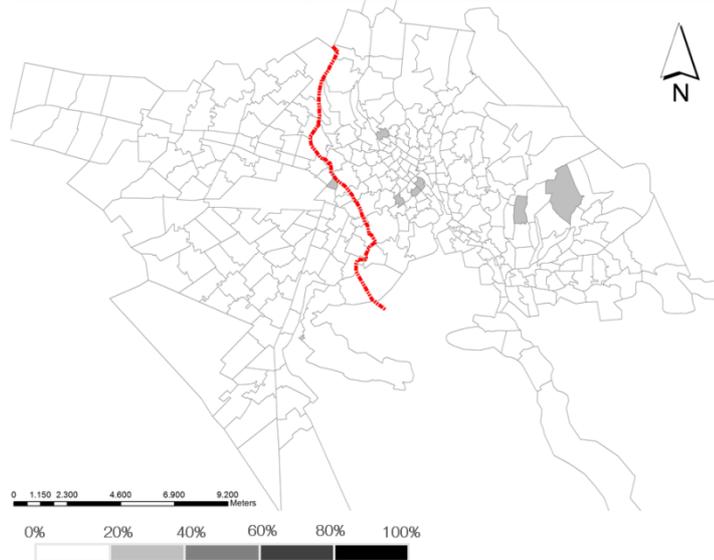
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Figura 27 - Distribuição das viagens (2012) - motivo compras



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

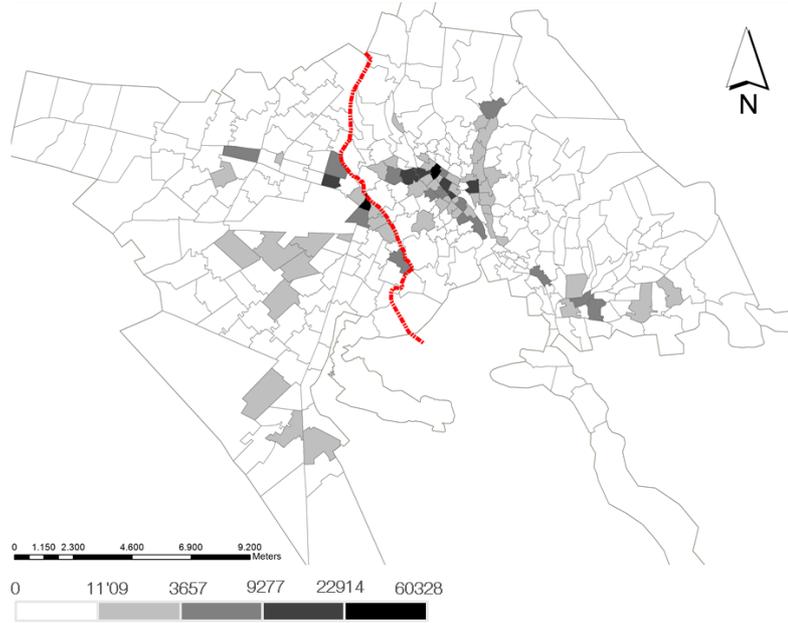
Figura 28 - Distribuição das viagens (2012) - outros motivos



Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

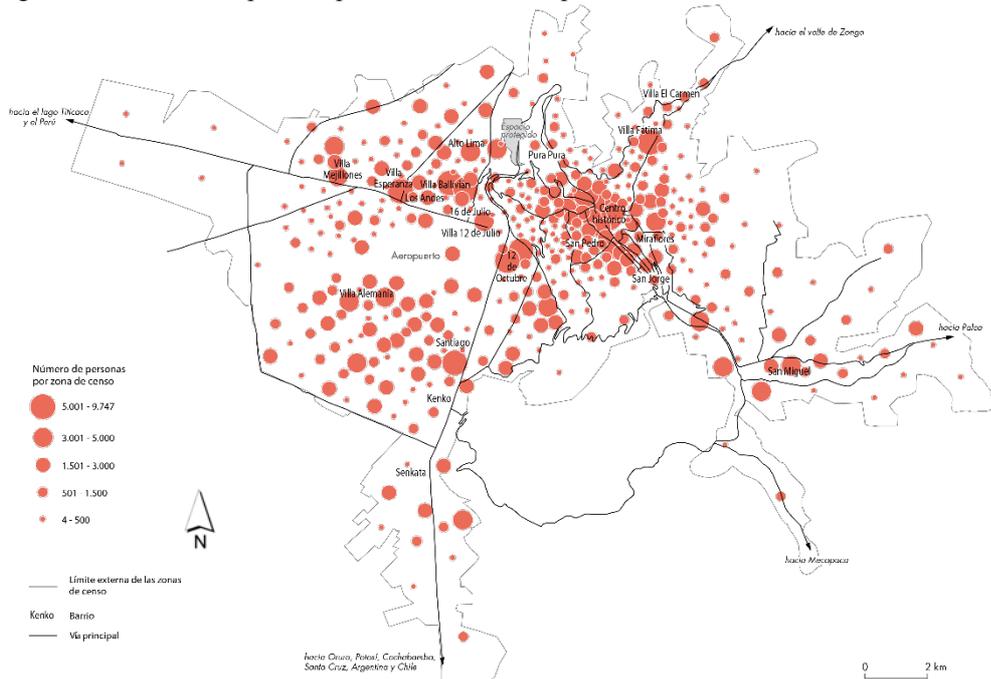
Para procurar entender os deslocamentos da população foi preparado o mapa da Figura 29 que apresenta a distribuição das ofertas de emprego. Verifica-se a concentração desta oferta nas zonas centro da cidade de La Paz e El Alto. As viagens “domicílio-trabalho” são as que (HARDY, 2015) define como as sujeitas a vulnerabilidade espaço temporal. A Figura 30 representa a localização das pessoas no período diurno e a Figura 31, o da noite.

Figura 29 - Concentração das Ofertas de Emprego



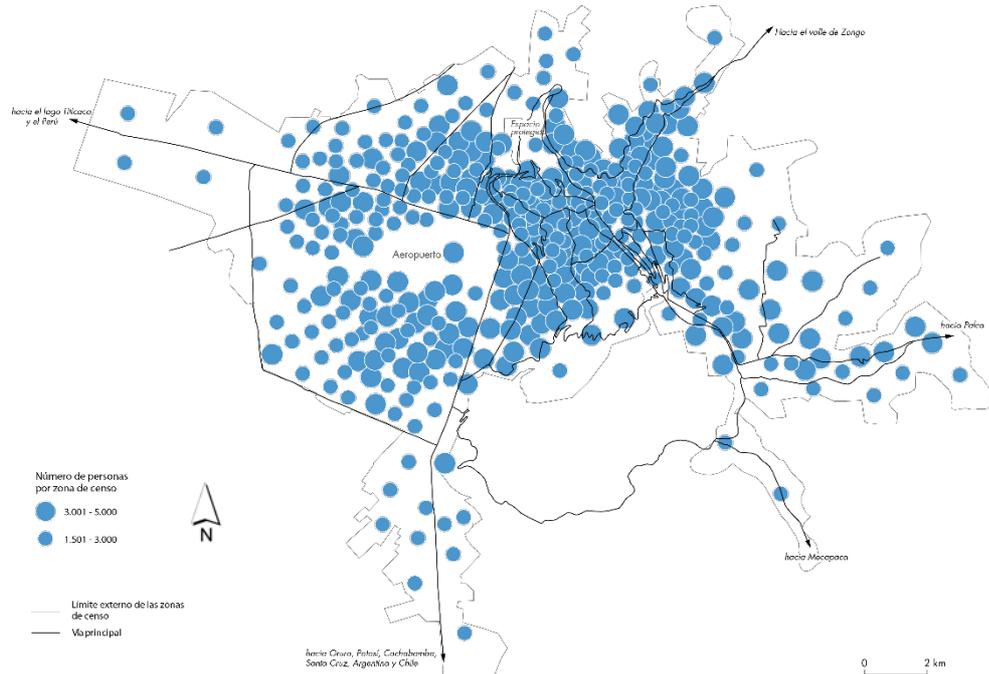
Fonte: Governo Autónomo Municipal de La Paz

Figura 30 - Número de pessoas por zona censitária - período diurno



Fonte: Elaborado por Hardy (2015)

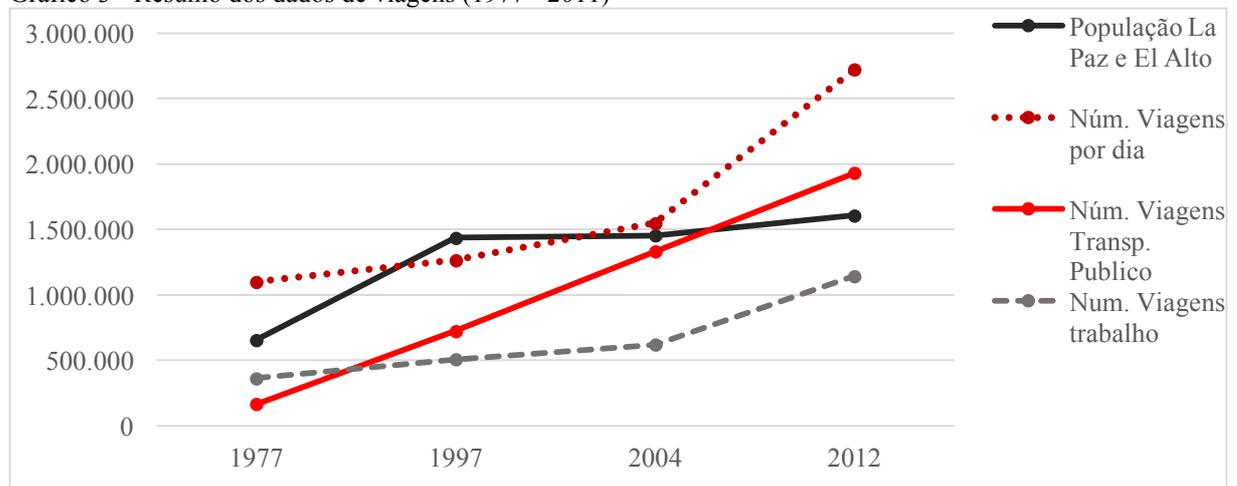
Figura 31 - Número de pessoas por zona censitária - período noturno



Fonte: Elaborado por Hardy (2015)

Observa-se que desde 1977 (ver Gráfico 3), ano em que se conta com dados da oferta e da demanda por viagens, a população teve um crescimento menos intenso, mas a quantidade de viagens e, especialmente, as viagens por transporte público, tiveram um crescimento acentuado. Neste último aspecto, no ano de 1997 a primeira escolha modal era transporte privado, o que caracteriza uma situação bastante diversa daquela de 2012. Na divisão dos motivos de viagem, no caso do motivo emprego houve um crescimento menos significativo. Da mesma forma, pode-se observar que a população, desde 1997, teve um crescimento significativamente menor do que período anterior.

Gráfico 3 - Resumo dos dados de viagens (1977 - 2011)



Fonte: Elaborado pela autora com dados do GAMLP.

A partir desta contextualização, pode-se observar que os deslocamentos da população dependem do funcionamento da rede de transportes na cidade de La Paz, como uma significativa proporção das viagens diárias por motivo trabalho. Assim, faz-se necessário verificar as condições de acessibilidade da população aos postos de emprego, concentrados nas áreas centrais de La Paz e El Alto. Além disso, 71% das viagens utilizam o transporte público, e este tipo de deslocamento fica mais dependente de uma rede de transporte que, na ocorrência de algum incidente, pode ser mais afetada. A ruptura de parte desta rede tende a prejudicar mais os usuários cativos deste modo.

### **3.3 Representação da problemática da vulnerabilidade na acessibilidade dos deslocamentos aos empregos.**

A partir das informações da etapa anterior, estabelece-se uma limitação para esta pesquisa, que irá considerar aquela população que trabalha e que é usuária do transporte público, para a análise de como a acessibilidade pode ser comprometida pela vulnerabilidade da rede do sistema de transporte público. O fato da pessoa não conseguir fazer a viagem limita a sua acessibilidade. Esta é entendida como a oportunidade dos indivíduos para realizar ou desenvolver suas atividades nos destinos das viagens através da combinação dos distintos modos de transporte ofertados (HANSEN, 1959; GEURS; VAN WEE, 2004). A conectividade (medida adotada nos indicadores de acessibilidade) é considerada um elemento unificador para entender e interpretar os conceitos de resiliência e vulnerabilidade (REGGIANI; NIJKAMP; LANZI, 2015). O fato de não conseguir atingir um local de atividade produz impactos econômicos nos habitantes e no espaço urbano, e se acredita ser possível construir as relações de causalidade entre a vulnerabilidade dos deslocamentos e a acessibilidade dos usuários de transporte público das viagens motivo trabalho. A Figura 32, resume o escopo da presente pesquisa que considerará, por um lado, apenas as viagens realizadas com destino trabalho (limitação espacial) e, por outro, a limitação econômica dos usuários cativos de transporte público. Assim, a vulnerabilidade a ser analisada na presente pesquisa é aquela que impacta diretamente na rede de transporte público, e esse impacto produz problemas de acessibilidade para as pessoas que desejam realizar seus deslocamentos diários, “casa-trabalho”.

Figura 32 - Delimitação da pesquisa



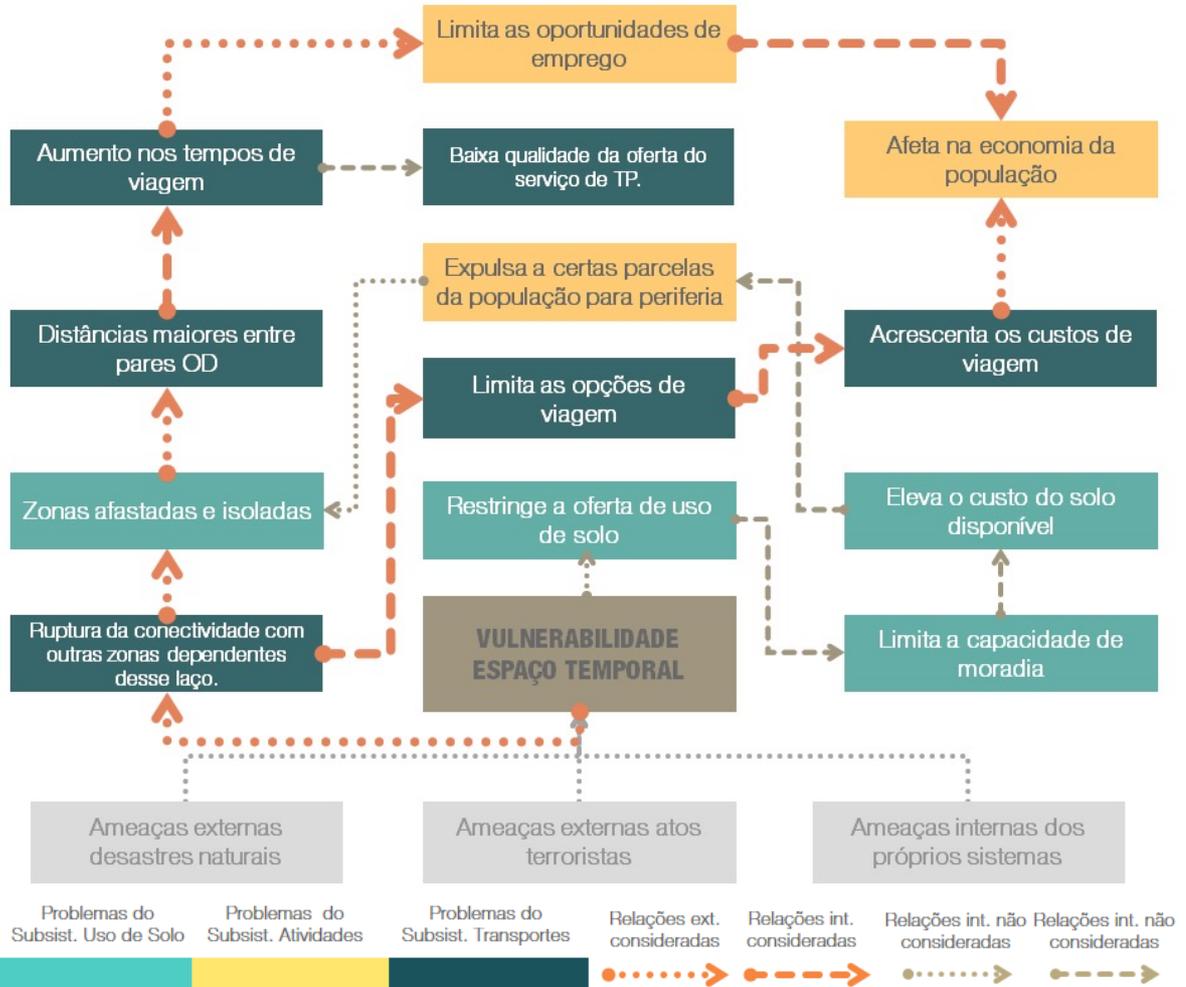
Fonte: Elaborado pela autora, com base em (ANDRADE, 2016)

É necessário entender as relações de causalidade. A vulnerabilidade, como um elemento externo que afeta a rede de transportes, limita a conectividade e a mesma limita a acessibilidade das pessoas a suas atividades. Estes problemas são vistos com distintas perspectivas, a partir de cada disciplina envolvida no planejamento urbano. O modelo ALUTI (LOPES, 2015) contribui no entendimento deste fenómeno na representação da problemática, através do levantamento de hipóteses de causalidades, caracterização e diagnóstico dos problemas a serem representados. Na Figura 33, na parte inferior se apresentam as ameaças externas que produzem a vulnerabilidade, que não são parte do escopo da presente pesquisa, pois a problemática começa assumindo que existe um problema de vulnerabilidade e este muda em relação à localização da pessoa ao longo do dia. Os tipos de relações causais foram classificados para os três subsistemas (uso de solo, transportes e atividades). As relações causais na cor laranja são aquelas que serão parte das hipóteses. Não obstante, dentre as relações causais foram diferenciadas aquelas que são internas a cada subsistema (medidas de desempenho) daquelas que são as externas, ou seja, as que impactam nos outros subsistemas (medidas de impacto).

O modelo compreende as seguintes inter-relações: (1) A necessidade da população de poder trabalhar e atingir um emprego (2) a disponibilidade da localização espacial do posto de emprego (3) a necessidade da população de se locomover e a disponibilidade de uma oferta de transporte. A problemática da vulnerabilidade espaço-temporal se materializa a partir do subsistema do uso de solo, e este impacta nos outros dois subsistemas das seguintes formas: (1) restringe a oferta de uso do solo elevando o seu valor, quando confrontado à demanda da população. Isto impacta nas parcelas da população mais pobres que, na medida das suas possibilidades econômicas, procuram solo disponível em zonas afastadas ou de risco, a maior parte com acessibilidade ruim. (2) impacta no subsistema

de transportes através da vulnerabilidade da conectividade da rede, aumentando os tempos de viagem e diminuindo as possibilidades de viagem, o que restringe as oportunidades de emprego da população.

Figura 33 - Árvore de problemas e relações de causalidade



Fonte: Elaborado pela autora

Após esta contextualização da problemática, se levantam as seguintes hipóteses a serem verificadas nos próximos capítulos: (1) A distribuição espacial das residências, ligada à disponibilidade de solo, afasta os indivíduos das ofertas de emprego, diminuindo suas oportunidades; (2) A população mais dependente do sistema de transporte público é aquela que mora mais distante das ofertas de emprego; (3) As baixas alternativas de conectividade da rede de transportes impactam nos baixos níveis de acessibilidade das pessoas aos postos de emprego, diminuindo as oportunidades (ver Figura 34).

Figura 34 - Representação da vulnerabilidade espaço – temporal e os impactos nos outros subsistemas



Fonte: Elaborado pela autora

## 4 MÉTODO

A estrutura do processo de planejamento, para a compreensão da problemática, no planejamento urbano integrado, proposto por (SOARES, 2014), apresenta um método que se divide em duas fases, a compreensão e a proposição. A fase da compreensão ajuda a obter um diagnóstico das causas e efeitos de um problema analisado nos sistemas urbanos (Figura 35).

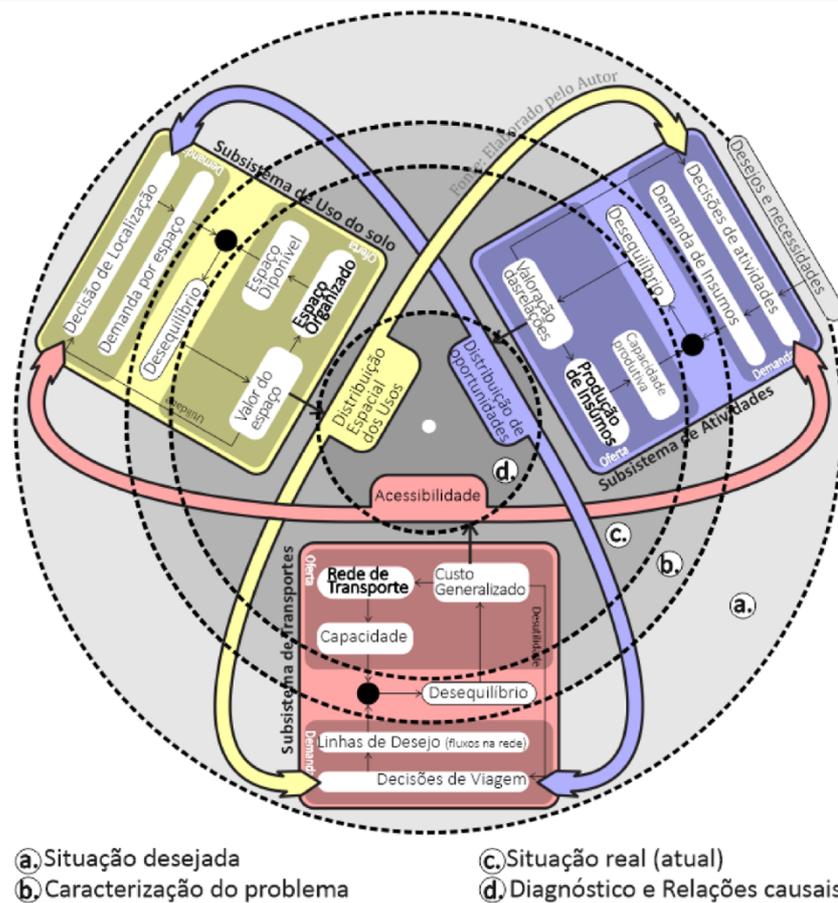
Figura 35 - Fluxograma da compreensão da problemática



Fonte: Adaptado de (SOARES, 2014)

O método adaptado para a compreensão da problemática aborda as etapas de identificação, caracterização e diagnóstico. Lopes (2015) indica que são necessárias as sub-etapas da compreensão da problemática da modelagem integrada dos subsistemas de transporte, uso de solo e atividades (Figura 36). O presente capítulo adota como base estas duas propostas metodológicas. Assume-se que as três etapas de identificação, caracterização e diagnóstico da primeira, constituem uma estrutura adequada à estimativa da vulnerabilidade.

Figura 36 - Esquema resultante da interpretação das três abordagens da representação da problemática do planejamento urbano integrado, com foco na acessibilidade



Fonte: (LOPES, 2015)

#### 4.1 Identificação

A contextualização da percepção dos problemas para o planejamento integrado da mobilidade e acessibilidade não pode ser feita apenas pela observação dos sistemas ou de dados relativos a eles. Estes devem ser entendidos como uma desigualdade (uma distância) entre um estado atual e uma expectativa acerca de um objeto. Para isso faz-se necessário contar com uma percepção dos problemas através da vivência dos atores, sistemas e disciplinas envolvidas para, posteriormente, facilitar a construção de indicadores e medidas de desempenho que colaborarão com a explicação da realidade dos sistemas.

A primeira sub etapa, *Introdução à problemática*, apresenta um panorama geral da problemática a ser analisada, descrevendo, em termos gerais, o fenômeno da vulnerabilidade no contexto do sistema urbano. Destaca-se nesta etapa, já antecipada no Capítulo 1, de qual ponto de vista a vulnerabilidade é vista como fator de impacto nos

sistemas de transportes, uso de solo e atividades. Aqui, tem-se como produto as questões de pesquisa e os objetivos.

A segunda sub etapa *Definição dos Conceitos*, desenvolvidos no Capítulo 2, teve por objetivo recapitular os conceitos que a literatura científica já tem definidos, aproximando as outras disciplinas que possam contribuir no entendimento da problemática da vulnerabilidade. Procurou-se também estudar os modelos urbanos, para explicar o fenômeno da expansão urbana e suas consequências.

Como parte final da identificação da problemática, no Capítulo 3, se desenvolvem as três últimas sub etapas. Na *Apresentação do problema para as duas cidades*, descreveu-se os problemas do processo de crescimento das duas cidades, como estes derivaram em problemas de vulnerabilidade e como afetam espacial e temporalmente as atividades que são desenvolvidas na cidade de La Paz e mesmo na cidade de El Alto, que não tem as mesmas ameaças de La Paz.

Ainda no Capítulo 3 se representam os problemas e suas relações causais. A árvore de problemas ajuda a ilustrar quais são os problemas para cada um dos subsistemas e como eles podem derivar em outros dentro do mesmo subsistema (posteriormente serão as medidas de impacto) ou entre os outros dois subsistemas (como medidas de desempenho).

Por fim, como resultado desta etapa, se formulam as hipóteses que serão verificadas nas próximas etapas da caracterização e diagnóstico da problemática. As hipóteses formuladas foram consideradas dentro do conceito do planejamento integrado dos subsistemas de atividades, uso de solo e transportes. Porém não serão formuladas hipóteses relacionadas ao subsistema de atividades, porque a temática que abrange este subsistema precisaria de um ponto de vista socioeconômico. Ainda que exista um conhecimento, este não está no nível de profundidade requerido.

## **4.2 Caracterização**

Poder traduzir os problemas para representar o fenômeno é uma etapa fundamental que permitirá avaliar o estado atual. Posteriormente, a etapa do diagnóstico permitirá um monitoramento contínuo do processo de planejamento. Auxiliará na definição dos parâmetros para a percepção do fenômeno e medir a intensidade e magnitude do problema, proporcionando um panorama compreensível e comparável (SOARES, 2014; ANDRADE, 2016).

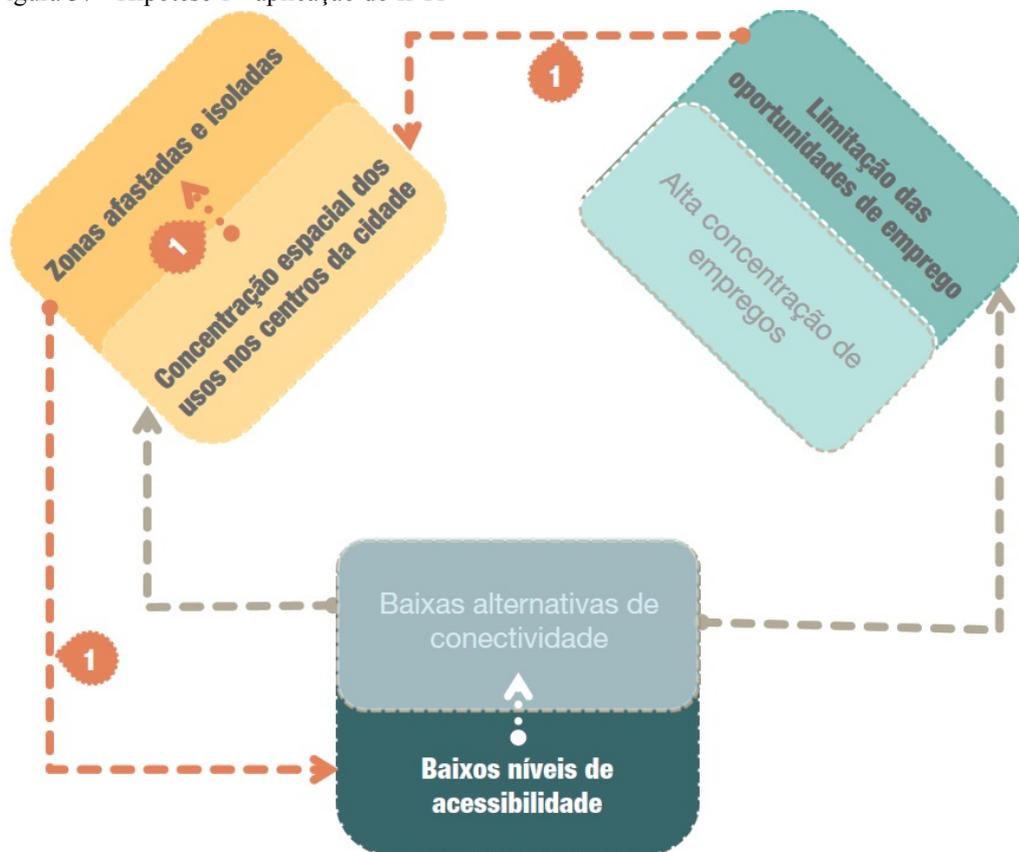
A *proposição dos indicadores* permitirá validar as hipóteses. Para atingir esse objetivo é preciso achar indicadores quantitativos que se relacionam com a oferta de

empregos e as distâncias de deslocamentos, assim como os tempos de viagens e a necessidade de transporte para realizar os deslocamentos.

Fransen et al. (2015) propõem uma metodologia para identificar os “*gaps*” (lacunas) do transporte público, considerando a variabilidade nos níveis de acessibilidade da população. As medidas propostas servem como indicadores *proxy* para a vulnerabilidade de uma área com relação ao seu sistema de transportes. Para a presente pesquisa se adotaram as medidas de acessibilidade propostas por estes autores. O índice proposto é uma composição de três sub-índices: O Índice das necessidades de transporte público (ITPN), o Índice da provisão do transporte público (IPTP) e, por fim, o Índice de brechas de transporte Público (ITPG).

Para poder avaliar a primeira hipótese (Figura 37), será aplicado o IPTP. Para isso se requer um indicador que represente a relação dos tempos de viagem entre os pares OD das viagens motivo trabalho, e a oferta de emprego oferecida a intervalos de 10 minutos até chegar às 2 horas de viagem.

Figura 37 - Hipótese 1 - aplicação do IPTP

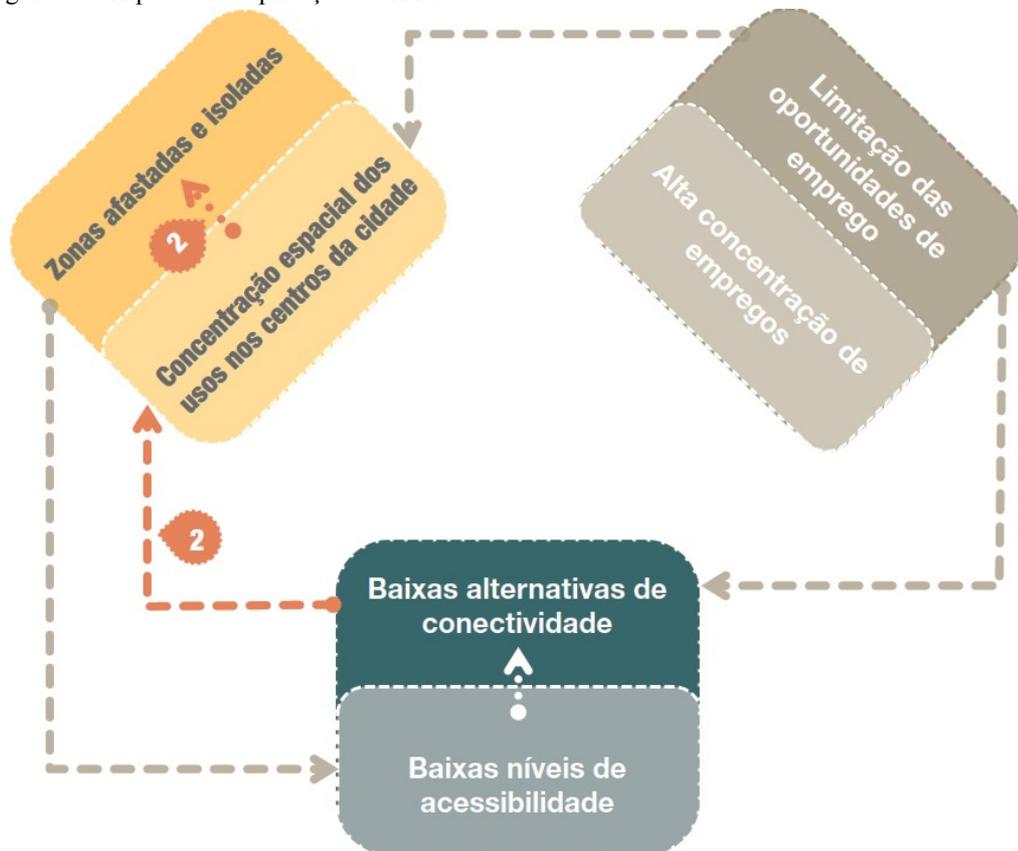


Fonte: Elaborado pela autora

Um outro índice que vai ser aplicado é o ITPN (ver Figura 38), o qual é determinado através da distribuição espacial das necessidades por transporte público e pode

considerar dados sócio demográficos. Neste caso, foi aplicada uma variável *proxy*, que está relacionada com as distâncias entre os pares OD das viagens motivo trabalho multiplicadas pelas quantidades de viagens realizadas para o mesmo par OD.

Figura 38 - Hipótese 2 - aplicação do ITPN

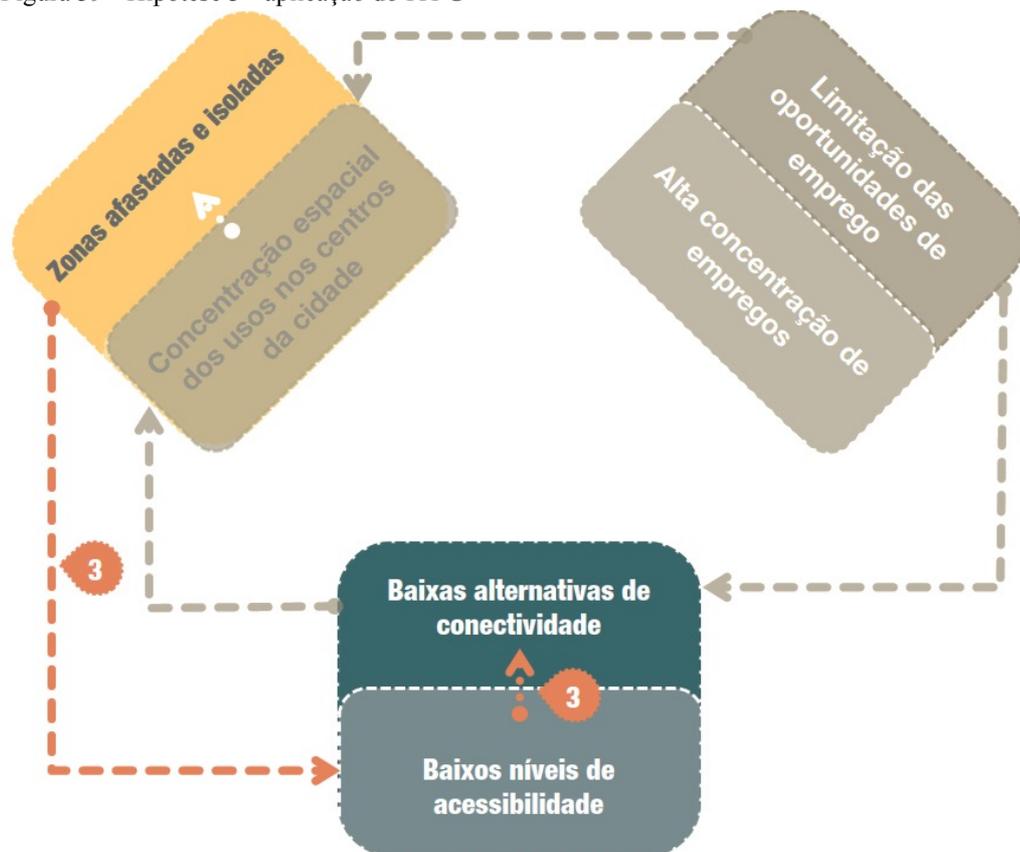


Fonte: Elaborado pela autora

A última hipótese (Figura 39) precisa de um indicador que avalie as outras duas hipóteses impactando no sistema de transportes, ou seja, o Índice de Gaps de Transporte Público (ITPG) será calculado como resultante dos outros dois índices e, assim, permitirá a comparação entre distintas zonas de tráfego. Os valores mais altos indicarão as zonas que precisam de maior atenção. Este parâmetro servirá, na etapa do diagnóstico, para avaliar o problema de vulnerabilidade.

Paralelamente à escolha dos indicadores, é necessária a *definição de variáveis*, que permitirão aplicar os indicadores e avaliar o fenômeno. Por outro lado, precisa-se considerar a escala da variável, pois os limites de variação dos valores dos indicadores podem mudar significativamente nos diferentes cenários. Como o conjunto de variáveis a escolher contém distintos dados, com distintas unidades de valor, estas serão normalizadas e levadas à mesma unidade de medida, para que possam ser comparáveis (BUZAI, 2003).

Figura 39 - Hipótese 3 - aplicação do ITPG



Fonte: Elaborado pela autora.

O passo seguinte foi encontrar uma ferramenta que pudesse representar os resultados obtidos através dos indicadores e assim caracterizar a situação atual. Para a construção dos indicadores, foi necessário contar com uma base de dados georreferenciada das zonas de tráfego e da rede de transporte público. Os indicadores escolhidos foram calculados através de ferramentas de análise espacial, de tal modo que, ao se caracterizar as relações causais de cada fenômeno, estas pudessem, na próxima etapa do diagnóstico, comparar o mesmo indicador para distintos cenários. O mapa de intervalos iguais foi utilizado, pois permite a representação dos indicadores classificados por uma mesma escala. O agrupamento por classes pode apresentar um diferente número de dados. Porém, como os resultados foram normalizados, esses valores podem ser mais perceptíveis em distintos cenários. Garcia (2016) indica que a desvantagem de aplicar este método, para representar as relações causais do fenômeno, é que se tende a enviesar os resultados pela possibilidade de que muitos deles estejam classificados em uma só classe.

Para poder conferir os resultados e destacar padrões, que poderiam ter ficado ocultos na etapa anterior, foram utilizados os *Box Maps*. Estes classificam os dados em quartis, destacando os *outliers* do primeiro e do quarto quartil separadamente.

Na etapa seguinte calcula-se os Índices Globais de Moran, que permitem verificar o grau de dependência espacial ou autocorrelação de um conjunto de dados através de um único valor que varia de -1 a +1. A sua representação gráfica, o diagrama de dispersão de Moran, representa os valores padronizados ( $z$ ) do indicador a ser analisado para cada unidade de área e o valor médio ponderado do seu vizinho ( $Wz$ ) ou o valor desfasado, com a inclinação da linha da regressão representando a estatística  $I$  de Moran e os quatro quadrantes dos diferentes grupos de associação espacial (ANSELIN, 1995). A seguir é analisada a estatística local, que decompõe estatísticas globais em contribuições individuais. O *LISA Cluster Map* é a representação espacial apresentando, no gráfico da dispersão de Moran, apenas as áreas estatisticamente significativas. A forma bivariada por ser usada para analisar a correlação entre diferentes indicadores. O diagrama de dispersão bivariado de Moran permite avaliar, global e localmente, a dependência espacial entre diferentes indicadores, que é o caso, por exemplo, da conectividade e acessibilidade.

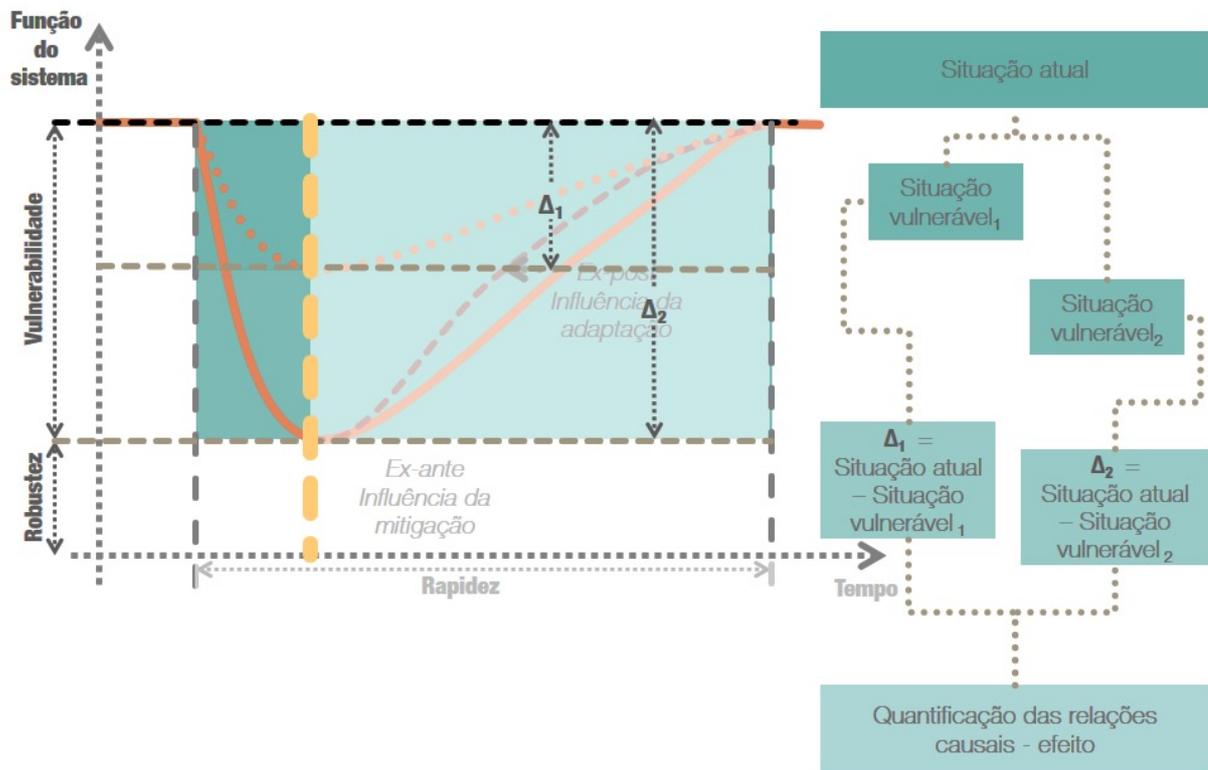
### 4.3 Diagnóstico

Para a compreensão da problemática, precisa-se validar a existência dos problemas e quantificar sua magnitude. O foco desta etapa consiste na relevância das relações causais entre os problemas. Soares (2014), assim como Magalhães e Yamashita (2009), indica que o problema é a existência de uma desigualdade (distância) entre um estado atual e uma expectativa ou referencial acerca de um objeto. A proposta metodológica da compreensão da problemática, adota este conceito para poder definir a situação ideal e, dessa maneira, poder mensurar essa desigualdade com a situação atual (SOARES, 2014).

Na presente pesquisa é necessário medir essa “distância”, não para a situação ideal a atingir, mas para os cenários de possíveis situações nas quais o funcionamento do sistema esteja comprometido. Nesta proposta, a situação ideal é a atual, caracterizada na etapa anterior, mesmo entendendo-se que esse estado pode estar muito distante do que seria uma situação desejada. A situação vulnerável cumpriria o papel do estado atual do sistema.

A proposta desta etapa parte do modelo das dimensões da resiliência definido por McDaniels et al. (2008), quando tenta medir no eixo “ $y$ ” a vulnerabilidade do sistema, ou seja não se considerará o tempo de recuperação do sistema para ele voltar a seu estado anterior (ver Figura 40).

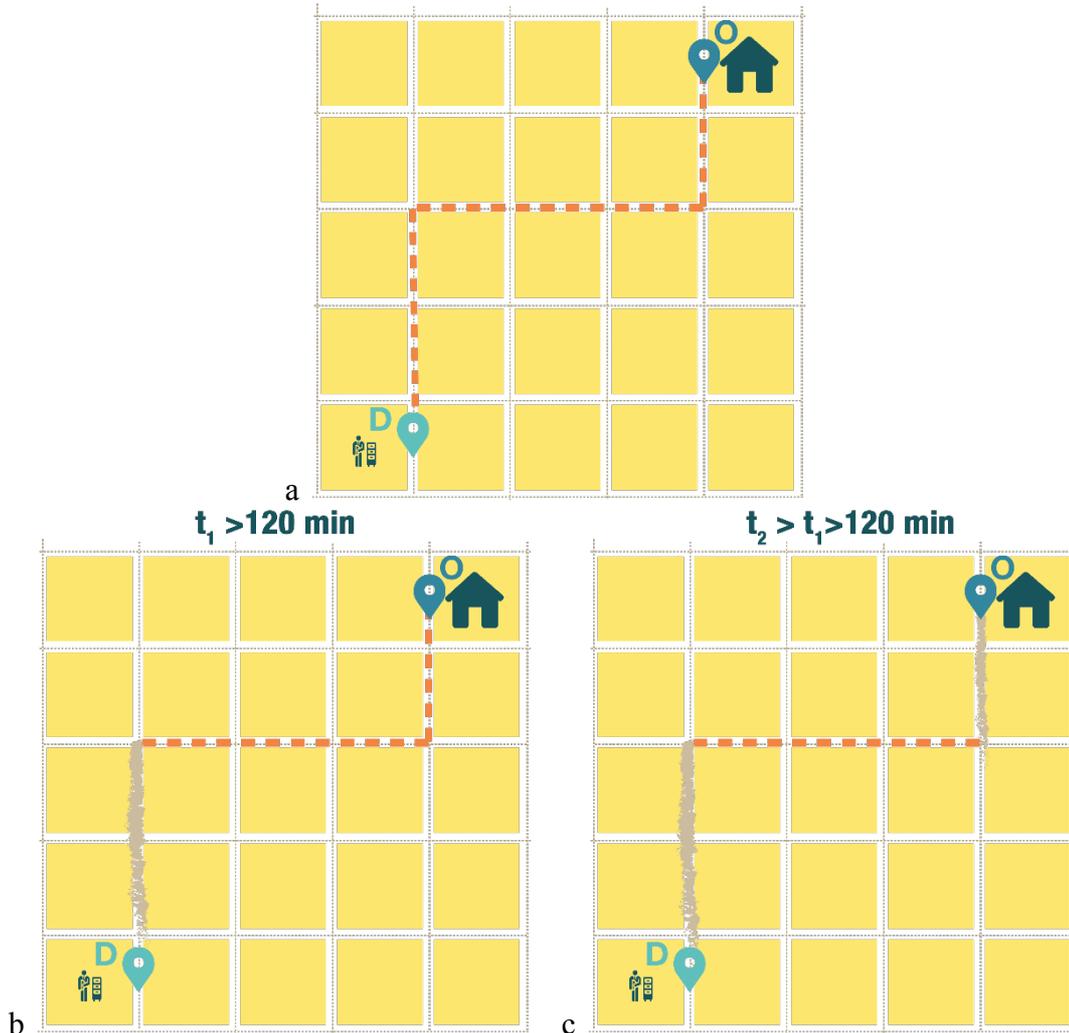
Figura 40 - Diagnóstico da vulnerabilidade



Fonte: Adaptado de (MCDANIELS et al., 2008) e (SOARES, 2014).

Uma vez definido que a situação atual será o parâmetro de referência para poder medir a queda do sistema parte-se para a definição do estado de vulnerabilidade (Figura 41a). Estas situações devem considerar eventos que piorem o sistema e possam ser medidos com os mesmos indicadores aplicados para caracterizar a situação atual. No caso das cidades de La Paz e El Alto, se considerará como um parâmetro de vulnerabilidade a descontinuidade da rede de transporte público e, para isto, vão ser avaliados os antecedentes de eventos históricos de movimento de massa e as áreas de risco susceptíveis a ameaças detectadas nos mapas de risco. Nessas zonas serão retiradas as ligações entre nós da rede de transporte público, definindo duas situações. Uma primeira, na qual foram eliminadas certa quantidade de ligações (Figura 41b), mas criadas algumas novas conexões dos centroides das zonas de tráfego até os nós mais próximos da rede do transporte público. Em um segundo cenário, são retirados os mesmos laços conectores, mas não se conectam esses nós dos centroides à rede existente (ver Figura 41c).

Figura 41 - Situação atual (a), situação vulnerabilidade tipo 1 (b), vulnerabilidade tipo 2 (c)  
 $t \leq 120 \text{ min}$



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, na sub etapa de quantificação das relações de causa e efeito, se procura validar as relações causais dos indicadores da acessibilidade aos postos de trabalho através do IPTP e das necessidades por transporte público. Por fim, são analisadas as relações do impacto da perda de conectividade da rede de transporte público na acessibilidade aos postos de trabalho. Para isto calcula-se o ITPG para os dois estados de vulnerabilidade e se analisa a relação causal global através do Índice de Moran Bivariado (*BiLISA Cluster Map*), o que permite avaliar como o valor de uma variável pode ser explicado pelo valor da outra variável em uma zona *i* e nas zonas vizinhas a ela. Neste caso a ferramenta será usada para comparar a acessibilidade das pessoas aos postos de trabalho com relação às mudanças na conectividade da rede.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E DIAGNÓSTICO DA PROBLEMÁTICA

O presente capítulo vai representar o problema aplicando as etapas propostas no capítulo anterior. Para desenvolver a problemática, utilizou-se a modelagem conceitual ALUTI, que contribuiu na etapa da compreensão das relações causais entre os subsistemas e, como produto dessa análise, foram estabelecidas as hipóteses e suas relações causais dos problemas. A seguir veio o método da compreensão da problemática, com suas três etapas, sendo que a última, o diagnóstico, foi modificada e adaptada com base nas dimensões da resiliência. Recapitulando os resultados da etapa da Identificação da Problemática se apresentam, a seguir, as três hipóteses formuladas:

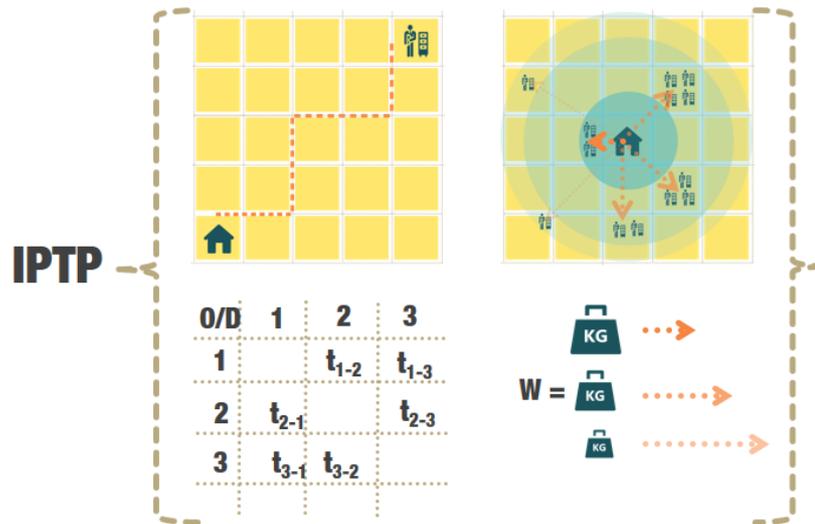
- i. A distribuição espacial das residências, ligada à disponibilidade de solo, afasta os indivíduos das ofertas de emprego, diminuindo suas oportunidades;
- ii. A população mais dependente do sistema de transporte público é aquela que mora mais distante das ofertas de emprego;
- iii. As baixas alternativas de conectividade da rede de transportes impactam em baixos níveis de acessibilidade das pessoas aos postos de emprego, diminuindo as oportunidades.

### 5.1 Caracterização da situação atual

Para a *identificação dos indicadores*, já no Capítulo 3 tinha-se citado os índices propostos por Fransen et al. (2015), que serão aplicados. O primeiro é o **Índice de Provisão de Transporte Público (IPTP)**, que tem como função medir a acessibilidade espaço – temporal, e foi construído para representar a disposição da rede de transporte público para cada zona de tráfego. As viagens são calculadas para um período específico do dia e seguem o caminho ideal (menor custo) através da rede para aquele momento particular.

O primeiro passo para aplicar o IPTP é calcular as matrizes de custo (ODCM) entre os centroides das zonas de tráfego para um determinado tempo máximo de viagem, neste caso 120 minutos. Foram consideradas apenas viagens motivo trabalho e o tempo foi fragmentado a cada 10 minutos, para o conjunto de viagens do pico da manhã (6:00 às 9:00 horas) (Figura 42).

Figura 42 - Índice de Provisão de Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora.

Como segundo passo do Índice, se definiram para esses tempos de viagem o número de oportunidades acessíveis para cada zona de tráfego. Se o tempo de percurso entre um par OD, calculado no primeiro passo, encontra-se no intervalo de tempo predeterminado, este conta como definido. Neste caso, considera-se que esta viagem tem a oportunidade de atingir todos os empregos ofertados pela zona, como é representado na (1).

$$A_{i,S,T} = \sum_j G(t_{ij})F_{S,j} \quad (1)$$

Onde:

$A_{i,S,T}$  = Índice de acessibilidade para uma zona  $i$ , para um tipo de serviço  $S$  em um intervalo de tempo  $T$ .

$t_{ij}$  = indica o tempo de viagem entre uma origem  $i$  e um destino  $j$ .

$G(t_{ij})$  = é um indicador da função igual a 1 se  $t_{ij} \leq T$  e  $T \in (0 - 10, 10 - 20, \dots, \text{ou } 110 - 120 \text{ min})$ .

$F_{S,j}$  = denota o tipo de oportunidades ofertadas na zona  $j$ .

Como um terceiro passo, foi calculado um índice médio de acessibilidade por zona de tráfego. Este foi calculado pela média dos valores dos diferentes limites de tempo, atribuindo pesos de acordo com a distância da zona de origem.

$$A_{i,S} = \sum_{T=1}^n A_{i,S,T} W_T \quad (2)$$

Onde:

$A_{i,S}$  = Índice de acessibilidade de determinado serviço tipo  $S$ ,  $n$  corresponde com o número de intervalos de tempo de viagem..

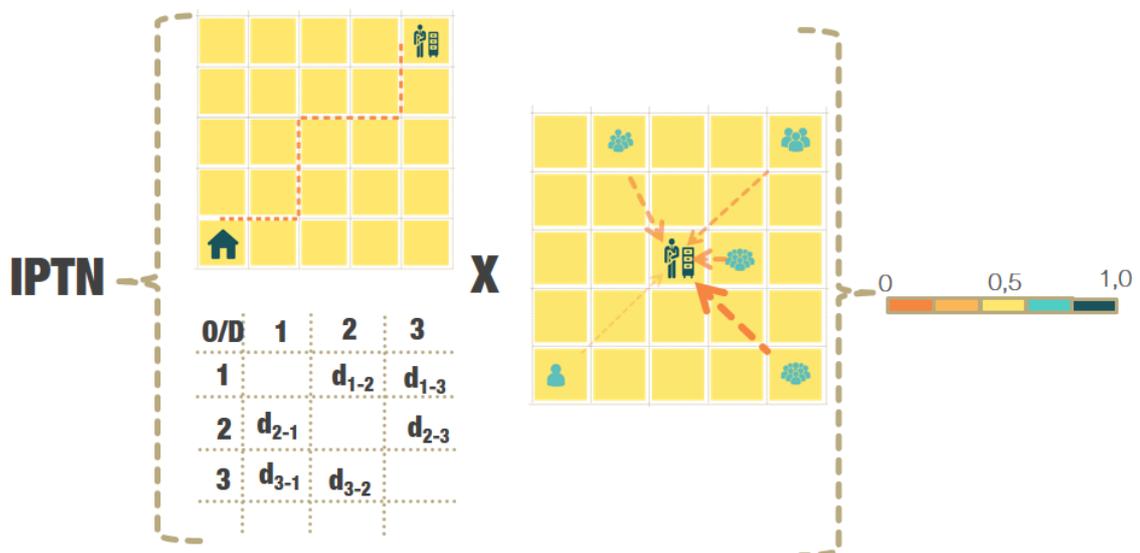
$A_{i,S,T}$  = Índice de acessibilidade para uma zona  $i$ , para um tipo de serviço  $S$  em um intervalo de tempo  $T$ .

$W_T$  = equivale ao peso correspondente a determinado intervalo de tempo  $T$  (para este caso 12/12, 11/12, 10/12, ..., 1/12 para intervalos de tempo ( 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, ... , e 110 – 120 min respectivamente) (SCHUURMAN; BÉRUBÉ; CROOKS, 2010).

Como segundo índice, relacionado às necessidades por transporte público, foi considerado o **Índice de Necessidades por Transporte Público (IPTN)** (CURRIE, 2010; FRANSEN et al., 2015). Para o seu cálculo, são necessárias dados de variáveis sócio demográficas como a renda da população, posse de veículo particular, proximidade entre as residências e os postos de emprego, etc. Devido à falta de dados confiáveis deste tipo ou, mesmo, disponíveis em níveis inadequados de agregação, optou-se por utilizar uma variável *proxy* que permitiu estimar as zonas mais necessitadas de transporte público.

O IPTN é calculado em relação à matriz de distâncias entre os pares OD das zonas em que se realizam viagens para motivo trabalho por transporte público, multiplicado pelo número de pessoas que realizam esse tipo de viagem. Uma vez obtido o dado, este é ponderado em uma escala de 0 a 1. Ao valor máximo obtido de todas as zonas se atribui a pontuação mais alta, ou seja, 1. Já às zonas sem registro de viagens realizadas por motivo trabalho, no modo transporte público, se atribui o valor 0 (Figura 43).

Figura 43 - Índice de necessidades por transporte público



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, calcula-se o **Índice dos Gaps de Transporte Público (IPTG)** que resulta da diferença entre as necessidades e a provisão do transporte público. Ambos os índices foram normalizados e o resultado indica que os valores mais baixos são as zonas que precisam de maior atenção porque a demanda não estaria sendo atingida pela oferta do sistema (ver (3)).

$$ITPG = IPTP - IPTN \quad (3)$$

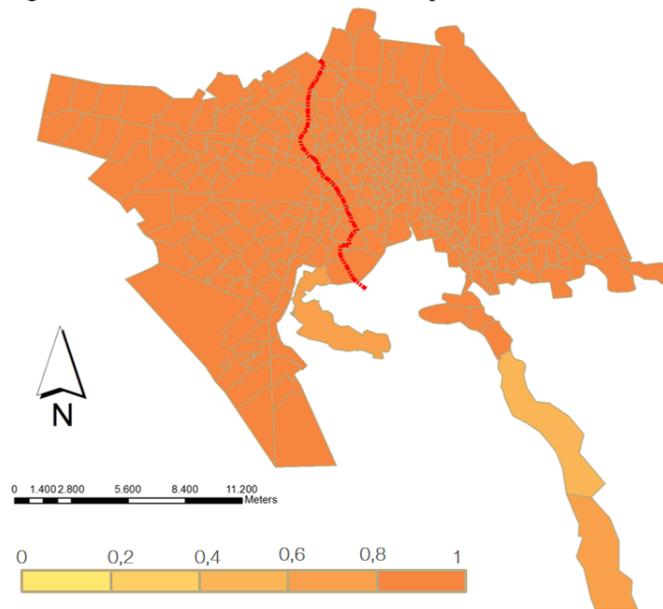
Para poder aplicar os índices descritos no presente capítulo, precisa-se *definir as variáveis* a serem utilizadas. Para Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS) de 2012, foi realizada uma pesquisa domiciliar amostral que é representativa da população das cidades de La Paz e El Alto. A equipe técnica dividiu as cidades em 305 zonas de tráfego, mas a rede modelada foi apenas para o sistema de transporte público. Os dados considerados são as viagens feitas por modo de transporte público entre pares OD, motivo trabalho no horário de pico da manhã (6:00 – 9:00 a.m.).

Uma vez definidos os indicadores e as variáveis a aplicar se procede a caracterização da situação atual, detalhada no Capítulo 4. O processo de análise é composto por três etapas: distribuição espacial dos indicadores, representado por um *mapa de intervalos iguais*; posteriormente o *Box Map*, para identificar os *outliers*; e, por fim, o *LISA Map* para a identificação dos *clusters*. Para poder elaborar estas análises, foram utilizadas as ferramentas Quantum GIS (QGIS, 2016) e Geoda (ANSELIN, 2017). Nesta última, foram considerados os seguintes parâmetros: Matriz de adjacência: *Queen* de 1º grau; *Box Map: Outliers* destacados a mais ou menos 1,5 desvios padrão da média; *LISA Map*: Grau de significância de 5%.

### 5.1.1 *Acessibilidade das oportunidades de emprego*

Como explicou-se na etapa anterior, a análise da situação atual começa a partir da caracterização da acessibilidade das pessoas aos postos de trabalho pelo modo de Transporte Público no horário pico da manhã. Na Figura 44 se apresenta a distribuição espacial do IPTP, até um tempo máximo de viagem de 120 minutos. Como pode-se observar, a maioria das zonas de tráfego conseguem atingir as oportunidades de trabalho ofertadas nas zonas de destino. O valor desse índice de acessibilidade aos postos de emprego, ponderado pelos pesos definidos para cada segmento de intervalos de tempos de viagem, indicam que estão entre 0,8 e 1, existindo apenas três setores na região sul (Mallasa, Jupapina, e Achocalla) das duas cidades que apresentam maior dificuldade para poder atingir essas oportunidades de emprego em um tempo de viagem até 120 minutos. Todavia, como tinha-se observado, uma representação apenas por este tipo de mapa de distribuição espacial, agrega a informação em intervalos fixos, podendo enviar o resultado.

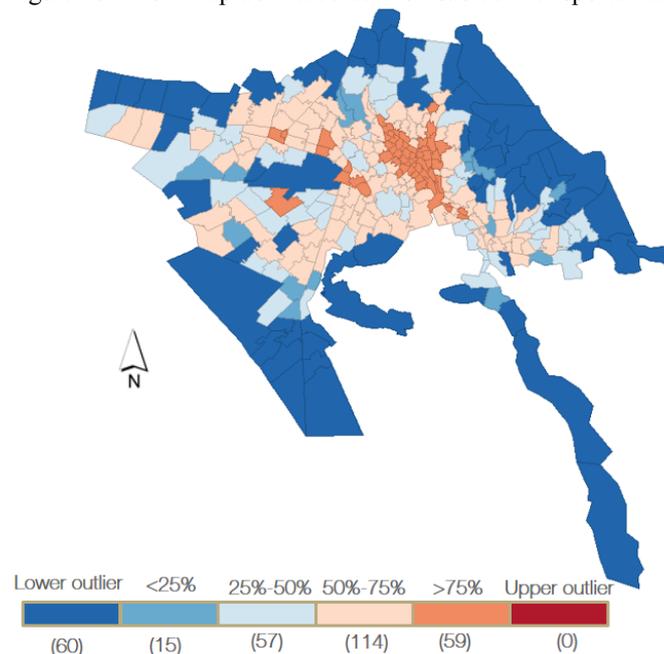
Figura 44 - Índice de Provisão de Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora.

No *Box Map* (Figura 45) se observa a existência de *lower outliers* em praticamente todo o contorno das duas cidades. Nestas zonas, mais distantes do centro, esse valor pode refletir que esses setores têm poucas oportunidades de emprego no seu entorno próximo, ao contrário do que acontece com as zonas da região do centro (zonas alaranjadas) tanto da cidade de La Paz quanto de El Alto. Estas contam com maiores oportunidades de empregos no seu entorno e existem possibilidades de atingi-los por viagens de transporte público.

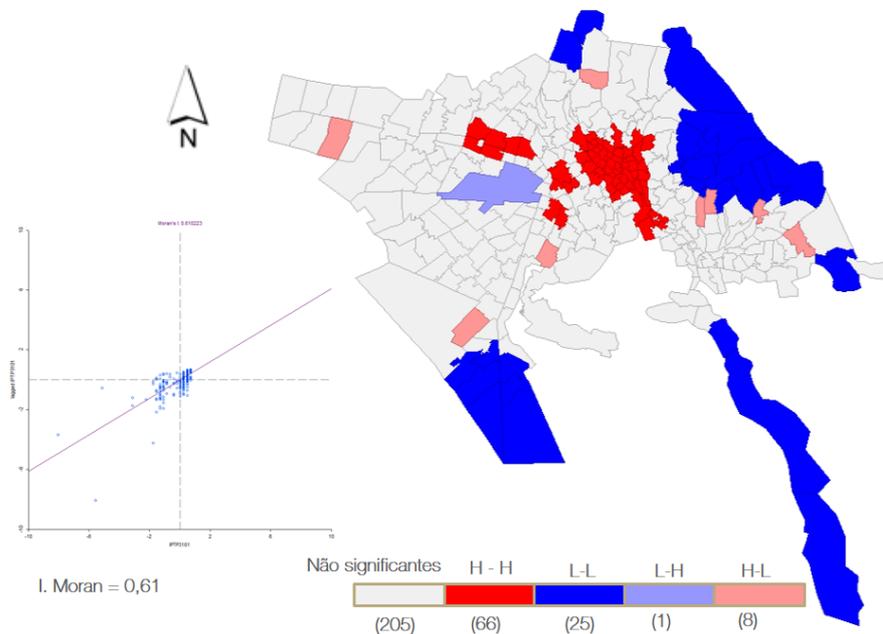
Figura 45 - Box Map do Índice de Provisão de Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora.

Na análise espacial da acessibilidade aos postos de trabalho, verificou-se um Índice de Moran com valor igual a 0,61, confirmando a existência de dependência espacial das zonas que apresentam valores similares entre seus vizinhos. A representação no *Lisa Cluster Map* (Figura 46) apresenta, em cor azul escuro, os aglomerados *low-low* que indicam que estas zonas têm baixa acessibilidade de transporte público às oportunidades de emprego (zonas região sul Jupapina, Mallasa e Mallasilla, região leste Callapa, Pampahasi, San Antonio Alto, Irpavi II e as regiões próximas ao município de Achocalla). Os valores altos em cor vermelha, do tipo *high-high*, alta acessibilidade aos postos de emprego, encontram-se no centro das cidades de La Paz e El Alto. Como um único setor do tipo *low-high*, representado na cor azul claro, tem-se a zona de tráfego do Aeroporto. Este valor indica que a zona tem uma baixa acessibilidade de transporte público aos postos de emprego em relação aos valores de acessibilidade dos seus vizinhos. Por fim os aglomerados do tipo *high-low*, na cor rosa, representam zonas que contam com valores altos de acessibilidade em relação a seu entorno que contam com valores baixos. Estes são os casos das zonas de tráfego próximas às aglomerações que apresentaram valores baixos de acessibilidade.

Figura 46 - LISA Cluster Map do IPTP



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1.2 Identificação das necessidades por transporte público.

No intuito de medir e identificar as zonas que precisam mais do transporte público, se aplicou o Índice de Necessidades por Transporte Público (IPTN). O processo de

análise segue os mesmos passos que os aplicados para a etapa anterior. O mapa das necessidades por transporte público (ver Figura 47) é calculado pela quantidade total de quilômetros percorridos para as viagens motivo trabalho, de cada par OD, ponderada pelo número de viagens. Zonas com valores mais próximos a 0 são aquelas que não têm necessidades por transporte público, seja porque a quantidade de viagens por motivo trabalho é próxima a 0 ou porque a distância percorrida, para essas viagens, é mínima. Zonas próximas ao valor 1 são as que tem maior necessidade de transporte público. Da mesma forma que no indicador anterior, a maioria das zonas de tráfego se encontra na faixa de 0 a 0,2, significando que teriam necessidades consideradas como baixas. No caso da cidade de El Alto, pode-se observar que a necessidade por transporte público tem valores um pouco mais elevados, denotando que as viagens não se destinam a pontos próximos aos domicílios.

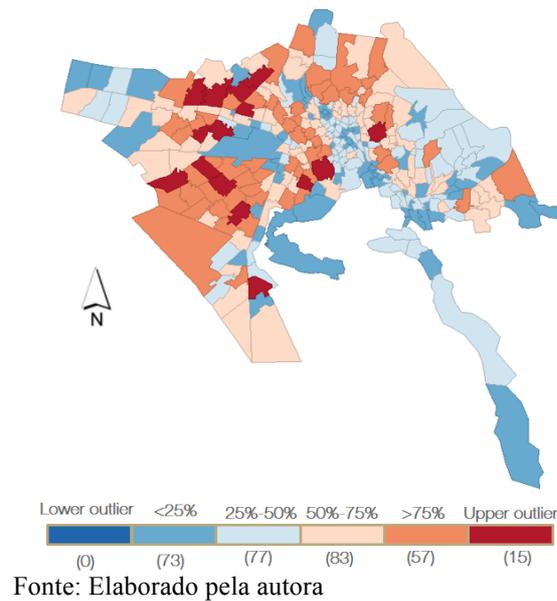
Figura 47 - Mapa de distribuição do Índice de Necessidades por Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora.

No *Box Map* pode-se observar que existem 15 zonas de tráfego cujos resultados seriam considerados *upper outliers*. Estas zonas se encontram na cidade de El Alto e, neste caso, as necessidades de viagens por transporte público, ponderadas pelo total da distância entre os pares OD, não estariam sendo atingidas. No caso da cidade de La Paz, os valores, em sua maioria, se encontram muito próximos à média do valor ponderado das necessidades (Figura 48).

Figura 48 - Box Map para o Índice de Necessidades por Transporte Público

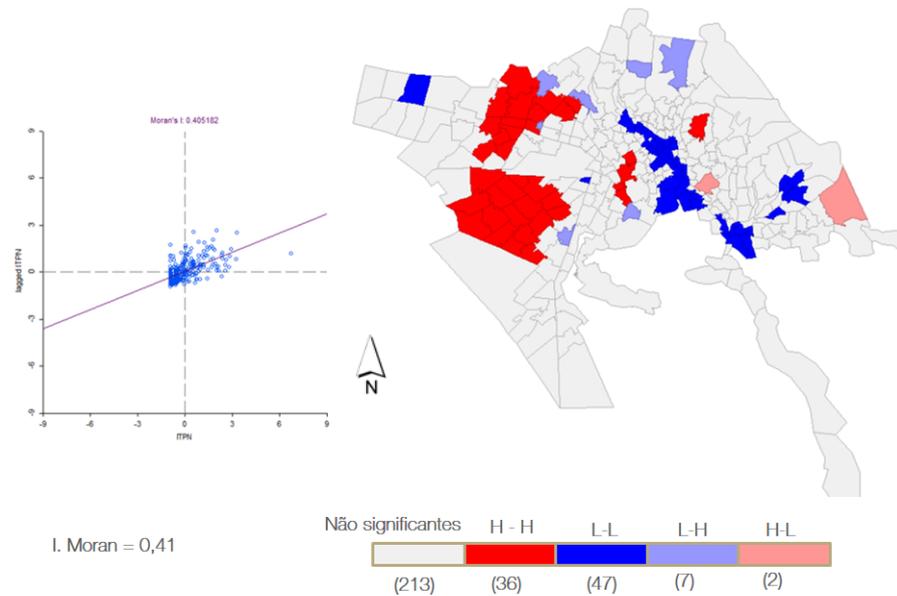


Para o Índice das Necessidades por Transporte Público, o Índice de Moran apresentou um valor igual a 0,41, mostrando a existência de dependência espacial. O Lisa Cluster Map (Figura 49) apresenta uma aglomeração de valores *high-high*, na cidade de El Alto, o que confirma que as necessidades por transporte público destas zonas não estão sendo atendidas. Os valores *low-low* apresentam um aglomerado na zona de Sopocachi e Centro de La Paz, assim como a zona sudeste (Calacoto e San Miguel) e isto mostra que estas zonas, devido à proximidade ao centro da cidade, são as que menos necessidades têm por transporte público.

### 5.1.3 Identificação dos Gaps de Transporte Público

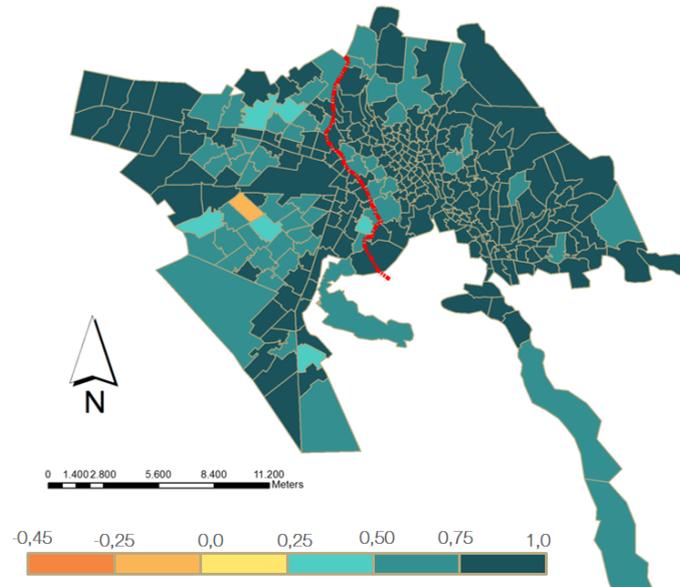
Este terceiro índice combina os dois valores obtidos para poder definir os gaps. A Figura 50 apresenta a sua distribuição espacial, cujos valores mais próximos a 1 indicam que as zonas não apresentam gaps de transporte público. Observa-se na cidade de El Alto, que essas zonas estão distribuídas junto aos corredores das três autoestradas. A zona próxima ao posto de controle de Rio Seco e aquelas que se encontram nas áreas intermediárias são as que apresentam valores mais baixos. Existe uma zona em laranja que apresenta o valor mais baixo negativo. Já no caso da cidade de La Paz, a situação é menos desfavorável. No entanto, as zonas da ladeira oeste, periferia da zona norte e região sul (Mallasa e Jupapina) apresentaram valores entre 0,50 e 0,75.

Figura 49 - LISA Cluster Map para o Índice de Necessidades por Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora

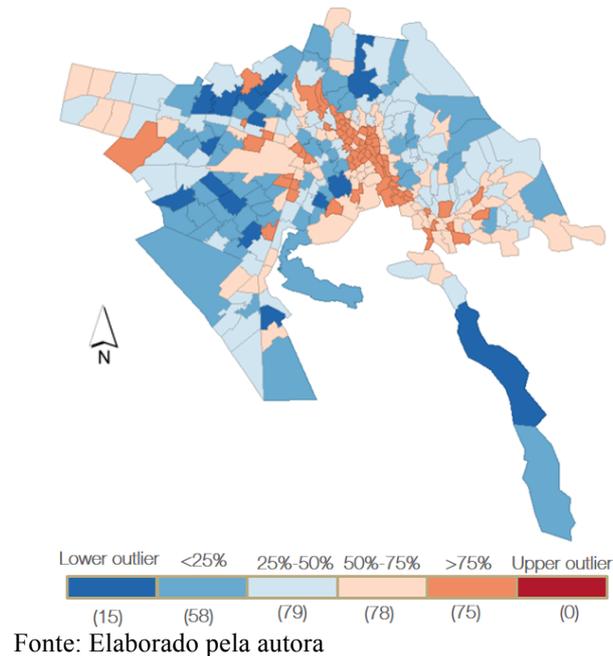
Figura 50 - Índice de Gaps de Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora

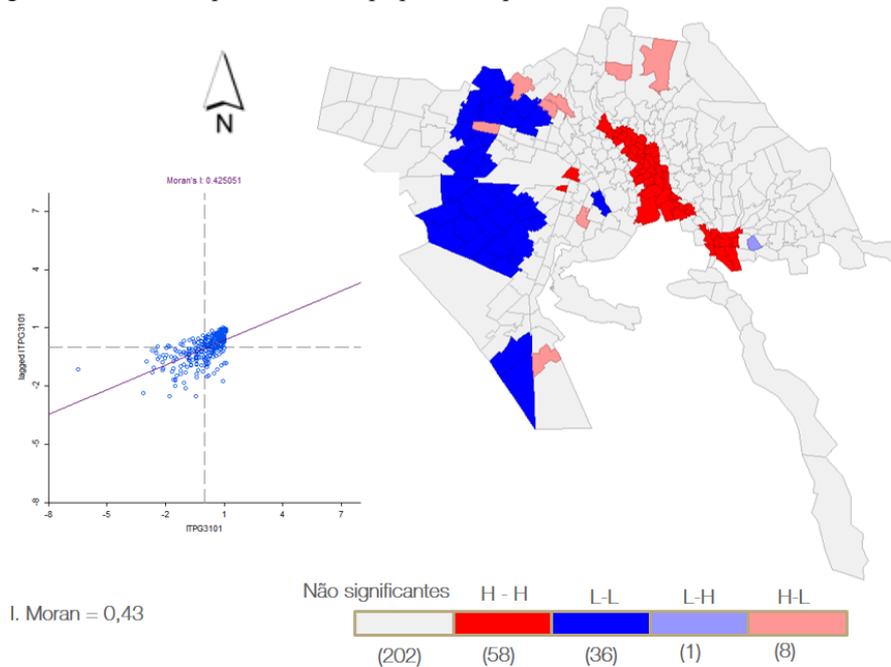
O *Box Map* apresenta *outliers* baixos distribuídos entre as duas cidades. Estes valores indicariam valores extremos inferiores à média de todos os outros valores obtidos para as zonas de tráfego. Pode-se confirmar que o corredor do centro de La Paz apresenta um valor parecido, acima da média (ver Figura 51).

Figura 51 - Box Map do Índice de Gaps de Transporte Público



Na análise da dependência espacial do Índice de Gaps do Transporte Público encontrou-se um Índice de Moran com valor igual a 0,43, o que confirma a dependência espacial. O *Lisa Cluster Map* (Figura 52) apresenta uma aglomeração de valores *high-high* na cidade de La Paz, muito próximos ao centro, assim como na zona de sul (Obrajes). Isto confirma que essas zonas contam com uma cobertura do sistema de transporte público que atinge à demanda da população que trabalha, e isto se deve, provavelmente, à proximidade entre as residências e as ofertas de emprego. Porém, os valores *low-low* apresentam uma deficiência nos distritos 3 e 4 da cidade de El Alto. Estas zonas apresentam dois grandes aglomerados que indicam a existência de gaps no transporte público. Por último, encontram-se aglomerações menores, próximas às anteriores, com valores *high-low*, o que indica que estes setores têm valores mais altos do que seus vizinhos mais próximos.

Figura 52 - LISA Map Índice de Gaps por Transporte Público



Fonte: Elaborado pela autora

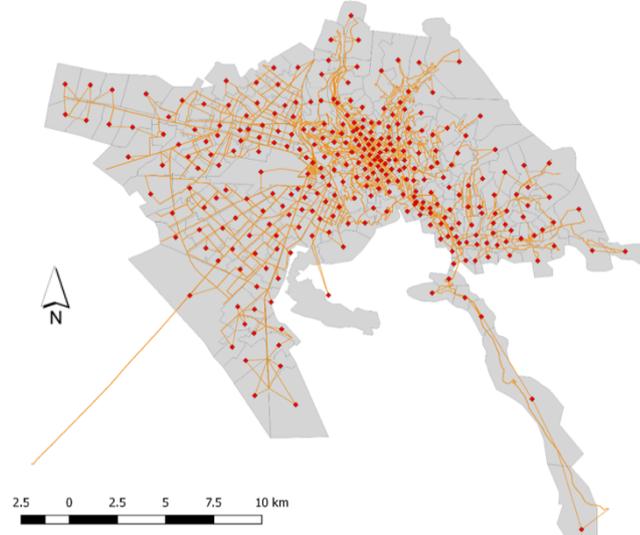
## 5.2 Diagnóstico da vulnerabilidade

Conforme explicado no capítulo do método, a situação atual, mesmo estando distante de uma situação desejada, é aquela em que o funcionamento do sistema se mantém. Esta foi utilizada como referência para outros dois cenários nos quais o funcionamento do sistema foi perturbado. O diagnóstico foi elaborado a partir da premissa de que a situação atual é um estado que o sistema urbano estaria funcionando normalmente (Figura 53). A medida de acessibilidade espaço temporal e o Índice de Gaps de Transporte Público foram calculados novamente, para cada um dos novos cenários.

### 5.2.1 Situações vulneráveis tipo 1 e tipo 2.

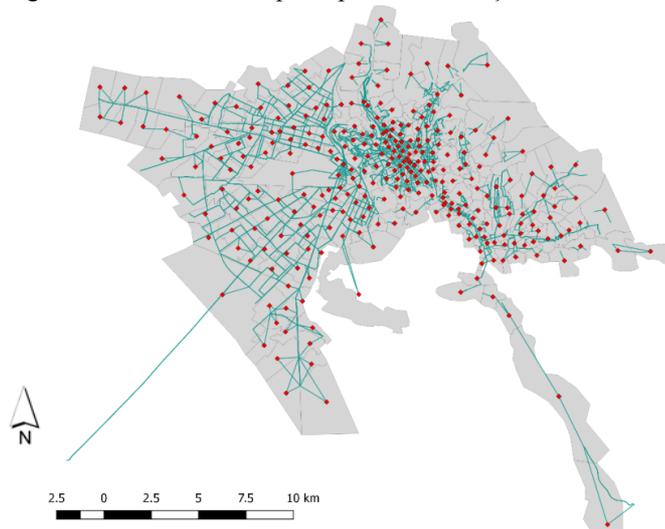
A distribuição espacial do Indicador de Provisão de Transporte Público foi calculada em relação à rede dos dois cenários (Figura 54 e Figura 55). O primeiro parte da premissa que, embora tenha se cortado um certo número de laços, as pessoas conseguem realizar essa viagem se conectando ao nó mais próximo da rede de transporte público. Já o segundo cenário considera que as zonas, que ficaram isoladas por conta da supressão das ligações da rede, não conseguem se conectar, por novos caminhos, à rede de transporte público.

Figura 53 - Rede de transporte público - situação atual



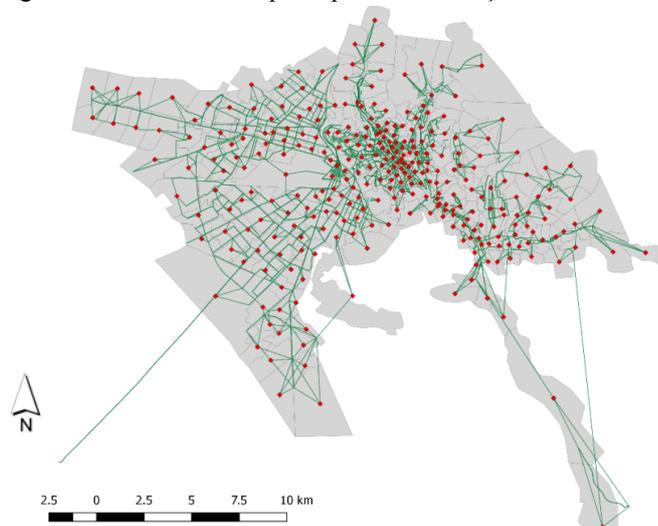
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 54 - Rede de transporte público - situação vulnerável tipo 1



Fonte: Elaborado pela autora

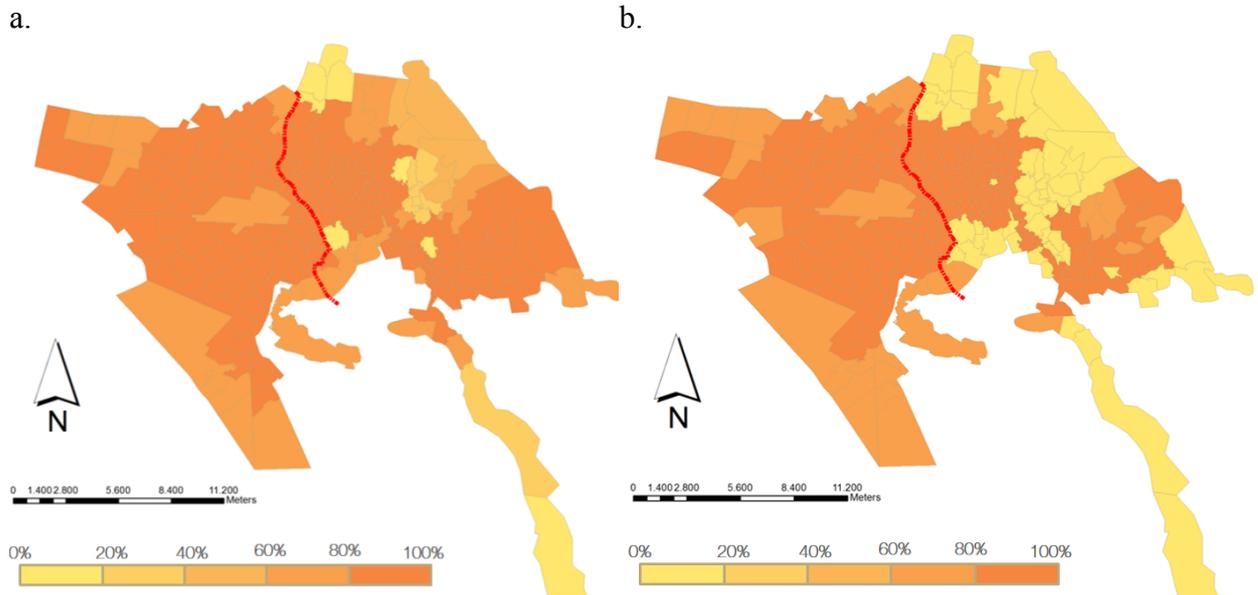
Figura 55 - Rede de transporte público - situação vulnerável tipo 2



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 56 ilustra os dois cenários do Índice de Provisão de Transporte Público. Como se observa, houve uma queda nos valores do índice, mostrando que a situação 1 (Figura 56a) compromete a acessibilidade de certas zonas alocadas no lado leste, norte e sul de La Paz e também mostra certa influência dos problemas em zonas da cidade de El Alto. Já a situação vulnerável tipo 2 (Figura 56b) representa um cenário em que uma parte considerável de La Paz estaria em um extremo de não conseguir acessar aos postos de emprego (valores entre 0 e 0,2). Da mesma forma, El Alto parece ter uma leve queda na acessibilidade de algumas zonas. No entanto, nos dois casos, o centro de La Paz e El Alto e parte da região sul-este de La Paz não se vem comprometidos com os problemas que poderiam estar acontecendo no entorno deles.

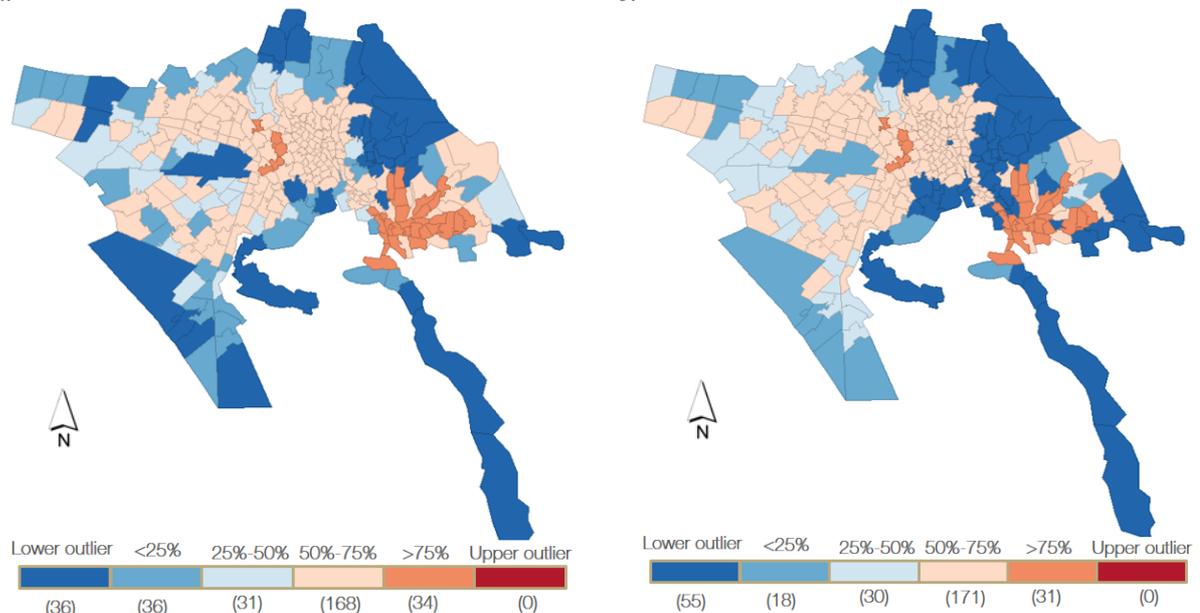
Figura 56 - IPTP - situações vulneráveis tipo 1 e 2



Fonte: Elaborado pela autora

Nos *Box Maps* (Figura 57) se observa a existência de *lower outliers*, com as zonas da região leste e sul de La Paz apresentando valores extremos, o que indica que estas estariam com poucas oportunidades de emprego no seu entorno, ao contrário do que acontece com as zonas da região sul-leste (zonas alaranjadas). Nesta, a acessibilidade não é comprometida, o que pode indicar que esta zona tem uma independência em relação à oferta e à demanda. Uma observação necessária é que pode parecer que a cidade de El Alto teve uma melhoria na acessibilidade às oportunidades de emprego, quando se observa o mapa da situação vulnerável tipo 2. A explicação é a de que foi a média dos valores que mudou e estas zonas que, tanto na situação atual como na situação vulnerável 1 eram considerados *outliers*, agora se encontram dentro dos valores na faixa de  $\pm 1,5$  do desvio do padrão.

Figura 57 - Box Map IPTP - situações vulneráveis tipo 1 e 2  
a. b.

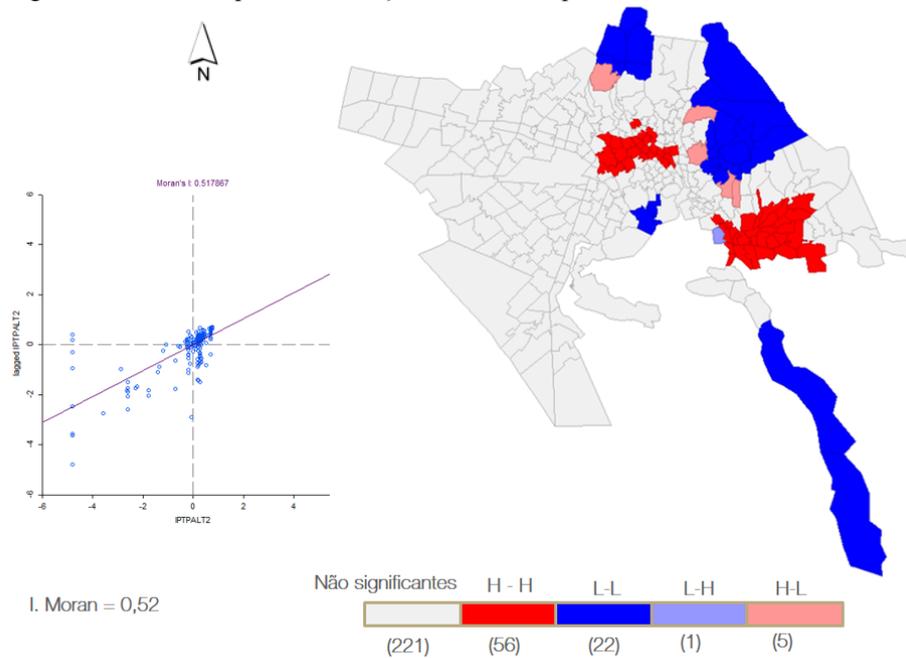


Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar-se a dependência espacial da acessibilidade aos postos de trabalho, verificou-se que o Índice de Moran apresentou um valor igual a 0,52, confirmando dependência espacial. Na representação no *Lisa Cluster Map* (Figura 58) se apresentam, com a cor azul, os aglomerados do tipo *low-low*, que indica que estas zonas têm baixa acessibilidade de transporte público às oportunidades de emprego (zonas região sul Jupapina, Mallasa e na região leste e norte, de Callapa, Pampahasi, San Antonio). Os valores altos em cor vermelho, *high-high*, alta acessibilidade aos postos de emprego, destacam zonas do centro e San Pedro, até chegar a La Ceja de El Alto que é o centro dessa cidade. E por fim uma aglomeração na zona sudeste da cidade, levantando a possibilidade que essa acessibilidade motivo emprego não seja comprometida por se tratarem de deslocamentos próximos. A diferença deste *LISA Cluster Map* para o da situação vulnerável 2 (Figura 59), com I. Moran igual a 0,54, é que as aglomerações aumentam, principalmente com zonas do tipo *low-low*. Porém, tanto na situação atual como nos outros dois cenários de vulnerabilidade, El Alto não apresenta uma mudança significativa na qual possa se inferir o efeito na acessibilidade aos postos de emprego dentro dessa cidade.

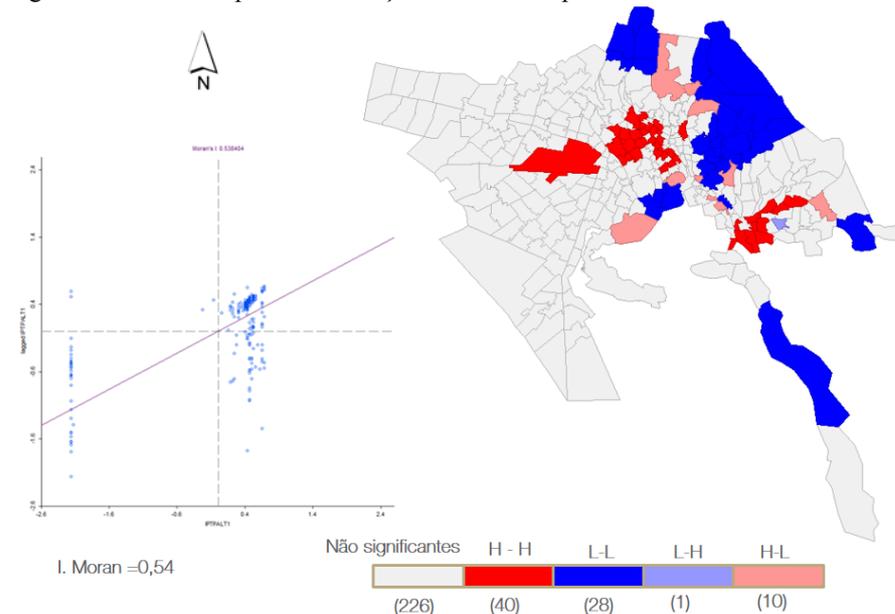
O segundo índice não será calculado novamente porque se assume que as necessidades por transporte público se mantem nas três situações. Portanto, os valores calculados para o ITPN na sub etapa anterior vão ser os mesmos para calcular os novos Índices dos Gaps de Transporte Público.

Figura 58 - LISA Map IPTP - situação vulnerável tipo 1



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 59 - LISA Map IPTP - situação vulnerável tipo 2



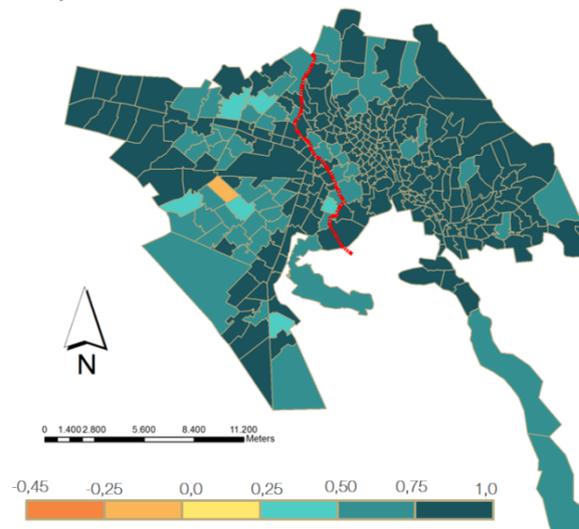
Fonte: Elaborado pela autora

### 5.2.2 Definição dos $\Delta$ de vulnerabilidade, para a identificação dos Gaps de Transporte Público

A distribuição espacial do IPTG mostra que a conectividade impacta negativamente na acessibilidade das pessoas aos postos de emprego (Figura 60), e esse impacto decai ainda mais quando a conectividade se vê comprometida por alguma ameaça. Pode-se observar, na Figura 61, que os valores diminuíram em relação aos calculados para a

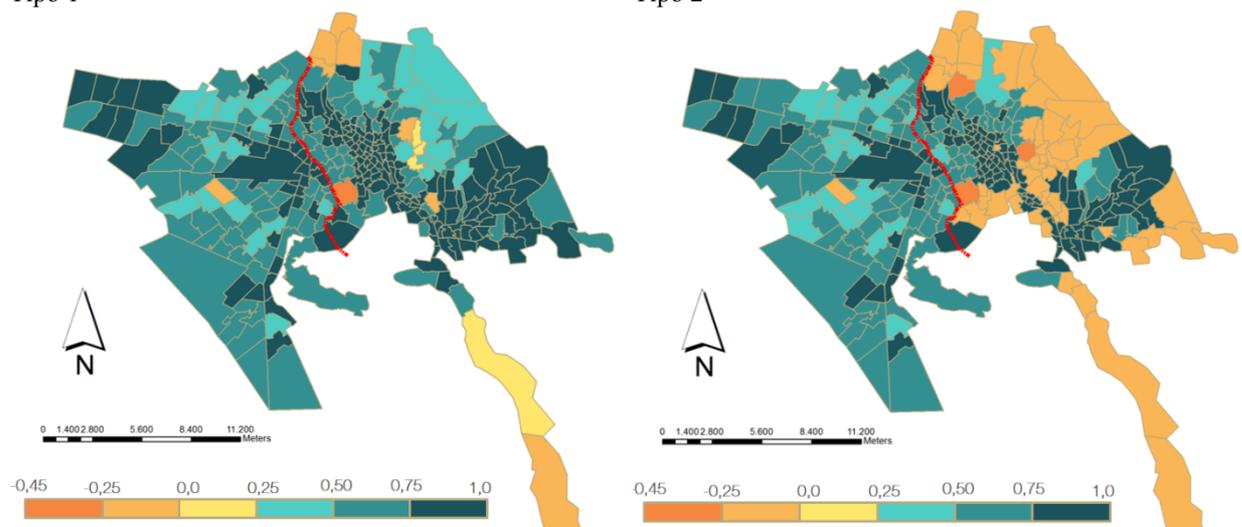
situação atual, e que existem zonas que apresentam valores menores ou próximos a zero. Na situação da vulnerabilidade tipo 2 existe um impacto muito maior em La Paz. Especificamente nas zonas diretamente afetadas, os valores caíram significativamente. Contudo, nos dois casos se consegue observar que o centro e a zona sudeste de La Paz ainda preservam valores próximos a 1, e o mesmo acontece no entorno do centro da cidade de El Alto.

Figura 60 - Índice de Gaps de Transporte Público (IPTG) - situação atual



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 61 - IPTG - Situações vulneráveis tipo 1 e 2

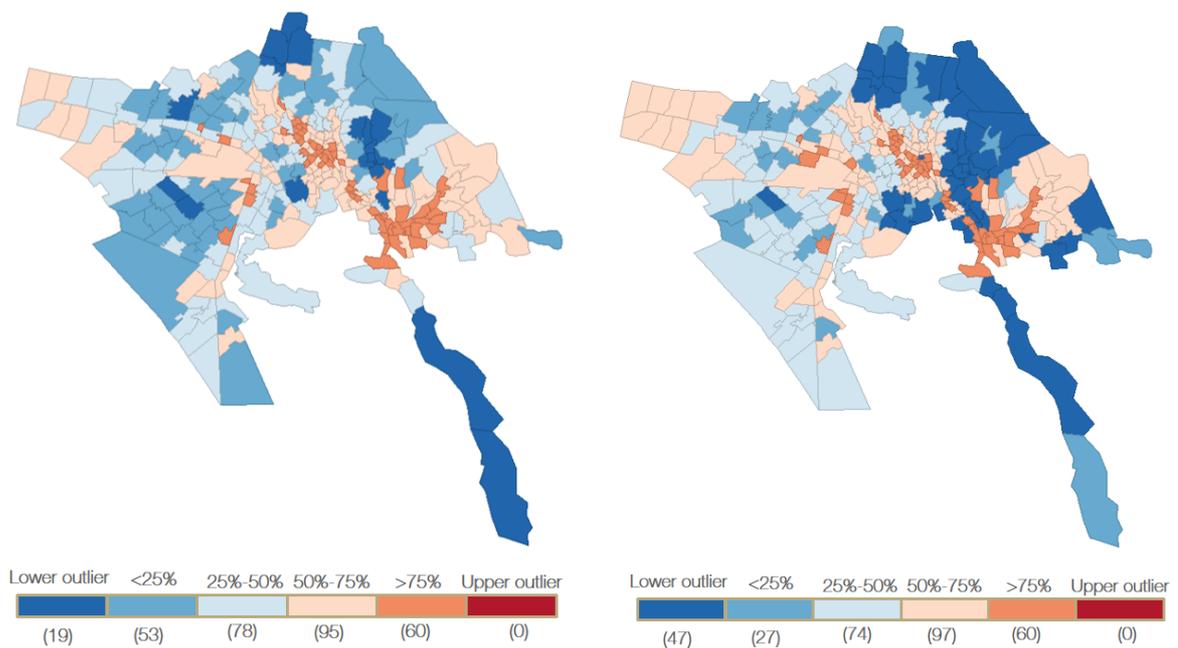


Fonte: Elaborado pela autora

No *Box Map* se observa a existência de *lower outliers* nas zonas da região sul de La Paz, com valores extremos (situação vulnerável 1) e o número destes *outliers* aumenta na

zona nordeste para a situação vulnerável 2 (ver Figura 62). Isso significa que estes valores pioram na medida em que a conectividade da rede de transporte público é afetada. Diferente do mapa do IPTG da situação atual, onde estes *outliers* se distribuíam aleatoriamente, ou seja não apresentaram clusters de valores iguais. Neste mapa, especialmente na situação de vulnerabilidade tipo 2, tem-se que esses *outliers* também acontecem em zonas que não tinham problemas com a conectividade da rede. Porém, eles podem ter uma influência na queda da sua acessibilidade por extensão do seu entorno.

Figura 62 - Box Map IPTG - Situações vulneráveis tipo 1 e 2  
Tipo 1 Tipo 2

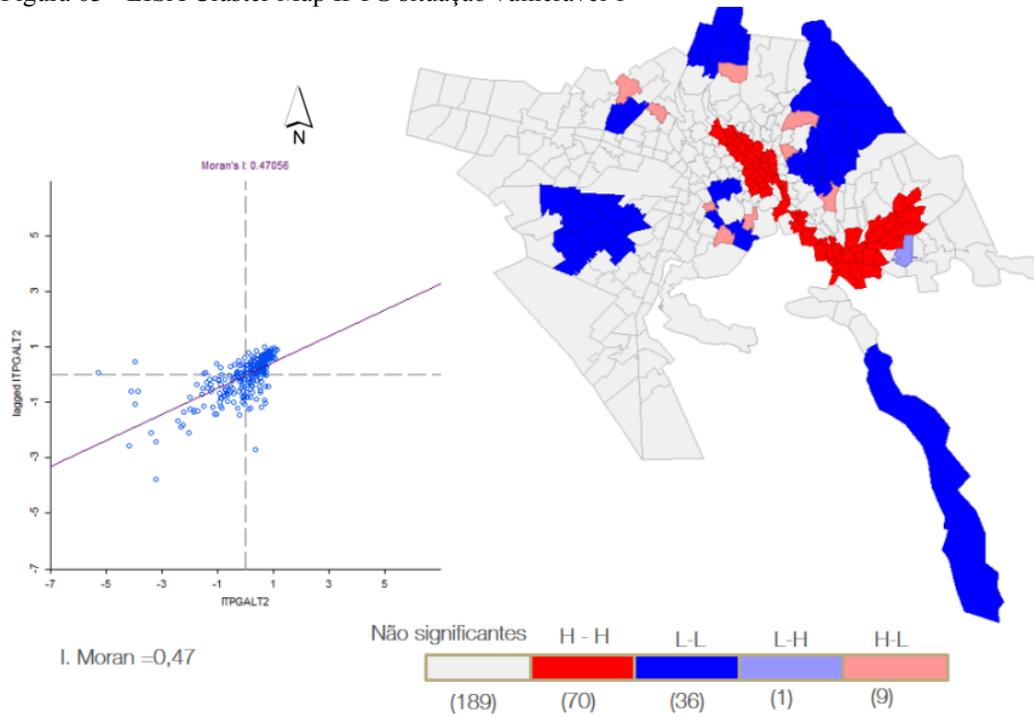


Fonte: Elaborado pela autora

Para validar isto, foram preparados os *LISA Cluster Maps* para ambos os casos (Figura 63 e Figura 64), os quais representam as aglomerações para o IPTG calculado nas duas situações de vulnerabilidade. Com I. Moran iguais a 0,47 e 0,49, ambos os cenários apresentam uma dependência espacial. Na situação do tipo 1, as aglomerações com a cor azul (*low-low*), que indicam baixa acessibilidade e alta necessidade por transporte público, se encontram espalhadas tanto em El Alto como em La Paz, além de La Paz, apresentar um aglomerado de valores altos, *high-high*, alta acessibilidade aos postos de emprego e pouca baixa necessidade por transporte público no centro da cidade e no centro da zona sul este de La Paz. No cenário do tipo 2, as aglomerações com a cor azul (*low-low*) aumentaram. Tanto na situação atual como na situação vulnerável tipo 1 apresentaram certa robustez, ou seja, que a necessidade dessa população por transporte público para os deslocamentos aos postos de

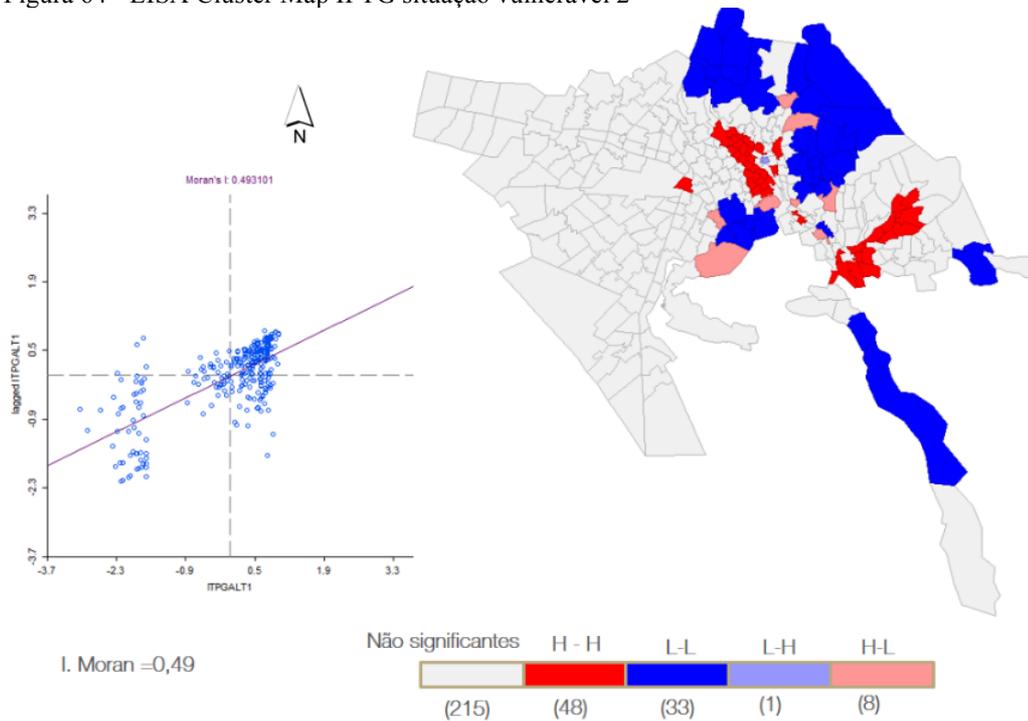
trabalho, era atingida já que estas zonas não contavam com valores altos relacionados às necessidades por transporte público. Porém, na situação 2, estas zonas ficaram comprometidas pela influência da conectividade das zonas próximas.

Figura 63 - LISA Cluster Map IPTG situação vulnerável 1



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 64 - LISA Cluster Map IPTG situação vulnerável 2



Fonte: Elaborado pela autora

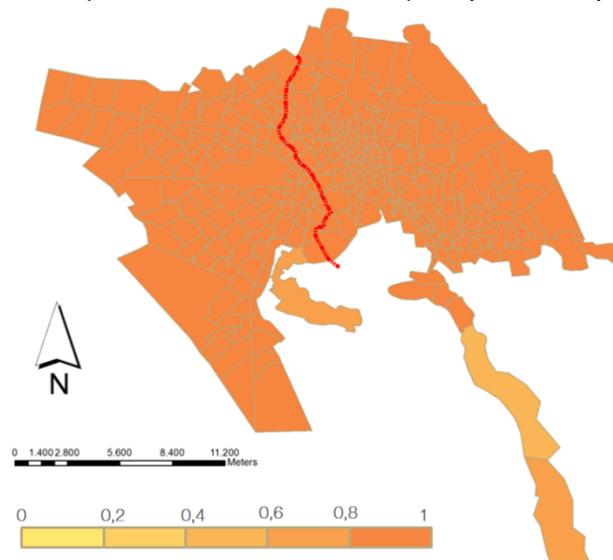
### 5.2.3 Quantificação das relações causa – efeito

A etapa final do diagnóstico é a validação das relações de causa e efeito, a partir das três hipóteses levantadas anteriormente. Para a primeira hipótese se comparou os cenários antes e depois de ter desconectada parte da rede de transportes, para demonstrar como o tempo de viagem aumentou, piorando a possibilidade de acessar às oportunidades de emprego em um tempo máximo de até duas horas. No caso da segunda e da terceira hipótese, utilizou-se a análise bivariada do *Moran Maps*. A análise bivariada representa uma relação de uma variável dependente (Y) em uma determinada zona com uma variável independente (X) nas suas zonas vizinhas.

#### Impacto da Distribuição espacial dos usos nas oportunidades.

A partir da análise deste indicador da distribuição das oportunidades em relação aos tempos de viagem é que se consegue observar como esta foi mais comprometida a medida que os tempos de viagem foram aumentando, por uma mudança na rede de transportes (Figura 65).

Figura 65 - Relação causa – efeito da distribuição espacial nas oportunidades

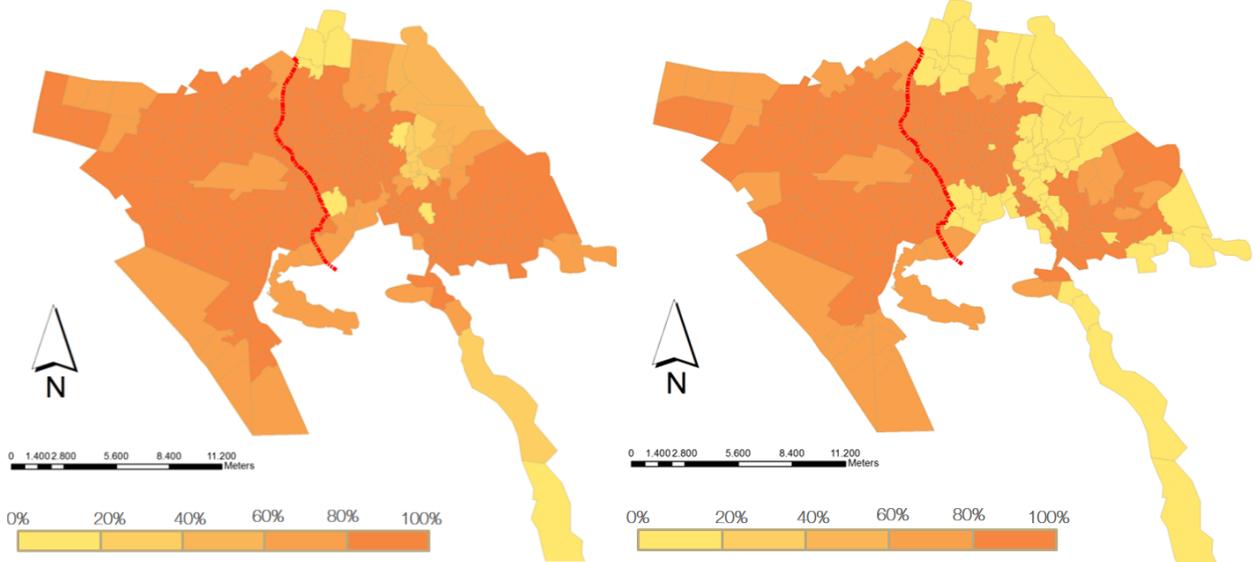


Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 66 representa como o problema de aumentar tempos de viagem diminui as oportunidades para uma população que trabalha, ou seja, o parâmetro inicial definia que qualquer zona das duas cidades poderiam atingir em grande medida a todas as oportunidades de emprego em um tempo de viagem máximo de 120 minutos. Quando houver quebras na rede, estes tempos de viagem aumentaram e mostraram problemas de poder atingir as ofertas

em tempos de até 2 horas, e como a cidade de El Alto, que não sofreu nenhuma quebra do sistema de transporte público, viu comprometidos esses tempos de viagem em certos sectores da periferia de El Alto. Estas zonas não contam com um número significativo de empregos no entorno das suas residências e as pessoas precisam se deslocar até La Paz.

Figura 66 - Relação causa – efeito da distribuição espacial nas oportunidades para situações tipos 1 e 2



Fonte: Elaborado pela autora

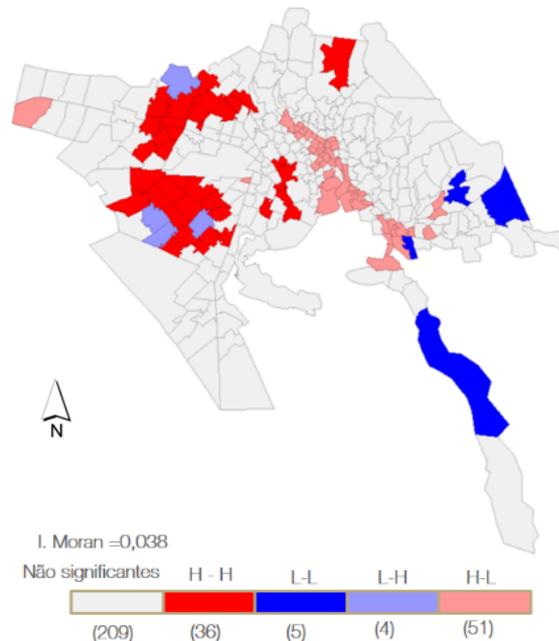
### **Impacto da acessibilidade às oportunidades de emprego, a partir da definição da população mais necessitada do uso de transporte público para se deslocar.**

Esta hipótese determina que a população que está mais distante aos postos de trabalho é a que tem maior necessidade por deslocamento. Para aplicar o *Moran Map*, definiu-se como variável dependente (Y) o indicador das necessidades por deslocamento. Valor único para todas as situações, a mesma considera a distância na rede de transporte entre o domicilio e o trabalho; e como variável independente (X) o indicador de acessibilidade às oportunidades de emprego que foi mudando em relação a desconexão dos laços da rede de transportes, acrescentando os tempos de viagem.

Os mapas bivariados de Moran (Figura 67 e Figura 68) apresentaram índices com baixos valores (0,038; -0,016; 0,058). No entanto, a Figura 67 mostra um aglomerado na cidade de El Alto, que se mantém relativamente constante nos outros dois cenários. Isto pode significar que as necessidades por deslocamento permanecem constantes, mesmo tendo um problema com a acessibilidade aos postos de trabalho. Essas zonas em vermelho ressaltam uma distribuição de usos na qual as residências se encontram distantes dos postos de emprego. Isto confirma que a distribuição espacial dos usos tem influência nas necessidades

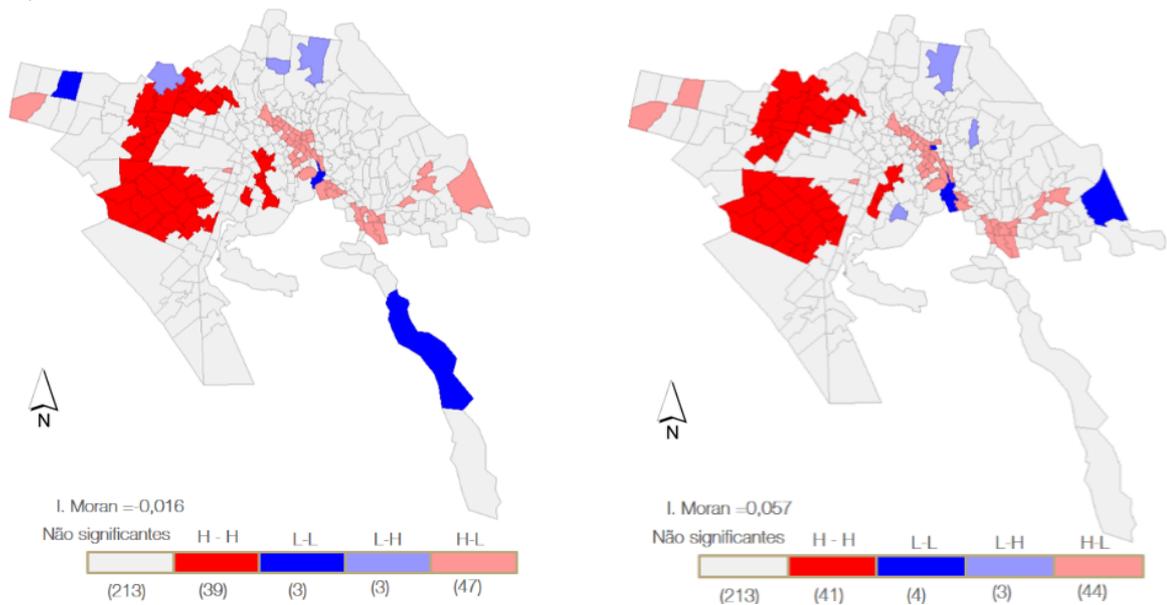
das pessoas por deslocamento, ou seja, quanto mais distantes estiverem dos empregos, maior será a sua necessidade pelo uso de transporte público.

Figura 67 - Mapa de Moran - relação necessidades de deslocamento com acessibilidade às oportunidades - situação atual



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 68 - Mapa de Moran - relação necessidades de deslocamento com acessibilidade às oportunidades - situações vulneráveis 1 e 2



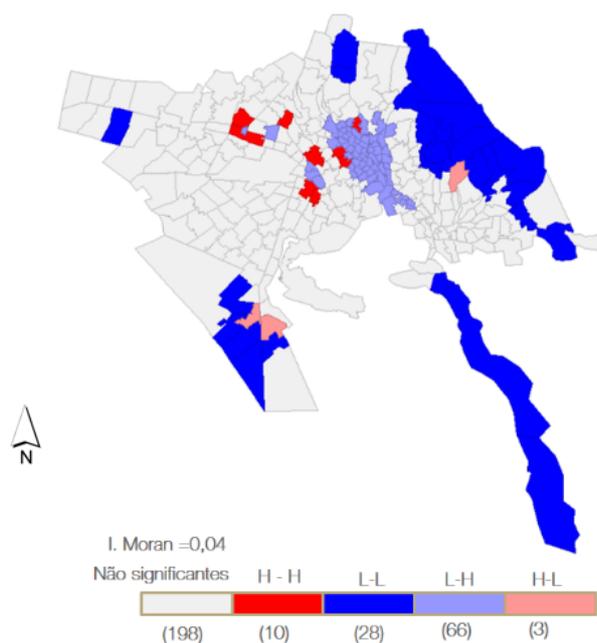
Fonte: Elaborado pela autora

### Impacto da vulnerabilidade da conectividade da de transportes na acessibilidade aos postos de trabalho

A hipótese define que a acessibilidade aos postos de trabalho depende da conectividade da rede de transporte. Dessa forma para poder quantificar esta relação causal, se aplicou o *Moran Map*, destacando os quadrantes que têm relação com o problema. A variável dependente (Y) refere-se à necessidade por deslocamento, enquanto a variável independente (X) é o indicador de acessibilidade às oportunidades de emprego dos vizinhos mais próximos. Os valores do indicador de Moran apresentaram-se, como no caso anterior, baixos, (0,04, -0,01 e 0,07).

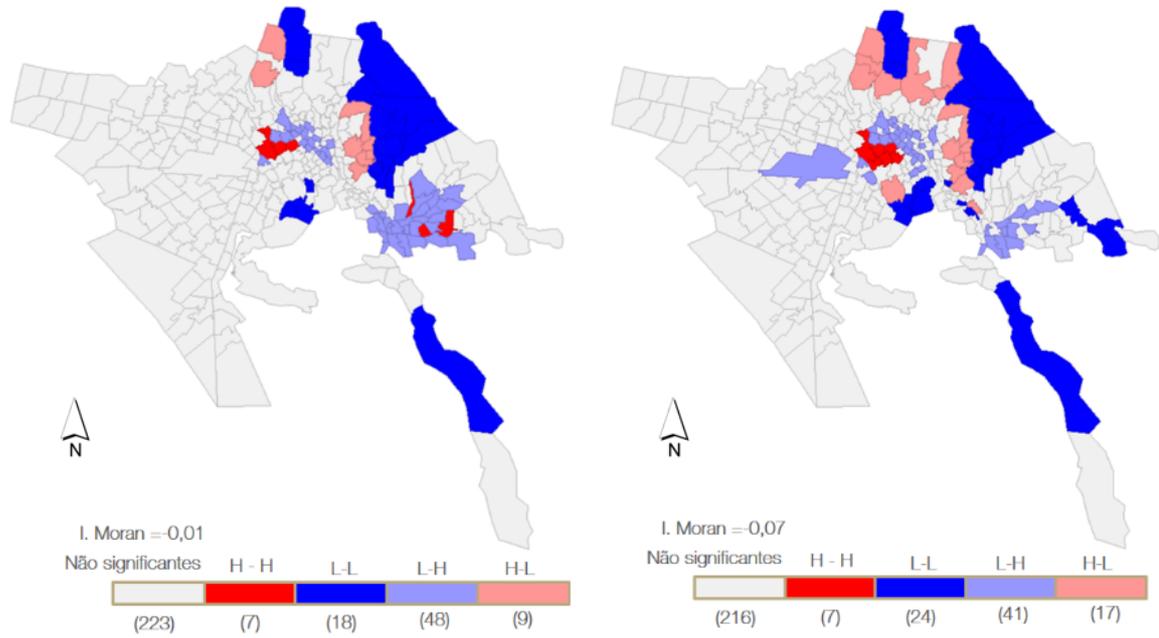
Na Figura 69, mostra-se um aglomerado na região leste, onde as zonas possuem baixa acessibilidade e as suas zonas vizinhas possuem baixa necessidade por transporte público (baixos níveis de quilometro rodado). Este indicador vai se mostrando relativamente constante, mas, na medida em que o sistema de transportes começa a ter uma queda na sua oferta, por conta das disfunções na rede, o entorno próximo começa a manifestar problemas com a acessibilidade a suas oportunidades de emprego (valores *high-low*) (Figura 70). Isto confirma que à medida em que a oferta do sistema cai (problema da vulnerabilidade da rede a afecções externas do próprio sistema), as oportunidades de acessibilidade também mostram uma queda considerável.

Figura 69 - Lisa Map - Relação acessibilidade às oportunidades com necessidades de deslocamento - situação atual



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 70 - Lisa Map - Relação acessibilidade às oportunidades com necessidades de deslocamento – situações vulneráveis tipo 1 e 2



Fonte: Elaborado pela autora

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A vulnerabilidade como um fator de impacto nos subsistemas urbanos é, em grande medida, produto das intervenções realizadas na cidade. La Paz, devido ao crescimento populacional, não conseguiu controlar sua expansão e, devido à falta de solo disponível, a saída foi a expansão para as cidades vizinhas, como é o caso da cidade de El Alto. A hipótese levantada pela literatura é de que a única independência que esta cidade tem com La Paz é, meramente, político - administrativa, já que existe uma forte ligação com a cidade de La Paz, para ajudar a satisfazer as necessidades de sua população. Assim, são significantes os deslocamentos diários das pessoas de El Alto para a cidade de La Paz. Assim, na eventualidade da ocorrência de um desastre em La Paz, o problema da acessibilidade aos postos de trabalho não se restringe apenas ao entorno direto do evento, mas apresenta uma influência, embora de menor magnitude, sobre a população de El Alto.

A contribuição da presente pesquisa é a de ajudar a sistematizar o problema, manifestado anteriormente, através do diagnóstico da vulnerabilidade. Foram propostos cenários com base nos dados de eventos registrados, assim como nas zonas consideradas de alto risco, que pioram uma situação atual que está distante de ser uma situação desejada. Toma-se como base este sistema cujas funções não estavam comprometidas por algum fenômeno externo à sua funcionalidade.

A utilização da parte conceitual da modelagem integrada ajudou na compreensão dos subsistemas urbanos e as relações entre eles, como é o caso dos problemas de oferta e demanda de cada um dos subsistemas e seus impactos nos outros. Desta maneira, foi possível avaliar as relações de dependência entre a vulnerabilidade e a acessibilidade. Os três indicadores aplicados permitem a identificação de problemas em um sistema que funciona dentro dos parâmetros aceitáveis e tem comprometida sua acessibilidade, por conta dos problemas na conectividade nas redes de transportes. Esses problemas foram representados em mapas que ilustraram como estes se agravaram e impactaram na possibilidade das pessoas atingirem as oportunidades de trabalho. A representação ficou mais clara quando houve a aplicação de ferramentas como o indicador de Moran e os *clusters maps*. Isso permitiu identificar ou confirmar como esses indicadores estavam representando os problemas.

Surgiram, no decorrer da elaboração da pesquisa, várias incógnitas que não poderiam ser resolvidas no escopo estabelecido para o trabalho. Uma das mais marcantes é poder modelar o retorno do sistema para uma situação normal, estimando o tempo em que um ele voltaria a operar em condições aceitáveis. Caberia também se pensar na proposição de

cenários considerando modificações no sistema de uso de solo. Através de uma nova distribuição de usos, poder-se-ia tentar gerar maior robustez na rede de transportes, com a finalidade de diminuir o tempo de recuperação do mesmo, ou seja, faz-se necessária uma avaliação da resiliência, considerando o diagnóstico da vulnerabilidade.

Considerando que esta pesquisa analisou apenas as viagens de transporte público, em virtude da limitação da informação, e que 24% das viagens diárias são deslocamentos a pé, surge a questão sobre esses deslocamentos. Seriam produto de uma distribuição heterogênea dos usos, que permite às pessoas realizar essas viagens diárias a pé, ou são produto de uma limitação imposta pela oferta de transporte público, ou os custos de viagem (monetários, conforto, tempos de viagem) estariam limitando as possibilidades dessa população que se desloca diariamente a pé, para atingir oportunidades de emprego em outras zonas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B. R. **Compreensão da problemática da periferização por segregação involuntária no planejamento da acessibilidade e mobilidade em Fortaleza**. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/00003c/00003c00.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.
- ANSELIN, L. **Spatial Data Handling**. Disponível em: <[http://geodacenter.github.io/workbook/1\\_datascience/lab1.html](http://geodacenter.github.io/workbook/1_datascience/lab1.html)>. Acesso em: 26 fev. 2018.
- BARRIENTOS ZAPATA, A. D. La Región Metropolitana Boliviana de La Paz-El Alto. **Cuaderno urbano**, v. 13, n. 13, p. 193–216, dez. 2012.
- BEDREGAL VILLANUEVA, J. F. **Saturno : reflexiones urbanísticas en torno al problema de la incidencia del transporte público en el desarrollo urbano de las ciudades de La Paz y El Alto**. La Paz: Colegio Departamental de Arquitectura de La Paz. Colegio de Arquitectos de Bolivia, 2015.
- BERDICA, K. An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. **Transport Policy**, v. 9, n. 2, p. 117–127, abr. 2002.
- BURGESS, E. W. The Growth of the City: An introduciton to a research project. **The City**, p. 47–62, 1967.
- BUZAI, G. D. **Mapas Sociales Urbanos**. 1ra edicio ed. Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial, 2003.
- CURRIE, G. Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs. **Journal of Transport Geography**, v. 18, n. 1, p. 31–41, jan. 2010.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards n. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.
- DELGADO, J. LA VULNERABILIDAD URBANA. UN ENFOQUE AMBIENTAL Y SISTÉMICO. **Urbana**, p. 24–41, 2002.
- FERREIRA, A.; BERTOLINI, L.; NÆSS, P. Immotility as resilience? A key consideration

for transport policy and research. **Applied Mobilities**, v. 0127, n. February, p. 1–16, 2017.

FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

FRANSEN, K.; NEUTENS, T.; FARBER, S.; DE MAEYER, P.; DERUYTER, G.; WITLOX, F. Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. **Journal of Transport Geography**, v. 48, p. 176–187, 2015.

GARCIA, C. S. H. F. **Strategic assessment of accessibility on urban mobility networks**. Lisboa, 2016. 181 f. Tese (doutorado), Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2016.

GEURS, K. T.; VAN WEE, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127–140, 2004.

HANSEN, W. G. **Accessibility and Residential Growth**. [s.l: s.n.].

HARDY, S. **Atlas de la Vulnerabilidad de la Aglomeración de La Paz** La Paz Plural Editores, , 2015. .

HARRIS, C.; ULLMAN, E. The nature of cities. **The Annals of the America Academy of Political and Social Sciences**, p. CLXLII:7-17, 1945.

HOYT, H. **The structure and growth of residential neighborhood in American cities**. Atlanta: Federal Highway Administration, 1939. .

JABAREEN, Y. Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. **Cities**, v. 31, p. 220–229, 2013.

JENELIUS, E. User inequity implications of road network vulnerability. **Journal of Transport and Land Use**, v. 2, p. 57–73, 2010.

KIRSHEN, P.; RUTH, M.; ANDERSON, W. Interdependencies of urban climate change impacts and adaptation strategies: A case study of Metropolitan Boston USA. **Climatic Change**, v. 86, n. 1–2, p. 105–122, 2008.

LIAO, F.; VAN WEE, B. Accessibility measures for robustness of the transport system. **Transportation**, 2016.

LOPES, André Soares. **Transportes, uso do solo e atividades - modelagem conceitual para**

- o planejamento da acessibilidade urbana.** Fortaleza, 2015. 171 f. Tese (doutorado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza-CE, 2015. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000021/00002174.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- MAGALHÃES, M. T. Q.; YAMASHITA, Y. Repensando o Planejamento. **CETFRU**, n. 4, p. 33, 2009.
- MCDANIELS, T.; CHANG, S.; COLE, D.; MIKAWOZ, J.; LONGSTAFF, H. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 2, p. 310–318, 2008.
- MEEROW, S.; NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: A review. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, p. 38–49, 2016.
- METZGER, P.; ROBERT, J. Elementos de reflexión sobre la resiliencia urbana: usos criticables y aportes potenciales. **Territorios**, v. 28, p. 21–40, 2013.
- O'BRIEN, K.; SYGNA, L.; HAUGEN, J. E. Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway. **Climatic Change**, v. 64, n. 1–2, p. 193–225, 2004.
- PEREIRA MORATÓ, R. Las ciudades bolivianas, ¿cómo entenderlas? Migración y Urbanización. In: WANDERLEY, F. (Ed.). **Estudios urbanos en la encrucijada de la interdisciplinaridad**. La Paz: Plural, 2009. p. 95–116.
- QGIS. **Quantum GIS - User Guide - Release 2.8**. <http://www.qgis.org>: Quantum GIS Development Team, 2016.
- REGGIANI, A.; NIJKAMP, P.; LANZI, D. Transport resilience and vulnerability: The role of connectivity. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 81, p. 4–15, 2015.
- ROMERO LANKAO, P.; QIN, H. Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 142–149, 2011.
- SCHUURMAN, N.; BÉRUBÉ, M.; CROOKS, V. a. Measuring potential spatial access to primary health care physicians using a modified gravity model. **Canadian Geographer / Le Géographe canadien**, v. 54, n. 1, p. 29–45, 2010.
- SILVA, J. da (ed.). **City Resilience Index: Understanding and measuring city resilience**.

New York: The Rockefeller Foundation. ARUP, 2015.

SOARES, Fernanda Duarte Peixoto. **Proposta metodológica de compreensão da problemática das relações entre uso do solo e transportes no planejamento urbano integrado**. Fortaleza, 2014. 115 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza-CE, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000024/0000242f.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

TAYLOR, P.; TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. **Climate and Development**, v. 4:4, n. March 2013, p. 311–326, 2012.

TORRICO FORONDA, E. El nuevo rostro urbano de Bolivia. In: **Ciudades en transformación : disputas por el espacio, apropiación de la ciudad y prácticas de ciudadanía**. La Paz: Plural, 2011.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)**. [s.l: s.n.]

VALE, L. J. The politics of resilient cities: whose resilience and whose city? **Building Research & Information**, v. 42, n. July, p. 37–41, 2014.

VELÁZQUEZ CHÁVEZ, N. F. Los barrios suicidas de La Paz: El nuevo urbanismo en las laderas periurbanas de riesgo de la ciudad de La Paz. **Temas Sociales**, p. 217–236, 2014.