



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIÁS



Mestrado Profissional em
Tecnologia de Processos
Sustentáveis



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

GABRIELA TOBIAS PORTIS

MODELAGEM AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÕES NO MEIO URBANO POR
INFLUÊNCIA DE UM CORREDOR BUS RAPID TRANSIT:
O CASO DE GOIÂNIA NOS ANOS DE 2013 E 2020

Goiânia, 2020.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Gabriela Tobias Portis

MODELAGEM AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÕES NO MEIO URBANO POR
INFLUÊNCIA DE UM CORREDOR BUS RAPID TRANSIT:
O CASO DE GOIÂNIA NOS ANOS DE 2013 E 2020

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS- IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Alex Mota dos Santos.

Goiânia, 2020.

P836m Portis, Gabriela Tobias.

Modelagem ambiental e transformações no meio urbano por influência de um Corredor Bus Rapid Transit: o caso de Goiânia nos anos de 2013 e 2020 / Gabriela Tobias Portis. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
113 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alex Mota dos Santos.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia.

1. Transportes – impacto ambiental. 2. Corredor Rapid Bus Transit (BRT) – Goiânia (GO).
3. Modelagem ambiental. I. Santos, Alex Mota dos (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 388

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica:

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☒ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: | |

Nome Completo do(a) Autor(a): **GABRIELA TOBIAS PORTIS**

Matrícula: **20182011140070**

Título do Trabalho: **MODELAGEM AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÕES NO MEIO URBANO POR INFLUÊNCIA DE UM CORREDOR BUS RAPID TRANSIT**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial:

☒ Não

☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 22/12/2020

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

GOIÂNIA, 22 DE DEZEMBRO DE 2020

(Assinado eletronicamente)

GABRIELA TOBIAS PORTIS

Documento assinado eletronicamente por:

■ Gabriela Tobias Portis, GABRIELA TOBIAS PORTIS - ESTUDANTE - IFG - CÂMPUS GOIÂNIA (10870883000225), em 14/01/2021 11:06:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/12/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 117619

Código de Autenticação: 2a75e499c9



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2811 (ramal: 2811)



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

PARECER 4/2020 - GYN-CMTPS/GYN-DPPGE/CP-GOIANIA/IFG

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

Gabriela Tobias Portis

**MODELAGEM AMBIENTAL E TRANSFORMAÇÕES NO MEIO URBANO POR INFLUÊNCIA DE
UM CORREDOR *BUS RAPID TRANSIT***

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional.
Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Modelagem de Sistemas Ambientais.

Prof(a). Dr(a). ALEX MOTA DOS SANTOS (presidente e orientador – PPGTIPS IFG)

Prof(a). Dr(a). DENIS CASTILHO (avaliador externo - UFG)

Prof(a). Dr(a). ÉDIPO HENRIQUE CREMON (avaliador - PPGTIPS IFG)

Prof(a). Me(a). POLIANA DE SOUSA LEITE (avaliadora externa – UFG)

Prof(a). Dr(a). REGINA CÉLIA BUENO DA FONSECA (suplente- PPGTIPS IFG)

Aprovado em: 22/12/2020

Documento assinado eletronicamente por:

- Denis Castilho, DENIS CASTILHO - OUTROS - UFG (01567601000143), em 18/02/2021 12:29:09.
- Poliana de Sousa Leite, POLIANA DE SOUSA LEITE - OUTROS - IFG - CÂMPUS GOIÂNIA (10870883000225), em 04/02/2021 22:17:23.
- Edipo Henrique Cremon, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/01/2021 16:23:31.
- Alex Mota dos Santos, ALEX MOTA DOS SANTOS - 332105 - PROFESSOR ASSISTENTE DE REGÊNCIA DE CLASSE - UFG (01567601000143), em 22/12/2020 20:27:32.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/12/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 117617

Código de Autenticação: ce75e33938



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2811 (ramal: 2811)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela sabedoria.

Agradeço aos meus pais Cristina e Antônio pelo suporte e incentivo, ao Andersom pelo companheirismo e à toda minha família pelo apoio constante.

Ao Prof. Dr. Alex Mota dos Santos pelas enriquecedoras indicações e sugestões, pela permanente disponibilidade e pela chance de realizar este trabalho.

Aos demais professores do MPTPS-IFG e do IESA-UFG pelo ensino de qualidade.

Aos membros da banca pelas contribuições dadas a este trabalho.

Aos colegas de mestrado pelos momentos e conhecimentos compartilhados.

E a todos que colaboraram de alguma forma para a realização desta dissertação.

Título: Modelagem ambiental e transformações no meio urbano por influência de um corredor Bus Rapid Transit: o caso de Goiânia nos anos de 2013 e 2020.

Autor: Gabriela Tobias Portis.

Orientador: Alex Mota dos Santos.

RESUMO

As questões relativas aos transportes, sob a perspectiva dos impactos ambientais, sociais e econômicos, vêm sendo tratadas com destaque no meio científico. Isso ocorre, pois, os transportes influenciam o ambiente e a qualidade de vida, a exemplo das regiões metropolitanas, que possuem extensas áreas urbanizadas. Desse modo, o objetivo deste trabalho é, a partir da modelagem ambiental, analisar as transformações no meio urbano por influência de um Corredor Bus Rapid Transit (BRT), levando em consideração a dinâmica de alteração na cobertura do solo, a temperatura de superfície e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A dinâmica de alteração na cobertura do solo e análise da mudança espaço-temporal da temperatura foram analisadas através do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto em ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Já a avaliação da pegada de carbono foi realizada através da adaptação do método híbrido DEFRA-ACV, que reúne pontos fortes das duas metodologias. Os resultados revelam a alteração da paisagem urbana influenciada pelo corredor de transportes, sendo as principais a intensificação de áreas cobertas por superfícies comerciais em alguns pontos e a remoção da vegetação ao longo do corredor. Tais alterações na cobertura do solo promoveram também alterações na Temperatura de Superfície da Terra (TST), com a intensificação de altas temperaturas em áreas onde houve o aumento de superfícies pavimentadas e comerciais, e redução da temperatura onde houve o aumento de vegetação. Os resultados para as emissões de GEE revelaram que o uso do BRT como meio de transporte produz uma pegada de carbono menor do que o uso do carro, sendo que o uso de biocombustíveis potencializa essa redução.

PALAVRAS-CHAVE: Impacto ambiental dos transportes. BRT. Mapeamento de cobertura do solo. Clima urbano. Pegada de carbono.

Title: Environmental modeling and transformations in the urban environment by the influence of a Bus Rapid Transit corridor: the case of Goiânia in the years 2013 and 2020.

Author: Gabriela Tobias Portis

Advisor: Alex Mota dos Santos

ABSTRACT

Transport issues, from the perspective of environmental, social and economic impacts, have been treated with prominence in the scientific community. This occurs because transport influences the environment and the quality of life, as in the case of metropolitan regions, which have extensive urbanized areas. Thus, the objective of this work is, from the environmental modeling, to analyze the transformations in the urban environment by the influence of a Bus Rapid Transit (BRT) corridor, considering the dynamics of alteration in the land cover, the surface temperature, and Greenhouse Gas (GHG) emissions. The dynamics of changes in land cover and the analysis of spatiotemporal temperature changes were analyzed through the digital processing of remote sensing images in Geographic Information System (GIS) environments. The carbon footprint assessment was carried out by adapting the hybrid DEFRA-ACV method, which brings together the strengths of the two methodologies. The results reveal the change in the urban landscape influenced by the transport corridor, the main ones being the intensification of areas covered by commercial surfaces in some points and the removal of vegetation along the corridor. Such changes in land cover also promoted changes in the Earth's Surface Temperature (TST), with the intensification of high temperatures in areas where there was an increase in paved and commercial surfaces, and a reduction in temperature where there was an increase in vegetation. The results for GHG emissions revealed that the use of BRT as a means of transport produces a smaller carbon footprint than car use, and the use of biofuels enhances this reduction.

KEYWORDS: Environmental impact of transportation. BRT. Mapping land cover. Urban climate. Carbon Footprint.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma da Organização do Trabalho.....	6
Figura 2. Composição dos municípios da RMG.	14
Figura 3. Evolução do número de cidades que adotaram o sistema BRT	17
Figura 4. Elementos básicos de um sistema BRT segundo o Manual de BRT.....	18
Figura 5. Características dos elementos básicos de um sistema BRT	19
Figura 6. Sistemas BRT na RMG.....	21
Figura 7. Sistema BRT Anhanguera.....	24
Figura 8. Sistema BRT Norte-Sul	25
Figura 9. Ciclo de retroalimentação entre uso do solo e o transporte	29
Figura 10. Sistema Trinário de Vias.....	32
Figura 11. Distribuição percentual das viagens motorizadas e dos poluentes do efeito estufa (CO ₂ eq) emitidos pelos veículos por modo de transporte	39
Figura 12. Fases de uma ACV	45
Figura 13. Trechos da Área de Estudo.	52
Figura 14. Fluxograma da Metodologia para Modelagem das Transformações Espaciais.	53
Figura 15. Fluxograma da Metodologia para Modelagem da Temperatura de Superfície Terrestre.	57
Figura 16. Fluxograma da Metodologia para Quantificação da Pegada de Carbono.....	63
Figura 17. Percurso dos meios de transporte para cálculo da Pegada de Carbono.	65
Figura 18. Limite do sistema para avaliação da pegada de carbono.	66
Figura 19. Cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2013.	70
Figura 20. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2013.	71
Figura 21. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.	71
Figura 22. Uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.	72
Figura 23. Cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2013.	75
Figura 24. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2013.	76
Figura 25. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2020.	76
Figura 26. Cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.	77
Figura 27. Matriz de Confusão/ Exatidão – Trecho 1 - 2013.	79
Figura 28. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 1 - 2020.	79
Figura 29. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 2 - 2013.	79
Figura 30. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 2 - 2020.	80
Figura 31. Mapa de Mudança da Cobertura do Solo - Trecho 1.....	83
Figura 32. Mapa de Mudança da Cobertura do Solo - Trecho 2.....	85
Figura 33. Temperatura de Superfície - Trecho 1 no ano de 2013.....	87
Figura 34. Temperatura de Superfície – Trecho 1 no ano de 2020.....	88
Figura 35. Diferença de Temperatura – Trecho 1.	89

Figura 36. Temperatura de Superfície sobreposta à imagem Google Earth no ano de 2020.....	90
Figura 37. Trecho da Av. Goiás com arborização, e após a remoção das árvores para pavimentação.....	91
Figura 38. Temperatura de Superfície – Trecho 2 no ano de 2013.....	92
Figura 39. Temperatura de Superfície – Trecho 2 no ano de 2020.....	93
Figura 40. Diferença de Temperatura – Trecho 2.	94
Figura 41. Perfil de Temperatura no ano de 2020.....	95
Figura 42. Pegada de carbono por meio de transporte.	99

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Constantes necessárias para o redimensionamento de imagens do satélite Landsat 8.....	58
Tabela 2. Percentual de mudanças ocorridas no Trecho 1 BRT Norte/Sul Goiânia.	84
Tabela 3. Índice de intensidade de carbono para transporte por carro e ônibus.	97
Tabela 4. Índice de intensidade de carbono para transporte com taxa de ocupação de 25% e 75%.	98
Tabela 5. Pegada de Carbono para usuários do sistema BRT Norte-Sul e do carro.	99
Quadro 1. Características do BRT Anhanguera.	23
Quadro 2. Características do BRT Norte-Sul Goiânia	27
Quadro 3. Relação entre Transporte e Uso do Solo	28
Quadro 4. Princípios do TOD – Mobilidade Urbana	31
Quadro 5. Princípios do TOD – Estrutura Urbana.....	31
Quadro 6. Vantagens e Desvantagens das metodologias ACV e DEFRA.	46
Quadro 7. Pontuação para Minimização das Emissões de Ônibus	48
Quadro 8. Detecção de Mudanças na classificação da cobertura do solo.	55
Quadro 9. Meios de transporte e tipos de combustíveis considerados.	97
Quadro 10. Impactos promovidos pelas alterações analisadas.	103

LISTA DE AREVIATURAS E SIGLAS

RMG - Região Metropolitana de Goiânia

BRT - *Bus Rapid Transit*

DOTS - Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável

GEE - Gases de Efeito Estufa

ICU - Ilha de Calor Urbana

DEFRA - *Department for Environment, Food and Rural Affairs*

ACV – Análise de Ciclo de Vida

SR - Sensoriamento Remoto

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

TPC - Transporte Público Coletivo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RMTC - Rede Metropolitana de Transportes Coletivos

CDTC - Câmara Deliberativa de Transportes Coletivos

CMTc - Companhia Metropolitana de Transportes Coletivos

PDG - Plano Diretor de Goiânia

ITDP - *Institute for Transportation and Development Policy*

MPGO - Ministério Público do Estado de Goiás

TOD - *Transit Oriented Development*

PSTM - Plano Setorial de Transporte e da Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

Simob - Sistema de Informações da Mobilidade Urbana

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos

COP - Conferência sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PNMU - Política Nacional de Mobilidade Urbana

UHI - *Urban Heat Islands*

TST - Temperatura de Superfície da Terra

ISO - Organização Internacional para Padronização

GHG - *Greenhouse Gas Protocol*

CCAR - *California Climate Action Registry*

GWP - *Global Warming Potential*

ICCT - *International Council on Clean Transportation*

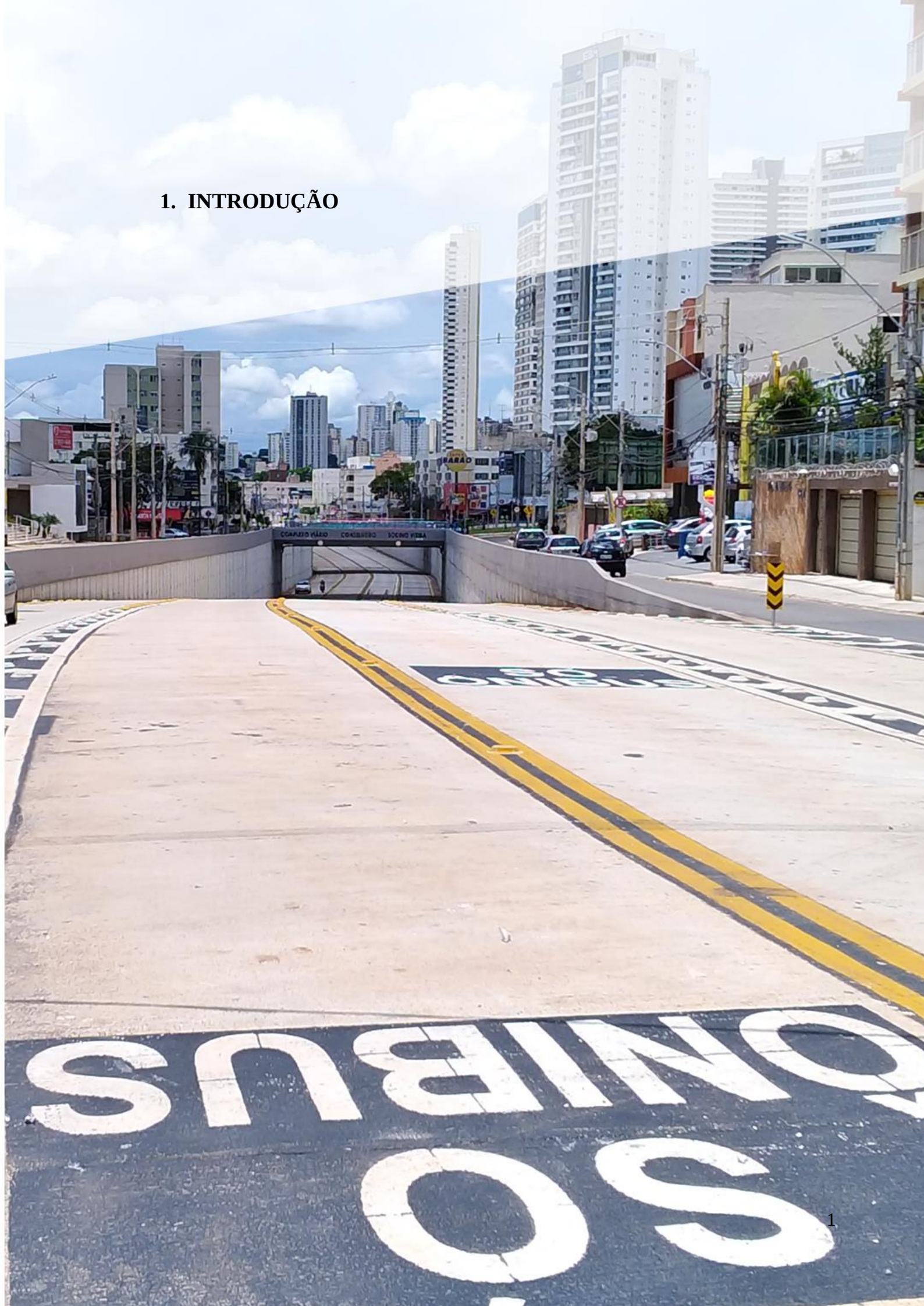
TEEMP - *Transport Emissions Evaluation Models for Projects*

PNT - *People Near Rapid Transit*
SRC - Sistema de Referência de Coordenadas
QGIS - *Quantum Geographical Information System*
SCP - *Semi-Automatic Classification Plugin*
USGS - *United States Geological Survey*
OLI - *Operational Land Imager*
TIRS - *Thermal Infrared Sensor*
DN - *Digital Number*
ToA - Top of Atmospheric
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*
APP - Área de Preservação Permanente
PGV – Polo Gerador de Viagem
IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	5
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	6
2.	CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O TEMA DA PESQUISA	8
2.1	PARTE 1: ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES ESPACIAIS SOB A INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA BRT	11
2.1.1	Caracterização do Sistema de Transporte Público Coletivo da RMG	12
2.1.2	Caracterização do sistema BRT	16
2.1.3	O sistema BRT na RMG	20
2.1.4	Planejamento integrado de Transporte e Uso do Solo	27
2.1.5	Paisagem Urbana	33
2.2	PARTE 2: IMPACTO DO SISTEMA BRT SOBRE O CLIMA URBANO	35
2.2.1	O Clima Urbano	36
2.2.2	Transporte e mudanças climáticas	38
2.2.3	Temperatura de Superfície	40
2.2.4	Abordagens de avaliação de GEE	42
2.2.5	BRT como projeto de redução de GEE	47
3.	CAPÍTULO II – MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1	Área de Estudo	51
3.2	PARTE 1: PROCEDIMENTO PARA MODELAGEM DAS TRANSFORMAÇÕES ESPACIAIS SOB INFLUÊNCIA DO BRT GOIÂNIA	53
3.2.1	Identificação do Padrão de Cobertura do Solo	53
3.2.2	Alterações na Paisagem Urbana	55
3.3	PARTE 2: PROCEDIMENTO PARA MODELAGEM DOS IMPACTOS DO BRT SOBRE O CLIMA URBANO EM GOIÂNIA	56
3.3.1	Temperatura de Superfície	56
3.3.2	Pegada de Carbono	62
4.	CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	PARTE 1: IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA PAISAGEM URBANA SOB INFLUÊNCIA DO BRT	69
4.1.1	Identificação do Padrão de Cobertura do Solo	69
4.1.2	Alterações na Paisagem Urbana	82
4.2	PARTE 2: IMPACTO DO BRT SOBRE O CLIMA URBANO	86
4.2.1	Temperatura de Superfície	86
4.2.2	Pegada de Carbono	96
4.3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	100
5.	CONCLUSÕES	105
	REFERÊNCIAS	107

1. INTRODUÇÃO



Os países em desenvolvimento experimentaram um intenso processo de urbanização a partir do aumento do crescimento populacional que se verificou na última metade do século XX, resultando em grandes concentrações populacionais em um número reduzido de cidades. Essa situação tornou explícito o conflito cotidiano entre aqueles que habitam as cidades pelo uso do espaço urbano. Somando a esse fato o aumento da motorização da população, temos como resultado uma crise materializada pelos congestionamentos, que tem origem na disputa pelo uso das vias urbanas entre os meios de transporte, principalmente para a promoção da mobilidade urbana e da acessibilidade a bens e serviços.

A metropolização das cidades, juntamente com o espraiamento, a conurbação e a segregação urbana aumentam as distâncias e, conseqüentemente, a quantidade e qualidade dos deslocamentos que a população faz diariamente, realizados principalmente a partir do veículo motorizado individual. Tal espraiamento propicia a baixa densidade populacional, o que pode promover a inviabilização econômica do transporte público coletivo como meio de transporte. Diante desse quadro, as cidades vêm enfrentando cada vez mais problemas relacionados à mobilidade urbana, como, por exemplo, a degradação ambiental. Assim, as questões relativas aos transportes vêm sendo tratadas com destaque dentro das preocupações ambientais, sociais e econômicas. Neste contexto, o planejamento urbano tem se tornado cada vez mais complexo, o que reforça a importância das análises espaciais no ambiente urbano.

Assim, a busca pela melhoria da mobilidade urbana constitui, atualmente, um dos principais interesses das administrações públicas de grandes cidades. Neste sentido, tais cidades devem se atentar para a integração entre os sistemas de transportes e o uso do solo, pois, a falta dessa integração, leva a conseqüências como o espraiamento urbano, a poluição, o aumento do consumo de recursos não renováveis, congestionamentos, acidentes, dentre outras, resultando em uma má qualidade de vida.

Essas conseqüências são observadas em Goiânia, cidade objeto do presente estudo e possuidora da maior população da Região Metropolitana de Goiânia (RMG) e do estado de Goiás. A capital passou por um processo de conurbação com cidades vizinhas, cuja principal cidade foi Aparecida de Goiânia, aumentando a distância percorrida por seus habitantes dentro da RMG, sendo que sua distribuição modal prioriza o deslocamento individual motorizado. Além de priorizar o transporte individual motorizado, que é encorajado a partir de ações de infraestrutura viária urbana, os gestores da cidade não garantem um sistema de transporte público coletivo adequado, que precisa ser reestruturado (KNEIB, 2016).

Essa reestruturação é necessária pois, o transporte público é um dos responsáveis pela democratização do acesso à cidade. Uma das alternativas desenvolvidas, que busca a melhoria do transporte público, são os sistemas *Bus Rapid Transit* (BRT), que surgem como uma alternativa não só para a melhoria da mobilidade urbana como também para a reestruturação do modelo espacial das cidades, contribuindo com seu desenvolvimento de forma sustentável.

Nesse sentido, segundo o Ministério das Cidades (2008), o sistema BRT busca integrar os corredores de transporte de alta capacidade com o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), que possui oito princípios. Os quatro primeiros princípios (conectar, adensar, misturar e compactar) estão relacionados com a estrutura urbana (ITDP, 2017-b) e a Parte 1 deste trabalho busca fazer a relação entre o BRT Norte-Sul Goiânia e a estrutura espacial da cidade. Para isso, deve-se identificar os padrões de uso e cobertura do solo e analisar a dinâmica de alteração da paisagem urbana a partir do início das obras de implantação do sistema.

Os quatro últimos princípios do DOTS (caminhar, pedalar, transporte público e mudar) estão relacionados à mobilidade urbana e ao uso de modais mais sustentáveis (ITDP, 2017-b) e a Parte 2 deste trabalho busca relacionar o BRT Norte-Sul Goiânia com as mudanças climáticas. Nesse sentido, são analisadas a temperatura de superfície e as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Dessa forma, esse trabalho busca identificar as alterações iniciadas a partir da implantação desse corredor, assim como a analisar os impactos promovidos por tais alterações. Para tanto, foram levados em consideração alguns autores que desenvolveram pesquisas com análises similares.

A relação existente entre a estrutura espacial das cidades e os sistemas de transportes vem sendo estudada por diversos autores, principalmente no que concerne à ligação entre uso do solo e transportes (WEGENER; FÜRST, 2004; CERVERO, 2014; KNEIB, 2014; KNEIB, 2016). Wegener e Fürst (1999) propõem um ciclo de retroalimentação entre transporte e uso do solo. Os autores afirmam que as decisões de viagem e localização se co-determinam e que, portanto, o planejamento de transporte e uso do solo precisam ser coordenados.

O desenvolvimento do sistema de transporte influencia as decisões de localização dos proprietários, investidores, empresas e famílias (WEGENER; FÜRST, 1999). Destarte, é essencial que haja a identificação da estrutura espacial da cidade para que o planejamento de transporte e uso do solo sejam coordenados. Segundo Kneib (2014), cada escala da estrutura espacial urbana, baseada em seu conjunto de centro e subcentros, deve ser relacionada a

determinados modos de transporte. Isso possibilita a formação de uma rede com integração entre os diversos modos, que potencializa a relação entre transporte e uso do solo.

Nesse sentido, os sistemas BRT implementados em conjunto com o DOTS buscam promover a integração entre os sistemas de transporte coletivo e o desenvolvimento urbano, auxiliado pelo sistema de linhas alimentadoras de transporte coletivo, e propõe o uso misto do solo com alta densidade de ocupação ao longo dos corredores de transporte de alta capacidade. Outra alteração que o sistema BRT pode promover na estrutura urbana é em relação à sua paisagem, uma vez que esses sistemas visam a requalificação de sua área lindeira (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

A paisagem urbana é alterada a partir da implantação da própria infraestrutura física necessária ao funcionamento do sistema, podendo promover melhorias como a renovação do passeio público. Essas alterações na paisagem urbana podem ser observadas a partir de análises espaciais (LUCK; WU, 2002; BERLING-WOLFF; WU, 2004; ASGARIAN et al., 2015). Segundo Berling-Wolff e Wu (2004), as paisagens urbanas exibem a heterogeneidade espacial mais visível de todas as paisagens, e a forma espacial que uma cidade assume afeta os processos físicos, ecológicos e sociológicos. Assim, tais alterações na paisagem influenciam também os padrões de temperatura na cidade, configurando como agentes na formação de ilhas de calor urbana (ICU). Barros e Lombardo (2016) afirmam que a natureza complexa das ICU se relaciona com outros fatores climáticos como a poluição atmosférica, fortes precipitações, alterações nas amplitudes térmicas, dinâmica de uso e cobertura do solo, habitação e saúde pública.

Asgarian et al. (2015) investigam a relação entre a temperatura da superfície urbana e o padrão espacial de cobertura verde. Desse modo, os autores afirmam que as manipulações da superfície terrestre, provocadas pela construção de edifícios e superfícies impermeáveis, como asfalto, calçadas e solo exposto, influenciam a temperatura urbana, contribuindo para a formação de Ilhas de Calor. Lombardo (1985) relaciona regiões com maior concentração de vegetação e próximas à reservatórios de água com declínios acentuados na temperatura. Neste sentido, as alterações na paisagem promovem alterações na temperatura de superfície, uma vez que há a redução das áreas cobertas por vegetação e o aumento de superfícies impermeabilizadas e construídas, que culminam no aumento da temperatura de superfície (ALCOFORADO, 1999; WENG, 2001; VOOGT; OKE, 2003; WENG et al., 2004; YUAN; BAUER, 2007; ALCOFORADO, 2009; WENG, 2009; SRIVANIT; HOKAO, 2012).

Weng et al. (2004) afirmam que a paisagem em ambientes urbanos cumpre várias funções ecológicas, modificando as condições climáticas locais, podendo mitigar os efeitos das ilhas de calor urbano. Mas, podem também afetar a ecologia das cidades de outras maneiras, como a geração de poluentes antropogênicos a partir do aumento das distâncias percorridas (BERLING-WOLFF; WU, 2004). Tais poluentes podem ser quantificados por diversas metodologias já disseminadas e consolidadas. Filimonau et al. (2014) unem duas abordagens para avaliação de GEE, condensando seus pontos fortes em um método que se torna relevante para as estimativas de carbono no transporte de passageiros, o método híbrido DEFRA-ACV.

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tem no transporte individual uma de suas maiores fontes, atingindo a todos. Por conseguinte, questões relacionadas à poluição impõe a necessidade de discussões que apontem para modos mais sustentáveis de deslocamentos, sobretudo em grandes cidades. Todos esses fatores evidenciam a necessidade de se encontrar soluções rápidas e econômicas para melhorar o serviço de transporte público, uma vez que a mobilidade urbana sustentável tem como uma de suas bases esse modal.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

OBJETIVO GERAL

Desse modo, o objetivo deste trabalho é, a partir da modelagem ambiental, analisar as transformações no meio urbano por influência de um Corredor *Bus Rapid Transit* (BRT), levando em consideração a dinâmica de alteração na cobertura do solo, a temperatura de superfície e as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos destacam-se:

Parte 1

- * Ter uma compreensão do universo de dados e informações aplicáveis à análise espacial da dinâmica de alteração na cobertura do solo;
- * Identificar na estrutura espacial urbana lindeira ao BRT as áreas relativas aos diferentes tipos de cobertura do solo, a partir de sua modelagem ambiental;
- * Analisar as alterações na paisagem urbana a partir da implantação do sistema BRT, discutindo suas consequências para o meio ambiente e a cidade.

Parte 2

- * Ter uma compreensão do universo de dados e informações aplicáveis ao clima urbano;
- * Identificar os padrões de temperatura de superfície antes do início da implantação do Sistema BRT e situação atual, analisando as alterações ocorridas, a partir de sua modelagem ambiental;
- * Analisar a diferença entre a Pegada de Carbono de um usuário do sistema BRT e de um usuário de carro como meio de transporte.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho aqui apresentado, como referido, está estruturado em duas partes e organizado conforme a Figura 1.

Figura 1. Fluxograma da Organização do Trabalho.

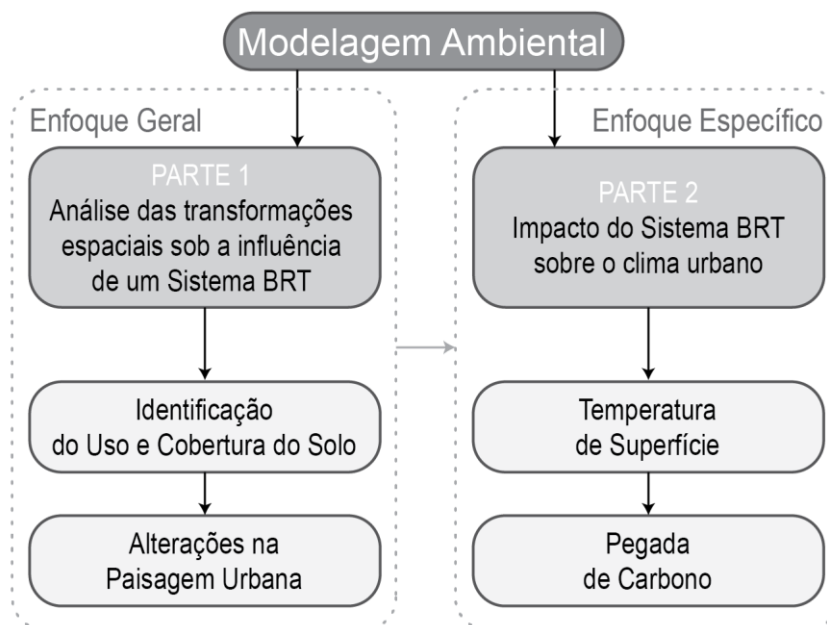


Figura 1. Fluxograma da Organização do Trabalho.

O Capítulo I, intitulado “Revisão Bibliográfica sobre o Tema da Pesquisa” apresenta os conceitos e definições necessários para a compreensão do trabalho. A Parte 1, “Análise das transformações espaciais sob a influência de um Sistema BRT”, traz uma abordagem em que o transporte desempenha um papel fundamental no desenvolvimento territorial urbano. A partir de tal premissa, avalia as alterações que provoca na cobertura do solo e na paisagem urbana, podendo ser um relevante e eficaz instrumento de reestruturação e vetor de expansão

direcionada. Contudo, deve estar inserido no planejamento integrado das cidades, incorporando os princípios da sustentabilidade.

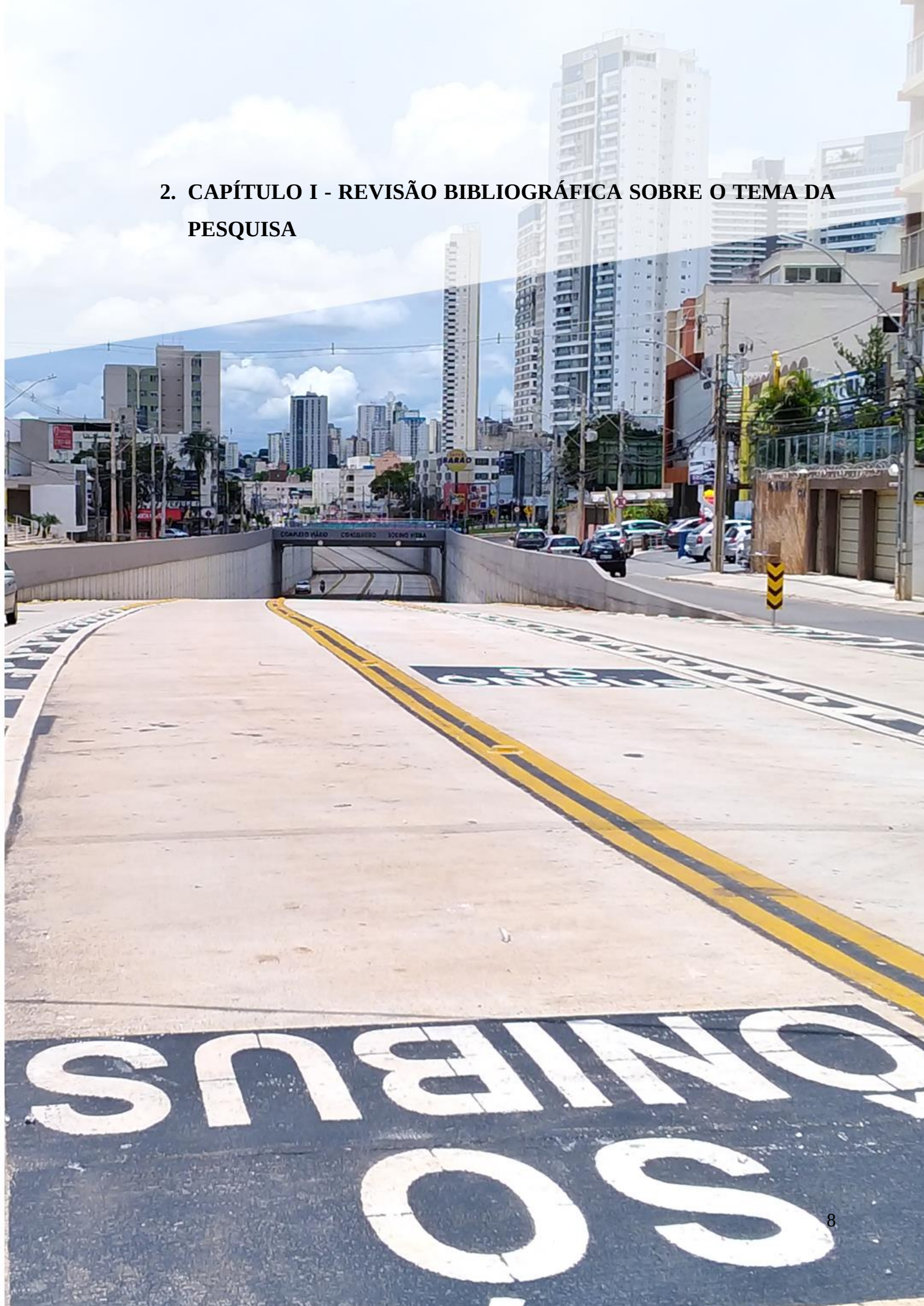
A Parte 2, “Impacto do Sistema BRT sobre o clima urbano”, traz uma abordagem que evidencia a relação entre os sistemas de transportes e a formação de Ilhas de Calor e enquadra o BRT como uma alternativa para a redução das emissões de GEE. Nesse sentido, a identificação dos padrões de temperatura e a quantificação dos Gases de Efeito Estufa se tornam importantes para pensar os impactos ambientais dos transportes nas cidades.

O Capítulo II, intitulado “Material e Métodos” explana as metodologias que são utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, e é dividida, de maneira geral, em 3 etapas: Etapa 1 “Definição da Área de Estudo” que é comum para as duas partes do trabalho e tem o eixo do corredor BRT como ponto de partida; Etapa 2 “Aquisição de dados” e Etapa 3 “Processamento dos dados” que são elaboradas de maneira separada para cada metodologia de cada uma das partes deste trabalho.

Na Parte 1, “Procedimento para Modelagem das Transformações Espaciais Sob Influência do BRT Goiânia”, é aplicado o método para “Identificação do Padrão de Cobertura do Solo” e “Alterações na Paisagem Urbana”. Na Parte 2 “Procedimento para Modelagem dos Impactos do BRT sobre o Clima Urbano em Goiânia” são explanados dois outros métodos, o primeiro para modelagem da “Temperatura de Superfície” e o segundo para a “Pegada de Carbono”.

O Capítulo III “Resultados e Discussão”, traz os resultados obtidos a partir da aplicação das metodologias, buscando relacionar tais resultados ao sistema BRT que está sendo implantado e propor medidas para a adaptação e mitigação dos impactos por ele promovidos.

2. CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O TEMA DA PESQUISA



As análises da dinâmica de alterações no território para o planejamento do ambiente urbano contam com os avanços tecnológicos nas áreas espaciais. Nesse sentido, destaca-se as imagens de Sensoriamento Remoto (SR), como fonte de dados e os Sistemas de Informação Geográficas (SIG), como ferramenta de análise. A análise das transformações espaciais comumente é realizada através de método direto e indireto. No método direto o levantamento de dados é feito diretamente no local, observando as alterações, levantando quantitativos e realizando pesquisas de campo.

Neste trabalho será usado principalmente o método indireto, que é realizado “a alguma distância remota do objeto em apreço (referida como sensoriamento remoto do ambiente)” (JENSEN, 2009, p.1). Fazendo análises a partir de dados obtidos por Sensoriamento Remoto, que, de acordo com Lillesand e Kiefer (1994) pode ser definido como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação. Assim, as possibilidades de aplicação do Sensoriamento Remoto são amplas, ele pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na terra, como, por exemplo, análises do ambiente urbano e dos sistemas de transporte, configurando como uma rica fonte de dados e informações.

Apesar de o uso ainda ser restrito, existem trabalhos que se valem do Sensoriamento Remoto e dos SIG para análises em transporte (DANTAS, et al., 1996; TACO, 1997; DANTAS, et al., 1997; SILVA, 1998; TACO et al., 2000; SILVA, 2006; BRAVO et al., 2016). Segundo Silva (1998), o Sensoriamento Remoto é uma fonte primária de levantamento de dados, que possibilita sua derivação para fontes secundárias, como os SIG, onde são tratadas as informações levantadas. Taco et al. (2000) afirmam que o tratamento de imagens de satélite obtidas por Sensoriamento Remoto desempenha um papel fundamental na análise espacial, e permite a obtenção de informações essenciais para o tratamento dos problemas do transporte.

A temática dos transportes envolve aspectos variados, como os socioambientais, econômicos, culturais e políticos. Por esse motivo, na análise em transportes são utilizados dados de diversas naturezas, que se encontram em formatos distintos, e oriundos de diferentes fontes, sendo os SIG importantes ferramentas para a integração de dados espaciais (raster ou vetorial) e não espaciais. Dessa forma, um dado pode ser observado em diferentes posições do espaço, em diferentes períodos de tempo, desempenhando um papel importante às análises espaço-temporais.

A partir da criação de modelos ambientais, é possível representar os fenômenos em estudo, especializando-os. Dessa forma, a modelagem ambiental, no que concerne a este trabalho, consiste na criação de modelos que relacionam atributos ambientais aos sistemas de transporte, e representem o comportamento de um processo que ocorre no ambiente urbano. Para tanto, os modelos ambientais são processados no ambiente de um SIG, que gera modelos computacionais e produtos em forma de mapas.

Segundo Silva (2006), os transportes são uma temática tipicamente geográfica, uma vez que toda a sua ação se baseia em deslocamento entre pontos num determinado território, onde se evidenciam os impactos destes sistemas. Ainda segundo o autor, os SIG permitem reunir, de forma integrada, informações sobre as infraestruturas do sistema de transportes (rede viária, percursos de transportes públicos, pontos de parada), assim como informação sobre os usos do solo, dados socioeconômicos e localização de equipamentos (SILVA, 2006). Dessa forma, o SR e o SIG se tornam ferramentas indispensáveis na identificação e análise dos impactos ambientais promovidos pelo setor de transportes.

Além disso, segundo Vasconcellos (2006), a preocupação com o meio ambiente está relacionada ao agravamento de algumas condições ambientais, decorrentes dos processos de industrialização e urbanização. Nesse sentido, a revisão bibliográfica aqui apresentada, busca relacionar os impactos ambientais promovidos pelo processo de urbanização com a mobilidade urbana e os sistemas de transporte.

Dessa forma, a circulação como uma das funções sociais da cidade tem nos sistemas de transporte sua efetivação, sendo uma atividade necessária à sociedade e que promove uma grande quantidade de benefícios. No entanto, segundo Vasconcellos (2006), o transporte implica em alguns efeitos negativos, aos quais chama de “impactos”, tendo esse termo uma conotação negativa no que concerne à relação entre transporte e ambiente. O autor separa esses impactos em dois grandes grupos:

- * Consumo de recursos naturais: que podem ser renováveis (como a borracha) ou não renováveis (como o espaço e o petróleo).
- * Impactos negativos sobre a vida das pessoas: consequências para a saúde das pessoas e da terra (acidentes de trânsito, poluição, rompimento de relações sociais) ou para a qualidade dos deslocamentos (congestionamentos).

Vasconcellos (2006) separa, ainda, os estudos desses impactos segundo dois enfoques:

- * O enfoque geral: que faz uma abordagem a partir do desenvolvimento urbano e suas implicações, no qual as análises focam principalmente no uso e ocupação do solo (a distribuição física das atividades e suas relações com a demanda de transportes).
- * O enfoque específico: que faz uma abordagem específica sobre um ou mais impactos, normalmente correlacionados (como o estudo dos congestionamentos, da poluição e do consumo de combustíveis).

Assim, a Parte 1 dessa revisão bibliográfica trará um enfoque geral, buscando bases conceituais para analisar as transformações espaciais sobre a influência do BRT Norte-Sul Goiânia (tratando sobre alterações no uso do solo e na paisagem). Já a Parte 2 trará um enfoque mais específico, analisando os impactos do sistema BRT sobre o clima urbano (suas influências sobre a temperatura e as emissões de GEE).

2.1 PARTE 1: ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES ESPACIAIS SOB A INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA BRT

O crescimento populacional nas cidades, verificado nas últimas décadas, juntamente com o aumento do uso de veículos motorizados, permitiram os deslocamentos diários por grandes distâncias. Isso deu base a um desenvolvimento urbano, acelerado, desordenado e com grande ampliação das áreas urbanas. Neste contexto, Silva et al. (2016) afirmam que atualmente o desafio do planejamento das cidades está em minimizar os efeitos negativos da combinação do excessivo espalhamento urbano com a sua dependência em relação aos modos de transporte motorizados. O autor afirma ainda que “o que se desenha como alternativa para o planejamento de cidades sustentáveis hoje é a introdução efetiva, no território, do conceito de mobilidade sustentável, que vai além do planejamento setorializado, seja ele dos usos do solo, da circulação, ou dos transportes” (SILVA et al., 2016, p. 82).

Em grande parte das cidades brasileiras, o agravamento das externalidades associadas aos padrões de mobilidade urbana têm sido fonte de preocupações, isso porque esses padrões estão centrados no aumento do uso de veículos individuais motorizados. O aumento das taxas de motorização, em geral, provoca a redução do uso de modais mais sustentáveis, como a caminhada, a bicicleta, ou o transporte público. Como agravante tem-se a fragilização dos sistemas de transporte público coletivo, que vem perdendo usuários principalmente devido à qualidade do serviço, custo, segurança e conforto. Paradoxalmente, é quase unânime entre os pesquisadores a opinião de que um ambiente urbano possuidor de um padrão de mobilidade

sustentável, acessível e de qualidade, que proporcione melhor qualidade de vida a seus habitantes, passa necessariamente pela valorização do transporte público coletivo (TPC).

Segundo o Ministério das Cidades “o transporte público é um recurso crítico para que os cidadãos acessem efetivamente bens e serviços através da extensão das cidades dos dias de hoje” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008, p. 1). Nesse sentido o Ministério das Cidades (2008) afirma que o *Bus Rapid Transit* (BRT) se encontra entre um dos mecanismos de custo mais eficiente para as cidades desenvolverem rapidamente um sistema de transporte público que possa se expandir por uma rede completa, bem como promover um serviço rápido e de qualidade.

O BRT é considerado uma das soluções mais eficientes para oferecer serviços de transporte em áreas urbanas, pois tem um custo de implantação e operação relativamente baixo se comparado a outros modais de transporte (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Por esse motivo, sua aplicação se tornou mais viável, principalmente em países em desenvolvimento, com cidades com pouca renda.

Segundo o Manual de BRT (2008), a integração do BRT com o transporte não-motorizado, políticas de uso do solo e medidas de restrição do uso do carro dão base para um ambiente urbano que proporcione melhor qualidade de vida para seus habitantes, desenvolvendo uma mobilidade mais eficiente e sustentável. Para que esta integração ocorra, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (lei nº 12.587/12) tem como uma de suas diretrizes a priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado, visando garantir o acesso dos cidadãos às cidades e proporcionar qualidade de vida e desenvolvimento econômico.

A análise do desenvolvimento urbano integrado passa necessariamente pela identificação da estrutura espacial urbana. No caso da implantação de um sistema BRT várias transformações são iniciadas, principalmente com relação ao ambiente urbano em seu entorno, e por isso, para o desenvolvimento deste trabalho será feita a identificação das alterações na paisagem urbana da cidade de Goiânia, tendo o corredor BRT Norte-Sul como estruturador de parte do território urbano e potencial indutor do desenvolvimento urbano integrado.

2.1.1 Caracterização do Sistema de Transporte Público Coletivo da RMG

O sistema de Transporte Público Coletivo (TPC) se constitui como um elemento básico para um bom desenvolvimento urbano e da qualidade de vida daqueles que habitam os espaços

urbanos. Nesse sentido, o serviço de TPC é essencial para o desenvolvimento de condições adequadas de mobilidade urbana, sobretudo em regiões metropolitanas, constituindo um importante aspecto para a inclusão social e a democratização do acesso a cidade. Na Região Metropolitana de Goiânia (RMG) essa situação não é diferente, e a tendência à locomoção individualizada, em detrimento do desenvolvimento dos sistemas de transportes coletivos, tem constituído uma barreira à democratização do uso de seu ambiente urbano. Na capital, o município de Goiânia (Figura 2), que é o mais populoso do estado de Goiás e possuía, segundo o último censo, 1.393.575 habitantes (IBGE, 2010), o cenário de conflito é preocupante.

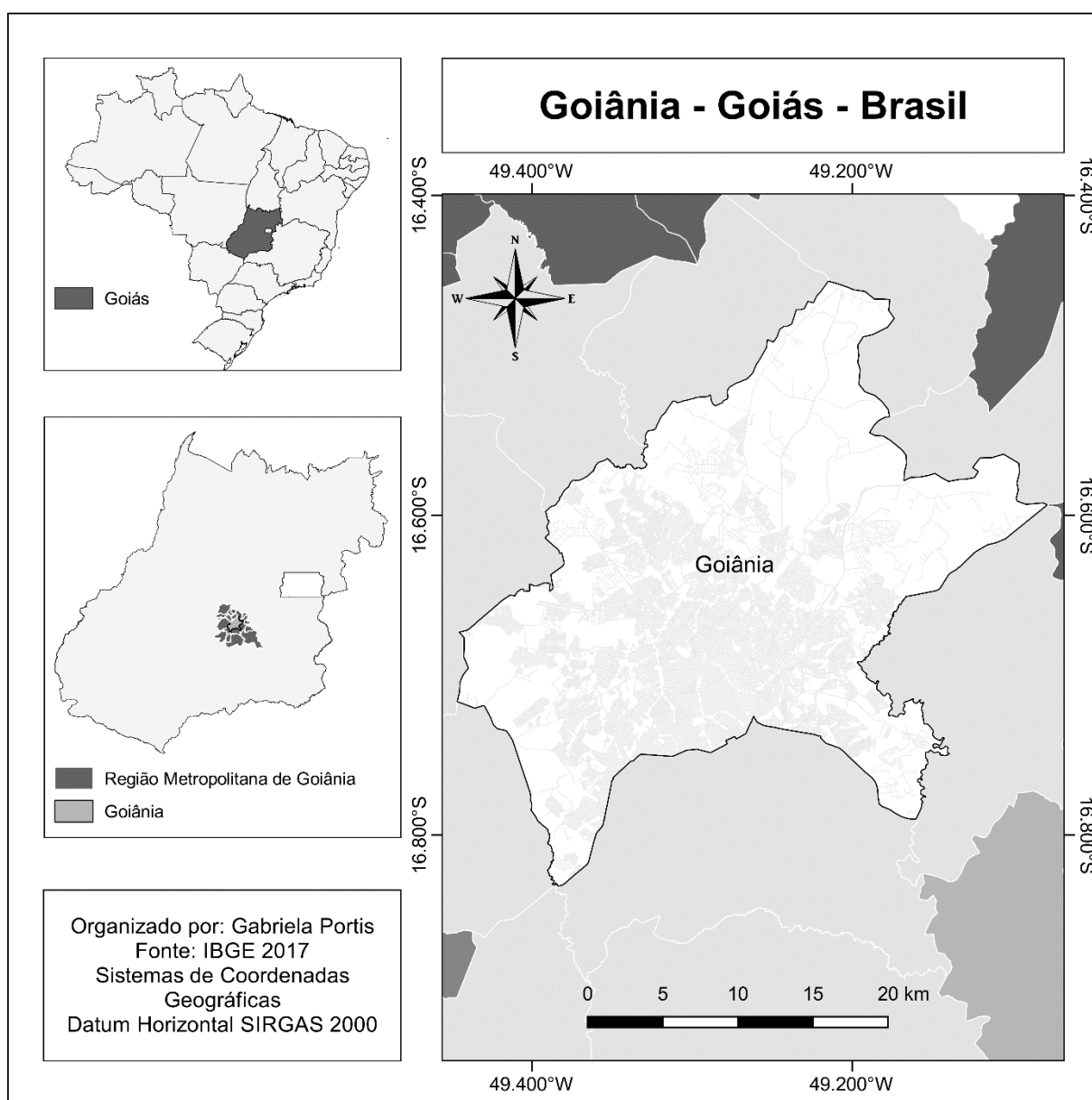


Figura 2: Localização do Município de Goiânia, Goiás, Brasil.

Sua região metropolitana foi criada pela Lei Complementar Estadual nº 27, de 30 de dezembro de 1999, possuindo onze municípios, visando integrar os serviços públicos oferecidos

aos seus habitantes (GOIÁS, 1999). A composição da RMG (Figura 3) sofreu modificações ao longo do tempo, sendo a última em 2019, passando a ser constituída por vinte e um municípios, segundo a alteração realizada pela Lei Complementar nº 149/2019, e possui uma população de 2.206.134 habitantes segundo o censo do IBGE (2010).

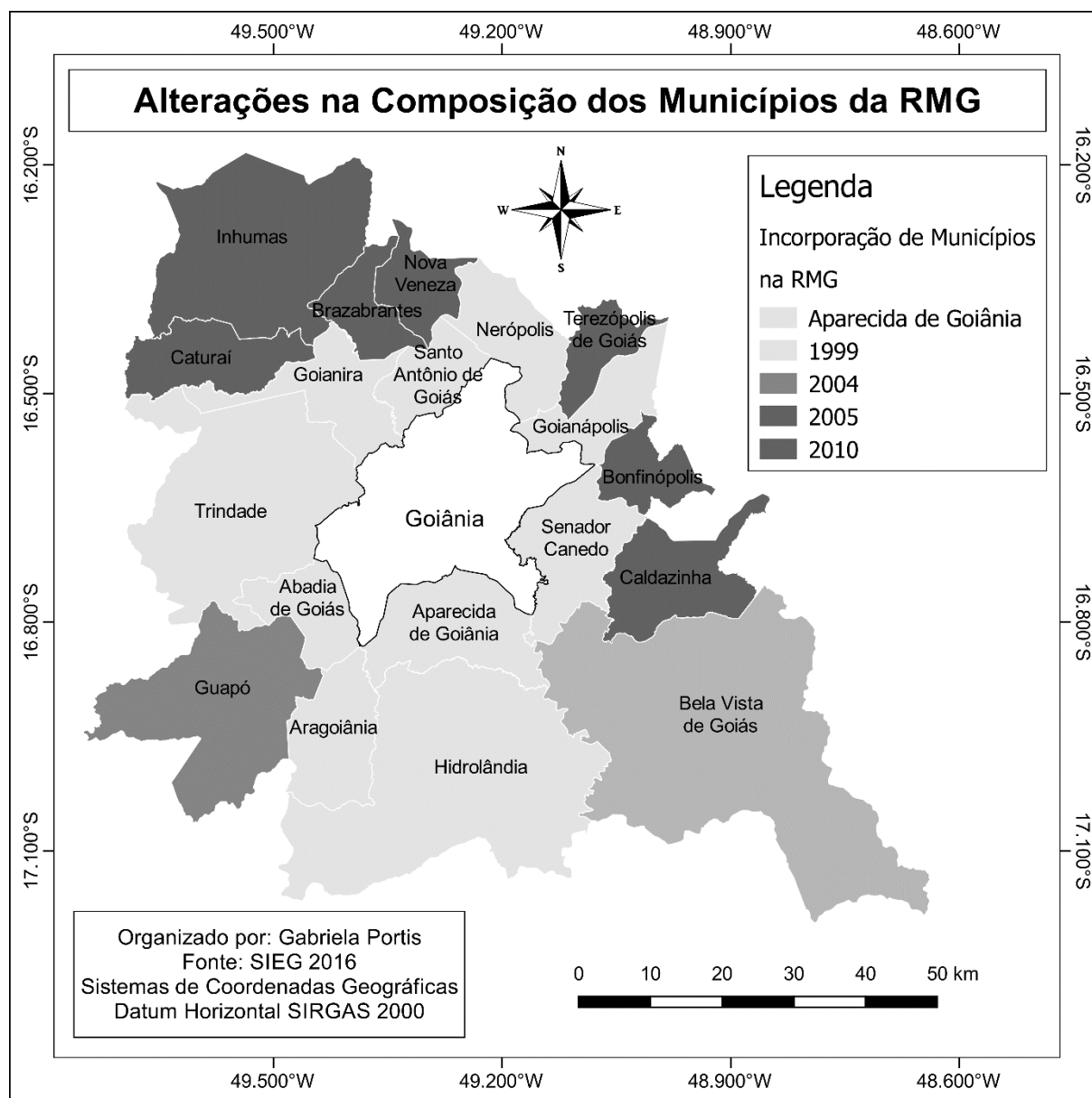


Figura 2. Composição dos municípios da RMG.

Segundo o Plano de Desenvolvimento Integrado da RMG (2017), a Lei Complementar nº 27/1999 “permite a efetiva existência de um sistema metropolitano de transportes, com linhas planejadas e integradas, a fim de garantir o funcionamento de um sistema de transporte coletivo em toda a RMG e, por conseguinte, assegurar o deslocamento por toda a região metropolitana” (PDI, 2017, p.13). Para tanto, a referida lei, instituiu a Rede Metropolitana de Transportes Coletivos (RMTC), “unidade sistêmica regional composta por todas as linhas e serviços de

transportes coletivos, de todas as modalidades ou categorias, que servem ou que venham a servir a RMG” (GOIÁS, 1999); a Câmara Deliberativa de Transportes Coletivos (CDTC), responsável pela organização, o planejamento, o gerenciamento, o controle e a fiscalização dos serviços de transportes coletivos, para fins de sua harmonização no contexto sistêmico da rede única instituída; e a Companhia Metropolitana de Transportes Coletivos (CMTC), entidade gestora da RMTC, sob a forma de empresa pública, constituída pelo estado de Goiás e pelos municípios, sob a liderança do município de Goiânia (GOIÁS, 1999).

Coadunando com a lei anteriormente citada, uma das diretrizes do Plano Diretor de Goiânia (PDG), é garantir a manutenção da RMTC, enquanto conceito fundamental para o planejamento, operação e gestão dos serviços de transporte público, de forma unificada (GOIÂNIA, 2007). Dos municípios atendidos pela RMTC, quatro possuem algum grau de conurbação com Goiânia: Aparecida de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Goianira, estes municípios fazem a ligação e integração metropolitana formando eixos de expansão e dispersão ao sul, oeste, leste e noroeste da região (CUNHA, 2017). Segundo a RMTC (2013):

“A RMTC possui, como atributo fundamental, o conceito de unidade sistêmica, que no contexto do transporte coletivo urbano representa o tratamento unificado das questões afetas aos deslocamentos da população pelos meios coletivos de transporte, em tudo aquilo que conforma um sistema de transporte, ou seja, na sua dimensão físico-espacial (vias, terminais, corredores), logística (linhas, trajetos, horários, meios e forma de integração), de modelo de operação e de acesso do passageiro ao serviço (tarifas, forma de pagamento, forma de controle)” (RMTC, 2013, p.5).

Sendo assim, ela é responsável pela promoção das interações espaciais em grande parte da RMG e conseqüentemente pelas suas características, que podem promover a qualidade do serviço. A RMTC possui 293 linhas de ônibus, com sua integração físico-tarifária, que ocorre em 21 terminais de integração (RMTC, 2018). Nos bairros periféricos circulam os ônibus das linhas alimentadoras; os ônibus das linhas de eixo circulam nas vias arteriais; e os ônibus das linhas semiurbanas circulam nas rodovias que fazem conexão com os municípios vizinhos à Goiânia (RMTC, 2018). Os corredores de transporte coletivo estão inseridos nas vias arteriais, “dentre os quais se destacam: Corredor Estrutural Leste-Oeste, desenvolvido na Avenida Anhanguera; Corredor Estrutural Norte-Sul, desenvolvido nas avenidas Goiás, 84, 90, 4ª Radial e Rio Verde” (RMTC, 2018).

Dessa maneira, o PDG estrutura o sistema de TPC em um sistema tronco-alimentado, em que as linhas troncais são alimentadas pelas linhas que se conectam aos bairros. Segundo Kneib (2016), ele segue preceitos do Novo Urbanismo, adotando o modelo de cidade compacta, tendo o

poliocentrismo como alternativa à organização do crescimento da cidade. Ele também concentra os maiores adensamentos em seus eixos de desenvolvimento, os quais visa dotar de corredores de transporte público de alta capacidade (GOIÂNIA, 2007).

O objetivo da política para a mobilidade, acessibilidade e transporte de Goiânia é:

“Promover ações de forma a garantir a mobilidade urbana sustentável, proporcionando o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, eliminando ou reduzindo a segregação espacial, garantindo o desenvolvimento urbano, contribuindo para a inclusão social, favorecendo a sustentabilidade socioambiental e a acessibilidade universal.” (GOIÂNIA, 2007, p. 12).

Dessa forma, em seu artigo 82, o PDG visa promover um maior ordenamento das funções urbanas, integrando o uso do solo ao sistema de mobilidade urbana (GOIÂNIA, 2007). Para isso, ele institui os Eixos de Desenvolvimento, apoiados na rede estrutural de transporte coletivo, sendo composto por: Eixos de desenvolvimento Preferenciais e Eixos de Desenvolvimento Exclusivos. Esses últimos referentes aos eixos de transporte coletivo com corredores exclusivos, cujos principais componentes são o Corredor Anhanguera e o Corredor Goiás; eixos esses possuidores dos sistemas BRT.

2.1.2 Caracterização do sistema BRT

As autoridades de transporte e planejamento comunitário em todo o mundo estão examinando a melhoria do transporte público na abordagem de suas questões de mobilidade urbana (LEVINSON, et al., 2003). Esse interesse renovado em transporte público reflete preocupações que vão desde a proteção ambiental ao desejo de alternativas para ruas congestionadas e a expansão urbana. Desse modo, várias cidades pelo mundo vêm adotando o sistema BRT como alternativa para mitigar tais problemas. Segundo o *Bus Rapid Transit Planning Guide*, do *Institute for Transportation and Development Policy* (ITDP, 2017-a):

“Como o BRT é mais barato de planejar e implementar e pode ser feito em prazos relativamente curtos para projetos de infraestrutura, o BRT pode ser uma ferramenta eficaz e eficiente para atingir a meta de fornecer transporte público de alta qualidade para todas as pessoas. Ao exigir menos tempo e dinheiro para a implementação, o BRT capacita as cidades a se tornarem resilientes e adaptáveis ao crescimento urbano e às mudanças climáticas. Associando essa implementação ao envolvimento da comunidade local em áreas não servidas, as cidades podem garantir acesso e mobilidade equitativos aos residentes que mais precisam de transporte público de alta qualidade.” (ITDP, 2017, p. 3).

Os sistemas BRT modernos tiveram sua primeira implementação em Curitiba (Brasil) com o sistema “metrô de superfície”, inaugurado em 1974. A cidade inicialmente receberia um sistema de metrô ferroviário, mas a falta de recursos incentivou o desenvolvimento de um sistema economicamente mais viável, o BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Mas, a crescente replicação dos sistemas BRT pelo mundo, começou a ser observada a partir dos anos 2000 (Figura 4), com a implantação do TransMilenio, em Bogotá (Colômbia), que marcou o início de uma nova fase na percepção e desenvolvimento do conceito BRT, como pode ser observado na Figura 4.

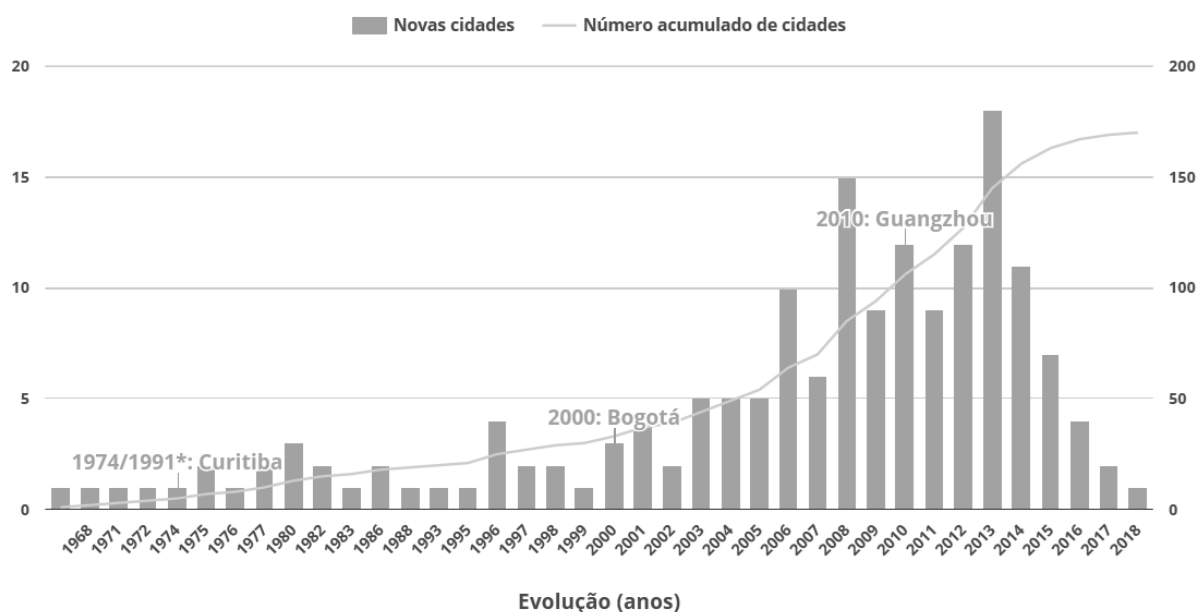


Figura 3. Evolução do número de cidades que adotaram o sistema BRT. Fonte: Global BRT Data, 2019 (<https://www.brtdata.org/panorama/year>).

Atualmente a *Global BRT Data* (2019) reúne informações sobre esses sistemas pelo mundo e, segundo seus dados, 170 cidades no mundo possuem sistemas BRT, atendendo a mais de 33 milhões de passageiros por dia. Esses números mostram a expansão da adoção global desse sistema. Os dados para a América Latina são de 55 cidades que atendem mais de 20 milhões de passageiros, um total de 61% do público mundial. Já o Brasil possui 82 corredores, que atendem a um total de 10.681.654 passageiros por dia, que começou a se expandir a partir da implantação em Curitiba (*GLOBAL BRT DATA*, 2019).

Segundo o ITDP (2017), este sistema integrado utiliza ônibus especializados em pistas exclusivas para transportar passageiros de maneira rápida e eficiente até seus destinos, oferecendo a flexibilidade para atender a uma variedade de condições locais. Os elementos que constituem o sistema de BRT podem ser facilmente adaptados para as necessidades de cada

ambiente físico em que é implantado, incorporando tecnologias de ponta e de baixo custo que atraem mais passageiros (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Em resumo, o BRT é um sistema integrado de instalações, serviços e comodidades que melhoram coletivamente a velocidade, a confiabilidade e a identidade do trânsito de ônibus (LEVINSON et al., 2003). As principais características que levam a sua adoção como sistema de transporte são seus menores custos de desenvolvimento e maior flexibilidade operacional em comparação com o trânsito ferroviário (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Além disso, é uma alternativa viável para a reconstrução de grandes avenidas, pode ser uma parte integrante da estrutura da cidade e servir como um catalisador para o desenvolvimento urbano.

Segundo o Manual de BRT (2008), os elementos que constituem o conceito de BRT incluem: infraestrutura de qualidade, operações eficientes, arranjos institucionais e de negócios eficazes e transparentes, tecnologia sofisticada e excelência em *marketing* e serviço ao usuário (Figura 5).

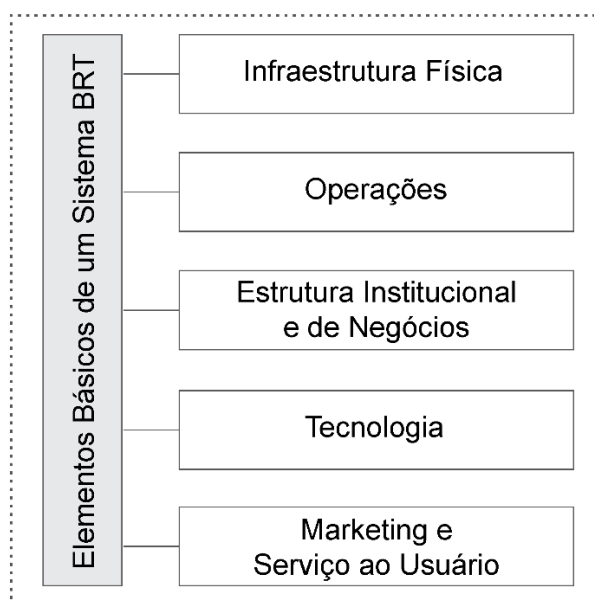


Figura 4. Elementos básicos de um sistema BRT segundo o Manual de BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Esses elementos possuem características adaptáveis ao porte da cidade, número de usuários, infraestrutura e quantidade de recursos disponíveis. Essas características estão apresentadas a seguir (Figura 6). Reunidas, resultam em tempos de viagem mais rápidos, proporcionando menores custos operacionais, menor consumo de combustível, maior segurança, maior confiabilidade e benefícios para a gestão do desenvolvimento do território (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Infraestrutura Física	Vias de ônibus segregadas
	Existência de uma rede integrada de corredores e linhas
	Ambiente de estações moderno e melhorado
	Estações que propiciam acesso em nível ao veículo
	Terminais e estações especiais para facilitar a transferência
	Melhoramento no espaço público lindeiro ao corredor
Operações	Serviços rápidos e frequentes
	Ampla capacidade para demanda de passageiros
	Embarques e desembarques rápidos
	Cobrança e controle de pagamento antes do embarque
	Integração tarifária entre linhas e serviços alimentadores
Estrutura Institucional e de Negócios	Entrada no sistema restrita a operadores prescritos
	Licitação competitiva e processos transparentes
	Gerenciamento eficiente
	Cobrança de tarifas operada por entidade independente
	Controle de qualidade feito por entidade independente
Tecnologia	Tecnologias veiculares de baixas emissões
	Tecnologias veiculares de baixos ruídos
	Cobrança e verificação de tarifas automatizada
	Sistema de gerenciamento por controle centralizado
	Prioridade semafórica ou separação física nas interseções
Marketing e Serviço ao Usuário	Sistema com identidade de mercado distinta
	Excelência em serviços ao usuário
	Acesso entre o sistema e demais opções de modais
	Acesso para Portadores de Necessidades Especiais

Figura 5. Características dos elementos básicos de um sistema BRT (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

Esse mesmo manual detalha ainda que as características mínimas para se ter um sistema de “BRT completo” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008), são:

- * Vias de ônibus segregadas, ou faixas exclusivas;
- * Localização das vias de ônibus no canteiro central;
- * Existência de uma rede integrada de linhas e corredores;
- * Estações modernas, seguras e abrigadas;

- * Estações oferecem acesso em nível entre a plataforma e o veículo;
- * Terminais e estações especiais para facilitar a integração física entre linhas troncais, serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa;
- * Cobrança e controle de tarifas antes do embarque;
- * Integração física e tarifária entre linhas e serviços alimentadores;
- * Entrada no sistema restrita a operadores prescritos;
- * Identidade característica de marketing do sistema.

Assim, os passos para implementação do sistema são divididos em cinco grandes áreas de planejamento para a realização de um sistema de BRT bem-sucedido: Preparação do projeto, Projeto Operacional, Projeto Físico, Integração, Plano de Implementação e Avaliação e Implementação (ITDP, 2017). Logo, para se implementar um sistema de BRT completo adequadamente é necessário que ele contenha as características mínimas citadas, e que siga tais passos no processo de planejamento e implantação. Assim, o desempenho e a qualidade do sistema podem ser garantidos.

A EMBARQ (2013) aponta alguns indicadores de desempenho comuns para sistemas BRT: demanda de passageiros (o número de viagens de passageiros por dia realizadas no sistema); carga máxima (o número máximo de passageiros transportados por hora/sentido); velocidade comercial (a velocidade média de operação do ônibus no corredor); produtividade operacional (o número de embarques diários de passageiros para cada quilômetro operacional diário de ônibus); produtividade de capital (o número de embarques de passageiros por ônibus por dia). Esses indicadores auxiliam na avaliação de tais sistemas, sendo esta essencial para a análise de seus possíveis impactos.

2.1.3 O sistema BRT na RMG

Como já citado anteriormente, e de acordo com o PDG (Goiânia, 2007), o sistema BRT em Goiânia foi e está sendo implantado nos principais Eixos de Desenvolvimento Exclusivo: o Corredor Anhanguera e o Corredor Goiás. Sendo que a atual estruturação do transporte coletivo em Goiânia, tem sua origem na implantação do Eixo Anhanguera, como parte de um conjunto de medidas voltadas para a melhoria do transporte coletivo no Aglomerado Urbano de Goiânia. Por serem conurbados com a capital, os municípios de Aparecida de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Goianira, são atendidos por uma extensão dos sistemas BRT previsto no PDG (Figura 7).

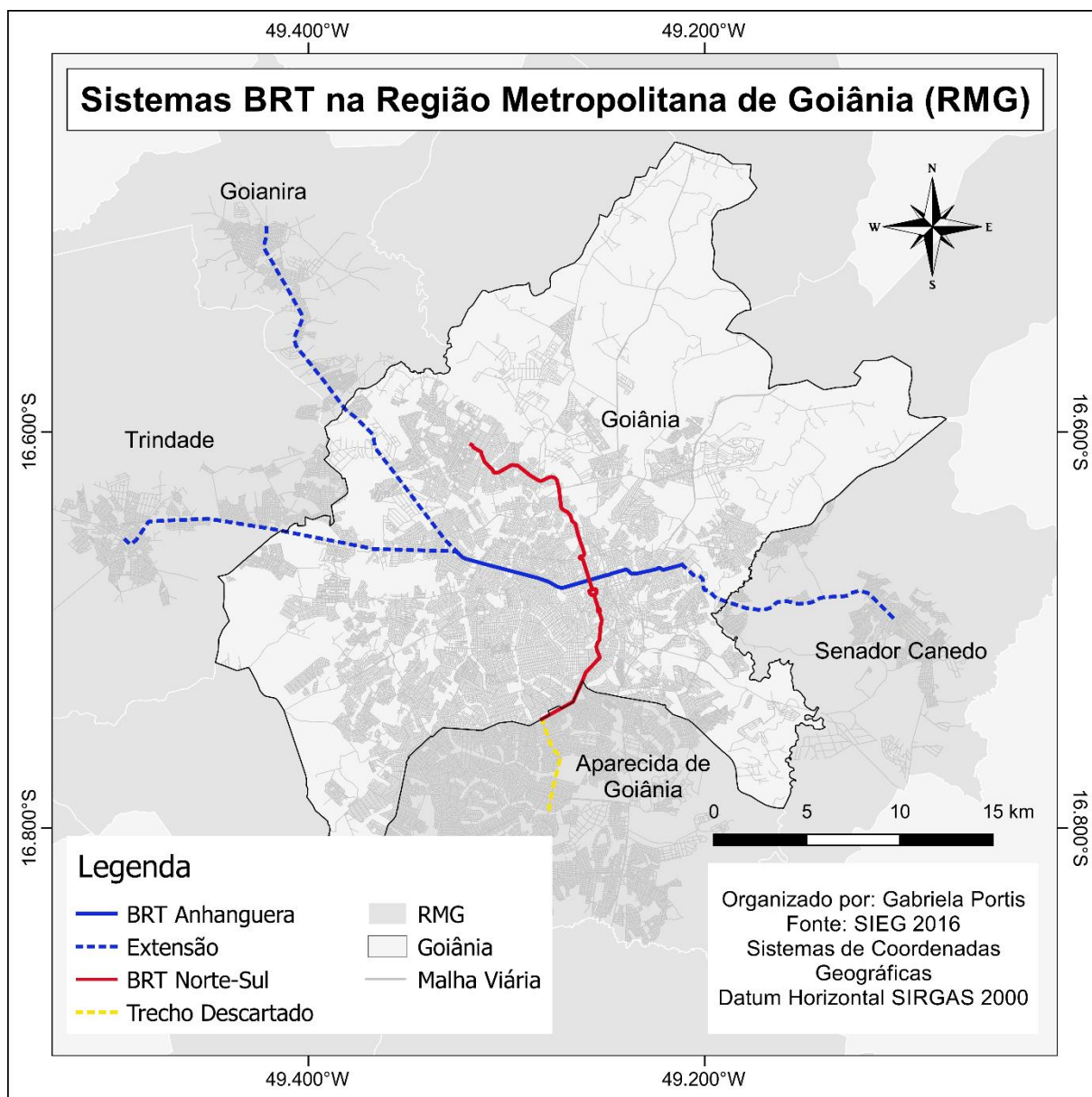


Figura 6. Sistemas BRT na RMG.

A implantação do BRT em Goiânia foi iniciada em 1976, e se deu em decorrência de estudos de Jaime Lerner para a implantação da Lei nº 5.019 de 8 de outubro de 1975, que ordenou o sistema viário da capital, dando ênfase ao transporte coletivo. Essa lei procurava direcionar o crescimento da cidade de forma linear por meio da criação do Eixo Regional de Serviços (constituído pela Avenida Anhanguera, como grande estrutura de serviços, integrada ao uso do solo e ao transporte de massa) e dos Binários Norte e Sul (paralelos ao eixo principal, que seriam estruturas de adensamento em termos de habitação e de serviços, equipamento comunitário e comércio complementares à habitação) (GOIÂNIA, 1975).

A proposta consistia em transformar o centro da cidade com a consolidação do eixo da Av. Anhanguera em corredor de fluxo intenso. A implantação do Corredor Anhanguera, deu suporte

para a criação de uma rede unificada de transporte coletivo, à nível metropolitano, e proporcionou melhores condições de mobilidade ao contribuir para maior inclusão social nos transportes.

- BRT Anhanguera:

O Corredor Anhanguera deu início a organização espacial da rede de transporte em Goiânia, introduzindo o conceito de integração no sistema de transporte coletivo da RMG, que estabeleceu um novo arranjo operacional para as linhas através de um sistema tronco alimentado (RMTC, 2013). “O Eixo Anhanguera é o maior eixo de transporte coletivo da Rede Metropolitana de Transporte Coletivo de Goiânia” (RMTC, 2013, p. 17), por isso ele busca a conexão de partes da RMTC com a área central de Goiânia e com importantes centralidades, através do transporte coletivo. É operado pela empresa estatal Metrobus Transporte Coletivo S/A, uma sociedade de economia mista. Esse corredor introduziu novos conceitos de organização espacial da rede de transporte, de circulação e operação, ao dar origem ao sistema tronco-alimentado, que dá base ao sistema de transportes de Goiânia (RMTC, 2013).

Esse eixo liga a porção leste à porção oeste da cidade, com uma estrutura segregada que originariamente ligava o Terminal do Dergo ao Terminal Praça da Bíblia, possuindo 8,5 km de extensão. Posteriormente foi ampliado, devido ao aumento da demanda, ligando o terminal Novo Mundo ao Terminal Padre Pelágio, passando a ter 13,6 km de extensão. Em 2014 ele foi estendido para atender a mais três cidades da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), Senador Canedo, passando pela GO-403; Trindade, passando pela GO-060; e Goianira, pela GO-070; chegando a ter 72 km de extensão. Essas extensões foram feitas sem alterar a infraestrutura do sistema existente, assim como a estrutura viária necessária para estas ligações, assim, o sistema de transporte perdeu em parte sua qualidade.

Ele cumpre assim, um papel integrador fundamental em toda a RMG (RMTC, 2013). O sistema possui pistas segregadas no centro da avenida Anhanguera, sendo um dos primeiros corredores de transporte coletivo do Brasil do tipo BRT. As características desse sistema podem ser vistas no quadro a seguir:

Quadro 1. Características do BRT Anhanguera (GLOBAL BRT DATA, 2019).

Características mínimas do Sistema BRT	Sim/Não
Vias de ônibus segregadas, ou faixas exclusivas	Sim
Localização das vias de ônibus no canteiro central	Sim
Existência de uma rede integrada de linhas e corredores	Sim
Estações modernas, seguras e abrigadas	Parcial
Estações oferecem acesso em nível entre a plataforma e o veículo	Sim
Terminais e estações especiais para facilitar a integração física entre linhas troncais, serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa	Sim
Cobrança e controle de tarifas antes do embarque	Sim
Integração física e tarifária entre linhas e serviços alimentadores	Sim
Entrada no sistema restrita a operadores prescritos	Sim
Identidade característica de marketing do sistema	Sim
Tecnologia veicular de baixa emissão (Euro 3 ou maior)	Não
Sistema de gerenciamento através de controle centralizado	Sim
Providências especiais para facilitar o acesso de PNE	Sim
Mapas de linhas, sinalização e/ou painéis de informação em tempo real	Não

Entretanto, segundo a RMTC (2013), o seu desempenho não condiz com a infraestrutura implantada, sua velocidade média na hora de pico é de 17,5 km/h. Isso “se dá em razão da saturação operacional de algumas estações de embarque e desembarque e pela existência de 51 interseções com controle semaforico em sua extensão” (RMTC, 2013, p. 19). Além disso, a infraestrutura viária, estações, terminais e ônibus encontram-se sucateados (Figura 8), as pistas de rolagem dos ônibus não foram feitas de concreto, o que provoca sua deformação em curto tempo; o sucateamento dos ônibus tira vários de circulação, e os que permanecem circulando ficam lotados, principalmente nos horários de pico; o que provoca a insatisfação do usuário.



Figura 7. Sistema BRT Anhanguera (Fonte: Imagens do autor, Data: 11/2020).

Tudo isso faz com que o sistema perca qualidade operacional e proporcione um transporte público debilitado para a população, fazendo com que os usuários migrem para outras opções de transporte, principalmente para o transporte individual motorizado. Ainda assim, o sistema cumpre com sua função no que concerne ao transporte de passageiros, atendendo a uma demanda diária de 240.000 passageiros segundo o BRT Data (2015).

- BRT Norte-Sul:

O corredor BRT Norte-Sul está sendo implantado (Figura 9) no segundo maior eixo de transporte coletivo da RMTC, o eixo de transporte Norte-Sul, que conecta a região Norte da cidade de Goiânia, passando por sua região central, à Aparecida de Goiânia, as duas maiores cidades da RMG, que possuem um alto nível de conurbação (CMTC, 2012). “Sua inserção geográfica oferece uma ampla articulação territorial, atendendo direta e indiretamente quase à

metade da população da conurbação de Goiânia e Aparecida de Goiânia, aproximadamente 1,8 milhões de habitantes” (CMTC, 2012, p. 6). Dessa forma, em conjunto com o Eixo Anhanguera, constituem a base para a estruturação do transporte público da RMG, conectando a capital aos quatro municípios que são conurbados a ela: Aparecida de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Goianira.



Figura 8. Sistema BRT Norte-Sul (Fonte: Imagens do autor, Data: 11/2020).

Esse Eixo atenderá a um carregamento aproximado de 8.000 passageiros/hora/sentido, chegando a transportar 112 mil passageiros por dia (CMTC, 2012). O sistema contará, ao todo, com sete terminais de integração, sendo 4 pré-existentes: Veiga Jardim, Cruzeiro, Isidória e Recanto do Bosque, que serão reformados. Além destes, estão sendo implantados mais três terminais, os Terminais Perimetral Norte, Rodoviária e Correios (CMTC, 2012).

Além dos terminais, serão implantadas 39 estações de embarque, dessas 32 se localizam em Goiânia e 7 em Aparecida de Goiânia (CMTC, 2012). O projeto foi elaborado em 2012, tendo previsão de 20 meses para sua implantação. O início das obras se deu no ano de 2015, no entanto, em decorrência de paralisações, o corredor encontra-se ainda em fase de implantação.

A primeira paralização ocorreu logo no início das obras em 2015, por conta de uma ação civil pública do Ministério Público do Estado de Goiás que pedia a anulação da licença ambiental de instalação e a proibição da retirada de árvores e destruição de canteiros centrais até que fossem apresentados os projetos técnicos, tais como estudo de impacto de vizinhança, estudo de impacto de trânsito e plano de manejo de arborização (MPGO, 2015). O promotor de Justiça do MPGO alertou para o fato de a implantação ter sido iniciada sem a finalização dos projetos técnicos, o que provocou reclamação da população e preocupação dos órgãos competentes em razão da retirada de aproximadamente 150 árvores. A obra sofreu outras paralisações em decorrência de divergências entre a Prefeitura, a Caixa Econômica Federal e órgãos de controle, como a suspensão do repasse de verbas por parte da Caixa Econômica Federal ao consórcio BRT por erros de orçamento em alguns itens, sendo retomadas em março de 2019 (GOIÂNIA, 2020).

O projeto do corredor de transporte prevê 22 km de sua extensão em Goiânia e 5 km em Aparecida de Goiânia, portanto, 27 km de extensão (CMTC, 2012). Porém, o projeto original foi reduzido, passando a ter ao todo uma extensão de 21,7 km, do terminal Recanto do Bosque, na região Norte da capital até o terminal Cruzeiro, em Aparecida de Goiânia e é composto por duas trincheiras, seis terminais de integração aos ônibus convencionais e 30 estações de embarque e desembarque (GOIÂNIA, 2020).

Segundo a CMTC (2012), seu sistema visa atender 148 bairros das duas cidades que interliga, com 93 ônibus, dos quais 28 veículos articulados e 65 convencionais, em quatro linhas. De acordo com o projeto, “para melhor eficiência do sistema, a rede tronco-alimentada hoje existente será alterada nos terminais do corredor BRT” (CMTC, 2012, p. 23). Ainda de acordo com o projeto, o corredor passará por um tratamento paisagístico e de melhorias urbanísticas de entorno. Com o sistema, os ônibus passariam de uma velocidade média de 14 km/h para 28 km/h.

O sistema BRT “contará com duas faixas de circulação exclusivas para os ônibus no eixo da via e com duas faixas adicionais nas estações para a ultrapassagem dos ônibus das linhas expressas. As faixas de ônibus serão separadas das faixas de tráfego geral por canteiros laterais” (CMTC, 2012, p. 7). As estações terão embarque em nível, do tipo bidirecional, com distância média de 600 m entre estações. As características desse sistema podem ser vistas no quadro a seguir:

Quadro 2. Características do BRT Norte-Sul Goiânia (CMTC, 2012).

Características mínimas do Sistema BRT	Sim/Não
Vias de ônibus segregadas, ou faixas exclusivas	Sim
Localização das vias de ônibus no canteiro central	Sim
Existência de uma rede integrada de linhas e corredores	Sim
Estações modernas, seguras e abrigadas	Sim
Estações oferecem acesso em nível entre a plataforma e o veículo	Sim
Terminais e estações especiais para facilitar a integração física entre linhas troncais, serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa	Sim
Cobrança e controle de tarifas antes do embarque	Sim
Integração física e tarifária entre linhas e serviços alimentadores	Sim
Entrada no sistema restrita a operadores prescritos	Sim
Identidade característica de marketing do sistema	Sim
Tecnologia veicular de baixa emissão (Euro 3 ou maior)	Não Consta
Sistema de gerenciamento através de controle centralizado	Sim
Providências especiais para facilitar o acesso de PNE	Sim
Mapas de linhas, sinalização e/ou painéis de informação em tempo real	Sim

Apesar de atender às características mínimas para ser considerado um sistema BRT, o BRT Norte-Sul Goiânia não conta com projeto para ciclovias, como o de Fortaleza, por exemplo. Dessa forma, as pessoas ficam limitadas a opções de modais motorizados para se deslocar de um ponto a outro da cidade. Considerando que o ideal para a promoção da mobilidade sustentável ser de que as pequenas distâncias sejam percorridas principalmente a pé, as médias por ciclovias e as longas por meio do transporte público coletivo, o sistema poderia promover também os modais ativos. Assim como sua integração com os padrões de uso do solo, para que as distâncias percorridas possam ser reduzidas.

2.1.4 Planejamento integrado de Transporte e Uso do Solo

Nas regiões metropolitanas, grande parte dos habitantes sofrem diariamente com um tempo de deslocamento casa-trabalho muito alto. Isso ocorre pois, além de vias e sistemas de transporte congestionados e precários, o modelo das cidades, espalhadas, que concentram oportunidades de trabalho e estudo em seu centro e áreas habitacionais nas periferias, aumentam as distâncias e consequentemente o tempo das viagens.

Nesse sentido, atividades realizadas no espaço intra-urbano definem o uso do solo, sendo que os sistemas de transportes são responsáveis pelas interações espaciais entre esses componentes, formando um sistema de fluxos e redes que definem a mobilidade urbana (LAUTSO et al., 2004). Por esse motivo, avaliar a relação entre políticas de controle do uso do solo e a infraestrutura de transportes, é essencial para a análise e a modelagem da integração entre uso do solo e transportes. Para tanto, deve-se explorar as características de complementaridade existentes entre as políticas de uso do solo e os sistemas de transportes buscando minimizar ou superar problemas relacionados à mobilidade e a acessibilidade no ambiente urbano.

Lautso et al. (2004) apresenta alguns conceitos para entender a relação entre transporte e uso do solo (Quadro 3):

Quadro 3. Relação entre Transporte e Uso do Solo (baseado em Lautso et al., 2004).

Relação	Descrição
Impacto do Uso do Solo no Transporte	A centralização de locais de trabalho implica em maiores viagens, enquanto o comprimento das viagens é menor em áreas que apresentam uma razão balanceada entre residências e locais de empregos.
Impacto do Transporte no Uso do Solo	Uma melhor acessibilidade aumenta a atratividade para localização de todo o tipo de atividades, influenciando assim, a direção de um novo desenvolvimento urbano.
Impactos do Transporte sobre o Transporte	A escolha do modo de transporte depende da atratividade relativa de um modo comparada com a atratividade de todos os outros modos. Em geral, o modo com melhor custo-benefício tem maior probabilidade de ser o modo com maior percentual de usuários.

Segundo Wegener e Fürst (2004), o fato de a separação espacial das atividades humanas criar a necessidade de viagens é o princípio subjacente da análise de transportes. Esse princípio demonstra, a conexão entre a suburbanização das cidades e a crescente divisão espacial do trabalho, e, conseqüentemente, com deslocamentos cada vez maiores. No entanto, o impacto inverso do transporte para o uso do solo é menos conhecido. Wegener e Fürst (2004) afirmam ainda que o reconhecimento de que as decisões de viagem e localização se co-determinam, levou à noção de um ciclo de retroalimentação entre uso do solo e o transporte (Figura 10). Os autores resumem esse ciclo de relações da seguinte forma:

- * A distribuição do uso do solo (como residencial, industrial ou comercial) sobre a área urbana determina a localização de atividades humanas (como trabalhar, fazer compras, estudar ou lazer).
- * A distribuição das atividades humanas no espaço requer interações espaciais ou viagens no sistema de transporte para superar a distância entre os locais de atividades.
- * A distribuição da infraestrutura no sistema de transporte cria oportunidades para interações espaciais e pode ser medida como acessibilidade.
- * A distribuição da acessibilidade no espaço co-determina as decisões de localização e, assim, resulta em mudanças de uso do solo.

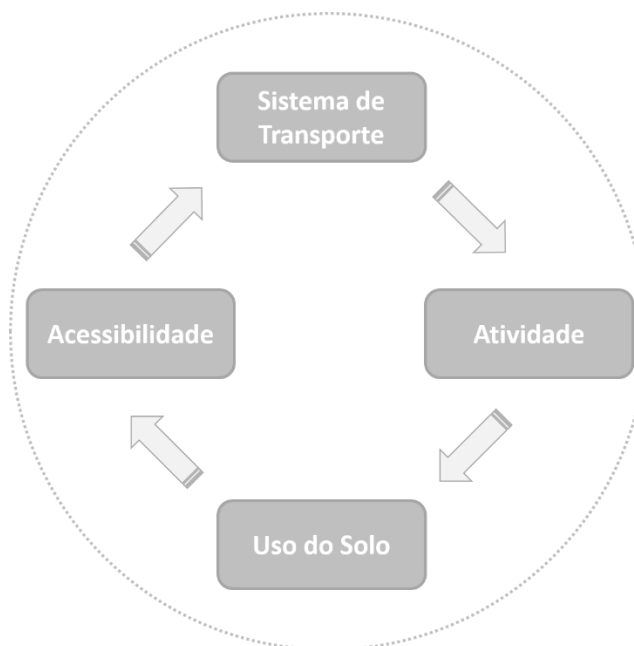


Figura 9. Ciclo de retroalimentação entre uso do solo e o transporte (Wegener e Fürst, 2004. Adaptado).

As principais abordagens teóricas para explicar essa interação bidirecional entre uso do solo e transporte nas áreas urbanas incluem teorias técnicas (sistemas de mobilidade urbana), teorias econômicas (cidades como mercados) e teorias sociais (sociedade e espaço urbano). Segundo Wegener e Fürst (2004), tais abordagens variam em relação à estrutura espacial, densidade residencial, distribuição de usos da terra e modo de transporte predominante. Cada uma das multiplicidades de abordagens para um sistema ideal de transporte e uso do solo pode ser baseado em três tipos básicos de estrutura espacial urbana (WEGENER E FÜRST, 2004):

- * Estruturas pontuais: orientadas para o ponto central do sistema urbano. Geralmente são o centro da cidade, como o modelo de cidade compacta.
- * Estruturas lineares: construídas ao longo de uma linha, geralmente uma grande infraestrutura linear de transporte.
- * Estruturas de área: com desenvolvimento de baixa densidade que não possuem uma hierarquia clara e estrutura central.

As tentativas de determinar o sistema ideal de transporte e uso do solo nas cidades contemporâneas produziram resultados diferentes. Nesse sentido, a adequação de um determinado sistema de transporte e uso do solo depende de uma variedade de fatores específicos de cada caso, como o tamanho da aglomeração e a estrutura espacial pré-existente. A cidade de Goiânia, em teoria, teve sua estrutura espacial baseada nos sistemas de transportes, buscando um desenvolvimento linear em torno de eixos estruturais (GOIÂNIA, 2007), mas, na prática, essa teoria não foi implementada.

Existe um debate acirrado sobre como o desenvolvimento linear pode ser pautado nos corredores de transporte, considerando principalmente os corredores BRT. Nos Estados Unidos, o debate foi estimulado pelo movimento *Transit Oriented Development* (TOD) ou Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS), desenvolvido pelo ITDP.

- O conceito DOTS:

Segundo o ITDP (2013), o DOTS estimula uma ocupação compacta e com uso misto do solo, com distâncias curtas para trajetos a pé e próxima a estações de transporte de alta capacidade. É uma estratégia de planejamento que integra o planejamento do uso do solo à mobilidade urbana com o objetivo de promover cidades compactas, conectadas e coordenadas.

O conceito TOD é uma política pública, em que se programa uma rede de infraestrutura básica, priorizando o transporte público em relação aos veículos individuais, juntamente com uma política de uso misto do solo, a partir de um crescimento linear ordenado e zoneado, segundo eixos estruturais. O TOD implica em vários conceitos, relacionados à ideia de coordenar o uso do solo próximo às estações de transporte público, incrementando sua eficiência com o aumento do número de usuários.

Originalmente teve sua aplicação associada ao entorno de estações ferroviárias, porém também existem casos (como o de Curitiba) que se faz ao longo de sistemas de BRT. Segundo o ITDP (2013), o TOD possui oito princípios norteadores, quatro relacionados à mobilidade urbana (Quadro 4) e quatro relacionados à estrutura urbana (Quadro 5).

Quadro 4. Princípios do TOD – Mobilidade Urbana (baseado em ITDP, 2017-b).

Princípio	Objetivo
Caminhar	Estimular as pessoas a andar a pé. Tornar o trajeto a pé atraente, promovendo segurança, atividade e conforto.
Pedalar	Priorizar redes de transporte ativo. Promover o uso das bicicletas, é essencial oferecer condições mais seguras para a sua circulação, estacionamento e guarda.
Transporte Público	Promover acesso a sistemas de transporte coletivo de qualidade, confiáveis e integrados a cidade. O acesso e a proximidade a um serviço de transporte de alta capacidade, como estações de BRT, tem um papel essencial, porque permite uma mobilidade urbana altamente eficiente e equitativa e apoia os padrões densos e compactos de desenvolvimento urbano.
Mudar	Aumentar a mobilidade regulamentando o uso de estacionamentos e de vias públicas por veículos individuais motorizados. Os recursos do espaço urbano podem ser retomados das vias e estacionamentos e serem realocados a usos mais produtivos social e economicamente.

Quadro 5. Princípios do TOD – Estrutura Urbana (baseado em ITDP, 2017-b).

Princípio	Objetivo
Conectar	Criar redes densas de ruas e caminhos. As rotas curtas e diretas de pedestres e ciclistas exigem uma rede altamente conectada de ruas e vias em torno de quadras pequenas e permeáveis.
Adensar	Otimizar a densidade de ocupação de forma correspondente à capacidade do transporte coletivo. As altas densidades urbanas orientadas ao transporte promovem um serviço de transporte de alta capacidade, frequência e conectividade e ajudam a gerar recursos para investimentos em melhorias e expansão do sistema.
Misturar	Estimular a mistura de usos do solo, da diversidade demográfica e de renda. Quando há uma combinação equilibrada de usos e atividades complementares no interior de uma área local, muitas viagens diárias podem permanecer curtas e serem feitas a pé.
Compactar	Reestruturar as áreas urbanas para encurtar as viagens casa-trabalho-casa. O princípio organizacional básico do adensamento urbano é o desenvolvimento compacto. Numa cidade ou distrito compactos, as várias atividades e usos são localizados convenientemente juntos, minimizando o tempo e a energia necessários para alcançá-los e maximizando o potencial de interação.

O ITDP (2013) faz ainda uma associação entre a implantação de corredores BRT e a política do Desenvolvimento Orientado ao Transporte, afirmando que a utilização dos princípios do TOD no planejamento de BRT melhora significativamente as condições de vida nas cidades. Isso ocorre pois, se reduz os congestionamentos, aumenta o número de viagens em transporte público e não motorizado, além de atrair mais investimentos privados ao longo do corredor. Nesse sentido, os sistemas de BRT também podem catalisar mudanças no uso do solo e na densidade de desenvolvimento perto das estações. Além de acomodar a demanda existente de viagens em um corredor, um BRT pode induzir um desenvolvimento de maior densidade nas estações, como resultado do aumento da acessibilidade e do aumento do volume de pedestres (EMBARQ, 2013).

Um exemplo dessa aplicação é Curitiba, que em seu plano diretor buscou descongestionar a área comercial central da cidade, controlar a distribuição demográfica por meio de programas de habitação populares, estimular o desenvolvimento econômico, melhorar a infraestrutura e encorajar a expansão linear ao longo dos corredores de BRT. Ao longo do corredor o Sistema Trinário de Vias obedece à um gradiente de densidades onde o maior adensamento se encontra próximo ao corredor, além de propor a mistura de usos (Figura 11).

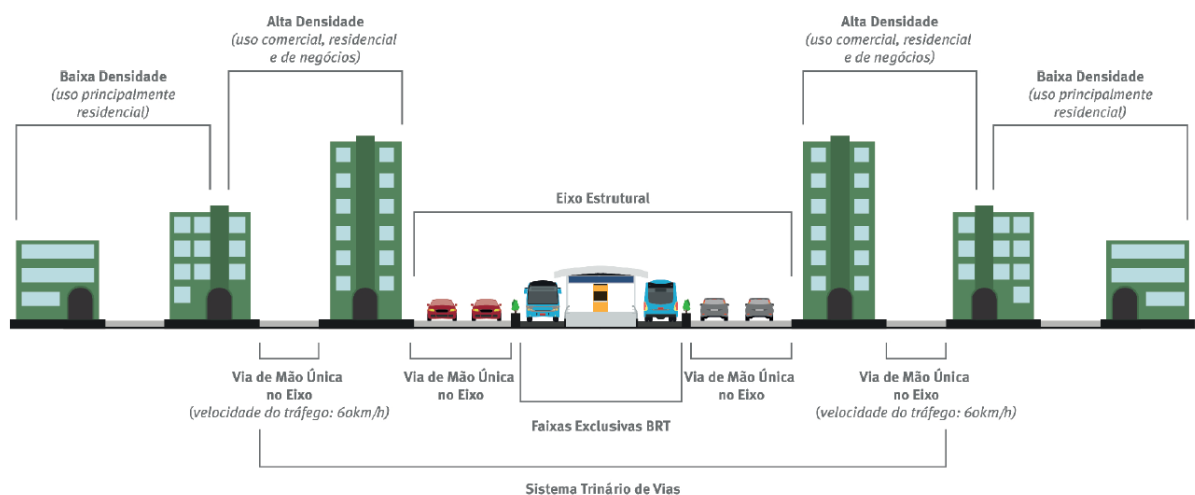


Figura 10. Sistema Trinário de Vias (Fonte: ITDP, 2017).

Esses aspectos buscam absorver o crescimento urbano em formas compactas e densas, em que as áreas urbanas tendem a crescer verticalmente ao invés de horizontalmente, evitando seu espraiamento. Por outro lado, a diversidade de usos do solo incentiva o transporte ativo e encurta as viagens, contribuindo para a promoção da mobilidade sustentável.

No Plano Setorial de Transporte e da Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima – PSTM (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013), consta o planejamento

urbano associado aos eixos de transporte público como uma das medidas de mitigação à mudança climática. O PSTM sugere que o TOD “pode ser efetivado por meio da promoção de oportunidades de moradia, atividades de lazer, comércio e serviços (uso misto do solo urbano) ao longo dos eixos estruturadores de transporte coletivo” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, p. 79). Dessa forma, o aumento da acessibilidade, por meio do transporte público coletivo, contribuiria efetivamente para a redução da necessidade de viagens motorizadas pelo transporte individual. Segundo o PSTM (2013):

“A implantação de sistemas de transporte público de qualidade em eixos estruturadores possibilita a utilização de vários instrumentos de gestão urbanística previstos no Estatuto das Cidades. Estes instrumentos podem ser combinados para a indução de maior índice de adensamento urbano (habitantes/km²). Facilidades para o transporte não motorizado como melhorias para a circulação de ciclistas e pedestres, associadas às medidas de reestruturação da circulação urbana com a introdução de técnicas de moderação de tráfego (*traffic calming*), que reduzam a velocidade do tráfego motorizado de passagem em áreas tipicamente residenciais, também contribuem para estimular a mudança modal para o transporte coletivo ou para o não motorizado.” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, p. 79).

Ainda segundo o PSTM, essas iniciativas devem estar integradas à implantação de redes cicloviárias, “permitindo a adoção da bicicleta como meio de transporte para viagens de curta distância ou a sua integração aos sistemas de transporte público de média e alta capacidade” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, p. 79). Essa medida é de extrema importância para a promoção dos meios de transporte não motorizados na cidade de Goiânia, uma vez que as ciclovias existentes na cidade têm função de lazer e não de transporte. Além disso, podem promover a requalificação do espaço urbano com a construção de calçadas e passeios integrados com a área de entorno. Outrossim, para que essa configuração de cidade seja implantada, é preciso que sejam feitas análises ambientais, pois, essas mudanças na estrutura urbana promovem alterações drásticas em sua paisagem, que podem impactar seu ambiente de diversas maneiras.

2.1.5 Paisagem Urbana

O ambiente urbano, por ser altamente antropizado, possui uma paisagem variada e rica em elementos. Nesse sentido, a paisagem urbana possui diferentes significados que coadunam com diferentes contextos. Sua acepção é variada e se relaciona com a área do conhecimento que a analisa. Independente disso, sabe-se que a paisagem urbana é mutável e a evolução da sociedade influencia diretamente na sua formação. Segundo Santos (1997), a paisagem expressa as

diversas relações entre o homem e a natureza, representando diferentes momentos do desenvolvimento de uma sociedade. Ainda segundo o autor:

“A paisagem nada tem de fixo, de imóvel. Cada vez que a sociedade passa por um processo de mudança, a economia, as relações sociais e políticas também mudam, em ritmos e intensidades variados. A mesma coisa acontece em relação ao espaço e à paisagem que se transforma para se adaptar às novas necessidades da sociedade.” (SANTOS, 1997, p. 37).

Dessa forma, por ser altamente mutável, tornou-se importante o acompanhamento das transformações temporais pelas quais esse tipo de paisagem passa. Segundo De Magalhães (2013), como o objetivo de caracterizar uma paisagem a partir da forma, tamanho, quantidade e dispersão geográfica dos elementos que a compõe, foram criadas as Métricas de Paisagem. Assim, tornou-se possível identificar padrões e determinar quais são desejáveis em determinadas paisagens. Isso faz com que sua contribuição seja efetiva para o monitoramento e planejamento de paisagens, o que é essencial para a gestão de ambientes urbanos.

As análises espaço-temporais das alterações na paisagem contribuem para o diagnóstico e comparação de situações, auxiliando a previsão de determinados impactos que podem ser promovidos por tais alterações, principalmente nos aspectos ambientais e sociais, para o planejamento de espaços urbanos. Nesse sentido, o setor de transportes é responsável por alterações drásticas na paisagem urbana, uma vez que a estrutura necessária para seu funcionamento promove diversas mudanças, causando impactos no ambiente urbano.

O sensoriamento remoto, associado à análise do padrão de paisagem, fornece uma base na qual a estrutura da paisagem pode ser quantificada e estudada (FAN e MYINT, 2014). Contudo, as limitações para a classificação de cobertura da terra são universais e representam um desafio em representar de maneira precisa e realista os padrões da paisagem. Ainda assim, a análise da paisagem urbana a partir do sensoriamento remoto abre possibilidades para identificar impactos que as alterações na paisagem podem causar, a partir da quantificação do padrão da paisagem urbana e sua dinâmica espaço-temporal. Elas podem, por exemplo, auxiliar na identificação das alterações na temperatura de superfície decorrentes de alterações no uso do solo. Assim, as paisagens em ambientes urbanos cumprem várias funções ecológicas, e podem influenciar a formação de ilhas de calor, o que a torna um elemento crucial no estudo do clima urbano.

2.2 PARTE 2: IMPACTO DO SISTEMA BRT SOBRE O CLIMA URBANO

Os centros urbanos concentram um alto grau de artificialização, e por isso, os espaços urbanos concentram problemas ambientais diversos. Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC (2016), “o clima é controlado por diversos fatores, chamados agentes climáticos, que podem ser naturais ou originados de atividades humanas (antrópicos)” (PBMC, 2016, p. 17). Nesse sentido, o estudo da componente climática é de grande relevância para as cidades, uma vez que busca a promoção de um ambiente que proporcione melhor qualidade de vida. Nessa perspectiva, as modificações promovidas pelo homem no espaço natural como a retirada da cobertura vegetal, a adição de áreas impermeabilizadas, a verticalização, que configuram como barreiras para os fluxos de vento, a emissão de GEE e poluentes provenientes de indústrias e transportes, ocasionam diversas alterações climáticas.

Assim, a redução de áreas verdes provoca mudanças na atmosfera local, modificando a temperatura, e sua substituição por áreas pavimentadas alteram os índices de reflexão do calor, o que agrava a situação. Além disso, os materiais que são utilizados nas edificações e para a pavimentação absorvem rapidamente o calor, sendo sua dispersão dificultada pela poluição, emitida, principalmente por veículos.

Atualmente, os veículos motorizados são responsáveis por mais de 20% das emissões de dióxido de carbono CO₂, principal promotor do aquecimento global. Nesse sentido, Vasconcellos (2006) afirma que alguns indicadores globais, que justificam a preocupação com o meio ambiente, são o aumento das emissões de CO₂ e o aumento da temperatura na terra, aspectos importantes para o estudo do clima urbano. Segundo o autor:

“Desde a metade do século XIX até 1990, a concentração de gases do efeito ‘estufa’ (principalmente CO₂) aumentou 25% (de cerca de 280 ppm para 350 ppm). Entre 1950 e 1990, o processo foi acelerado, tendo as emissões totais de carbono na terra aumentado de cerca de 2 bilhões para cerca de 6 bilhões de toneladas. Grande parte do problema está ligado ao uso de meios motorizados de transporte que utilizam combustíveis fósseis e que tendem a aumentar muito nas próximas décadas.” (VASCONCELLOS, 2006, p. 10).

A questão da emissão de GEE pelos meios motorizados de transporte tem se destacado no âmbito das questões ambientais, principalmente pelo fato de afetar a saúde e, conseqüentemente, a qualidade de vida daqueles que habitam os centros urbanos. O aumento no número de veículos motorizados e o espraiamento das cidades têm aumentado o consumo de recursos naturais como o solo e a energia, sendo que a tendência dos países em

desenvolvimento, de atingir o mesmo nível de consumo de recursos verificados nos países industrializados, é insustentável (VASCONCELLOS, 2006).

Nesse sentido o BRT, que vem sendo adotado majoritariamente nos países em desenvolvimento, tem um papel importante na redução das emissões do setor de transportes (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Com o aumento das emissões devido ao uso indiscriminado de veículos motorizados individuais, torna-se de importância crítica incentivar o uso do sistema de transporte público, melhorando a qualidade e alcance dos sistemas de BRT.

2.2.1 O Clima Urbano

O clima, de forma geral, se compõe de diversos elementos, dentre os quais, precipitação, temperatura, vento, pressão atmosférica, umidade. Nesse sentido, as pesquisas sobre o clima urbano tomaram grandes proporções devido ao fato de que as cidades cresceram ao ponto de se tornarem vastas conurbações, em que uma variedade de influências humanas afeta sua atmosfera (LANDSBERG, 1981). As cidades são altamente vulneráveis aos impactos das alterações climáticas uma vez que possuem um alto nível de artificialização do seu território e alta concentração populacional, o que faz com que exerça uma grande influência sobre o seu próprio clima.

Segundo Alcoforado et al. (2009) as atividades humanas influenciam o padrão e a velocidade das alterações climáticas, e há a necessidade de atuar para garantir a preservação dos recursos naturais, a qualidade ambiental e a vida humana. Nesse sentido, é indispensável a adoção de estratégias que amenizem essas alterações no ambiente urbano, pois como mencionado, grande parte da população mundial habita os centros urbanos. Ainda segundo os autores:

“Nas áreas urbanas, os efeitos das alterações climáticas podem ser agravados pelas características próprias das cidades (como a morfologia urbana e os materiais utilizados nos revestimentos e nas edificações) e as atividades antrópicas, que alteram a composição da atmosfera e o comportamento das variáveis meteorológicas, como a radiação, a temperatura, a circulação do ar e mesmo a precipitação. Por essa razão e também devido à elevada concentração de pessoas, infraestruturas e atividades, as áreas urbanas são particularmente vulneráveis aos efeitos das alterações climáticas. Por outro lado, os espaços urbanos fornecem os recursos e a capacidade para implementar medidas inovadoras para lidar com os impactos das alterações climáticas, aproveitando os eventuais benefícios daqueles efeitos.” (ALCOFORADO et al., 2009, p. 11).

O clima é um componente do ambiente urbano que pode ser definido como o resultado das modificações que as superfícies materiais e as atividades das áreas urbanas provocam nos balanços de energia, massa e movimento (ANDRADE, 2005). Segundo Andrade (2005), dentre os principais fatores atmosféricos encontra-se o “complexo térmico”, que possui influência térmica direta sobre os seres humanos, e é composto pela temperatura do ar, a temperatura radiativa, a umidade atmosférica e o vento.

Nesse sentido, o espaço urbano é responsável por várias modificações microclimáticas, das quais as principais são o aumento da temperatura local (formando ilhas de calor), alterações na velocidade média do vento nas cidades (arranjo das edificações) e na composição da atmosfera urbana (resultante da emissão de poluentes). Esses elementos podem produzir um “efeito global”, agravando o efeito estufa, ou um “efeito local” com aumento de temperatura particularmente elevados em partes das cidades.

A velocidade média do ar é alterada de acordo com a disposição dos edifícios no espaço urbano, podendo formar espaços fechados, que dificultam a dispersão de poluentes e resíduos e influenciam no conforto térmico. Já as ilhas de calor ocorrem devido às alterações nos balanços radiativo e energético no espaço urbano, quando determinada porção da cidade possui temperatura (de superfície e do ar) relativamente mais elevada que seu entorno próximo.

Segundo Alcoforado et al. (2009) a intensidade da ilha de calor depende da densidade de construção, da abundância de vegetação, da emissão de calor pelas atividades humanas e das características dos materiais de construção e revestimento. O conforto climático, essencialmente o térmico, surge assim como um objetivo chave na intervenção no espaço urbano, sendo a superfície do solo elementar para a sua variação. Neste processo, é destacado o fato de que superfícies pavimentadas contribuem para o aumento da temperatura e a vegetação contribui para sua redução (CARVALHO, 2001).

Sendo a temperatura e a concentração de poluentes expressões significativas da alteração climática, podendo indicar a degradação ambiental, é necessário que sejam adotadas medidas para adaptação das áreas urbanas, que contribuam para a melhoria da qualidade ambiental, econômica e social dos centros urbanos. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2007), adaptar consiste em ajustar os sistemas naturais e humanos, em resposta aos estímulos climáticos atuais ou esperados e seus efeitos, ou seja, gerir aquilo que não pode ser evitado. Nesse sentido, os sistemas de transportes, devem passar por adaptações em busca de promover a redução de seus impactos ambientais.

2.2.2 Transporte e mudanças climáticas

O Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (Simob) da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), em seu Relatório Geral de 2016, publicado em 2018, divide os poluentes em dois tipos: poluentes locais e causadores do efeito estufa: Os poluentes locais são o CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), NOx (óxidos de nitrogênio), MP (material particulado) e SOx (óxidos de enxofre). Os poluentes causadores do efeito estufa (GEE): o CO_{2eq} (CO₂ – Dióxido de Carbono, CH₄ - Metano e N₂O - Óxido nitroso). O efeito estufa é um fenômeno natural responsável por manter o planeta com uma temperatura média adequada. Porém, quando as atividades antrópicas promovem o aumento acelerado na concentração destes gases na atmosfera terrestre, esse fenômeno é intensificado e promove o impacto ambiental conhecido como aquecimento global.

Em dezembro de 2019 foi realizado, em Madrid, na Espanha, a Conferência sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas (COP 25). No encontro, foram discutidos os resultados do último relatório do IPCC acerca dos efeitos já constatados no clima e os esforços necessários para combater os impactos nas condições de vida das pessoas. Além de definir diretrizes para o alcance das metas de redução das emissões, definidas no Acordo de Paris, no qual o Brasil se comprometeu a implantar ações para reduzir 43% das suas emissões até 2030.

O setor de transportes tem um papel importante na redução das emissões, uma vez que o GEE mais abundante (o dióxido de carbono) é um dos principais produtos da queima de combustíveis fósseis. Este setor representa grande parte das emissões relacionadas ao uso de energia no país, respondendo por 32,7% do consumo de energia (BEN, 2019), e “embora a principal fonte de emissões no país continue sendo a mudança do uso da terra decorrente de desmatamento, a participação do setor de energia vem crescendo de forma expressiva nas últimas décadas” (ITDP, 2019, p. 04). Segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG Brasil), entre 1996 e 2016, o setor de energia aumentou sua participação nas emissões em cerca de 8%, passando a representar 20% das emissões brasileiras. O setor de transportes representa 46,3% das emissões desse setor (BEN, 2019).

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (2015), 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas, do que se deduz que a maior parte das emissões veiculares de carbono concentra-se nessas áreas. Dentre os fatores que influenciam a participação de cada modalidade na matriz modal de emissão de CO₂, pode-se destacar a composição da matriz modal de deslocamentos das cidades, principalmente em relação à

participação do transporte individual motorizado e a distância média das viagens motorizadas realizadas pela população (CARVALHO, 2011).

Segundo a ANTP (2018), o transporte individual, que responde por cerca de 44% das viagens motorizadas, em média, é responsável por 67% das emissões de GEE nos centros urbanos brasileiros, enquanto o transporte público coletivo responde por cerca de 49% dessas viagens e 29% das emissões (Figura 12).

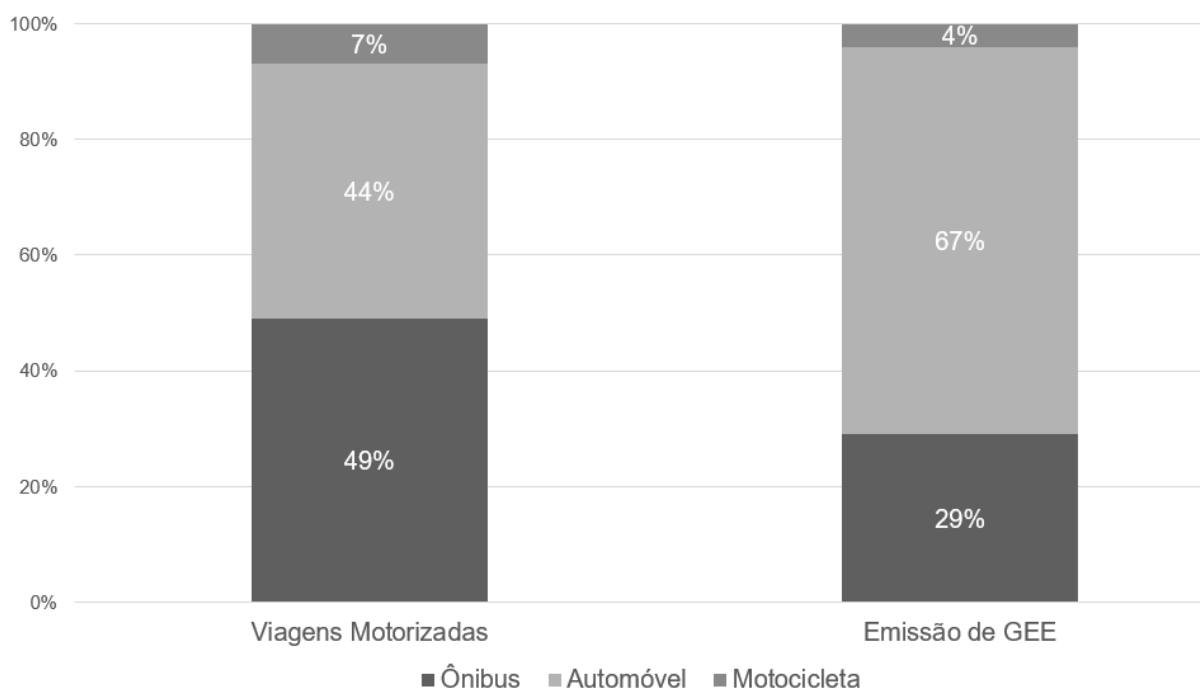


Figura 11. Distribuição percentual das viagens motorizadas e dos poluentes do efeito estufa (CO₂eq) emitidos pelos veículos por modo de transporte (Adaptado de ANTP, 2016).

A ANTP (2018) discrimina ainda a emissão de poluentes de efeito estufa (CO₂eq) por viagem por modo agregado. Seus dados demonstram que, em municípios com mais de um milhão de habitantes, os ônibus são responsáveis por emitir cerca de 620 g de CO₂eq (por viagem), enquanto os automóveis emitem cerca de 1.427g de CO₂eq. O que demonstra que o transporte público coletivo desenvolve um importante papel no esforço para redução das emissões de GEE.

Essa abordagem está de acordo com as preocupações do país para reduzir as emissões de GEE, estabelecida por alguns instrumentos, dos quais, o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, que é reforçado pelo programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e a Política Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC (Lei 12.187/2009). Essas ações de governo corroboram as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana - PNMU (Lei 12.587/2012), que tem como algumas de suas diretrizes: a

mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade; o incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes; e a priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado.

Considerando que atrair mais usuários para modos sustentáveis pressupõe revisar instrumentos de planejamento e regulação do desenvolvimento urbano, o Plano Diretor de Goiânia (2007), propõe como ação para reduzir a poluição ambiental, o controle das emissões veiculares. Nesse sentido, para promover ações que garantam a mobilidade e o desenvolvimento urbano sustentável, uma das diretrizes propostas é a priorização dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado (GOIÂNIA, 2007). Para tanto, o PDG prevê a implantação do corredor BRT Norte-Sul, não só como vetor para o desenvolvimento da mobilidade urbana, mas também como propulsor para a redução da emissão de GEE.

2.2.3 Temperatura de Superfície

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC (2016), no volume 1 de seus relatórios, Base Científica das Mudanças Climáticas, tem como uma das principais questões discutidas, as observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície. Seu segundo capítulo traz entre suas abordagens o fato de que “os efeitos da mudança de uso da terra sobre a temperatura são especialmente fortes em centros urbanos, que são as paisagens mais alteradas em relação aos ecossistemas e processos naturais.” (PBMC, 2016, p. 45).

Segundo a PBMC (2016) a elevação das temperaturas em grandes cidades é geralmente explicada em termos dos processos básicos de balanço de energia na superfície:

“Em relação à radiação de onda curta (ou radiação solar), o albedo (ou refletividade) das cidades é muito menor que as superfícies naturais, devido às diferentes coberturas (por ex., asfalto escuro, coberturas de edifícios, etc.) e aprisionamento de radiação nos ‘canyons’ urbanos. Isto produz eficiente absorção de radiação de onda curta. Os profundos ‘canyons’ urbanos resultam em reduzida visão do céu ao nível das ruas, dificultando processos radiativos de resfriamento por radiação de onda longa. Além disso, a geometria urbana vertical impacta os ventos, geralmente reduzindo ventilação e resfriamento por calor sensível. A substituição de solo e vegetação natural por superfícies impermeáveis leva à redução da evapotranspiração e do resfriamento por calor latente. As densas superfícies impermeáveis com alta capacidade calorífica criam significativas mudanças no tempo de armazenamento e liberação de calor, se comparado às superfícies de solo e vegetação naturais.” (PBMC, 2016, p. 45-46).

Houve um desenvolvimento nas técnicas de modelagem nas últimas décadas, que culminou no avanço do entendimento de como a superfície terrestre interage com a atmosfera através de trocas de energia na forma de radiação (PBMC, 2016). Tais avanços permitiram o entendimento de que a mudança de uso do solo e a liberação de calor antrópico nos grandes centros urbanos, podem constituir Ilhas de Calor Urbano (*Urban Heat Islands* - UHI), que, além de aumentarem a temperatura a nível local, podem ser importantes agentes para o aumento da temperatura média global (PBMC, 2016). Nesse sentido, as paisagens urbanas têm um importante papel a desempenhar com relação à temperatura de superfície, e podem contribuir na formação de UHI.

As UHI podem ser identificadas e caracterizadas no ambiente a partir de informações da temperatura do ar adquiridas a partir de estações meteorológicas fixas ou por técnicas de sensoriamento remoto (DE BARROS et al., 2012). Nesse sentido, as imagens de satélite podem abordar o aspecto multitemporal, mostrando a dinâmica da superfície terrestre ao longo do tempo e permitindo analisar suas transformações, promovidas, principalmente, pela ação antrópica. Dessa forma, os efeitos da modificação no uso do solo na distribuição espacial da Temperatura de Superfície da Terra (*Land Surface Temperature* – LST), podem ser analisados por sensoriamento remoto.

Alguns estudos usam as Métricas de Paisagem para relacionar a forma como a vegetação ocupa o espaço urbano e detectar quais os padrões espaciais de mudanças na estrutura da paisagem promovem a interação entre comportamento do ambiente térmico do lugar, a forma e a dimensão espacial (ZHOU et al., 2011; ASGARIAN et al., 2015).

Zhou et al. (2011) afirmam que o padrão de cobertura da terra em paisagens urbanas pode influenciar a formação de UHI. Isso pode se dar em decorrência da modificação direta das características da superfície, ou através de seus efeitos sobre os movimentos e fluxos de energia em uma paisagem (ZHOU et al. 2011). Assim, tanto a mudança de uso do solo, a partir da alteração do tipo de superfície, quanto o adensamento urbano, que altera os fluxos de correntes de ar, influenciam na temperatura e contribuem para a formação de UHI.

Arnfield (2003) divide as UHI em dois tipos, a UHI de temperatura do ar e a UHI de superfície. As UHI de temperatura do ar são geralmente mais fortes e exibem maiores variações espaciais à noite, enquanto a diferença na temperatura de superfície geralmente ocorre durante o dia (ARNFIELD, 2003; NICHOL et al., 2009). Asgarian et al. (2015) buscam investigar como e até que ponto a Temperatura de Superfície do Solo Urbano (*Urban Land Surface Temperature* - ULST) é afetada pelo padrão espacial de cobertura verde em um ambiente urbano. Os autores

utilizam cinco métricas da paisagem em nível de área, incluindo *Nearest Distance* (ND), *Patch Area* (AREA), *Perimeter to Area* (PARA), *Shape Index* (SHAPE) e *Core Area Index* (CAI), como variáveis explicativas nas análises estatísticas devido a seus efeitos potenciais na temperatura de superfície (ASGARIAN et al., 2015).

Dessa forma, as alterações na temperatura de superfície ocorrem principalmente devido às manipulações da superfície terrestre provocadas pela construção de edifícios e superfícies impermeáveis, que alteram a cobertura do solo e contribuem para a formação de UHI. Nesse sentido, os sistemas de transportes, contribuem para essas alterações e devem ser planejados prevendo tais impactos, em busca de mitigá-los.

2.2.4 Abordagens de avaliação de GEE

A quantificação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é importante para pensar os impactos ambientais dos transportes nas cidades e a importância dessas abordagens advém do fato de que com o aumento da frota veicular aumenta também a poluição atmosférica. Além disso, essa abordagem está de acordo com as preocupações do país para reduzir as emissões de GEE.

As pesquisas cujos objetivos são o cálculo de emissões de gases de efeito estufa são recorrentes na literatura em que se destaca aqueles que se ocuparam da descrição dos principais métodos de quantificação desse tipo de poluição atmosférica (CARVALHO, 2011; LIMA, 2013; FILIMONAU et al., 2014; ABBAS, 2014; PARISI, et al., 2017; PEREIRA, 2018). Nesse sentido, as metodologias de quantificação de GEE são diversas, e segundo Pereira (2018), servem aos inventários e aos planos de emissões de empresas, estados e até países.

Assim, diversas abordagens de avaliação de GEE foram criadas para atender as demandas com determinadas especificidades, das quais podemos citar: a Organização Internacional para Padronização (ISO); o *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol); o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC); a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); e o *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA). Dessa forma, para facilitar a contabilização das emissões antrópicas de GEE, foi desenvolvido o conceito “Pegada de Carbono”, que vem sendo utilizado para mensuração de impactos relacionados a mudanças climáticas.

- Pegada de Carbono

Wiedmann e Minx (2008), descrevem várias definições que diferem principalmente quanto a quais gases são contabilizados. Segundo os autores “a pegada de carbono é uma medida da

quantidade total exclusiva de emissões de dióxido de carbono causada direta e indiretamente por uma atividade ou acumulada ao longo dos estágios de vida de um produto” (WIEDMANN e MINX, 2008, p. 5). Os autores optam ainda por uma abordagem, por ser uma solução mais prática e clara, em que a pegada de carbono incluía apenas o CO₂ (Dióxido de Carbono) como indicador, e sugere o termo “Pegada Climática” para indicadores que considerem os demais GEE (WIEDMANN e MINX, 2008, p. 5).

O *California Climate Action Registry* (CCAR) sugere a emissão de relatórios para cada um dos GEE ratificados pelo Protocolo de Quioto: CO₂ (dióxido de carbono), N₂O (óxido nitroso), CH₄ (metano), HFC (hidrofluorcarbonetos), PFC (perfluorcarbonetos) e SF₆ (hexa-fluoreto de enxofre). Já o IPCC (2007), recomenda, para o setor Energia, a quantificação das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O.

A unidade de estimativas de Pegada de Carbono também varia de acordo com o método. Wiedman e Minx (2008) utiliza unidades de massa de CO₂ (toneladas de CO₂). Mas, quando a abordagem opta por incluir outros GGE, como na Análise do Ciclo de Vida (ACV), é necessário converter o resultado multiplicando as emissões de cada GEE por seu valor de *Global Warming Potential* (GWP). O GWP é um fator que compara o potencial de cada gás em contribuir para o aquecimento em relação ao CO₂, e foi divulgado no quarto relatório publicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007). Assim, a quantificação é registrada em toneladas de dióxido de carbono equivalente (Ton CO₂eq), que é a unidade oficial de estimativas de pegada de carbono (IPCC, 2007).

A ISO 14067 (ISO, 2018) detalha princípios, requisitos e diretrizes para a quantificação da Pegada de Carbono de um processo ou produto. De acordo com a norma, a quantificação deve incluir as quatro fases da ACV: definição do objetivo e do escopo, inventário de ciclo de vida, avaliação do impacto do ciclo de vida e interpretação do ciclo de vida. A ACV é flexível, uma vez que ela conduz o estudo e permite que diferentes ferramentas sejam utilizadas e diferentes GEE sejam incluídos. Dessa forma os tópicos a seguir explanam mais detalhes de uma abordagem híbrida de ACV.

- Departamento Britânico para o Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais (DEFRA)

Segundo Filimonau (2011) um dos métodos para cálculo dos impactos do carbono, que quantifica a contribuição de produtos e serviços para as mudanças climáticas globais é o desenvolvido pelo DEFRA. Essa abordagem desenvolveu fatores de conversão de GEE

baseados nas estatísticas nacionais do Reino Unido e que podem ser empregados para medir a pegada de carbono do consumo de combustível no transporte.

O método quantifica as emissões “diretas” de GEE, aquelas produzidas no momento da utilização do combustível fóssil por um veículo, sendo que as emissões "indiretas" de GEE, incorporadas nas infraestruturas de transporte, só começaram a ser tratadas em 2009. Porém, o DEFRA só contabiliza as emissões indiretas provenientes da cadeia de combustíveis (DEFRA, 2019), as emissões de GEE incorporadas nos bens de capital e na infraestrutura não relacionados à cadeia de combustíveis continuam não sendo contabilizadas. No caso de viagens de ônibus, por exemplo, elas surgem dos processos industriais necessários para fabricar um ônibus, entregá-lo ao usuário final e descartá-lo; e dos processos de renovação, reforma e manutenção (FILIMONAU et al., 2014). As estimativas da pegada de carbono “indiretas” produzida pela DEFRA são, portanto, incompletas.

- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

As emissões 'indiretas' de GEE dos bens de capital e da infraestrutura podem ser avaliadas pelo método da ACV, uma técnica reconhecida para avaliar os impactos ambientais de produtos ou serviços individuais ao longo de seu ciclo de vida. Ela faz uma abordagem holística da avaliação de impacto em diferentes setores, pois além das emissões diretas, considera as “indiretas” que são significativas na pegada ambiental (FILIMONAU; et al., 2014). Sua metodologia de avaliação foi aprovada pela Organização Internacional de Padronização (ISO) e agora está refletida na série de normas ISO 14040 (ISO, 2006).

Segundo a ISO 14040 (2006) a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, isto é, do “berço ao túmulo”. Nesse sentido, o ciclo de vida é dado pelos estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima, ou de sua geração a partir de recursos naturais, até a disposição final (ISO, 2009). É uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante: a compilação de um inventário de entradas e saídas de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a esse sistema; e a interpretação dos resultados em relação aos objetivos dos estudos (ISO, 2006).

A ACV é composta por quatro fases distintas (Figura 13): definição do objetivo e escopo, que explica a finalidade do estudo, definir uma unidade funcional para análise (possíveis comparações) e estabelecer os limites do sistema (ou processos que foram incluídos e excluídos da análise); o inventário do ciclo de vida, que envolve a coleta de dados e a sistematização; a avaliação da

magnitude dos impactos ambientais; e a interpretação dos resultados, as conclusões obtidas e o estabelecimento de recomendações para possíveis melhorias ambientais.

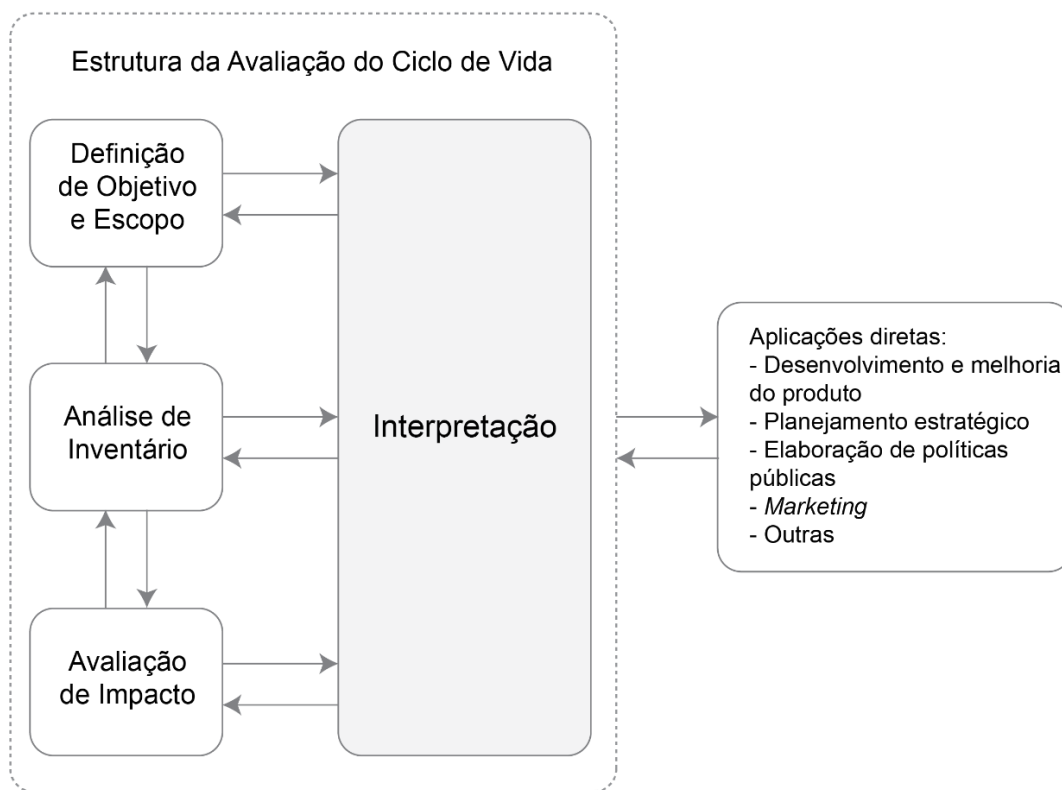


Figura 12. Fases de uma ACV (Adaptado de NBR ISO 14040, 2006).

A ACV é uma técnica de análise abrangente, porém, segundo Filimonau *et al.* (2014), possui várias limitações funcionais e inconsistências metodológicas que dificultam a precisão de suas estimativas e tem como base extensos inventários do ciclo de vida, como o banco de dados Ecoinvent. Dado que os fatores de conversão de GEE do DEFRA têm vantagens críticas sobre o método de ACV, Filimonau *et al.* (2014) argumentam que eles são mais adequados para a avaliação do impacto do carbono no transporte de passageiros em termos da precisão geral das estimativas da pegada direta de carbono e da relação custo-benefício. No entanto, elas precisam ser complementadas com as estimativas das emissões de GEE “indiretas”, que podem ser extraídas do banco de dados Ecoinvent (ECOINVENT, 2017), para obter as avaliações mais holísticas dos impactos do carbono.

Filimonau *et al.* (2014) se referem a esse método de avaliação de impacto de carbono como uma abordagem híbrida, DEFRA-ACV (Ecoinvent). Segundo Pereira (2018) esta abordagem híbrida utiliza os pontos fortes do DEFRA e da ACV, e é benéfica, pois considera, além das emissões diretas, as indiretas com boa precisão, mostrando sua relevância.

- Método Filimonau (DEFRA-ACV)

Filimonau et al. (2011) desenvolveu uma metodologia holística para o cálculo do impacto de carbono, a qual ele aplica ao turismo, sendo que sua metodologia, neste contexto, é aplicada também ao transporte de passageiros. Esta metodologia híbrida agrupa características das metodologias DEFRA e ACV e é capaz de estimar as emissões diretas e o máximo das emissões indiretas dos GEE sob produtos e serviços (FILIMONAU et al., 2014).

A abordagem híbrida, DEFRA-ACV, incorpora as vantagens das técnicas existentes para avaliação de impacto de carbono e gera estimativas mais holísticas, contabilizando as emissões de GEE “indiretas”, que segundo Filimonau et al. (2014) desempenham um papel importante na pegada de carbono total do transporte de passageiros. Se as estimativas indiretas da pegada de carbono derivada da ACV forem adicionadas aos valores do DEFRA, argumenta-se que o número resultante é a medida mais precisa das emissões totais de GEE resultantes de viagens de ônibus (FILIMONAU et al., 2014). As vantagens e desvantagens das duas metodologias são apresentadas abaixo (Quadro 6):

Quadro 6. Vantagens e Desvantagens das metodologias ACV e DEFRA.

ACV		DEFRA	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Capacidade de quantificar emissões indiretas	Inventários muito custosos	Fatores de conversão de GEE com elevada precisão	Emissão de GEE “indireta” incompleta
Abordagem holística da avaliação de impacto	Base de dados com atualizações irregulares	Atualização regular da base de dados	Voltado para dados específicos do Reino Unido

Dessa forma, o método Filimonau (FILIMONAU et al., 2014) usa os fatores de conversão do DEFRA, identificando duas dimensões: as emissões “diretas” de GEE oriundas do uso de combustíveis e as emissões de GEE “indiretas” associadas à produção, transporte, distribuição e entrega de combustíveis ao usuário final; e acrescenta a partir da ACV as emissões de GEE “indiretas” com origem no fornecedor de energia e nos transportes relacionados à infraestrutura e bens de capital. Esta abordagem híbrida que utiliza a pontos fortes do DEFRA e da ACV, se

torna uma ferramenta relevante para as estimativas de carbono no transporte de passageiros. Originalmente usada no turismo pode ser adaptada para o transporte urbano de passageiros, podendo ser usada para quantificar a pegada de carbono de passageiros dos sistemas BRT.

2.2.5 BRT como projeto de redução de GEE

Segundo o ITDP (2017) em qualquer sistema de trânsito, mais passageiros significa maior benefício ambiental. Nesse sentido, os sistemas BRT, por transportarem uma grande quantidade de passageiros, promovem um maior benefício ambiental. Além da quantidade de passageiros transportados, tais sistemas podem reduzir as emissões ao andarem de forma mais contínua, com menos paradas e menor conflito com o tráfego misto (corredores exclusivos permitem maior eficiência operacional). Dessa forma, o BRT tem um papel importante no esforço global para reduzir as emissões do setor de transportes.

Com o aumento das emissões, devido ao uso de transporte individual motorizado, torna-se de importância crítica fazer com que essas viagens sejam realizadas pelo sistema de transporte público coletivo. O uso desse modal pode ser incentivado a partir da melhoria da qualidade e alcance dos sistemas de BRT. Assim, destaca-se a relevância da implantação de projetos eficientes (que proporcionem conforto e confiabilidade aos usuários) e com maior preocupação ambiental (que busquem a redução das emissões do setor de transportes).

Para tanto, o ITDP (2016) criou o manual “Padrão de Qualidade de BRT” como uma ferramenta de avaliação para os sistemas de BRT. Esse manual busca o estabelecimento de uma definição comum de BRT, para garantir a uniformização e a qualidade dos sistemas, além de benefícios econômicos e impactos ambientais positivos (ITDP, 2016). O manual estabelece uma pontuação que possibilita a certificação de um corredor como BRT ouro, prata, bronze ou básico.

Um dos elementos foi sugerido pelo *International Council on Clean Transportation* (ICCT), foi a pontuação de emissões para os ônibus (relativa à poluentes locais), baseada em normas certificadas de emissão. O Quadro 7 mostra as normas de emissão que os ônibus devem cumprir e a respectiva pontuação. Essas normas resultam em emissões mais baixas tanto de MP como de NOx. Para os veículos a diesel, essas normas exigem o uso de coletores de MP, um diesel de teor ultrabaixo de enxofre e uma redução catalítica seletiva (ITDP, 2016). No caso do Brasil, a norma mais elevada é o PROCONVE P-7, a qual é comparável à Euro V.

Quadro 7. Pontuação para Minimização das Emissões de Ônibus (adaptado de ITDP, 2016-a).

Normas de Emissões	Pontos
Euro VI ou US 2010.	3
Euro V com coletores de MP, Euro IV com coletores de MP, ou U.S. 2007.	2
Euro V, Euro IV, Euro III CNG, ou Euro III usando uma adaptação verificada de coletor de MP.	1
Níveis inferiores às normas acima.	0

Além das normas de emissões, segundo o ITDP (2017), algumas alternativas foram utilizadas para reduzir tais emissões, como os trólebus elétricos em São Paulo e GNV em Lima, que reduziram a emissão de material particulado. Porém, essas alternativas frequentemente introduzem outros problemas, os impactos ambientais da energia elétrica, por exemplo, dependem de como e onde essa energia é gerada. Nesse sentido, “as complicações no cálculo dos impactos ambientais da eletricidade têm sido uma das várias razões pelas quais, até o momento, apenas os projetos de BRT foram aprovados para financiamento pelo *Clean Development Mechanism*” (ITDP, 2017, p. 63).

Além de poluentes locais os ônibus também emitem GEE. Segundo o ITDP (2016):

“Como não existe ainda uma estrutura regulatória totalmente clara que exija dos fabricantes o atendimento de requisitos específicos para GEE e/ou de eficiência no consumo de combustíveis, não há uma forma óbvia de identificar um ônibus como combustível-eficiente por tipo de veículo” (ITDP, 2016, p. 49).

Neste caso, para verificar o impacto de CO₂, o ITDP recomenda o uso do modelo *Transport Emissions Evaluation Models for Projects* (TEEMP), que complementa o Padrão de Qualidade BRT numa avaliação mais ampla dos impactos das emissões de CO₂ específicos para cada projeto. O modelo TEEMP é uma ferramenta usada para avaliação sobre o impacto, em termos de emissões de gases do efeito estufa e de poluentes locais, dos corredores BRT. Segundo o ITDP (2016) a ferramenta calcula o total de emissões evitadas com a implementação de um novo sistema de BRT, a partir da comparação das emissões de um cenário sem a implementação do projeto em questão, com o cenário pós-projeto construído.

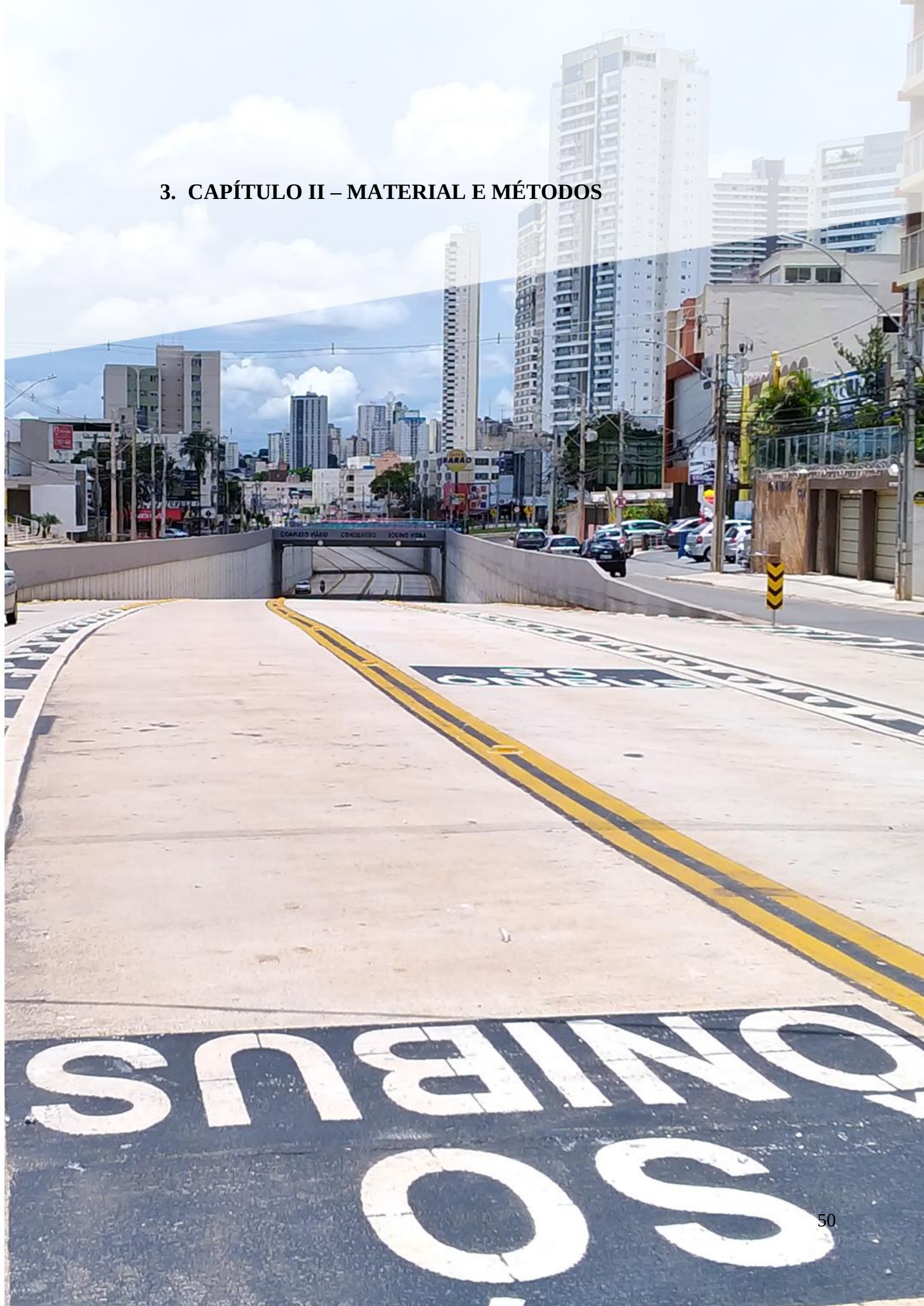
Alguns estudos se valem desse e de outros modelos para calcular a redução na emissão de CO₂ a partir da implantação de corredores BRT (VINCENT e JERRAM, 2006; HOSSAIN e

KENNEDY, 2008; HOOK, et al., 2010; TURNER et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014; PARISI et al., 2017). Turner et al. (2012) afirmam que a implementação do TransMilenio, em Bogotá, combinada com novos regulamentos sobre a qualidade do combustível, poderiam economizar quase 1 milhão de toneladas CO₂ por ano.

Vincent e Jerram (2006) fazem a análise do BRT como uma estratégia de curto prazo para reduzir as emissões de CO₂ em uma cidade média americana. Para tanto, é feita a comparação das emissões de CO₂ esperadas em três cenários distintos para atender ao crescimento da cidade em viagens de trabalho. A conclusão é de que o BRT oferece o maior potencial de redução de GEE. Os autores sugerem ainda que se essas cidades construírem corredores adicionais e fizerem uma melhor integração do transporte como uso do solo, as reduções poderão ser maiores (VINCENT e JERRAM, 2006).

Em termos gerais, no que diz respeito a emissões atmosféricas, projetos de novos sistemas de transporte público têm potencial de redução de impacto se favorecem a transição de modos mais poluentes para modos menos poluentes, em relação à grama de CO₂eq por passageiro transportado. Assim, por reduzir as distâncias percorridas por veículos, ter uma maior taxa de ocupação e promover a melhoria da eficiência de combustível e da tecnologia dos ônibus, as emissões por passageiro transportado em sistemas BRT podem ser reduzidas (EMBARQ, 2013).

3. CAPÍTULO II – MATERIAL E MÉTODOS



A metodologia, como já referido, é dividida em 3 etapas: Etapa 1 descrição da “Área de Estudo”, Etapa 2 “Levantamento de dados” e Etapa 3 “Processamento de dados”. Sendo que cada uma das partes do trabalho possui uma metodologia própria.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Goiânia é a capital e está inserida no município mais populoso do estado de Goiás, sua população era de 1.302.001 habitantes, segundo o último censo do IBGE (2010). No ano de 2015 iniciou-se a implantação de um corredor BRT que vai ligar a porção norte à porção sul da cidade, conectando-a à cidade vizinha, a qual é conurbada com Goiânia, Aparecida de Goiânia. Nesse sentido, tendo em vista o potencial de impacto na infraestrutura e no clima urbano que esse corredor pode promover, optou-se por analisar os impactos promovidos ao longo de seu eixo.

Segundo o Relatório de Fiscalização realizado pela Secretaria Federal de Controle Interno (2016):

“O Corredor BRT Norte-Sul está previsto no Plano Diretor do Município de Goiânia como um dos eixos estruturais de transporte da Capital e é considerado prioritário no Plano Diretor de Transporte Coletivo Urbano de Goiânia, sendo que a sua inserção geográfica oferece uma ampla articulação territorial, atendendo direta e indiretamente a aproximadamente 1,8 milhão de habitantes dos municípios de Goiânia e de Aparecida de Goiânia” (Brasil, 2016, p. 4).

Esse corredor tem seu início no Terminal Recanto do Bosque, Região Norte de Goiânia, e final no Terminal Veiga Jardim, na cidade de Aparecida de Goiânia (Figura 13). O corredor possui 27 km de extensão, o que o torna o segundo maior eixo de transporte coletivo da Rede Metropolitana de Transporte Coletivo (RMTC), atrás apenas do Corredor Anhanguera.

Dessa forma, seu eixo foi dividido em três trechos, uma opção metodológica, para facilitar a análise e reduzir o esforço computacional para processamento dos dados (Figura 14). O primeiro trecho tem início no Terminal Recanto do Bosque até o Terminal Rodoviária, possui extensão de 11,0 km. O segundo trecho segue até o Terminal Cruzeiro do Sul, possui 8,0 km de extensão. O terceiro trecho segue até o Terminal Veiga Jardim em Aparecida de Goiânia, com extensão de 8,0 km.

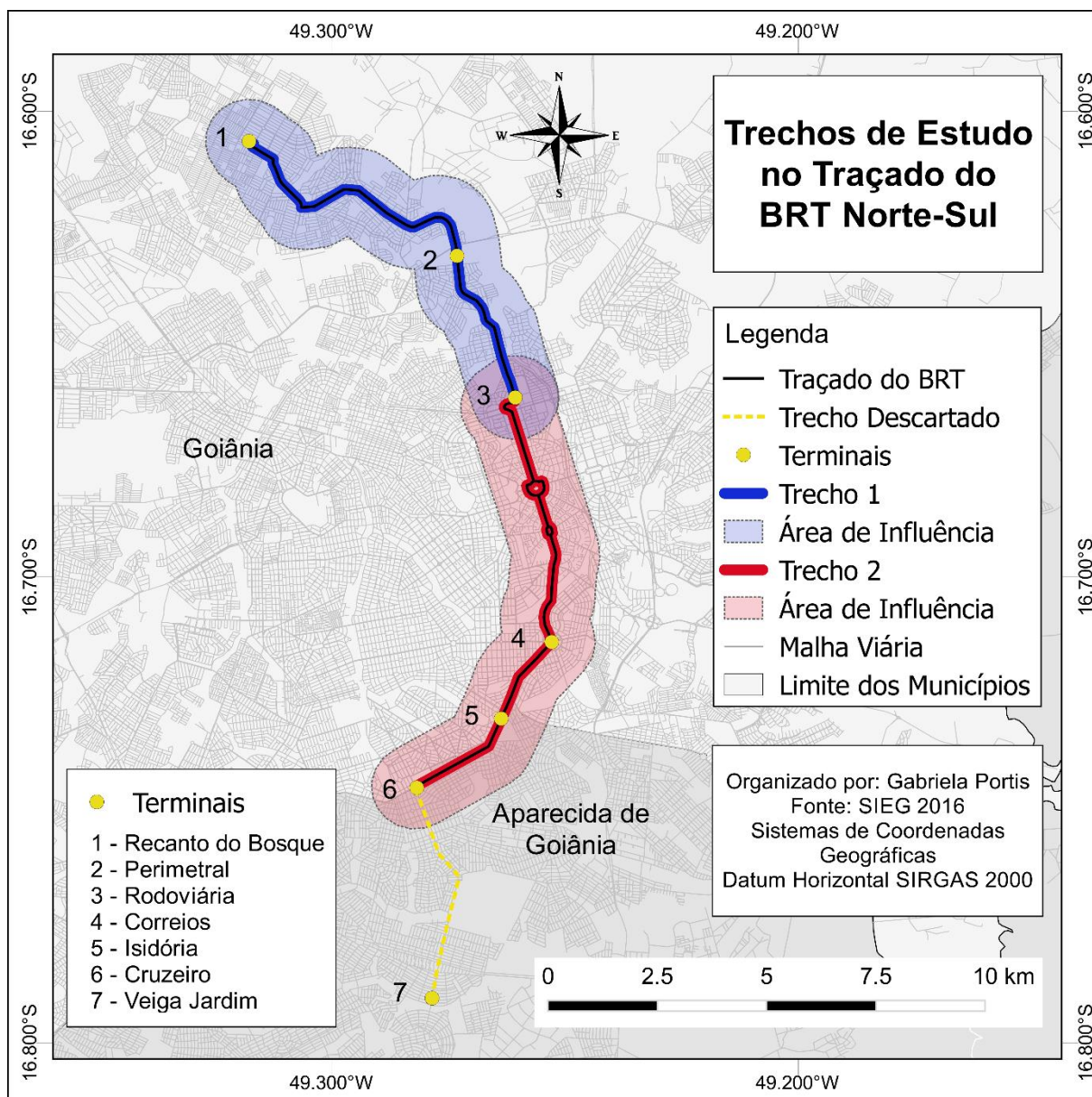


Figura 13. Trechos da Área de Estudo.

Além disso, como o parâmetro para a delimitação da área de influência desse tipo de corredor é subjetivo, foi levado em consideração a caminhabilidade da população até o corredor. Esse parâmetro é definido pelo ITDP, o *People Near Rapid Transit* (PNT), que o considera fundamental para a mobilidade sustentável. Assim, estima-se a acessibilidade e a cobertura de trânsito rápido nas grandes cidades, e define uma distância de 1 km como média que uma pessoa se desloca a pé, para acessar um corredor de trânsito rápido de alta qualidade (ITDP, 2016-b).

Por consequência dessas considerações foi determinado o *buffer* (área de influência) de 1 km, a partir do eixo do corredor BRT no trecho escolhido, delimitando assim a área onde serão aplicadas as metodologias adotadas.

3.2 PARTE 1: PROCEDIMENTO PARA MODELAGEM DAS TRANSFORMAÇÕES ESPACIAIS SOB INFLUÊNCIA DO BRT GOIÂNIA

Os procedimentos para a modelagem das transformações espaciais se iniciam com a definição da “Área de Estudo”, já definida anteriormente. Sendo posteriormente feita a “Aquisição de Dados” e o “Processamento de Dados”.

3.2.1 Identificação do Padrão de Cobertura do Solo

A metodologia (Figura 15) tem como base o método híbrido para análise das transformações espaciais, iniciando com a Classificação Supervisionada, fazendo sua validação a partir do conhecimento de campo e a análise da Exatidão Global por meio de métodos estatísticos.

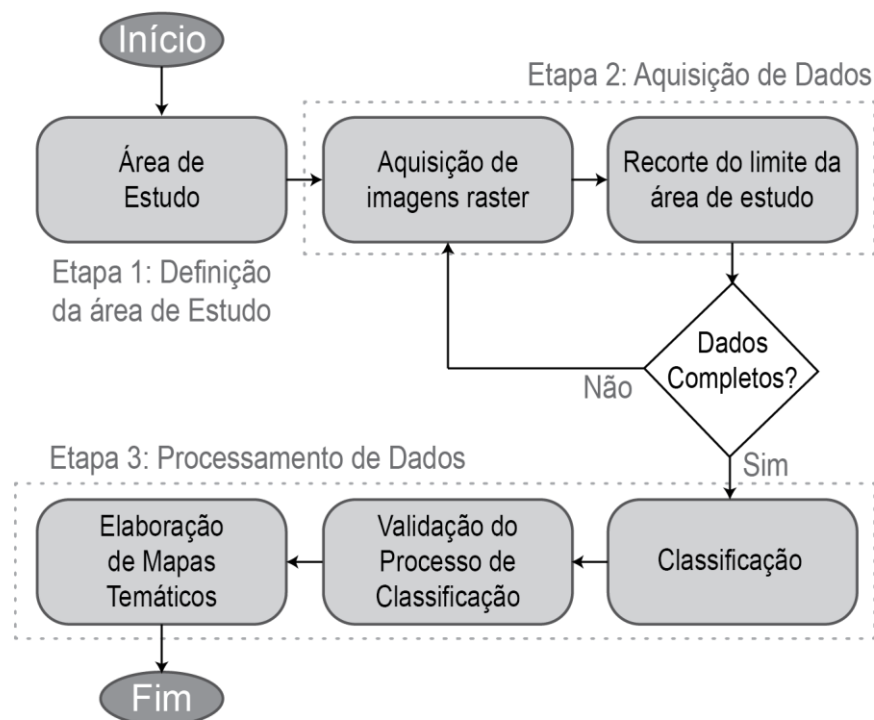


Figura 14. Fluxograma da Metodologia para Modelagem das Transformações Espaciais.

- Etapa 2: Aquisição de dados:

As imagens orbitais de alta resolução espacial foram adquiridas pelo Google Earth Pró®, que possibilita, através da ferramenta Salvar Como, o *download* da imagem visualizada em resolução máxima de 4800 x 2843. Foram adquiridas imagens de períodos distintos, para possibilitar a extração das informações que foram utilizadas na elaboração dos mapas de uso do solo, e sua análise espaço-temporal.

Após a aquisição dos dados foi realizado o georreferenciamento das imagens para permitir a composição de um mosaico abrangendo toda a área de estudo. O georreferenciamento foi realizado utilizando o tipo de transformação Polinomial 2, o método de reamostragem foi o Vizinho mais próximo, e o SRC (Sistema de Referência de Coordenadas) alvo o Sirgas 2000/UTM zona 22S. Foram definidos 8 pontos de controle obtendo um erro médio de 0,43 pixels, sendo que o erro máximo não ultrapassou 1 pixel. O mosaico da área de estudo foi composto ao todo por nove imagens e obteve-se um tamanho final do pixel igual a 1.02041.

Para a comparação da transformação espaço temporal na área de influência do PGV foram obtidas imagens de dois períodos distintos: 2013 e 2020, antes do início da implantação do corredor de transportes, e situação mais recente de implantação.

- Etapa 3: Processamento de Dados

Para a caracterização das transformações espaciais aplicou-se o processamento digital de imagens no *software open-source* QGIS® (*Quantum Geographical Information System*), versão 2.18, que permite a inserção de *plug-ins* como ferramentas de análise. Foi utilizado para a classificação das imagens o complemento SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) (CONGEDO, 2016). Como forma de manipulação de imagens foi utilizado o método de classificação supervisionada pixel a pixel, que utiliza amostras de identidade conhecida para classificar pixels de identidade desconhecida. Para tanto foram localizados exemplos representativos de cada tipo de cobertura, digitalizando polígonos em torno de cada área de treinamento. As classes de cobertura, definidas pela analista para realizar a aquisição de amostras ou treinamento de classes representativas da paisagem, foram: Telhado 1, Telhado 2, Pavimento, Solo Exposto, Vegetação Arbórea, Vegetação Gramínea, Água e Sombra.

A partir dos polígonos de treinamento foram criadas as assinaturas espectrais para cada tipo de cobertura e posteriormente feita a classificação propriamente dita, que compara a assinatura de cada pixel da imagem com as assinaturas conhecidas. O algoritmo utilizado para a classificação da imagem foi o Máxima Verossimilhança, em que as células em cada amostra de classe no espaço multidimensional têm distribuição normal. A ferramenta considera as variações e covariâncias das assinaturas de classe ao atribuir cada célula a uma das classes representadas no arquivo de assinatura.

A análise da exatidão do processo de classificação foi realizada a partir do complemento AcATaMa, do QGIS (LLANO, 2019). Esse *plugin* avalia a exatidão dos mapas temáticos e foi

projetado para: avaliar a exatidão dos mapas temáticos; estimar áreas das classes do mapa; geração de amostragem; e classificação de amostragem (LLANO, 2019). Para tanto, foi utilizado o método de Amostragem Aleatória Estratificada por Proporção Baseada na Área, gerando um total de 396 amostras distribuídas aleatoriamente nas classes, com Desvio Padrão Geral Esperado igual a 0,0050, avaliando assim, a exatidão dos mapas temáticos.

Por fim, foram elaborados os mapas temáticos, sob regras de Semiologia Gráfica (MENEZES e FERNANDES, 2013), que serviram à análise espaço temporal. As classes de uso mapeadas foram determinadas a partir do conhecimento de campo, levando em consideração parâmetros do referencial teórico. O Telhado 1 foi associado à telha cerâmica, mais comum em uso residencial; o Telhado 2 foi associado à telha metálica ou de fibrocimento, mais comum em uso comercial e serviços.

A comparação entre os mapas temáticos das situações anterior e atual de implantação do BRT serviu aos resultados desta pesquisa, possibilitando a visualização, análise e identificação de padrões e agrupamentos, tornando perceptíveis as tendências de alteração nos padrões de cobertura do solo com o início das obras de implantação do BRT Norte-Sul.

3.2.2 Alterações na Paisagem Urbana

Depois de gerada a classificação da cobertura do solo, os arquivos classificados foram novamente analisados para a realizar a detecção de mudanças.

- Etapa 3: Processamento de Dados

Os mapas classificados foram novamente inseridos no software QGIS®, onde foram processadas análises que forneceram subsídios para a detecção e compreensão das mudanças ocorridas na área de influência do corredor BRT Norte-Sul do ano de 2013 para o ano de 2020 e, conseqüentemente, forneceram elementos importantes para análise da dinâmica de alterações na paisagem urbana. Tal análise foi baseada no trabalho desenvolvido por Seabra et al. (2013), que utiliza o complemento SPC (CONGEDO, 2016), em que a ferramenta *Land Cover Change* permite a detecção das mudanças. Tais alterações foram divididas em três classes conforme o Quadro 8:

Quadro 8. Detecção de Mudanças na classificação da cobertura do solo.

Classes de Mudança	Classe de Cobertura 2013	Classe de Cobertura 2020
--------------------	-----------------------------	-----------------------------

Expansão Urbana	Vegetação Gramínea, Vegetação Arbórea e Solo Exposto	Telhado 1, Telhado 2, Pavimento e Solo Exposto
Regeneração	Todas as Classes de cobertura	Classes de Vegetação
Sem Mudança	Classe inicial	Classe não alterada

A primeira classe, denominada Expansão Urbana, representa as classes de cobertura do solo como Vegetação e Solo exposto que foram alteradas para classes como Telhado 1 e 2 e Pavimento, assim como a classe Solo Exposto (que representa áreas que estão em expansão ou passíveis de expansão urbana); a segunda, denominada Regeneração, representa as alterações das demais classes para as classes de vegetação, configurando a regeneração da vegetação; e a última classe, Sem Mudança, representa as classes de cobertura que não sofreram modificações. Dessa forma foram elaborados os mapas temáticos e tabelas que auxiliaram a análise das alterações na paisagem.

3.3 PARTE 2: PROCEDIMENTO PARA MODELAGEM DOS IMPACTOS DO BRT SOBRE O CLIMA URBANO EM GOIÂNIA

3.3.1 Temperatura de Superfície

A metodologia tem como base um método indireto para análise das alterações na temperatura de superfície no ambiente urbano, o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto no *software open-source* QGIS®, versão 2.18, seguindo as etapas da metodologia (Figura 16).

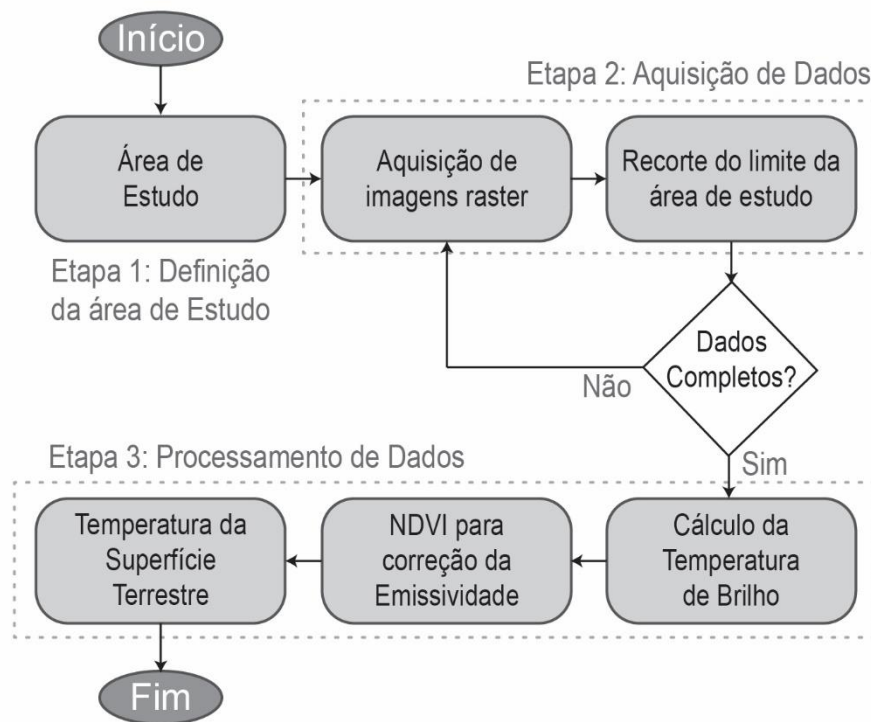


Figura 15. Fluxograma da Metodologia para Modelagem da Temperatura de Superfície Terrestre.

- Etapa 2: Aquisição de dados:

A aquisição de imagens raster de períodos distintos possibilita a extração de informações utilizadas para a elaboração das situações anterior e atual de implantação do Corredor BRT Norte-Sul. Para isso adquiriu-se imagens do satélite LANDSAT 8, através do *site* do USGS (*United States Geological Survey*). Foram adquiridas as imagens digitais das Bandas 4 e 5, que correspondem respectivamente ao Vermelho e Infravermelho Próximo, provenientes do sensor OLI (*Operational Land Imager*), com resolução espacial de 30 metros. Tais Bandas auxiliaram na obtenção dos parâmetros de Emissividade, a partir do NDVI, para o cálculo da Temperatura de Superfície Terrestre (TST). Para obtenção da Temperatura de Brilho da superfície foi adquirida a imagem digital Banda 10, correspondente à faixa do Infravermelho Termal, com resolução espacial de 100 metros, sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Os metadados das imagens de satélite usados no algoritmo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Constantes necessárias para o redimensionamento de imagens do satélite Landsat 8.

ANO	RADIANCE_MULT_BAND = M_L	VALOR
2013	RADIANCE_MULT_BAND_4	0.0098346
	RADIANCE_MULT_BAND_5	0.0060183
	RADIANCE_MULT_BAND_10	0.00033420
2020	RADIANCE_MULT_BAND_4	0.0097189
	RADIANCE_MULT_BAND_5	0.0059475
	RADIANCE_MULT_BAND_10	0.00033420
ANO	RADIANCE_ADD_BAND = A_L	VALOR
2013	RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.17284
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.09132
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
2020	RADIANCE_ADD_BAND_4	-48.59436
	RADIANCE_ADD_BAND_5	-29.73732
	RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
ANO	REFLECTANCE_MULT_BAND = M_ρ	VALOR
2013/	REFLECTANCE_MULT_BAND_4	0.00002
2020	REFLECTANCE_MULT_BAND_5	0.00002
ANO	REFLECTANCE_ADD_BAND = A_ρ	VALOR
2013/	REFLECTANCE_ADD_BAND_4	-0.1
2020	REFLECTANCE_ADD_BAND_5	-0.1
ANO	ATRIBUTOS DA IMAGEM	VALOR
2013	SUN_ELEVATION	54.26979878
	K1_CONSTANT_BAND_10	774.89
	K2_CONSTANT_BAND_10	1321.08
2020	SUN_ELEVATION	46.11510866
	K1_CONSTANT_BAND_10	774.89
	K2_CONSTANT_BAND_10	1321.08

Após a aquisição, a imagem foi reprojetada para o sistema SIRGAS 2000 / UTM zone 22S para permitir, quando inserida em SIG, o relacionamento espacial das variáveis a serem estudadas. Para a comparação da transformação espaço-temporal na área lindeira ao corredor BRT obteve-se imagens de dois períodos distintos (2013 e 2020), como referido, antes do início da implantação do corredor, e situação atual de implantação.

- Etapa 3: Processamento de dados

A organização e tratamento do dado raster iniciou-se com o recorte da imagem na área de estudo. Para determinar a TST (Temperatura de Superfície Terrestre), inicialmente converteu-se o DN (*Digital Number*) da imagem Landsat 8, do sensor TIRS, Banda 10, para a Radiância ToA (*Top of Atmospheric*) e, a partir desse dado, foi determinada a Temperatura de Brilho.

Aplicou-se também os parâmetros fixos de conversão do DN da imagem Landsat 8, sensor OLI, Bandas 4 e 5, para Radiância ToA e Reflectância no Topo da Atmosfera. Calculou-se então o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para determinar a PV (Proporção de Vegetação), e estimar a Emissividade. Para finalizar, aplicou-se, na imagem de Temperatura de Brilho, os valores de emissividade encontrados, resultando na Temperatura de Superfície Terrestre corrigida por emissividade.

Temperatura de Brilho no Sensor

- Radiância Espectral no Topo da Atmosfera.

Aplicou-se à Banda 10 os parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, de acordo com a equação 3.1 disponibilizada no USGS.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3.1)$$

Tais elementos são extraídos dos metadados da imagem (tabela 1), para aplicação na fórmula de conversão para radiância:

L_{λ} : Radiância Espectral no topo da atmosfera ($W/m^2 \text{ srad } \mu m$);

M_L : Fator de redimensionamento multiplicativo da radiância para a banda específica ($RADIANCE_MULT_BAND_x$), onde x é o número da banda;

A_L : Fator de redimensionamento aditivo da radiância para a banda específica ($RADIANCE_ADD_BAND_x$), onde x é o número da banda;

Q_{cal} : Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (Imagem banda x), onde x é o número da banda.

- Conversão de radiância para temperatura de brilho no sensor.

Para se obter a imagem de Temperatura de brilho no sensor ($^{\circ} C$) deve-se aplicar a equação 1 para a banda 10, obtendo-se a imagem de radiância no topo da atmosfera e após transformar os valores em radiância, deve-se converter os valores obtidos em temperatura de brilho, dada em graus Kelvin. Para tanto, aplicou-se a equação 3.2:

$$TB = \frac{K_2}{\ln \frac{K_1}{L_\lambda + 1}} \quad (3.2)$$

Os elementos da constante de calibração também são extraídos dos metadados da imagem (tabela 1) Banda 10:

TB: Temperatura de Brilho no sensor (K);

K2: Constante termal da banda específica (K2_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda;

K1: Constante termal da banda específica (K1_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda;

L λ : Radiância Espectral no topo da atmosfera (W/m² srad μ m).

Depois deste procedimento, subtraiu-se dos valores em temperatura Kelvin obtidos, o seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C).

Método NDVI para Correção da Emissividade

- Reflectância no Topo da Atmosfera

Aplicou-se às Bandas 4 e 5, a equação 3.3 para calcular a reflectância no topo da atmosfera. A conversão do DN das imagens Landsat 8 para radiância espectral no topo da atmosfera, normalmente utilizada para obtenção da reflectância, pode ser feita de forma direta a partir da equação que se segue (USGS, 2016):

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho Q_{cal} + A_\rho}{\sin(\theta_{SE})} \quad (3.3)$$

Onde:

ρ_λ : Reflectância no Topo da Atmosfera;

M ρ : fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda;

Q $_{cal}$: Número Digital (ND) do pixel;

A ρ : fator aditivo reescalado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x), onde x é o número da banda;

θ_{SE} : ângulo de elevação solar local (SUN_ELEVATION).

- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

As Bandas 4 e 5, com a reflectância planetária corrigida, foram usadas para calcular o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que representa a razão simples entre as bandas do Infravermelho Próximo (NIR) e Vermelho (R) (JENSEN, 2009). Tal índice produz um Índice de Vegetação (IV) que separa a vegetação verde do brilho do solo de fundo, variando entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior vigor vegetativo e o 0 (zero) representa valor aproximado para ausência de vegetação (SANTOS et al., 2010). Dessa maneira o NDVI auxilia na determinação da condição geral da vegetação, sendo esse um fator importante para a determinação da TST. O cálculo foi feito conforme a equação 3.4:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (3.4)$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR: Banda do Infravermelho Próximo (Banda 5);

R: Banda do Vermelho (Banda 4).

- Proporção da Vegetação (PV)

A Proporção de Vegetação é estimada a partir do NDVI e é um parâmetro importante para a determinação da Emissividade. A PV é calculada conforme a equação 3.5:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (3.5)$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NDVI_{min}: Valor mínimo do NDVI da imagem;

NDVI_{max}: Valor máximo do NDVI da imagem.

- Emissividade (ε) da superfície terrestre

A Proporção de Vegetação, obtida a partir do NDVI, é importante para a determinação da emissividade de superfície (WANG et al., 2015). A emissividade foi calculada conforme a equação que se segue:

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{V\lambda}P_V + \varepsilon_{S\lambda}(1 - P_V) + C_{\lambda} \quad (3.6)$$

Onde:

ε : emissividade;

ε_s e ε_v : correspondem, respectivamente, a emissividade do solo (0,966) e da vegetação (0, 973);

C : geometria da superfície (dada pela rugosidade da superfície, $C = 0$ para superfícies homogêneas e planas). Foi considerado $C = 0$.

Temperatura da Superfície Terrestre (TST)

A última etapa para determinação da TST corrigida por emissividade foi calculada em posse dos dados de emissividade (ε) e Temperatura de Brilho (TB), conforme a equação (6):

$$TST = \frac{TB}{\{1 + [(\lambda TB)/\rho] \ln(\varepsilon)\}} \quad (3.7)$$

Onde:

TST: Temperatura da Superfície Terrestre (° C);

TB: Temperatura de Brilho no Sensor (° C);

λ : Comprimento de onda central da Banda 10;

ρ : constante equivalente ao valor $1,438 \cdot 10^{-2} \text{mK}$;

ε : emissividade.

Por fim, elaborou-se os mapas temáticos que auxiliaram na análise espaço-temporal. A comparação entre os mapas temáticos das situações anterior e atual de implantação do corredor BRT, possibilitou visualizar, identificar e analisar padrões e agrupamentos, tornando perceptíveis as tendências na espacialização da temperatura em relação a diferentes tipos de cobertura do solo.

3.3.2 Pegada de Carbono

A metodologia tem como base um método proposto por Filimonau et al. (2011) para avaliação da pegada de Carbono, o método híbrido DEFRA-ACV. Para calcular a pegada de carbono serão utilizados os fatores de emissão do DEFRA para as emissões “diretas” de GEE e as “indiretas” dos diferentes combustíveis; já as emissões “indiretas” de GEE atribuídas aos

transportes, serão utilizados os coeficientes de intensidade de carbono do banco de dados do Ecoinvent (ECOINVENT, 2017). As etapas e os passos metodológicos podem ser vistos na Figura 17, e indicam os dados que serão levantados e tratados, para auxiliar a compreensão.

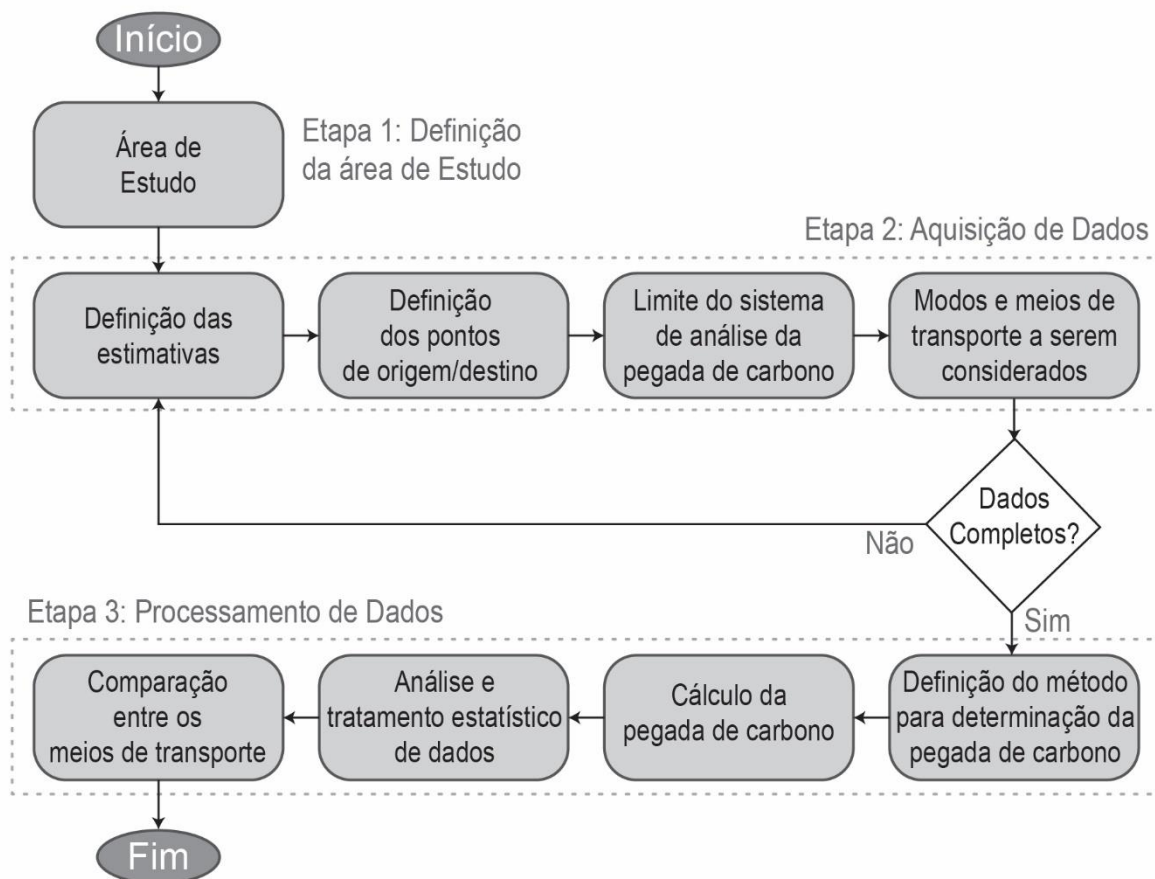


Figura 16. Fluxograma da Metodologia para Quantificação da Pegada de Carbono.

- Etapa 2 – Aquisição de Dados:

Optou-se por calcular a pegada de carbono de um indivíduo usuário do sistema BRT Norte-Sul Goiânia, e de indivíduos que optam pelo transporte individual motorizado, sendo considerado o modo mais utilizado na cidade de Goiânia. Assim, definiu-se um usuário de carro para comparação com o usuário do BRT. Foi definido também o percurso que esses indivíduos percorreriam, tendo como ponto de origem um PGV nas proximidades do corredor BRT, e o ponto de destino na Praça Cívica, região central da cidade (figura x).

1. Definição das estimativas:

Os estudos realizados para a implantação do corredor BRT Norte-Sul Goiânia consideraram as linhas de ônibus existentes nas avenidas que delineiam o percurso do BRT e definem uma quantidade de usuários do sistema. O Relatório Técnico feito em 2012 aponta que “o eixo de

transporte coletivo Norte – Sul atende a um carregamento da ordem de 8.000 passageiros/hora/sentido, com uma frequência média no seu segmento mais carregado de 110 ônibus/hora” (CMTC, 2012, p. 4). Dessa forma, tem-se uma média de 73 passageiros/ônibus e taxa de ocupação média de 43%, considerando a ocupação máxima de 170 passageiros em um ônibus articulado, modelo com maior quantidade de ônibus nesse sistema segundo o projeto do BRT Norte-Sul (CMTC, 2012). Além dos dados para o sistema BRT, será utilizada também a média de passageiros transportados por carros, que, segundo a ANTP, 2016 é de 1,3 passageiros por carro, equivalente a uma taxa de ocupação média de aproximadamente 25% considerando ocupação máxima de 5 passageiros.

2. Definição dos pontos de origem/destino:

A Figura 18 mostra o percurso do ônibus e do carro para o cálculo da pegada de carbono. Como ponto de origem foi definido o *Passeio das Águas Shopping*, um importante PGV (PORTIS et al., 2019), que foi implantado em uma área lindeira ao corredor BRT visando o acesso ao *shopping* por meio do transporte público coletivo. O *shopping* se localiza na Região Norte da cidade, nas proximidades do Terminal Perimetral, previsto no projeto do sistema BRT. Como ponto de destino foi definida a Praça Cívica, na região central de Goiânia. Para a cidade de Goiânia, na região central, se encontram universidades, empresas públicas e comércio, logo, atrai muitas viagens.

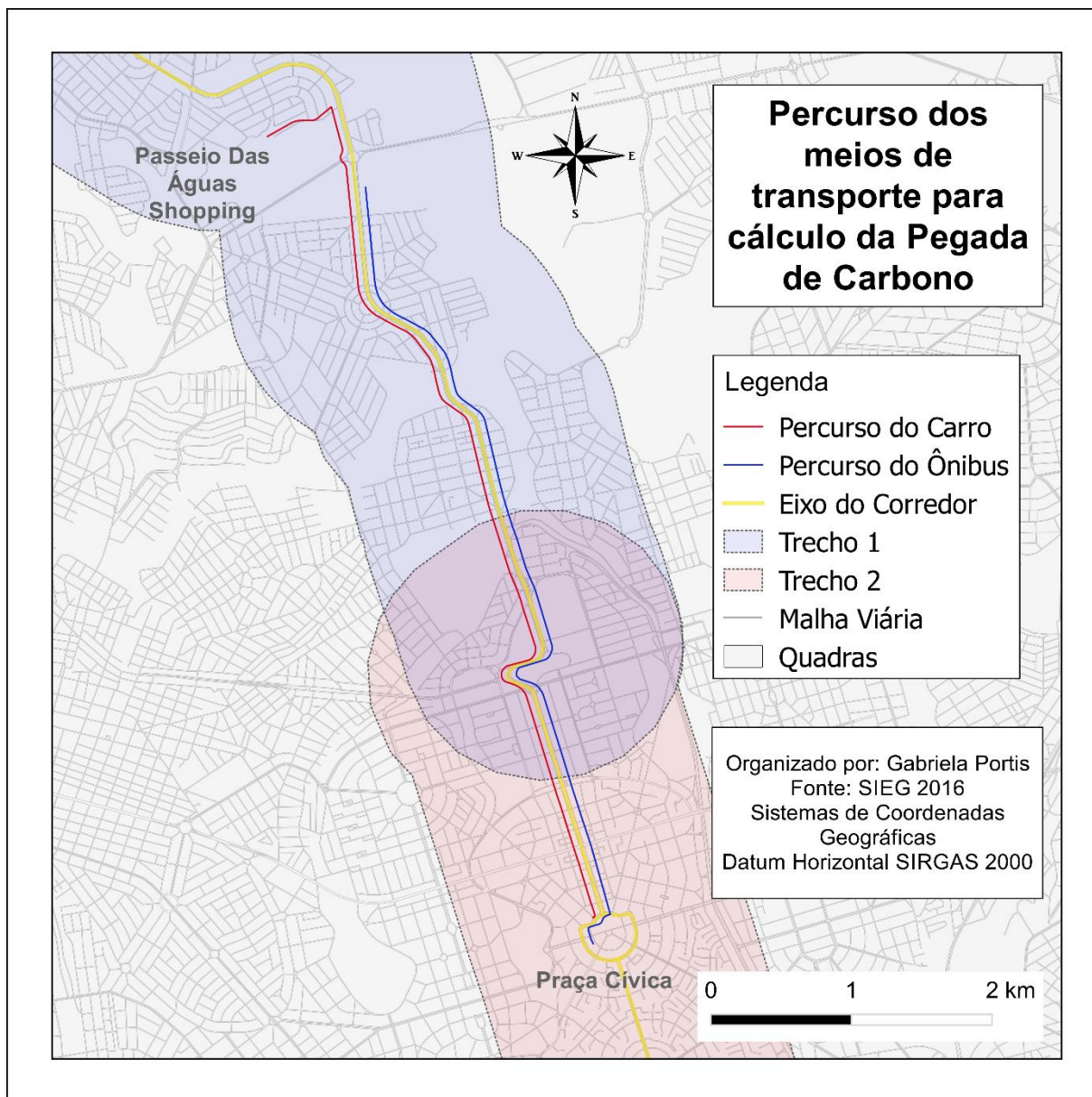


Figura 17. Percurso dos meios de transporte para cálculo da Pegada de Carbono.

3. Limite do sistema de análise da pegada de carbono:

O sistema de análise (Figura 19) se limita pelos pontos de origem e destino dos usuários dos sistemas de transporte, independente do modal utilizado. O sistema se inicia com a partida do usuário do ponto de origem e finaliza com sua chegada ao ponto de destino. As atividades preparatórias e pós-viagem não são considerados como sua contribuição para as emissões totais de GEE, pois, além da dificuldade de obter informações, elas são relativas e independem do modal de transporte utilizado.

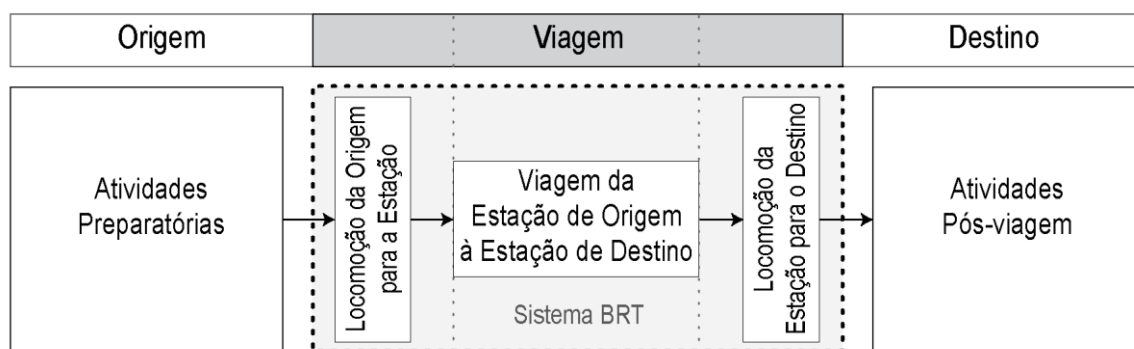


Figura 18. Limite do sistema para avaliação da pegada de carbono.

4. Modos e meios de transporte a serem considerados:

Além do sistema BRT, deve ser considerado o principal meio de transporte utilizado na cidade de Goiânia, o carro. Para carros, serão considerados a gasolina nacional (com aproximadamente 25% de etanol em sua composição) e o etanol nacional (biocombustível proveniente da cana-de-açúcar). Para realizar a adaptação da realidade britânica para a brasileira serão utilizados dados da pesquisa de Soares *et al.* (2009), que examinaram o potencial de mitigação de carbono associado ao uso do etanol no Brasil e constataram que a composição da gasolina do Brasil gera 19,25% menos de emissões diretas de GEE que a gasolina pura. Já o etanol puro promove uma redução de 80,2% das emissões diretas de GEE.

Como o projeto do BRT não prevê o tipo de combustível utilizado, serão considerados ônibus movidos a diesel fóssil e dois tipos de mistura de biocombustível, um intermediário e o biodiesel puro. Nesse sentido serão considerados a proporção B20 (adição de 20% de biodiesel à composição do diesel fóssil) que gera uma redução de 14,5% nas emissões de GEE se comparado ao diesel puro e o biodiesel B100, que é 100% biodiesel e pode reduzir 70% das emissões de GEE (DELTACO2 & CENA, 2013). Essas reduções percentuais serão utilizadas para o cálculo das emissões.

- Etapa 3 - Processamento de dados:

1. Definição do método para determinação da pegada de carbono:

A análise da pegada de carbono é baseada em sua quantificação, e apesar de existirem várias metodologias para o cálculo da pegada de carbono, constatou-se que muitas delas são complexas e necessitam de aplicativos computacionais específicos de alto custo (PEREIRA, 2018). Porém, diversas metodologias foram desenvolvidas, nas quais as emissões da pegada de carbono são quantificadas e apresentadas por meio de inventários realizados com diferentes

técnicas. Assim, para realizar a quantificação, definiu-se o método híbrido, já apresentado no capítulo anterior, desenvolvido por Filimonau et al. (2011), o DEFRA-ACV.

2. Cálculo da pegada de carbono:

Para se calcular a pegada de carbono dos deslocamentos realizados pelos usuários dos diferentes modais, deve-se efetivar o somatório das multiplicações das distâncias percorridas por cada um dos usuários, por modo de transporte, multiplicado pelos seus respectivos índices de pegada de carbono, conforme a equação a seguir:

$$PCT = \sum_{m \in M} dm \cdot im \quad (3-8)$$

Onde:

PCT: pegada de carbono do transporte, em tCO₂eq;

M: é o conjunto dos modos de transporte considerados;

dm: indica a distância total percorrida (em km) no modo de transporte $m \in M$;

im: representa o índice da pegada de carbono do modo $m \in M$ (kgCO₂eq/ passageiro/km).

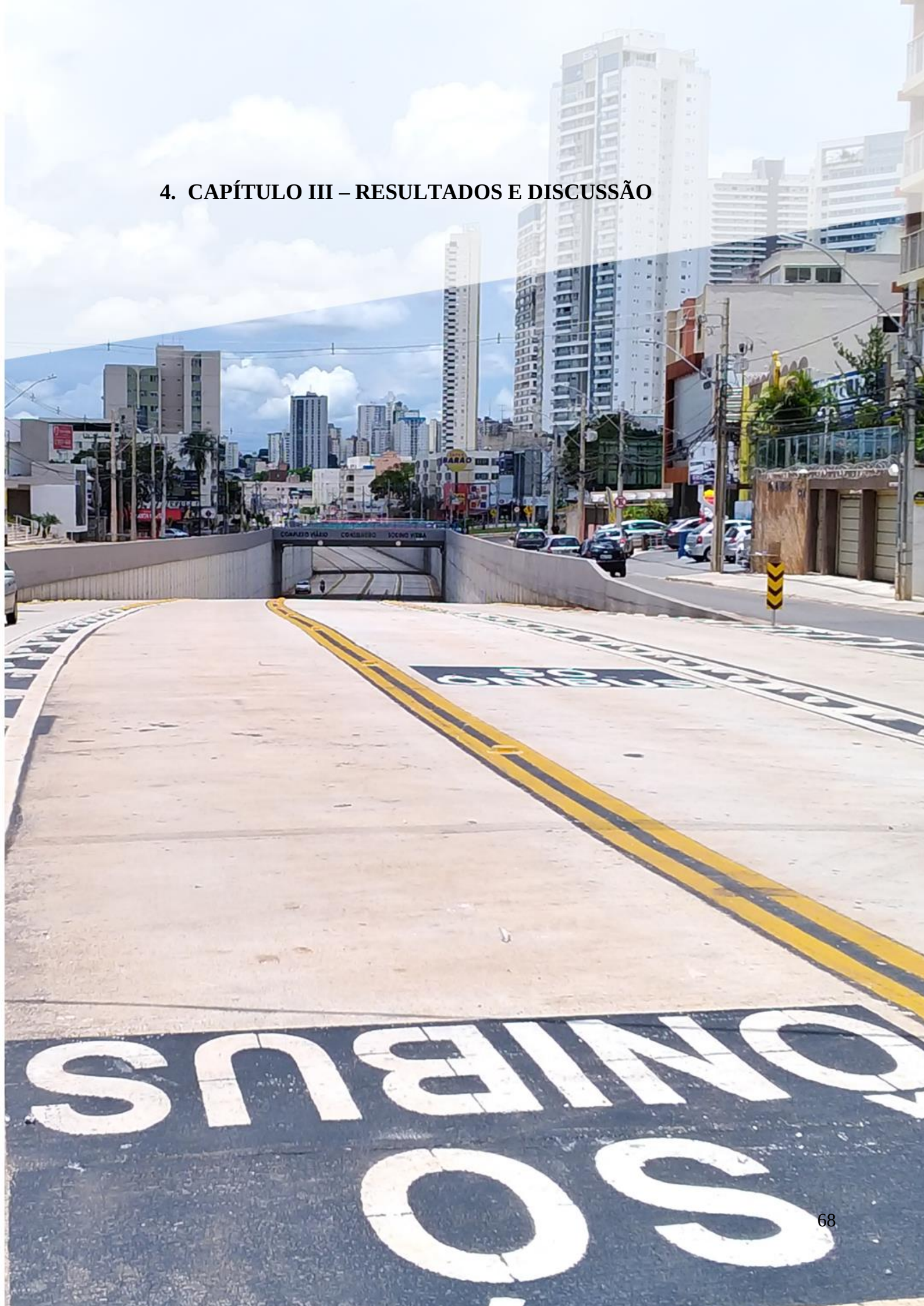
3. Análise e tratamento estatístico de dados:

Será feito o tratamento quantitativo dos dados, em que os resultados podem ser apresentados em tabelas síntese e representados por gráficos.

4. Comparação das emissões dos veículos motorizados individuais e do BRT:

Após o cálculo da pegada de carbono e o tratamento estatístico, será feita uma comparação para analisar as diferenças entre a pegada de carbono de um usuário do BRT e de um usuário de carro, considerando os diferentes tipos de combustível.

4. CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO



4.1 PARTE 1: IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA PAISAGEM URBANA SOB INFLUÊNCIA DO BRT

A identificação das alterações na paisagem urbana sob influência do BRT Norte-Sul Goiânia resultou num processo moroso, tendo em vista que a imagem disponível, adequada à análise, é do Google Earth Pro®, de altíssima resolução espacial. Desse modo, a metodologia foi aplicada nos Trechos 1 e 2 da área de estudo, que conectam a Região Norte da capital à Aparecida de Goiânia. Os resultados obtidos para a análise das transformações espaciais sob a influência do sistema BRT são apresentados a seguir.

4.1.1 Identificação do Padrão de Cobertura do Solo

Os resultados das transformações espaciais para o Trecho 1, que liga a Região Norte à Região central da cidade, podem ser sintetizados nas Figuras 20 e 21, que revelam a classificação e quantificação da cobertura do solo, antes do início da implantação do corredor BRT e nas Figuras 22 e 23, após o início das obras de implantação da infraestrutura do corredor.

No ano de 2013 (Figura 20), a infraestrutura necessária ao funcionamento do corredor BRT, tais como as pistas de concreto, plataformas de embarque, terminais de integração, dentre outros elementos, não estava presente na imagem. No Trecho 1, ao longo da área de influência, foi detectada uma grande presença de cobertura vegetal, sendo que a classe de cobertura Vegetação Gramínea cobria 22,9% da área, e a de Vegetação Arbórea cobria 13,2% da área (Figura 21). As duas classes juntas somaram 36,1% da cobertura total da área. Essa expressiva porcentagem de área verde se deve a presença de trechos de rios, córregos e nascentes, que contam com Área de Preservação Permanente (APP).

Além das APP, são observadas áreas cobertas pela classe de uso Vegetação Gramínea, intercaladas às áreas construídas, que configuram como vazios urbanos, principalmente na porção norte do Trecho 1. Essas áreas revelam a especulação imobiliária, especialmente, na parte central do Trecho 1, junto ao Shopping Passeio das Águas Shopping (PORTIS et al., 2020).

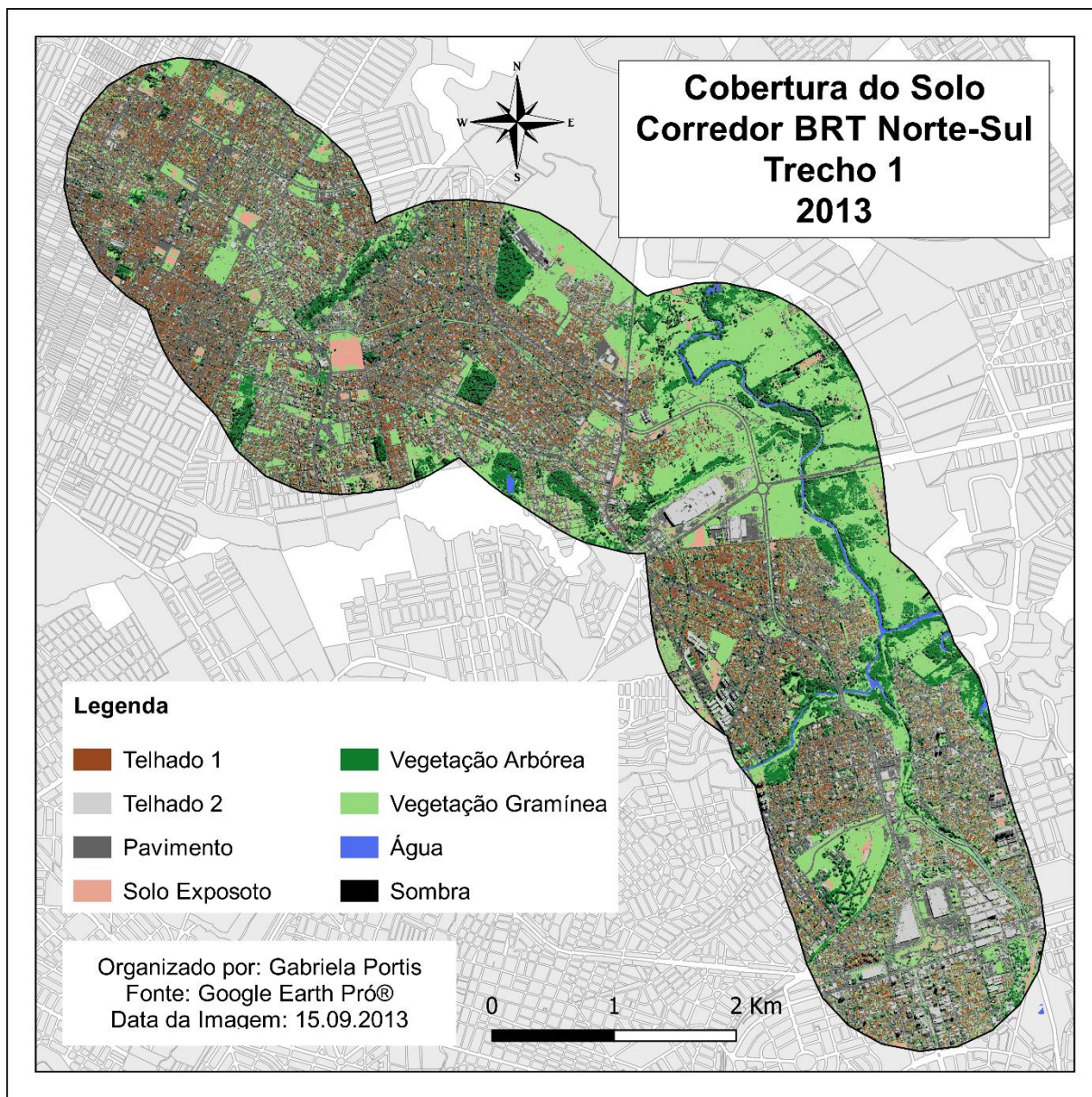


Figura 19. Cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2013.

O referido trecho possuía, ainda, grande parte de sua cobertura ocupada pela classe Pavimento (22,5%). Tal representatividade se deve principalmente às infraestruturas dos sistemas de transporte, presentes na região central de Goiânia: ruas, avenidas e estacionamentos. Parte dessa representação é relativa à presença de passeios públicos e áreas impermeabilizadas internas aos lotes.

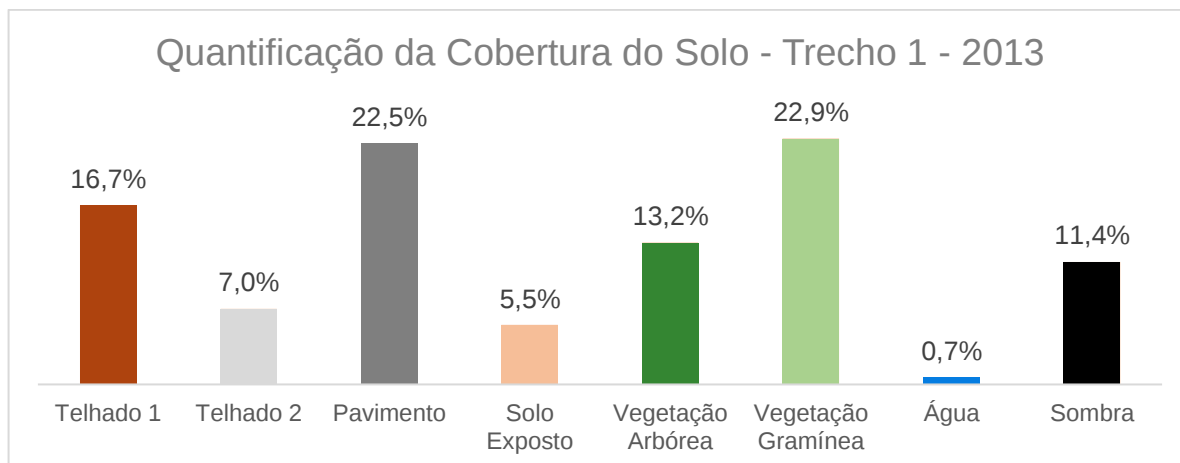


Figura 20. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2013.

No ano de 2020 a infraestrutura do corredor BRT já está em estágio avançado de implantação, sendo possível identificar na malha urbana a pista de circulação em concreto e as plataformas de embarque. A vegetação continua ocupando grande parte da área em decorrência das áreas de APP, como já referido. A classe Vegetação Arbórea cobre 16,8% da área e a Vegetação Gramínea 17,3% (Figura 22).

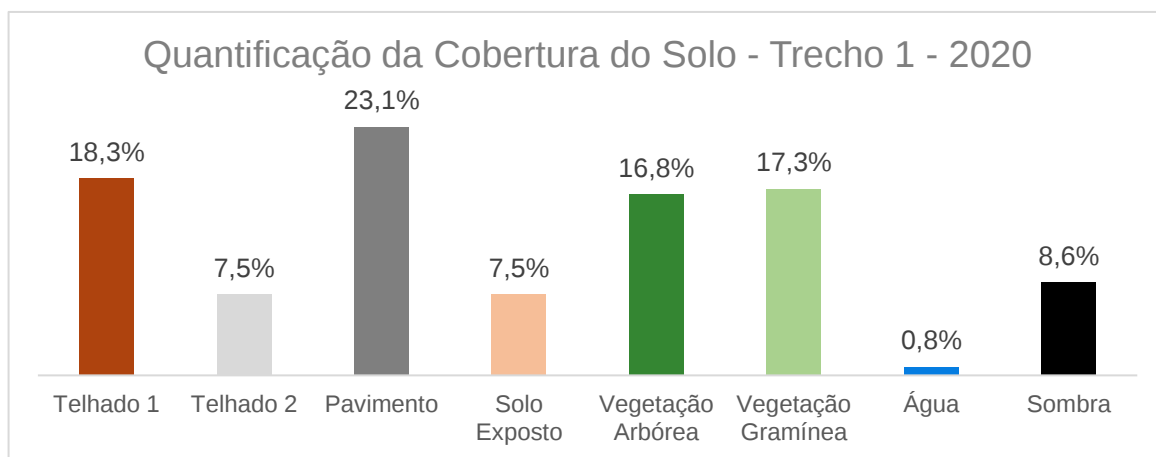


Figura 21. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.

O aumento da cobertura por vegetação de porte arbóreo se deu por ações de replantio em áreas de APP, tendo como uma de suas consequências a redução da vegetação gramínea. Nesse sentido, segundo Portis et al. (2020), a implantação de um shopping, considerado um PGV, nesse trecho culminou no replantio de espécies nativas:

“Após o início das obras, a prefeitura, juntamente com o empreendedor do PGV, realizou o plantio de espécies arbóreas na Área de Preservação Permanente (APP) do referido córrego que dista, aproximadamente, 50 metros do muro do shopping, onde foi implantado, como medida compensatória, o Parque Municipal Urias Alves Tavares” (PORTIS et al., 2020, p.9).

Além disso, os autores referem que a partir dessa medida, “a vegetação arbórea teve um aumento de 73% de 2013 para 2018”, no entorno Shopping Passeio das Águas e que tais ações amenizam, mas não neutralizam na íntegra os impactos desse empreendimento. Ademais, grande parte das áreas de vazios urbanos recobertos por vegetação gramínea permanecem não edificadas (Figura 23). Tais áreas, possivelmente, são mantidas pela iniciativa privada para a promoção da especulação imobiliária, uma vez que a implantação de um corredor de transporte de alta capacidade promove a valorização da área.

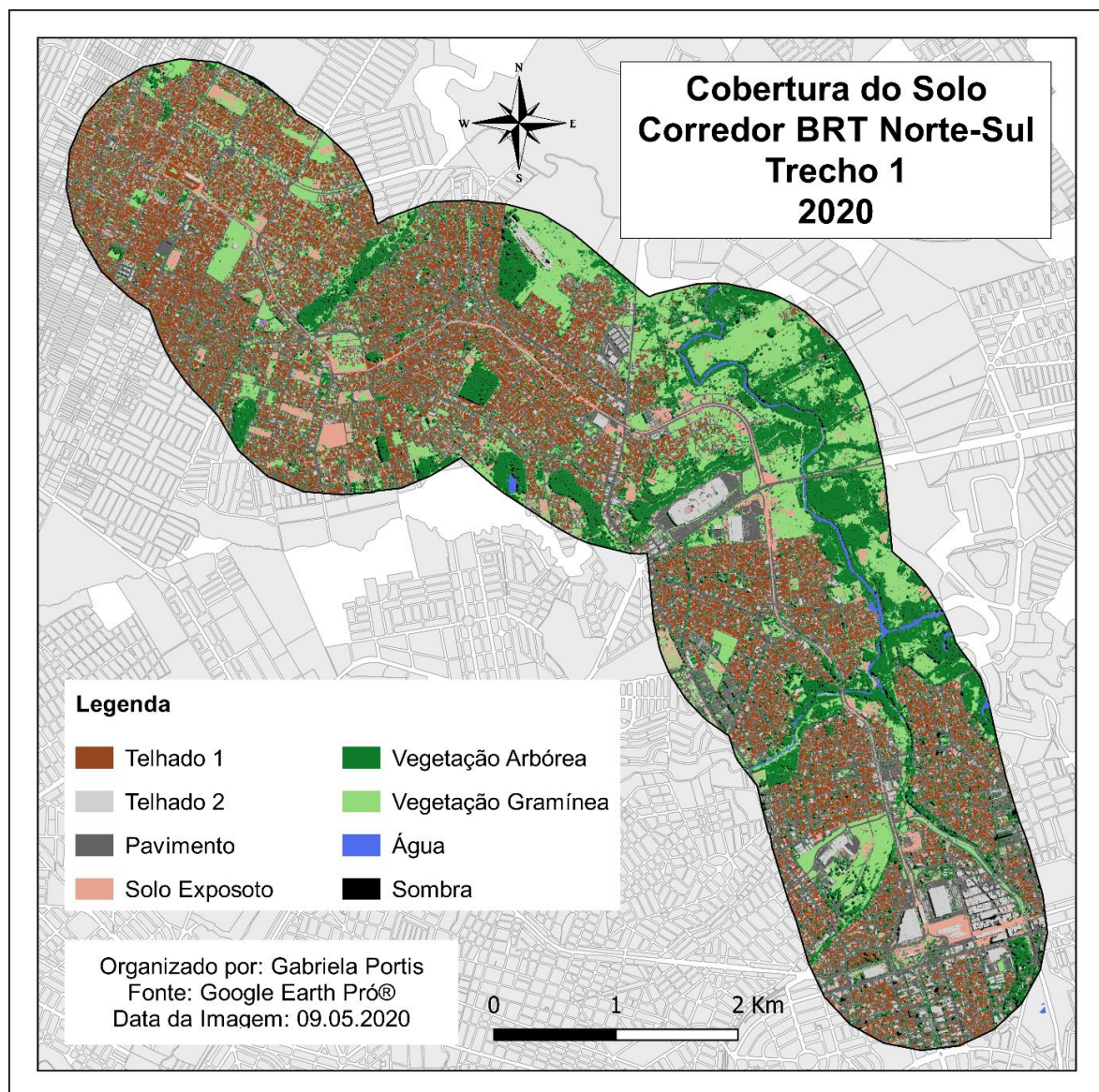


Figura 22. Uso e cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.

Segundo Campos Filho (2001, p. 48), em termos gerais, a especulação imobiliária “é a forma pela qual os proprietários de terra recebem uma renda transferida dos outros setores produtivos da economia, especialmente através de investimentos públicos na infraestrutura e serviços urbanos[...]”. Esse fenômeno pode ser explicado, dentre outros fatores, pelo período e instabilidade econômica, mas também a opção do proprietário de usar os lotes como investimentos.

A redução da área da Classe Vegetação Gramínea foi consequência, também, da implantação das pistas de rolagem dos ônibus do sistema BRT, em parte do Trecho 1, que ocuparam áreas de canteiro central recobertas por vegetação gramínea e arbórea, como na Av. Goiás Norte, Av. Horácio Costa e Silva, Av. dos Carajás, Av. Genésio de Lima Brito, Av. dos Ipês e Av. Lúcio Rebelo. Entretanto, em parte desse trecho, na Av. Goiás, houve a manutenção da vegetação existente, possibilitada pela pré-existência de um corredor exclusivo para ônibus, sendo necessária apenas a substituição da pavimentação existente. Assim, a área da Classe Pavimento teve um aumento de 0,6%, e passou a ocupar 23,1% da área.

Esse aumento se deveu, também, a outros fatores, como áreas de estacionamento no Passeio das Águas Shopping e na Região da 44, que é considerada o maior polo de confecção do Centro-Oeste e o segundo do Brasil, exercendo influência em todo o país (REGIÃO DA 44, 2019). Segundo o IBGE (2020), referente ao ano de 2018, no deslocamento para compras de vestuário e calçados o Arranjo Populacional de Goiânia/GO é o que polariza maior número de municípios, “exercendo atratividade para compras de vestuário e calçados em grandes distâncias que avançam por todo o Estado do Tocantins, sudeste do Pará, norte de Mato Grosso e oeste da Bahia. Ao todo, são 161 cidades nas três ordens de frequência, com uma média de 403 km de deslocamento” (IBGE, 2020, p. 9). Nesse sentido, a Região da 44 continua em expansão, promovendo alterações na cobertura do solo tanto em relação a coberturas comerciais quanto para infraestrutura de transportes.

Além disso, na área edificada há o predomínio do uso residencial, que é indicado, como já referido, pela classe Telhado 1. Em 2013 essa classe tinha um percentual de 16,7% da área total, e passou a representar 18,3% em 2020, o que evidencia um leve aumento de 1,6%. A característica do uso residencial, observada em campo nesse trecho da área de estudo, é de edificações predominantemente horizontais. Apesar de ser majoritariamente residencial, o trecho conta com grandes empreendimentos comerciais, tais como hipermercados atacadistas e centros comerciais. Alguns desses empreendimentos, como o Passeio das Águas Shopping

(construído em 2013), já previam a implantação do corredor, que aumentará a acessibilidade ao local por transporte público.

A classe Telhado 2, que representa predominantemente superfícies comerciais e de serviços, como referido, também aumentou, e foi de 7,0% em 2013, para 7,5% em 2020. Tal aumento teve como principal fator a construção de novos empreendimentos tais como centros comerciais e os hipermercados Atacadão Dia a Dia, na Av. Horácio Costa e Silva, e o Açáí Atacadista na Região da 44. A tendência de aumento da área ocupada por essa classe de uso pode ser observada pela classe Solo Exposto que, em parte, representa canteiros de obra. Alguns desses canteiros, na Região da 44, já foram ocupados com centros comerciais, outros estão em processo de implantação. Nesse sentido destaca-se o aumento da Classe Solo Exposto de 5,5% em 2013, para 7,5% em 2020, esse aumento deve-se também as pistas de rolagem dos ônibus do sistema BRT, que devido às obras foi classificado como solo exposto, destacando-se da classe Pavimento na malha viária.

A classe Água se evidencia pela presença dos rios e córregos, além de piscinas em áreas públicas e particulares. Sua variação pode ser atribuída ao sombreamento oriundo da vegetação arbórea, que nas imagens de satélite cobre parte do leito dos córregos. A classe Sombra varia conforme o ângulo de captura das imagens, além disso, a inclinação do sol que incide sobre as construções pode auxiliar na identificação de edificações verticalizadas.

Os resultados das transformações espaciais para o Trecho 2, que liga a Região central da cidade à Aparecida de Goiânia, podem ser sintetizados nas Figuras 24 e 25 para o ano de 2013 e 26 e 27 para o ano de 2020.

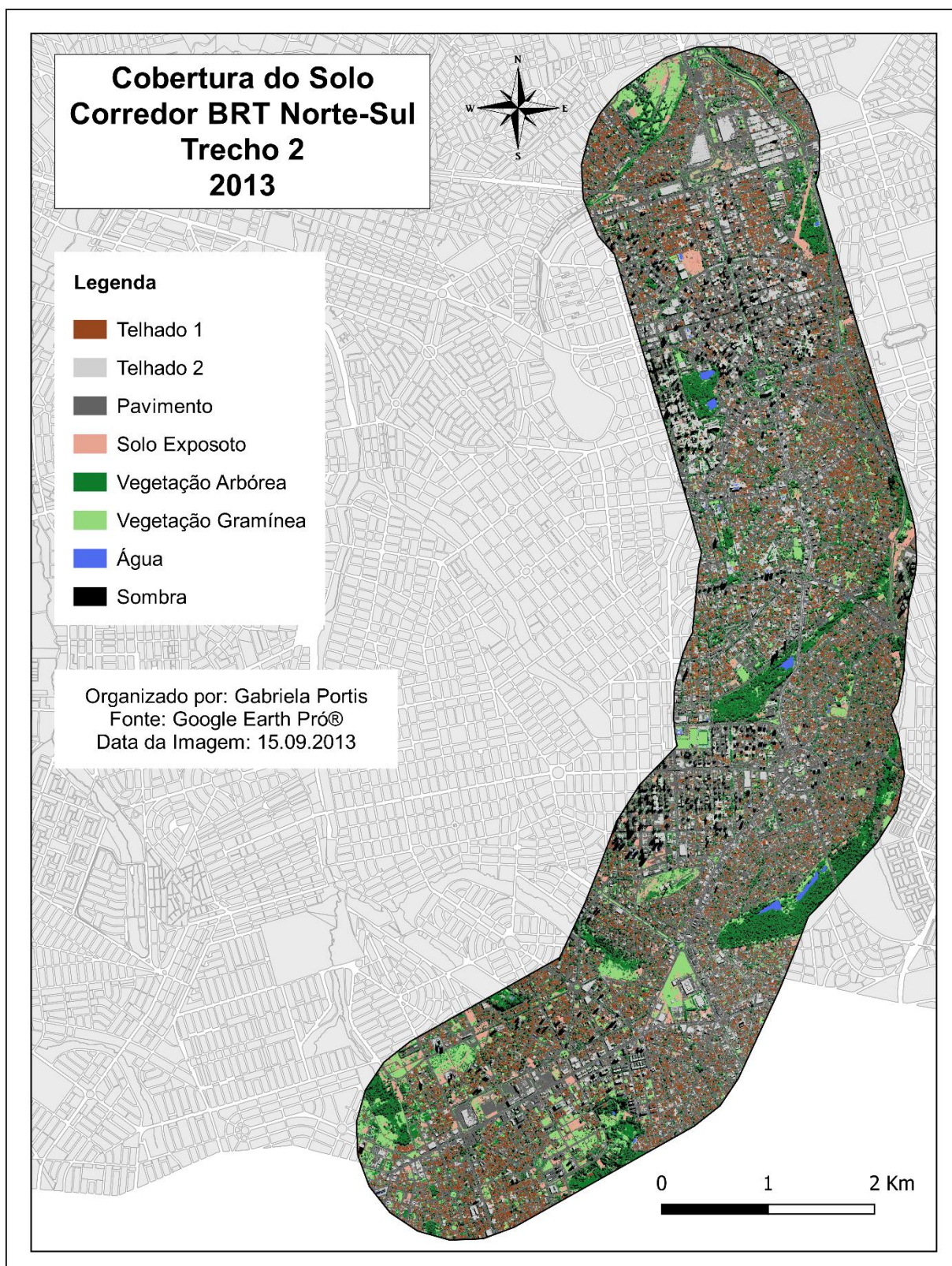


Figura 23. Cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2013.

A classificação da cobertura do solo para o Trecho 2 apresenta, no geral, uma porcentagem maior das classes de cobertura Pavimento e Telhado 2 e menor das classes de vegetação em relação ao Trecho 1. Isso ocorre, pois, tal trecho engloba uma parcela maior de áreas

centralizadas e, conseqüentemente, com maior quantidade de uso comercial e áreas pavimentadas. Além disso, segundo Mendes et al. (2015), de acordo com a quantidade de edifícios presentes no local, que produzem maior área de sombra na imagem de satélite, pôde-se pressupor o grau de densidade de ocupação da cidade. Nesse sentido percebe-se uma maior porcentagem de área coberta por sombra no Trecho 2 em relação ao 1, o que, em parte, representa uma maior verticalização.

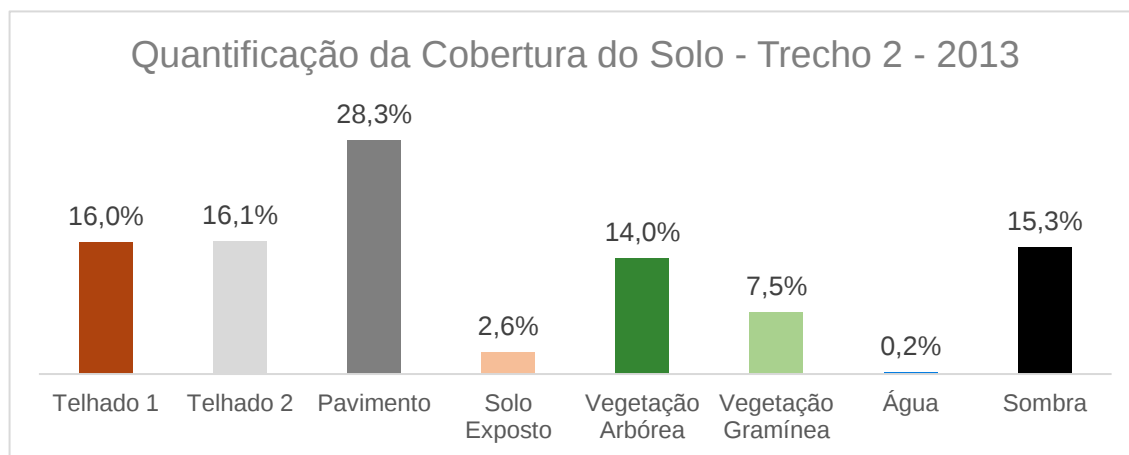


Figura 24. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2013.

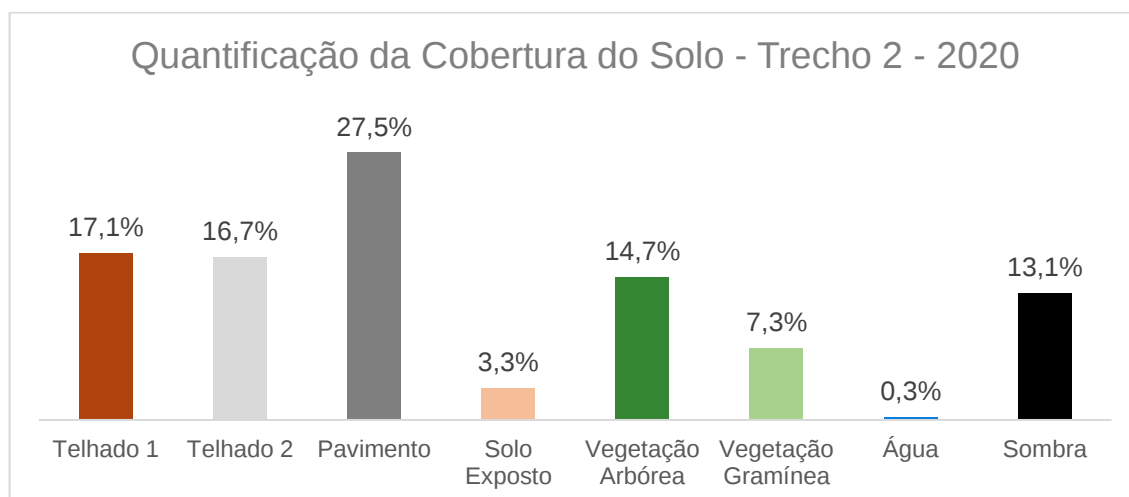


Figura 25. Quantificação do uso e cobertura do solo do Trecho 2 no ano de 2020.

Na data da imagem de 2020, as obras tinham avançado até o Terminal Isidória. No Trecho 2 a parte da Av. Goiás (Setor Central) que é tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) não teve grandes alterações em seu canteiro central. Nesse trecho as obras foram paralisadas a pedido do IPHAN (IPHAN,2020), por estarem prejudicando o estado de conservação de alguns bens históricos, sendo posteriormente liberadas com restrições à utilização de alguns maquinários.

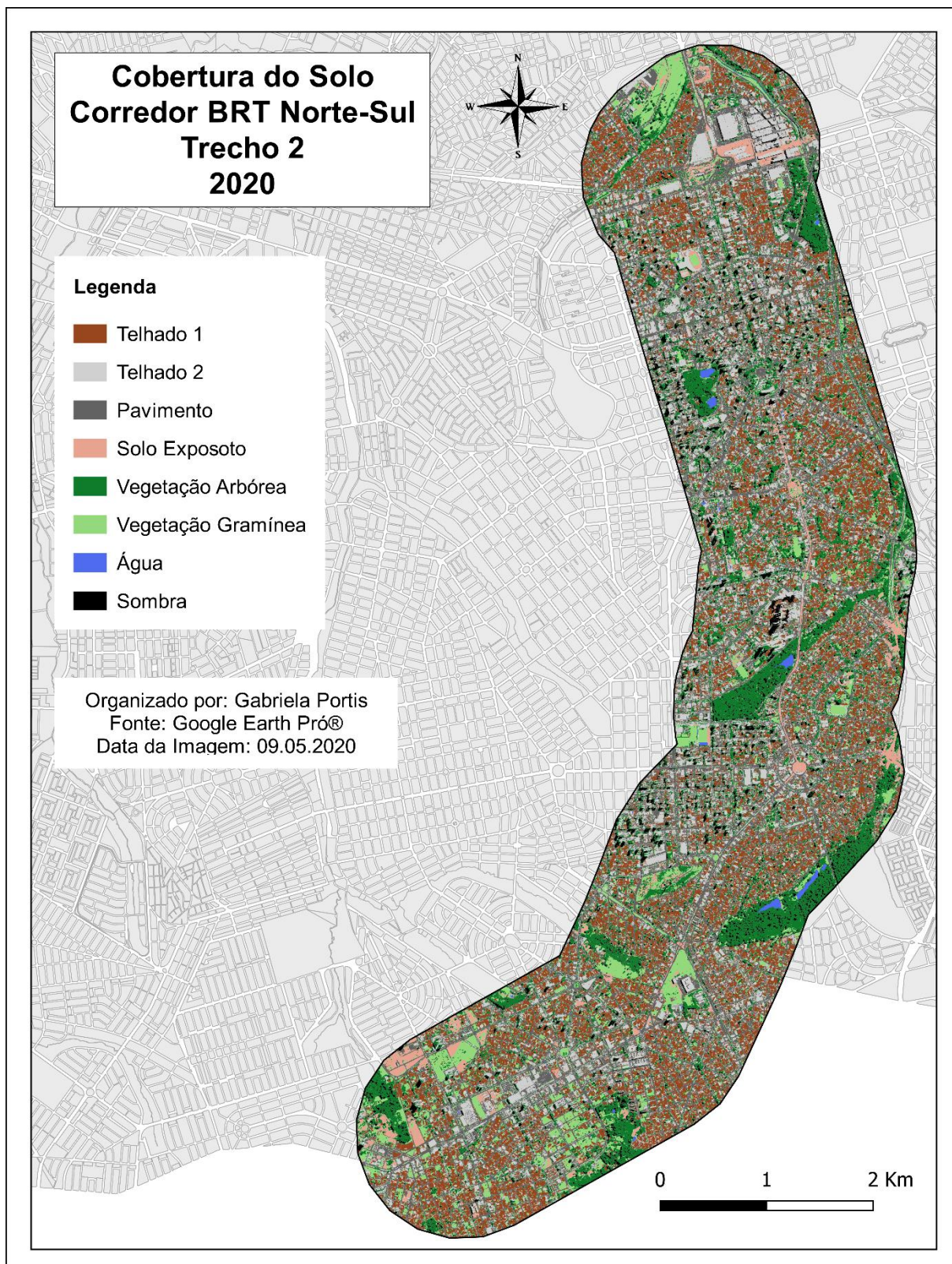


Figura 26. Cobertura do solo do Trecho 1 no ano de 2020.

Nas Ruas 84, 90 e Av. Primeira Radial, a pré-existência de um corredor exclusivo para ônibus minimizaram as alterações necessárias para a implantação do corredor, sendo necessária a substituição da pavimentação existente por concreto. Nesse sentido, os resultados mostram a

redução da classe Pavimento e aumento da classe Solo Exposto, em parte consequência dos trechos do corredor que estão em obra, sendo classificados como solo exposto. Na Rua 90 e Av. Primeira Radial, houve a remoção de uma faixa estreita de canteiros que delimitavam as pistas de ônibus, onde estavam plantadas Palmeiras Guariroba. Também foi construído um viaduto na Rua 90 com a Av. 136, feita a requalificação da Praça do Cruzeiro e a adequação do Terminal Isidória (ainda em andamento).

O Trecho 2 sofreu menos alterações com a implantação da infraestrutura do corredor do que o Trecho 1, sendo importante observar que a última etapa da obra, entre o Terminal Isidória e o Terminal Cruzeiro não havia iniciado na data de coleta da imagem. Nessa etapa da obra será contruído o Terminal Correios, reconstruído o Terminal Cruzeiro e haverá a remoção dos canteiros centrais nas avenidas Quarta Radial e Rio Verde, além da implantação das estações do sistema BRT.

No Trecho 2, percebe-se o aumento das classes de cobertura Telhado 1 e 2, principalmente na porção sul, próximo ao Terminal Cruzeiro, área com menor densidade de ocupação. A classe Telhado 1 teve um aumento de 16% em 2013 para 17,1% em 2020 e Telhado 2 de 16,1% para 16,7%. Na porção que margea a Av. Rio Verde, que traça o limite entre os municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia, percebe-se a presença de vazios urbanos representados pelas classes Solo Exposto e Vegetação Gramínea. A presença dessas áreas, assim como na porção norte do corredor, revela a especulação imobiliária nas imediações da Av. Rio Verde. A classe Solo Exposto evidencia também a presença de obras, das quais a obra de implantação do corredor faz parte.

Os resultados parciais obtidos pela classificação de imagens do Google Earth Pro® apresentaram confusão entre algumas classes, como por exemplo, a classe Solo Exposto que apresentou confusão com a classe Telhado 1, visto que a telha cerâmica é composta por barro e apresenta reflectância similar ao solo exposto. Nesse sentido, os resultados obtidos por Hirye, et al. (2015) apontaram que a fração solo foi a que apresentou os valores mais baixos na matriz, apresentando confusão com áreas impermeabilizadas e com áreas de vegetação. Assim como áreas com menor extensão de vegetação arbórea no interior das quadras não foram todas identificadas como vegetação, apresentando confusão com áreas impermeabilizadas (HIRYE, et al., 2015). Assim, a Matriz de Confusão para a classificação realizada pode ser observada nas Figuras 28, 29, 30 e 31.

Matriz de Confusão										
Trecho 1 - 2013	Valores Classificados								Total de Amostras	Exatidão do Usuário
Classes	1	2	3	4	5	6	7	8		
1 - Telhado 1	31	0	1	8	0	0	0	4	44	0.70455
2 - Telhado 2	0	23	8	0	0	0	0	1	32	0.71875
3 - Pavimento	4	13	80	1	0	6	0	2	106	0.75472
4 - Solo Exposto	2	0	0	8	0	0	0	0	10	0.8
5 - Vegetação Arbórea	0	0	1	0	38	5	0	1	45	0.84444
6 - Vegetação Gramínea	8	1	4	7	9	81	0	2	112	0.72321
7 - Água	0	0	0	0	0	0	10	0	10	1.0
8 - Sombra	0	0	2	0	0	0	0	35	37	0.94595
Total	45	37	96	24	47	92	10	45	396	
Exatidão do Produtor	0.68889	0.62162	0.83333	0.33333	0.80851	0.88043	1.0	0.77778		0.77273
Exatidão Global	0.76645									

Figura 27. Matriz de Confusão/ Exatidão – Trecho 1 - 2013.

Matriz de Confusão										
Trecho 1 - 2020	Valores Classificados								Total de Amostras	Exatidão do Usuário
Classes	1	2	3	4	5	6	7	8		
1 - Telhado 1	66	1	9	9	1	0	0	9	95	0.69474
2 - Telhado 2	0	20	1	0	0	0	0	0	21	0.95238
3 - Pavimento	0	17	71	0	0	2	0	0	90	0.78889
4 - Solo Exposto	6	0	1	12	0	0	0	0	19	0.63158
5 - Vegetação Arbórea	0	0	1	0	60	5	0	14	80	0.75
6 - Vegetação Gramínea	0	0	6	1	7	54	0	0	68	0.79412
7 - Água	0	2	0	0	0	0	8	0	10	0.8
8 - Sombra	0	0	0	0	0	0	0	13	13	1.0
Total	72	40	89	22	68	61	8	36	396	
Exatidão do Produtor	0.91667	0.5	0.79775	0.54545	0.88235	0.88525	1.0	0.36111		0.76768
Exatidão Global	0.76696									

Figura 28. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 1 - 2020.

Dessa forma, a Exatidão Global para a classificação do Trecho 1 em 2013 (figura 28) e em 2020 (figura 29) foi de aproximadamente 0,76, já para o Trecho 2 no ano de 2013 (figura 30) foi de 0,79 e em 2020 (figura 31) de 0,80, refletindo a confusão entre as classes. Essa confusão entre as classes fez com que fosse necessária a correção manual de determinadas classes após a vetorização da imagem classificada, resultando em uma representação mais realista. Após a correção a Exatidão Global de todas as imagens classificadas ficou acima de 0,85, resultado considerado satisfatório segundo os critérios sugeridos por Foody (2002).

Matriz de Confusão										
Trecho 2 - 2013	Valores Classificados								Total de Amostras	Exatidão do Usuário
Classes	1	2	3	4	5	6	7	8		
1 - Telhado 1	45	0	2	9	0	0	0	0	56	0.80357
2 - Telhado 2	0	25	9	0	0	0	0	0	34	0.73529
3 - Pavimento	5	31	98	1	0	1	0	0	136	0.72059
4 - Solo Exposto	5	0	0	5	0	0	0	0	10	0.5
5 - Vegetação Arbórea	0	0	3	0	53	2	0	4	62	0.85484
6 - Vegetação Gramínea	1	0	2	0	5	20	0	1	29	0.68966
7 - Água	0	3	0	0	0	0	7	0	10	0.7
8 - Sombra	0	0	0	0	1	0	0	55	56	0.98214
Total	56	59	114	15	59	23	7	60	393	
Exatidão do Produtor	0.80357	0.42373	0.85965	0.33333	0.89831	0.86957	1.0	0.91667		0.78372
Exatidão Global	0.79034									

Figura 29. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 2 - 2013.

Matriz de Confusão										
Trecho 2 - 2020	Valores Classificados								Total de	Exatidão
Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	Amostras	do Usuário
1 - Telhado 1	65	1	12	7	0	0	0	8	93	0.69892
2 - Telhado 2	0	55	9	0	0	2	0	0	66	0.83333
3 - Pavimento	0	16	78	0	0	0	0	1	95	0.82105
4 - Solo Exposto	2	0	0	8	0	0	0	0	10	0.8
5 - Vegetação Arbórea	0	0	0	0	56	0	0	15	71	0.78873
6 - Vegetação Gramínea	0	0	1	0	2	26	0	1	30	0.86667
7 - Água	0	2	0	0	1	0	7	0	10	0.7
8 - Sombra	0	0	0	0	0	0	0	22	22	1.0
Total	67	74	100	15	59	28	7	47	397	
Exatidão do Produtor	0.97015	0.74324	0.78	0.53333	0.94915	0.92857	1.0	0.46809		0.79849
Exatidão Global	0.80036									

Figura 30. Matriz de Confusão/Exatidão - Trecho 2 - 2020.

Assim, o uso das imagens, a partir de seu processamento adequado, proporcionou a leitura da paisagem urbana, e a avaliação das potencialidades e alterações causadas pelo corredor BRT em análise. O cenário ilustrado pela classificação das imagens sofreu notáveis alterações com a implantação do corredor (iniciada em 2013). Levando em consideração que a implantação do corredor tende a atrair investimentos e promover a especulação imobiliária, é importante salientar que, para a promoção do DOTS, é necessária a diversidade demográfica e de faixas de renda entre os moradores locais, que podem ser fomentados, por exemplo, a partir de ações do governo que promovam habitação social. A promoção da habitação social se torna importante, também, por causa da valorização da área, que geralmente promove o processo de gentrificação.

Nesse sentido, os resultados obtidos por Cervero e Kang (2011) mostraram que aumento da acessibilidade promovida pela implantação de um corredor BRT em Seul, Coréia do Sul, levou proprietários e incorporadores a intensificar o uso do solo ao longo dos corredores do BRT, ao converter residências unifamiliares em unidades multifamiliares, apartamentos e projetos de uso misto. No caso de Goiânia, o corredor Anhanguera que já está consolidado há vários anos, nos mostra que a tendência é a de que o entorno imediato do corredor seja ocupado majoritariamente pelo uso comercial.

Os autores afirmam ainda que o preço da propriedade foi incrementado na faixa de 5 a 10% para residências a até 300 m das paradas do BRT. Para lojas de varejo e outros usos não residenciais, os impactos foram mais variados, de 3% a 26% em uma zona de impacto menor de 150 m da parada de BRT mais próxima (CERVERO; KANG, 2011). Essa valorização ao longo de corredores BRT salientam a necessidade de medidas que evitem a gentrificação, nesse sentido Dawkins e Moeckel (2016) afirmam:

“O Desenvolvimento Orientado ao Transporte (DOT) foi promovido por planejadores e defensores de políticas como uma solução para uma variedade de problemas urbanos, incluindo congestionamento do tráfego de automóveis, poluição do ar e pobreza urbana. Uma vez que a acessibilidade oferecida pela proximidade do trânsito é frequentemente capitalizada nos preços de terrenos e moradias, muitos expressam preocupação de que novos investimentos em trânsito resultem no deslocamento das populações de baixa renda que provavelmente se beneficiarão mais com o acesso ao trânsito, um fenômeno que chamamos de gentrificação induzida pelo transporte.” (Dawkins e Moeckel, 2016, p. 1)

Tendo em vista que o trabalhador, na maioria das vezes, é quem usa o TPC em Goiânia, o DOT é um importante agente para a promoção da acessibilidade do trabalhador às áreas de emprego. E, apesar das intervenções propostas pelo DOT para garantir que moradias populares para famílias de baixa renda sejam construídas em áreas próximas aos corredores BRT não se tem garantia de que elas sejam preservadas.

Além disso, a modificação direta das características da superfície, a partir da alteração do uso do solo, assim como o adensamento urbano, com a verticalização dos edifícios e seus efeitos sobre os movimentos e fluxos de energia, influenciam na temperatura e contribuem para a formação de Ilhas de Calor. Em contrapartida, tal adensamento em conjunto com o uso misto do solo reduzem a necessidade de percorrer grandes distâncias e auxiliam na redução das emissões de GEE.

O corredor em análise, reúne diversos usos, apresentando focos concentrados de moradias e manchas de concentração de emprego, devido à atividade comercial desenvolvida em partes da área de estudo. Essa característica de uso misto do solo é desejável para o a aplicação do DOTS, uma vez que as oportunidades e atividades cotidianas estão localizadas a curtas distâncias a pé de onde as pessoas vivem e trabalham. A área de estudo possui alguns PGV e centralidades como o Passeio das Águas Shopping, o Buriti Shopping a Rodoviária de Goiânia e a Região da 44, responsáveis por atrair muitas viagens para o sistema BRT. Por outro lado, algumas partes da área possuem características de baixa densidade, sendo necessário o adensamento ao longo do corredor, de forma correspondente à capacidade do transporte coletivo, para a promoção do DOTS (ITDP, 2017-b).

Tudo isso deixa evidente a importância da identificação e análise da estrutura espacial urbana, para o desenvolvimento de um bom planejamento do uso do solo integrado aos sistemas de transporte, promovendo uma mobilidade urbana de qualidade. Portanto, os resultados acima descritos, se utilizados com o devido cuidado pelo agente público, contribui para

implementação de políticas públicas de ordenamento territorial. Por fim, essa análise é importante, uma vez que o uso/mudança na cobertura da terra é fator importante para a mudança global por causa de suas interações com o clima, processos do ecossistema, ciclos biogeoquímicos e biodiversidade (MAMUN et al., 2013).

4.1.2 Alterações na Paisagem Urbana

Para compreender a dinâmica dos padrões e suas interações em paisagens urbanas, que se caracterizadas pela heterogeneidade, precisamos quantificar o padrão espacial da paisagem e suas mudanças temporais (Wu *et al.*, 2000). Assim, as alterações na paisagem, obtidas a partir da classificação de imagens, podem ser melhor observadas nos mapas de detecção de mudanças (figuras 31 e 32), que apresentam as mudanças do ano de 2013 para o ano de 2020 nos dois trechos de estudo. O mapa de mudanças da cobertura do solo do Trecho 1 revela que as áreas de APP no entorno dos córregos e do Rio Meia Ponte passaram por um processo de regeneração decorrente do aumento das classes de vegetação na classificação da cobertura do solo, sendo que a classe de regeneração representa 16,5% da área desse trecho (tabela 2).

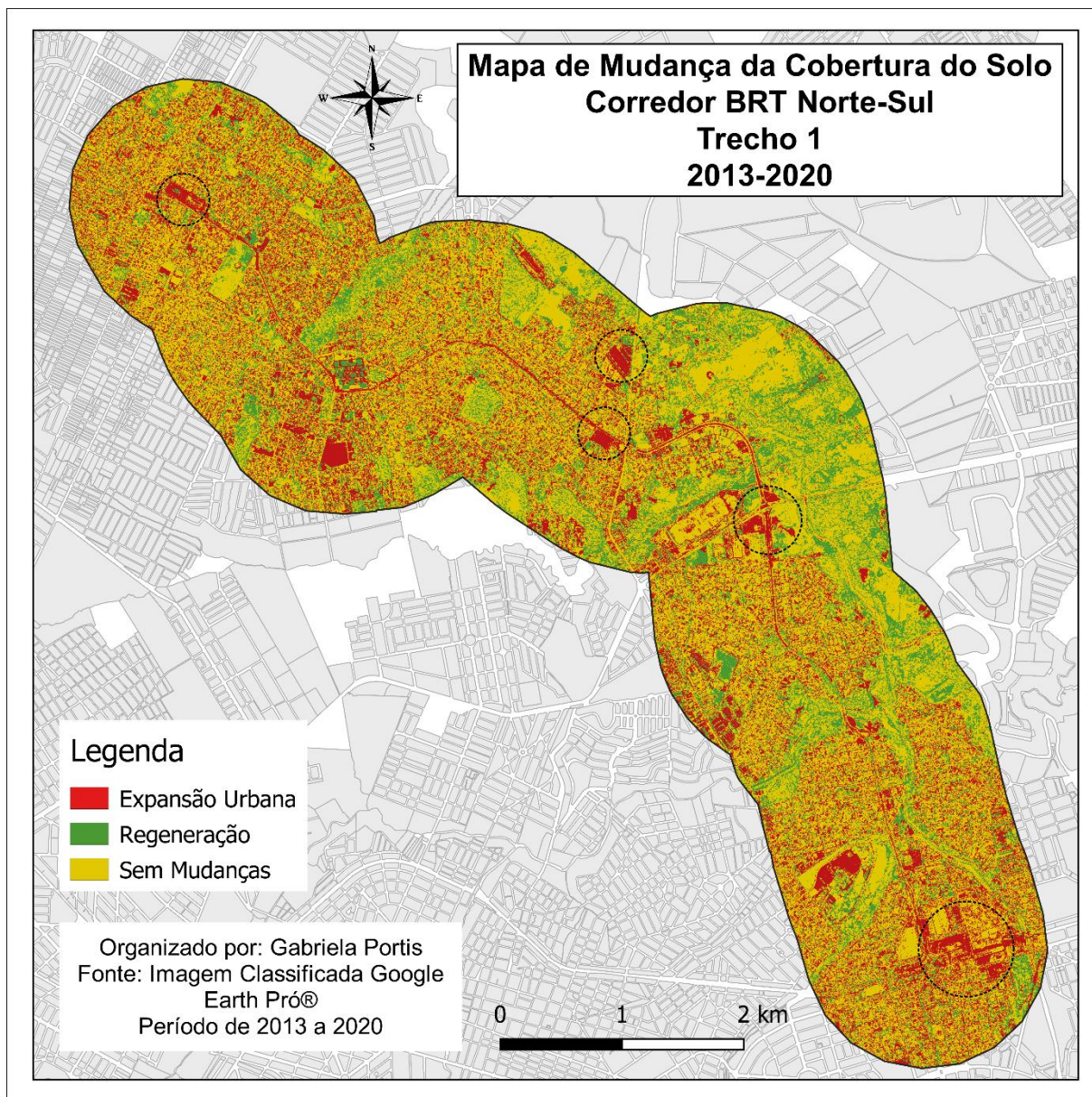


Figura 31. Mapa de Mudança da Cobertura do Solo - Trecho 1.

O trecho possui ainda 30,5% de sua área representando a Expansão Urbana, essa expansão fica mais evidente (conforme círculos indicativos na figura 31) na Região da 44, na intersecção entre as Av. Goiás e Perimetral Norte, em alguns pontos ao longo do corredor BRT e de forma mais dispersa na porção norte do trecho. Essa classe representa tanto a expansão que ocorreu quanto aquela passível de ocorrer, representada pela classe solo exposto, que se evidencia em canteiros de obras e em vazios urbanos que podem ser ocupados. Os 53,0% restantes representam as áreas sem alterações.

Tabela 2. Percentual de mudanças ocorridas no Trecho 1 BRT Norte/Sul Goiânia.

Classe de Mudança	Trecho 1	Trecho 2
Expansão Urbana	30,5%	20,5%
Regeneração	16,5%	9,5%
Sem Mudanças	53,0%	70,00%

O Trecho 2 apresenta 9,5% de sua área na classe de Regeneração, sendo que essa classe se concentra nos parques (Figura 32). A classe de Expansão Urbana se evidencia nos extremos norte e sul do trecho, onde se encontram 2 centralidades já formadas, mas não totalmente consolidadas (ainda em expansão), com um total de 20,5% da área. Kneib (2016) ressalta a importância da identificação dos subcentros e da análise do transporte público, “uma vez que esse sistema deve ser concebido como modo preferencial para o deslocamento entre médias e longas distâncias, ou seja, para os deslocamentos entre centralidades” (KNEIB, 2016, p. 310). Além disso, existe a relação entre a acessibilidade proporcionada pelo transporte coletivo e o processo de surgimento e consolidação de uma centralidade (KNEIB, 2016). Esses fatores evidenciam o fato de que a identificação das centralidades ao longo do corredor BRT é essencial para orientar políticas públicas uma vez que sua implantação tende a intensificar a consolidação de centralidades.

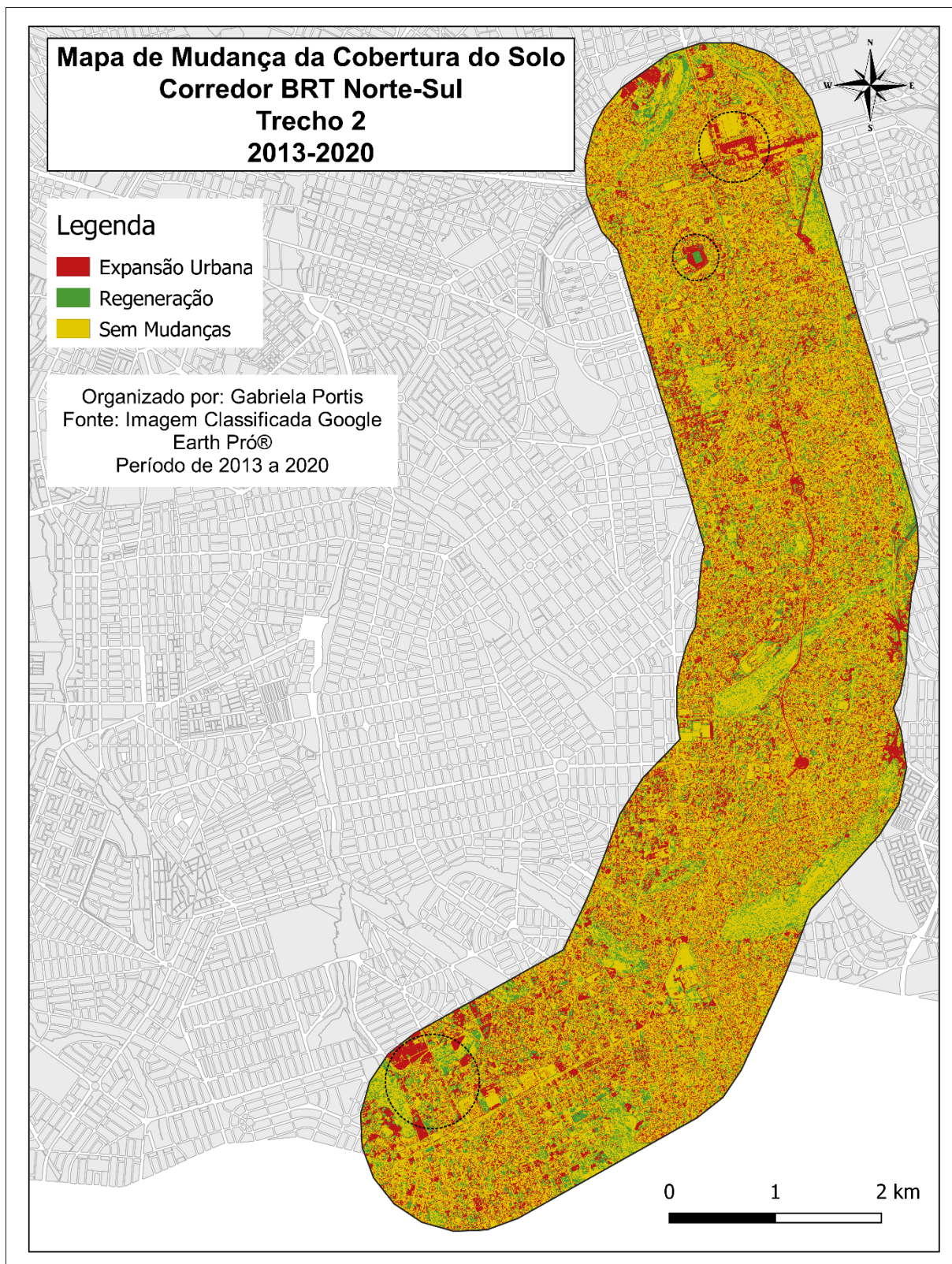


Figura 32. Mapa de Mudança da Cobertura do Solo - Trecho 2.

A classe sem mudanças representa 70,0% do Trecho 2, sendo distribuída ao longo da área do trecho. No geral, o mapa de mudanças nos mostra a tendência de intensificação da densidade de ocupação em alguns pontos. Nesse sentido, Zhang et al. (2015) chegaram à conclusão de que

a mudança no uso do solo resultante do processo de urbanização leva a mudanças nos padrões da paisagem e nas propriedades térmicas. Barros et al. (2012) chegaram a resultados que permitiram interpretar as informações provenientes dos diferentes usos do solo, definindo áreas homogêneas que corresponderam a áreas equivalentes na distribuição de temperaturas. Os autores sugerem a existência de correlação espacial entre os diferentes padrões de paisagem e a temperatura de superfície. Tal correlação pode fornecer aos gestores urbanos informações para entender a influência das alterações na estrutura da paisagem sobre a temperatura de superfície, podendo atuar no reordenamento do espaço urbano a partir de diretrizes que guiem a composição e configuração das paisagens urbanas.

4.2 PARTE 2: IMPACTO DO BRT SOBRE O CLIMA URBANO

4.2.1 Temperatura de Superfície

A metodologia foi aplicada inicialmente ao Trecho 1. Os resultados podem ser observados nas Figuras 33 e 34, que mostram as classes definidas para a temperatura de superfície, antes da implantação do corredor BRT, e a situação mais recente, derivadas de imagens do satélite Landsat-8, com datas de passagem em 06/09/2013 e 24/08/2020. As classes foram divididas em intervalos de 1 grau Celsius, sendo que a última classe ficou com as temperaturas acima de 32,1 °C.

No ano de 2013 (Figura 33) a temperatura mínima registrada pelo satélite foi de 24,55 °C, e a máxima de 32,21 °C, contando com uma amplitude térmica de 7,66 °C, e temperatura média de 28,38 °C em relação aos valores de pixel. As condições de tempo registrados pela estação meteorológica do INMET em Goiânia, nesse mesmo dia, foram de temperatura mínima 18,8 °C e máxima de 32,4 °C.

Já no ano de 2020 (Figura 34) a temperatura mínima registrada pelo satélite foi de 22,12 °C, e a máxima de 33,19 °C, contando com uma amplitude térmica de 11,07 °C, e temperatura média de 27,65 °C em relação aos valores de pixel. Já o registro de temperatura do ar do INMET, nesse mesmo dia, foi de temperatura mínima de 16,7°C e máxima de 33,4°C.

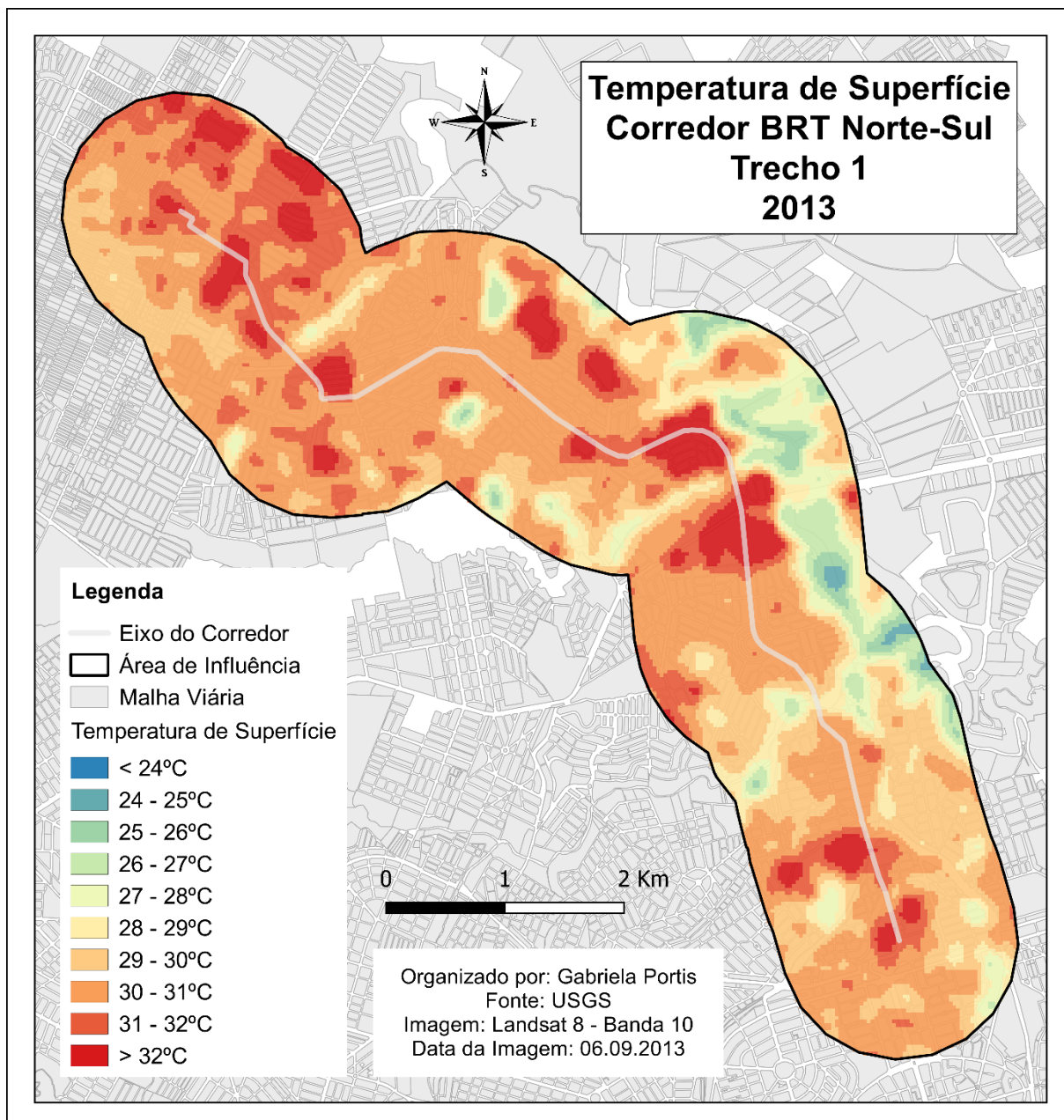


Figura 33. Temperatura de Superfície - Trecho 1 no ano de 2013.

No primeiro mapa (figura 33) o intervalo de temperatura de superfície que predominou no território foi de temperatura alta, entre 30,1 e 31°C. Não foram registradas temperaturas abaixo de 24 °C e os intervalos de temperatura baixa, entre 24,1 e 27 °C tiveram uma representação pequena, assim como os intervalos de temperatura moderada, entre 27,1 e 30 °C. Os intervalos de temperatura altos, correspondentes às temperaturas acima de 31,1 °C também tiveram uma menor representação.

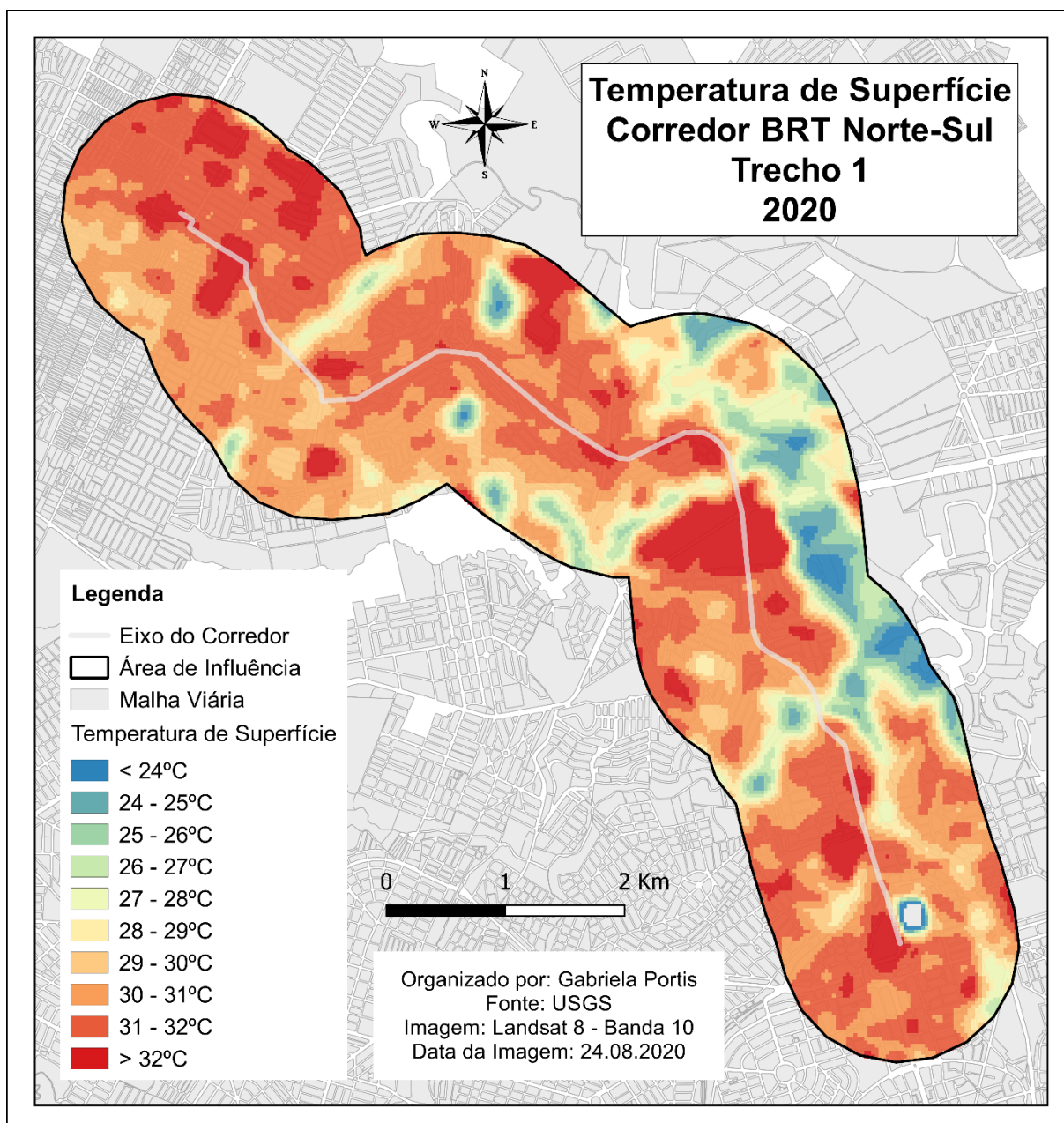


Figura 34. Temperatura de Superfície – Trecho 1 no ano de 2020.

No segundo mapa (figura 34) pode-se observar o aumento da classe entre 31,1 e 32 °C, em relação a 2013, e consequente redução da classe entre 30,1 e 31°C. Parte da área onde houve o aumento na temperatura coincide com o percurso do corredor BRT em que, na classificação do uso do solo, houve a remoção de vegetação gramínea para a pavimentação do corredor. Além disso observa-se o aumento de intervalos de temperatura baixa, entre 24,1 e 27°C, que coincidem com áreas que passaram por aumento da vegetação arbórea na classificação da cobertura do solo, apresentando também temperaturas abaixo de 24 °C, intervalo que não possuía representação no mapa de 2013. Essas alterações podem ser melhor observadas na Figura 35, que apresenta a diferença de temperatura de 2020 em relação a 2013.

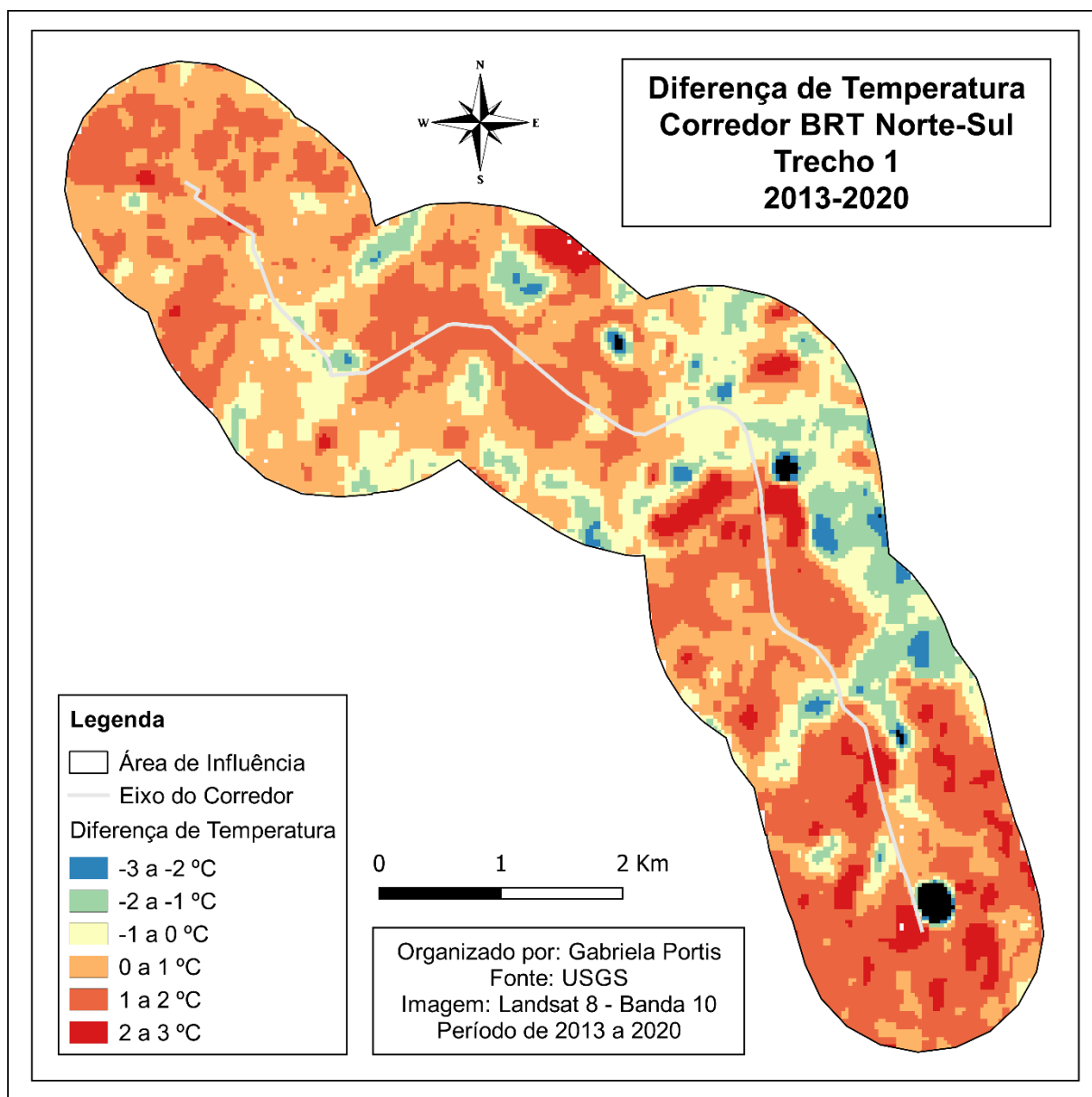


Figura 35. Diferença de Temperatura – Trecho 1.

Pode-se perceber que áreas onde se verificou a regeneração da vegetação, houve a redução da temperatura em até 3°C. Além disso, houve o aumento de 1 a 2°C em áreas que coincidem com trechos do corredor BRT e de 2 a 3°C em algumas áreas onde foram implantadas superfícies metálicas, como na área onde foi implantado o Terminal Rodoviária. Na Figura 36 podemos observar alguns pontos em que a temperatura é elevada, e outros em que é mais baixa. Áreas que apresentam grandes superfícies comerciais, como o shopping e o hipermercado presentes na imagem, possuem temperaturas de superfície mais elevadas. Isso se deve ao tipo de material que é comumente utilizado na cobertura dessas edificações (cobertura metálica) que em geral apresentam maiores valores de temperaturas.

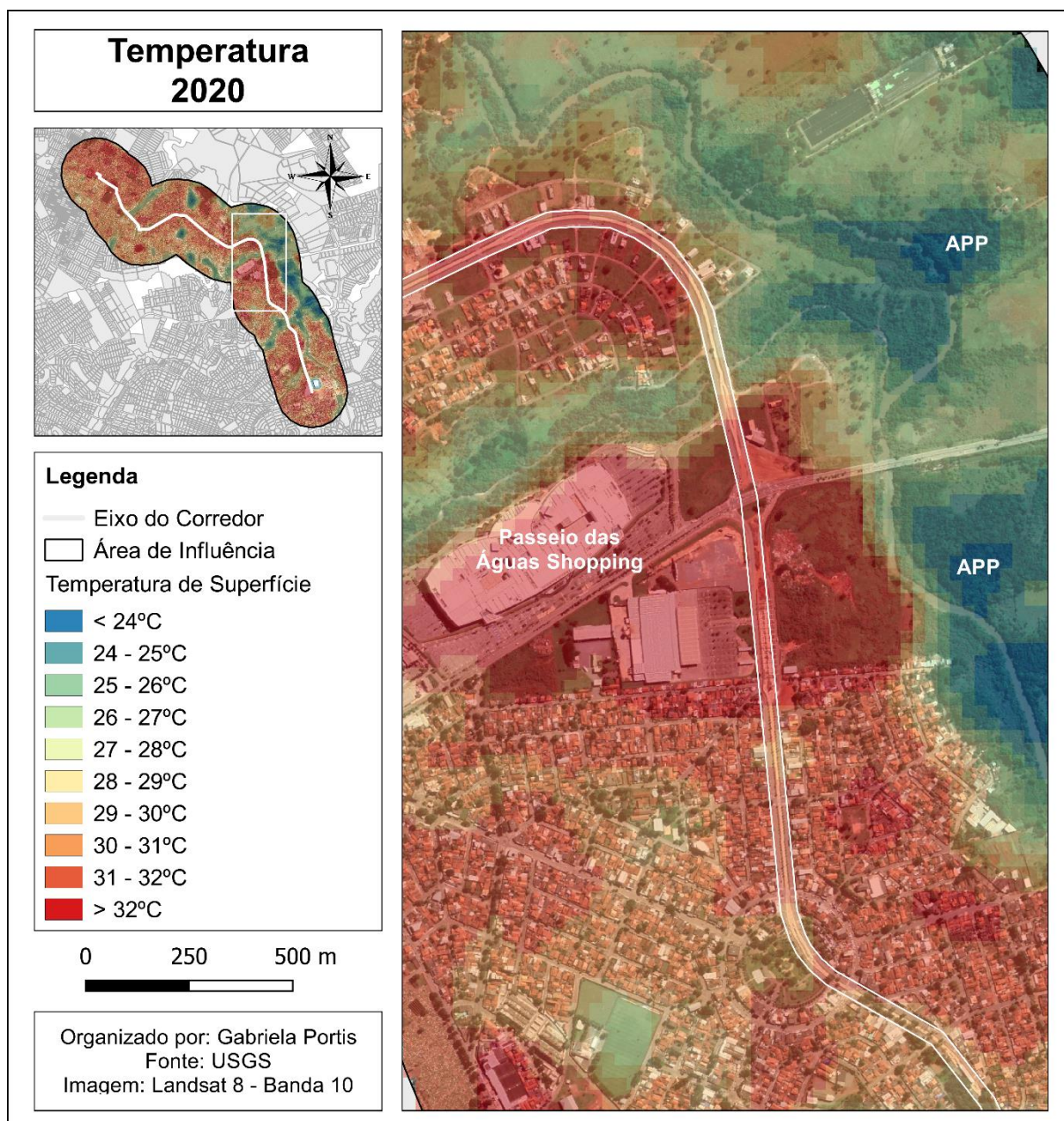


Figura 36. Temperatura de Superfície sobreposta à imagem Google Earth no ano de 2020.

Nesse sentido, as estações e terminais previstos no projeto do BRT Norte-Sul, possuirão estrutura e cobertura metálicas (CMTC, 2012), o que intensificará esses padrões de alta temperatura. Já áreas cobertas por vegetação e próximas a cursos de água, como as APPs e o entorno do Rio Meia Ponte na imagem (Figura 36), apresentam temperaturas amenas, variando de 22 a 27°C. Além disso, conforme exposto na classificação do uso do solo, o percurso do BRT onde houve a remoção de árvores e a pavimentação (Figura 37), possui temperatura elevada, registrando pixels entre 30 e 33°C.



Figura 37. Trecho da Av. Goiás com arborização, e após a remoção das árvores para pavimentação (Fonte: Google Earth Pro).

No Trecho 2, em 2013 (figura 38), a temperatura que predominou variava entre 28 e 30 graus, apresentando poucos pontos com temperatura acima dos 31°C, concentrados na Região da 44, na porção sul da imagem e na área onde se localiza a central dos correios, próximo ao local onde será construído o Terminal Correios. Tal proximidade indica a intensificação de altas temperaturas nesse ponto quando a estrutura do terminal for implantada. As temperaturas baixas se concentram nas áreas de parques, que são bem arborizadas. Temperaturas amenas também são encontradas em alguns pontos que apresentam uma grande concentração de edifícios verticalizados o que coaduna com os resultados obtidos por Souza e Júnior (2012), em que áreas verticais apresentaram temperaturas mais amenas.

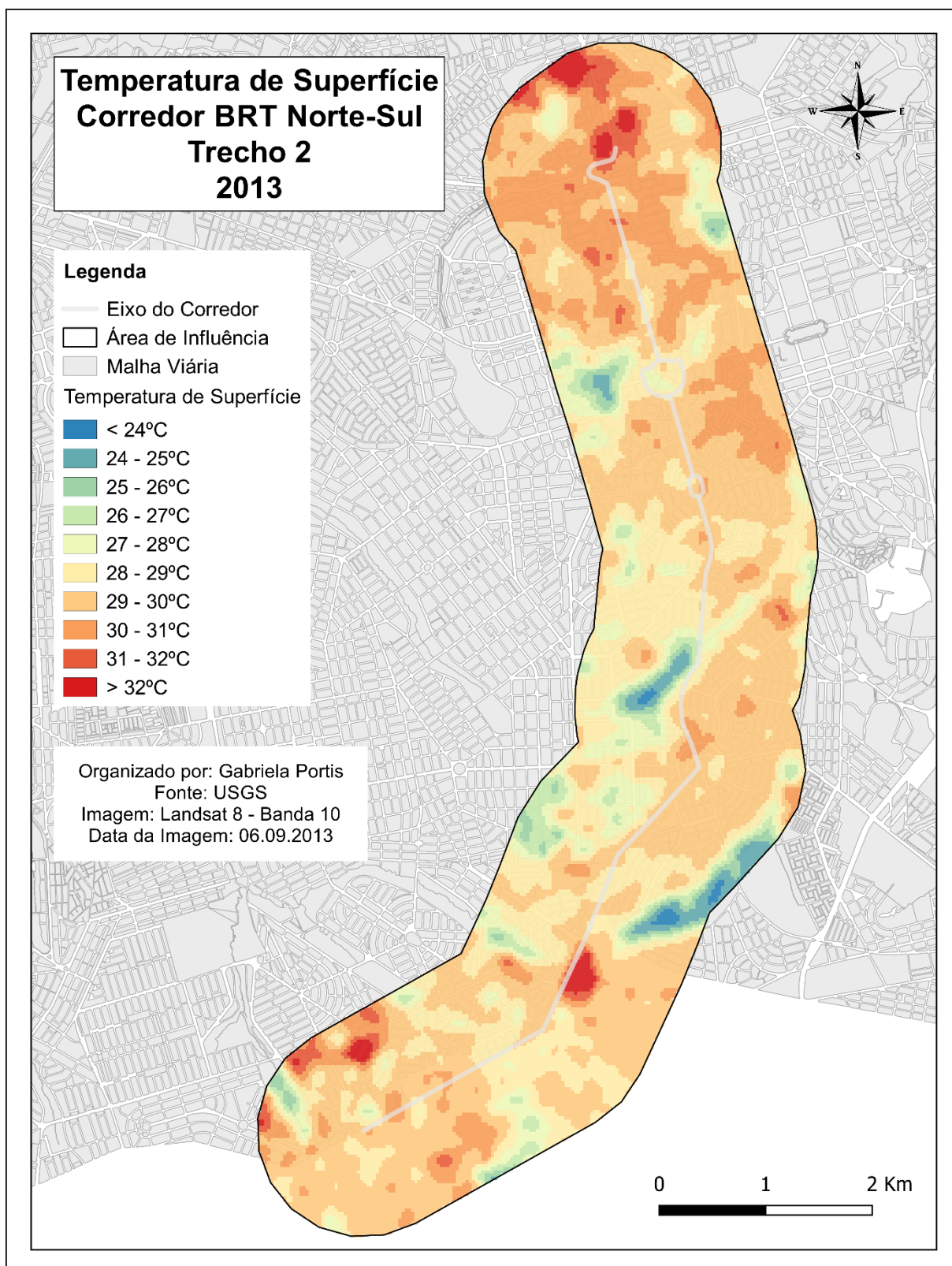


Figura 38. Temperatura de Superfície – Trecho 2 no ano de 2013.

No ano de 2020 (figura 39) observa-se o aumento da área coberta por temperatura acima dos 31 graus, principalmente nos extremos norte e sul do trecho onde houve o aumento de superfícies pavimentadas e edifícios comerciais.

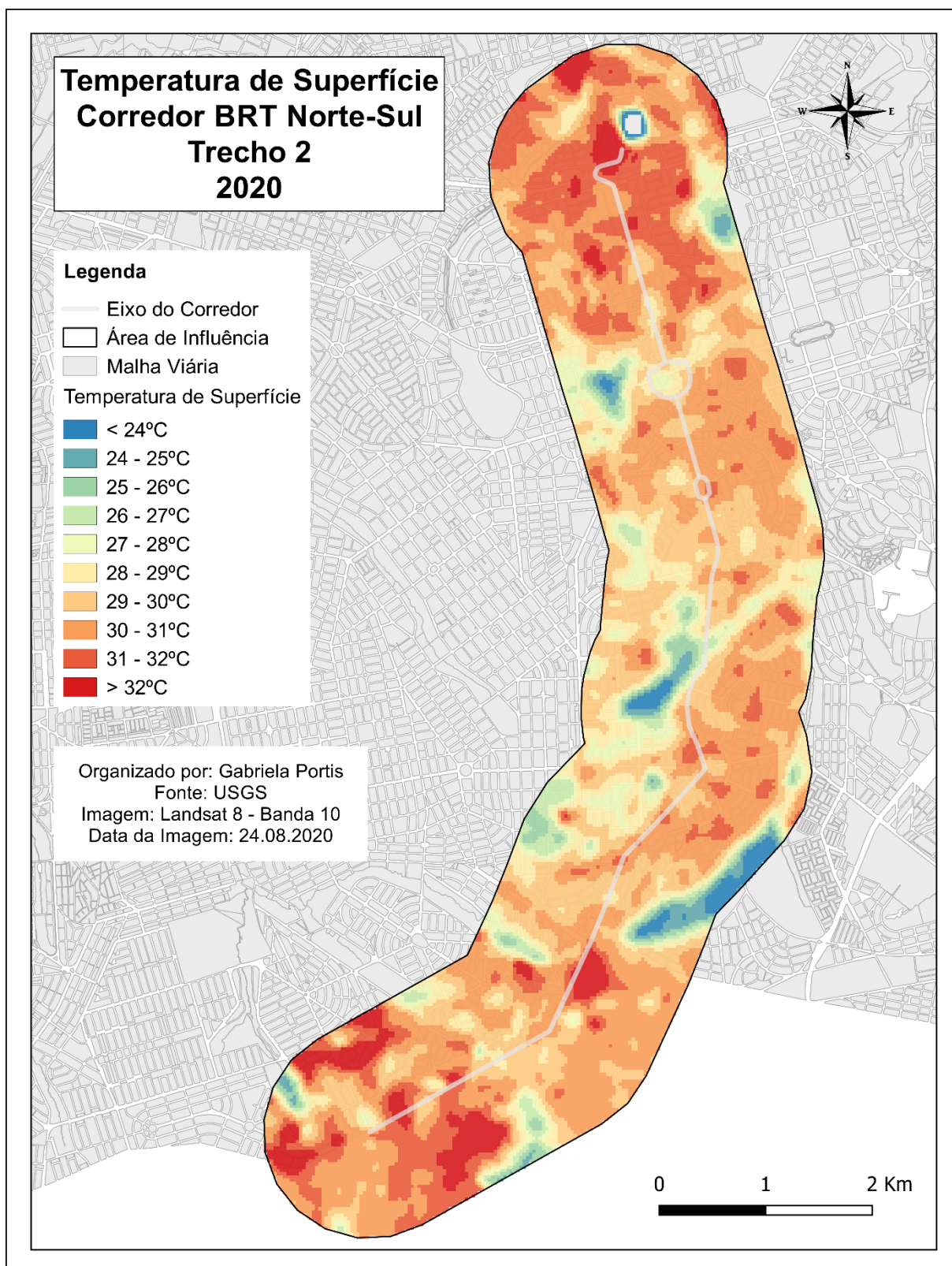


Figura 39. Temperatura de Superfície – Trecho 2 no ano de 2020.

O mapa de diferença do Trecho 2 (figura 40) evidencia as áreas onde a temperatura aumentou. A diferença de temperatura ao longo do corredor não sofreu grandes alterações, principalmente porque, a área onde as obras já haviam sido iniciadas na data de coleta da

imagem, já possuía um corredor de transporte coletivo, reduzindo assim as alterações na cobertura do solo e consequentemente na temperatura. Já nos extremos norte e sul do trecho, onde foram identificadas centralidades em processo de consolidação, ocorreram alterações significativas na temperatura, observando-se aumento de até 3°C.

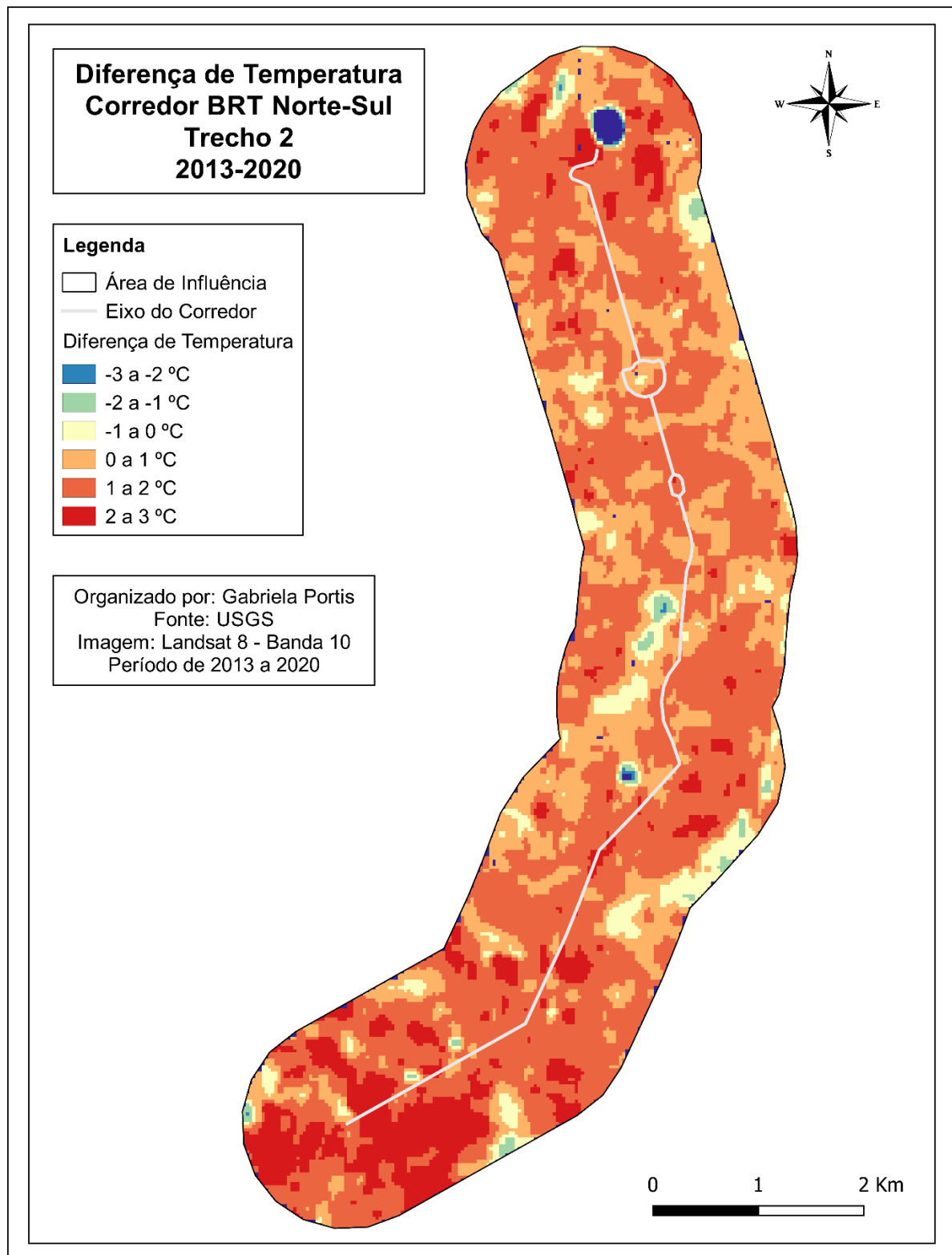
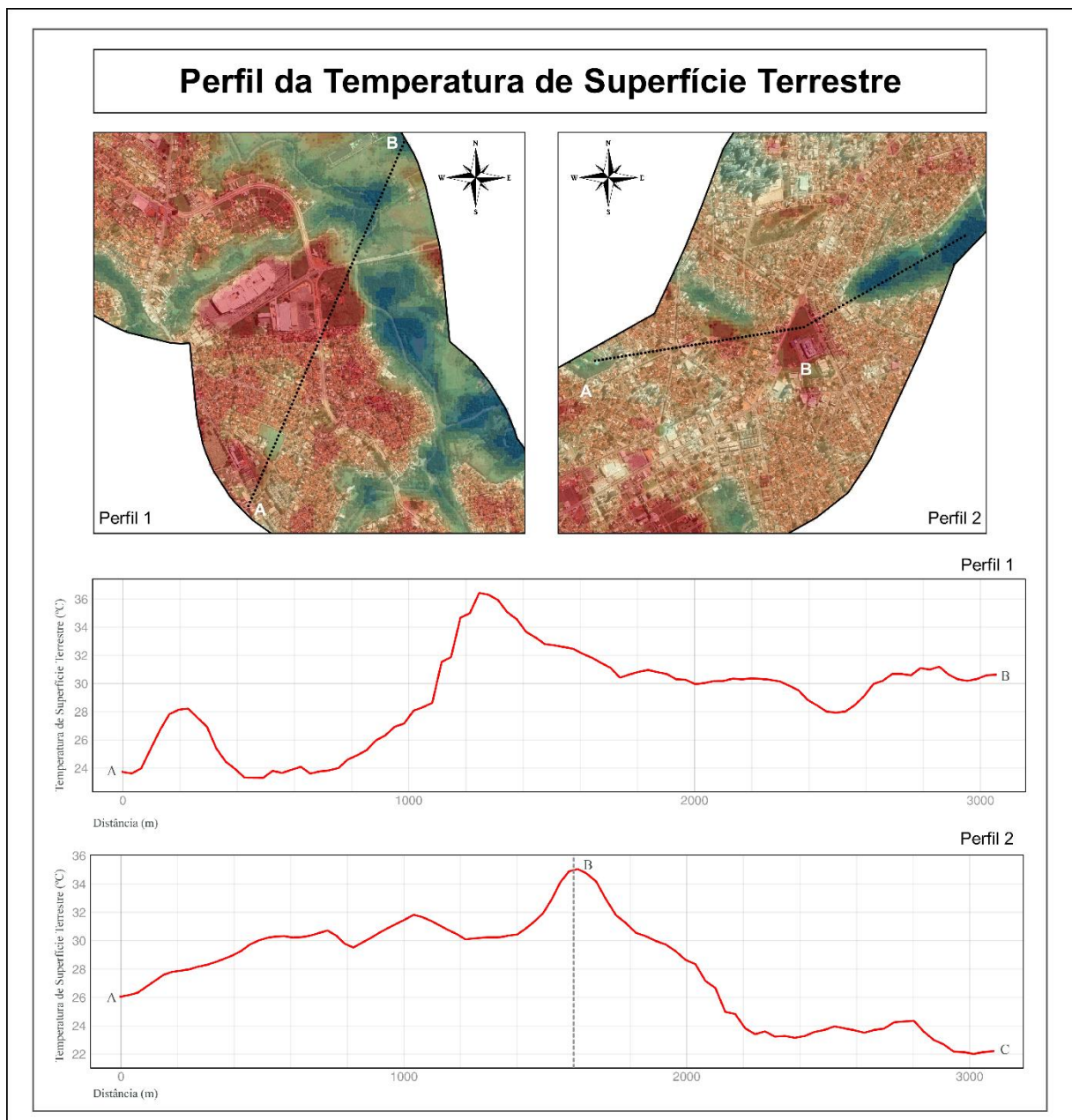


Figura 40. Diferença de Temperatura – Trecho 2.

A Figura 41 mostra os perfis de temperatura traçados nos dois trechos de estudo. Esses perfis mostram o comportamento da temperatura nas diferentes superfícies, evidenciando a contribuição da vegetação para as baixas temperaturas e da impermeabilização para as altas temperaturas. Nesse sentido, Barros e Lombardo (2016) afirmam que as ilhas de frescor urbanas apresentam relação espacial com áreas urbanas vegetadas, e revelam que uma maior concentração de vegetação diminui a intensidade das ilhas de calor urbanas.



Além disso, em áreas urbanas, o ideal para proporcionar um balanço térmico adequado, seria um índice de 30% de cobertura vegetal, sendo que índices inferiores a 5% são semelhantes a áreas de desertos (LOMBARDO, 1985). Os perfis de temperatura revelam que essas áreas

pouco arborizadas apresentam as maiores temperaturas, sendo necessária a intensificação da arborização em alguns pontos.

A pesquisa realizada por Coelho et al (2015) coaduna com os dados obtidos neste estudo, e revela que as temperaturas mais elevadas coincidem com áreas comerciais/industriais e ao longo de corredores rodoviários, salientando que os elevados valores de temperatura ocorrem em função da ausência quase total de áreas verdes predominando materiais como concreto e asfalto, que proporcionam uma menor emissão de radiação de Ondas Longas (OL) para atmosfera e por sua vez, ocasionando o desconforto térmico (COELHO et al., 2015). Asgarian et al. (2015) explicam a variação na temperatura de superfície por meio da paisagem e concluem que tais análises podem ser aplicadas por planejadores urbanos para otimizar a localização de aglomerados de espaços verdes, a fim de fortalecer sua função mitigadora contra altas temperaturas de superfície.

Nesse sentido, as alterações no uso e cobertura do solo a partir da manipulação da superfície terrestre (ocasionadas pela construção de edifícios e superfícies impermeáveis) contribuem para as alterações na temperatura de superfície e consequentemente para a formação de UHI. Assim, a análise aqui apresentada revela a importância dessa correlação para a mobilidade urbana, uma vez que o corredor BRT promove alterações nos padrões de uso e cobertura do solo, que tendem a aumentar a temperatura local, e promover o desconforto térmico a população local e aos próprios usuários do sistema. Esse cenário pode ser mitigado se a prefeitura implantar mais áreas verdes nas proximidades dessa infraestrutura de transportes.

4.2.2 Pegada de Carbono

Este estudo levou em consideração a pegada de carbono para uma viagem de usuários do carro e do Sistema BRT, com origem no Passeio das Águas Shopping e destino na Praça Cívica, utilizando tanto combustíveis convencionais quanto biocombustíveis, conforme o Quadro 9.

Quadro 9. Meios de transporte e tipos de combustíveis considerados.

Meios de Transporte Considerados	Tipo de Combustível	Origem	Destino
Carro	Gasolina Nacional	Passeio das Águas Shopping ^a	Praça Cívica ^b
	Etanol		
Ônibus	Diesel	Passeio das Águas Shopping ^c	Praça Cívica ^d
	Biodiesel B20		
	Biodiesel B100		

a O percurso se inicia via carro no estacionamento do Shopping.

b O percurso finaliza na via pública que contorna a Praça Cívica, percorrendo 7,25 Km.

c O percurso se inicia na entrada principal do Shopping e o usuário caminha até o Terminal Perimetral onde acessa o Sistema BRT.

d O percurso finaliza na Estação Praça Cívica, onde o usuário desembarca do ônibus, percorrendo 6,41 Km via ônibus.

Os índices de emissões diretas e indiretas obtidas nos inventários do DEFRA e do Ecoinvent são apresentados na Tabela 3, obtendo-se o total de emissões por pessoa por quilômetro. Os resultados mostram que entre os dois modos de transporte considerados e a variação de combustíveis o menor índice de emissão de GEE se dá no uso de ônibus movido a biodiesel B100. O ônibus movido a biodiesel B20 fica em segundo, seguido do ônibus movido a diesel puro.

Tabela 3. Índice de intensidade de carbono para transporte por carro e ônibus.

Meios de Transporte Considerados	Fator de emissão direta de GEE e indireta provenientes da cadeia de combustível - DEFRA (Kg CO ₂ eq/Km)	Bens de capital e infraestrutura relacionados às emissões indiretas de GEE - ACV (KgCO ₂ eq/Km)	Total de emissões de GEE: Método Híbrido (DEFRA + ACV) (KgCO ₂ eq/Km)
Carro* (Gasolina)	0,1615	0,019	0,1805 ^a
Carro (Etanol)	0,0766	0,019	0,0956 ^b
Ônibus** (Diesel)	0,0426	0,0036	0,0462
Ônibus (Biodiesel B20)	0,0400	0,0036	0,0436 ^c
Ônibus (Biodiesel B100)	0,0303	0,0036	0,0339 ^d

Carro* Assumindo taxa de ocupação de 26% (1,3 passageiros) e ocupação máxima de 5 pessoas

Ônibus** Assumindo taxa de ocupação de 43% (73 passageiros) e ocupação máxima de 170 pessoas

a Redução de 19.2% do valor original das emissões diretas de GEE (0,18084) baseado em Soares *et al.* (2009), manutenção do valor da contribuição indireta 0.019.

b Redução de 80.2% do valor original das emissões diretas de GEE (0,18084) baseado em Soares *et al.* (2009), manutenção do valor da contribuição indireta 0.019.

c Redução de 14.5% do valor original (obtido com base nos índices do DEFRA) das emissões diretas de GEE (0,01755) baseado em DELTACO2 & CENA (2013), manutenção do valor da contribuição indireta 0.0036.

d Redução de 70% do valor original (obtido com base nos índices do DEFRA) das emissões diretas de GEE (0,01755) baseado em DELTACO2 & CENA (2013), manutenção do valor da contribuição indireta 0.0036.

O carro movido a etanol está em quarto apresentando um índice mais de duas vezes maior que o ônibus movido a diesel e por último, o carro movido a gasolina nacional que apresenta um índice de emissões mais de duas vezes maior que o índice do carro movido a etanol.

Os resultados levaram em consideração a taxa de ocupação de 25% para carro e 43% para o ônibus do Sistema BRT Norte-Sul conforme a metodologia. Tais resultados evidenciam a influência da taxa de ocupação na pegada de carbono do usuário, na Tabela 4 essa influência fica mais evidente. Quando se considera uma taxa de ocupação de 25% para carros e ônibus (tabela 4), os índices de emissão de GEE para passageiros de ônibus continuam menores, com uma diferença considerável, principalmente em relação ao carro movido a gasolina. Mas, quando se compara um carro movido a etanol (combustível altamente empregado no Brasil) com 75% de ocupação (índice de 0,0776), a um ônibus movido a diesel com 25% de ocupação (índice de 0,0588) a diferença, apesar de o índice ainda continuar menor para ônibus, é menos expressiva, o que ressalta a relevância da taxa de ocupação na emissão de GEE.

Tabela 4. Índice de intensidade de carbono para transporte com taxa de ocupação de 25% e 75%.

Meios de Transporte Considerados	Total de emissões de GEE: Método Híbrido (DEFRA + ACV) (KgCO ₂ eq/Km) Com taxa de ocupação de 25%	Total de emissões de GEE: Método Híbrido (DEFRA + ACV) (KgCO ₂ eq/Km) Com taxa de ocupação de 75%
Carro (Gasolina)	0,1850	0,1071
Carro (Etanol)	0,0967	0,0776
Ônibus (Diesel)	0,0588	0,0387
Ônibus (Biodiesel B20)	0,0544	0,0372
Ônibus (Biodiesel B100)	0,0376	0,0316

Na Tabela 5 o fator de emissão de GEE é multiplicado pela distância percorrida no percurso entre o Passeio das Águas Shopping e a Praça Cívica, para a obtenção da Pegada de Carbono dos usuários do sistema BRT Norte-Sul e do carro. Um usuário de carro movido a gasolina tem a pegada de carbono mais alta, emitindo 1,55 KgCO₂eq, aproximadamente o dobro que um passageiro de um carro movido a etanol, que emite 0,75 KgCO₂eq. Essa diferença entre pegadas de carbono de um mesmo tipo de veículo movido com o uso de diferentes combustíveis explicita a importância de uma adoção ainda mais ampla dos biocombustíveis para a redução das emissões de GEE. Porém, uma análise mais profunda é necessária, uma vez que existem

outras questões envolvidas na aplicação dos biocombustíveis, como a mudanças no uso da terra e questões sociais e econômicas.

Tabela 5. Pegada de Carbono para usuários do sistema BRT Norte-Sul e do carro.

Meios de Transporte Considerados	Fator de emissão de GEE: Método Híbrido (DEFRA + ACV) (KgCO ₂ eq/pass/Km)	Distância Percorrida (Km)	Pegada de Carbono do Usuário (KgCO ₂ eq)
Carro* (Gasolina)	0,21423	7,25	1,55
Carro (Etanol)	0,10392		0,75
Ônibus** (Diesel)	0,04615	6,41	0,30
Ônibus (Biodiesel B20)	0,04361		0,28
Ônibus (Biodiesel B100)	0,033865		0,22

A Pegada de carbono para usuários do sistema BRT Norte-Sul, também varia de acordo com o tipo de combustível, mas essa variação é menos expressiva do que a variação entre o carro com diferentes combustíveis. Mesmo com o ônibus utilizando diesel puro, a pegada de carbono de um usuário do sistema BRT equivale a menos da metade de um usuário de carro movido a etanol, evidenciando a importância do ônibus para a redução da pegada de carbono no transporte (figura 42).

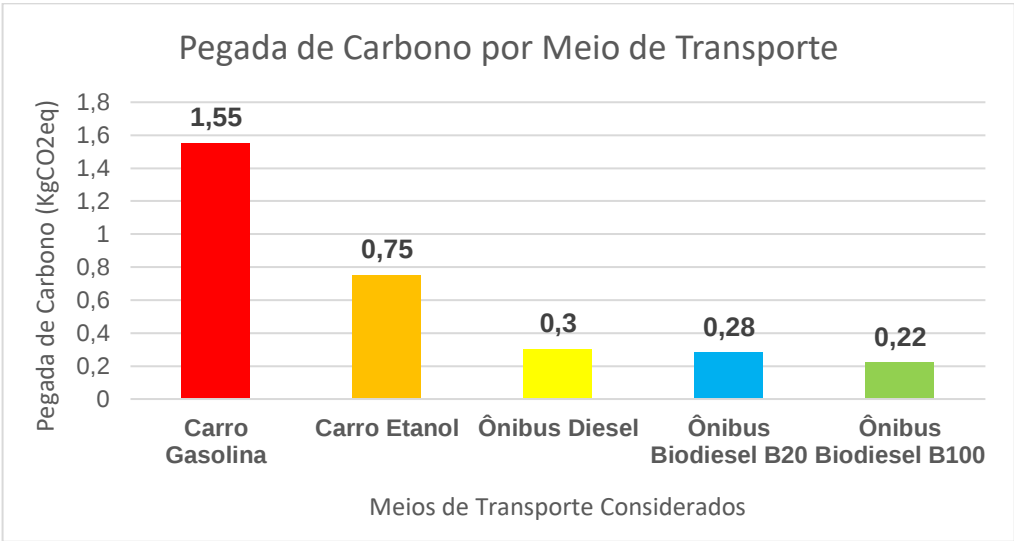


Figura 42. Pegada de carbono por meio de transporte.

Esse resultado se deve principalmente a quantidade de passageiros que um ônibus do sistema BRT pode transportar. Neta (2019) aplicou o modelo TEEMP para estimar os impactos

da implementação do BRT Belém nas emissões atmosféricas, os resultados estimaram uma redução de 196.992,2 toneladas de CO₂eq em um horizonte de 20 anos. Tais resultados evidenciam a capacidade de contribuição do sistema BRT para a redução das emissões de GEE.

Contudo, “historicamente, tem-se observado na Região Metropolitana de Goiânia um contínuo decréscimo da mobilidade dos habitantes com relação ao transporte coletivo” (CMTC, 2012, p. 49), esse decréscimo se deve a migração de uma parcela cada vez maior da população para o transporte individual motorizado. Tal fato reflete diretamente na pegada de carbono dos transportes, principalmente quando se leva em consideração que, na maioria das vezes, o carro transporta apenas uma pessoa.

Segundo o PSTM (2013), o uso de etanol na frota de veículos leves reduz a mitigação que a transferência modal do transporte individual para o coletivo proporciona na emissão de GEE, quando este é movido à combustível fóssil. Caso os esforços governamentais para a promoção de recursos renováveis e eficiência energética continuem orientados apenas ao transporte individual, o transporte público, atualmente movido predominantemente à diesel, poderá perder competitividade ambiental frente ao transporte individual, com relação a emissão de CO₂ (ITDP, 2017). Assim, deve-se levar em conta a importância da ampliação do uso de biocombustíveis pelo transporte público coletivo.

Além disso, o ITDP (2017) afirma que para conhecer o impacto ambiental real de um projeto de transporte público, é preciso analisar vários fatores: o impacto que o projeto tem sobre a mudança modal (a quantidade de usuários de veículo individual que passou a usar o novo sistema de trânsito), a distância percorrida pela frota de veículos antes e depois da implementação do projeto, as emissões relacionadas à construção e as emissões específicas dos veículos em trânsito. Como esses aspectos não podem ser obtidos com o corredor em processo de implantação, fica como sugestão para trabalhos futuros uma análise que englobe tais aspectos, com o corredor em funcionamento.

4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De maneira geral este trabalho buscou uma compreensão de como as transformações na paisagem urbana iniciadas pela implantação de um corredor BRT podem impactar aspectos do clima urbano. A partir desse estudo, constata-se que as informações de cobertura do solo e temperatura da superfície contribuem na identificação, espacialização e na compreensão da dinâmica climática operante do clima urbano.

O clima urbano também sofre impacto dos transportes pela emissão de GEE. Nesse sentido, para mitigar tais impactos, é necessário mais que melhorias tecnológicas em veículos e combustíveis, é preciso atrair passageiros para o transporte coletivo. Assim, é preciso que o TPC seja acessível de diversas maneiras, principalmente ao trabalhador. Segundo Pereira e Carvalho (2011):

“Diversos fatores influenciam a forma como os preços afetam as decisões dos consumidores. A decisão de pegar um ônibus, por exemplo, é influenciada não só pelo valor da tarifa cobrada, mas também pela classe social da pessoa, pelas características da viagem – período do dia, distância etc. –, pela qualidade do serviço, pelo custo de serviços semelhantes substitutos (outros modos de transporte) e pelas condições de tráfego e condições meteorológicas.” (Pereira e Carvalho, 2011, p. 23).

Segundo os estudos de Pereira e Carvalho (2011), a capacidade de pagamento da tarifa é comprometida pela combinação do aumento acentuado nas tarifas de ônibus urbanos com o declínio na renda da população, especialmente nas populações mais pobres, o que promove a diminuição da demanda por TPC. Dessa forma, as políticas com o objetivo de aumentar o número de usuários do transporte público e inibir o uso de veículos individuais motorizados, devem ser promovidas.

Por outro lado, os estudos sobre os padrões de uso e cobertura do solo urbano podem fornecer respostas para as questões relativas aos recursos naturais das cidades e a sustentabilidade, em termos de compactação e diversidade de usos. Diretrizes baseadas nos princípios do DOTS podem auxiliar um desenvolvimento mais dinâmico, com mais oportunidades, mais convidativo aos transportes ativos e mais inclusivo. A integração destas áreas pode promover uma mobilidade de qualidade, que beneficie todos os habitantes da cidade.

Os investimentos em implantação e melhoria em infraestruturas de TPC, que otimizam a operação e ampliam a capacidade, se efetivam em sistemas de transportes com melhor qualidade e mais eficientes. O resultado é o aumento da demanda de passageiros, pela transferência de passageiros dos modos individuais motorizados, e maior eficiência energética, reduzindo impactos ambientais. Neste sentido, a vantagem de se estudar um corredor de transportes ainda em implantação reside no fato de que as diretrizes para adaptação e mitigação podem ser consideradas ainda na fase de implantação do corredor.

Observa-se ainda que, assim como as atividades de transporte impactam o clima, o clima também impacta os sistemas de transporte e suas infraestruturas. Segundo o Guia do ITDP (2018) Adaptação para a Mudança Climática:

“A temperatura aumenta e o ânimo diminui entre os usuários do transporte coletivo ou que planejam se deslocar de bicicleta ou a pé. Os dias com temperaturas extremas aumentam o desconforto de quem usa os sistemas de mobilidade e de seus funcionários. Há menor tolerância ao tempo de espera, eventos de quebra ou engarrafamentos. Operadores de transportes relatam mais episódios de reações extremas dos usuários, com danos ao patrimônio. Mas o calor não afeta apenas as pessoas. A subida dos termômetros pode ter efeitos diretos e indiretos no sistema de mobilidade urbana, por ocasionar superaquecimento dos materiais das vias, das estações, dos equipamentos e dos sistemas elétricos dos veículos.” (ITDP, 2018, p. 27).

O aumento da temperatura média, por exemplo, com ocorrência de ondas de calor e agravamento das UHI promovem impactos na mobilidade como: a redução do desempenho dos modos de transporte; a redução do conforto de passageiros, pedestres e ciclistas; e o aumento de custos operacionais com manutenção e substituição de ativos (PNA, 2016). O alerta emitido pelo INMET em outubro de 2020, de onda de calor com grau de severidade de grande perigo e risco de morte por hipertermia, em uma área que cobria praticamente todo o estado de Goiás (INMET, 2020), evidencia a tendência de aumento na temperatura. Esses fatores podem dificultar o uso de TPC e modais de transporte ativo e podem impactar vias, sistemas e componentes, demandando manutenções mais frequentes.

Esse processo cíclico em que os transportes impactam o clima e o clima impacta os transportes evidencia a necessidade de que as novas infraestruturas e sistemas de mobilidade urbana incorporem aspectos de adaptação. Segundo o PNA (2016), “tal providência requer, por sua vez, o planejamento do uso e ocupação do solo e alocação de infraestrutura de forma integrada com a avaliação de riscos climáticos, evitando-se gerar novas exposições e vulnerabilidades” (Ministério do Meio Ambiente, 2016, p. 129). Nesse sentido, um desenho urbano adequado pode diminuir os efeitos adversos do clima, levando redução do consumo de energia e contribuindo simultaneamente para aumentar o potencial de uso modais sustentáveis. Assim, tanto a vulnerabilidade da mobilidade urbana à mudança do clima, quanto as emissões de GEE, poderiam ser mitigadas.

Dessa forma, este trabalho traz uma abordagem em que as mudanças no uso e cobertura do solo promovem alterações na paisagem urbana e tais alterações impactam o clima urbano. Esses impactos podem ser observados no aumento da temperatura de superfície e na emissão de GEE. A temperatura de superfície é impactada principalmente em relação a redução de áreas verdes e aumento de áreas impermeáveis e superfícies comerciais. Já a emissão de GEE é impactada devido às distâncias percorridas, ao tipo de combustível utilizado e ao uso do veículo individual motorizado.

O uso misto do solo pode reduzir as emissões de GEE uma vez que encurta as viagens, já a densidade de ocupação pode promover uma maior demanda de passageiros para o sistema BRT. Além disso, a adoção do sistema BRT como meio de transporte também promove essa redução uma vez que, nos moldes da mobilidade urbana atual, a pegada de carbono de um usuário do BRT tende a ser menor que a de um usuário do transporte individual motorizado. Alguns dos impactos promovidos pelas alterações analisadas estão na tabela a seguir:

Quadro 10. Impactos promovidos pelas alterações analisadas.

Transformações Espaciais		Impacto
Uso e Ocupação do Solo		Distâncias percorridas; tempo de viagem; qualidade do transporte.
Paisagem Urbana		Conforto térmico; uso de modais ativos.
Clima Urbano		Impacto
Temperatura de Superfície		Temperatura média local.
Pegada de Carbono		Temperatura média global.

Levando em consideração o fato de o corredor não estar concluído, podem ser propostas diretrizes que visem a melhoria do sistema, com base nos princípios propostos pelo DOTS. Algumas diretrizes sugeridas para adaptação e mitigação dos impactos analisados são:

- * Gestão urbanística do uso e ocupação do solo urbano por meio dos instrumentos previstos no Estatuto das Cidades, para a promoção do uso misto do solo ao longo do corredor BRT;
- * Promoção de oportunidades de moradia ao longo do eixo estruturador de transporte coletivo, preferencialmente habitação social coletiva de média e alta capacidades, visando um maior índice de adensamento;
- * Medidas de gestão da mobilidade que desestimulem o uso do transporte individual, como a redução da capacidade viária para o tráfego geral e das vagas para estacionamento;
- * Priorização do tráfego da frota de ônibus no sistema viário, melhorando sua velocidade comercial e promovendo a confiabilidade do sistema;
- * Políticas públicas que promovam um TPC financeiramente mais acessível para seus usuários;
- * Requalificação e padronização de passeios públicos de acordo com as normas de acessibilidade, não só na área lindeira ao corredor, mas em toda área de influência;

- * Implantação de uma rede cicloviária que promova a alimentação do sistema BRT em distâncias médias e curtas por meios de modos de transporte ativos, sobretudo em áreas periféricas da cidade, que carecem de mais infraestrutura;
- * Implantação de bicicletários próximos a estação de embarque, permitido que o sistema seja acessado por modos de transporte ativos para viagens de longa distância;
- * Arborização intensa: em passeios, principalmente na área de influência do corredor, para incentivar a caminhabilidade até as estações do BRT; ao longo de ciclovias melhorando o conforto térmico daqueles que optam pela bicicleta como meio de transporte; e ao longo do corredor de transporte para aumentar a capacidade de sequestro de carbono reduzindo assim as emissões;
- * Políticas públicas que promova a adoção de novas fontes de energia com menor intensidade de carbono para o transporte coletivo por ônibus.

Tais medidas podem promover o aumento da demanda do sistema BRT e de transporte ativo, tornando-os mais atrativos, uma vez que aumentam a qualidade da mobilidade urbana. Levando em consideração que o custo-benefício é um importante fator para a mudança no modo de transporte utilizado pela população, assim, promoveriam a mitigação dos impactos dos transportes no clima urbano, e do clima nos sistemas de transporte.

Reforça-se que são indiscutíveis os benefícios que os sistemas BRT podem promover na qualidade de vida, no que se refere à estrutura e mobilidade urbana. Entretanto, constata-se que esses sistemas não promovem a melhoria do ambiente urbano por si só. O planejamento dos sistemas BRT deve ser orientado pelos princípios do DOTS, que devem ser empregados para promover a distribuição das atividades e da população de maneira mais equitativa na estrutura urbana, assim como para incentivar modais mais sustentáveis de transporte. Dessarte, reafirma-se a necessidade de considerar o sistema de BRT como parte integrante e ativa no planejamento e desenvolvimento urbano.

Assim, destaca-se que a modelagem ambiental, no contexto dos sistemas de transporte, com o uso de geotecnologias como o Sensoriamento Remoto e os SIG, são de fundamental importância, visto que configuram instrumentos valiosos de coleta de dados para análise do território, especialmente para o planejamento, mobilidade, acessibilidade e sustentabilidade e contribuem fundamentalmente para as análises espaciais dos impactos dos transportes. Ademais, reforça-se a validade de estudos que evidenciam os impactos provocados por um sistema BRT na estrutura e mobilidade urbana e em aspectos do clima urbano.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados das duas partes da pesquisa, que como referido, tiveram metodologias distintas, foi possível concluir que as imagens do Google Earth Pró®, quando tratadas adequadamente, apresentam desempenho satisfatório para compreensão dos padrões de cobertura do solo e alterações na paisagem urbana, decorrente disso, concluiu-se que:

- O padrão de cobertura do solo sofreu alterações, referentes a construção de grandes superfícies comerciais e implantação da infraestrutura do BRT;
- O Trecho 1 do BRT Norte/Sul Goiânia se encontra em área de ocupação majoritariamente em consolidação, onde predomina áreas residenciais e o Trecho 2 em área de ocupação majoritariamente consolidada, onde predomina estabelecimentos comerciais, assim:
- Foi no Trecho 1 onde se observou maior o percentual de aumento da área de pavimento; foi nessa área também onde se observou o aumento da área edificada para residências.
- Como esperado, na área em consolidação, Trecho 1, houve maior expansão de áreas de solo exposto, como referido, para definição de novos usos no futuro;
- A cobertura para a classe Telhado 2, associado às áreas comerciais, apresentou maior percentual no trecho 2. Isso foi esperado, pois identificou-se consolidação de áreas comerciais (Região da 44 e entorno da Av. Rio Verde);
- Sobre as áreas verdes, conclui-se que houve maior expansão no Trecho 1, explicado pelas políticas assertivas de compensação ambiental, através de ações de rearborização e da criação de um Parque Municipal;
- A vegetação gramínea sofreu maior redução na área em consolidação do crescimento urbano;
- A variação da área da classe Sombra, em áreas mais verticalizadas, no Trecho 2, foi maior. Esse resultado era esperado, e depende ainda da hora de tomada da imagem (da inclinação e direção do sol);
- De modo geral, as classes de uso de Telhado 1 (áreas residenciais) e a classe de Solo Exposto apresentaram percentual maior de confusão espectral;

As imagens Landsat 8, quando tratadas adequadamente, permite a compreensão dos padrões de temperatura de superfície e seu relacionamento espacial com a paisagem urbana, decorrente disso, concluiu-se que:

- Áreas edificadas, com ampla pavimentação e para fins comerciais contribuem para o aumento da temperatura na área urbana dos dois trechos analisados;
- Por outro lado, áreas cobertas por vegetação arbórea e próximas aos corpos de água, apresentam menores temperaturas nos dois trechos;
- Desse modo, é possível afirmar que a infraestrutura o BRT contribui de forma sensível para aumento da temperatura nos dois trechos;

Sobre a análise de pegada de carbono, segunda parte, foi possível concluir que tanto o meio de transporte utilizado, quanto o tipo de combustível influenciam na pegada de carbono, assim:

- O BRT, por transportar uma maior quantidade de pessoas, pode promover a redução da emissão dos gases de efeito estufa, variando sua eficiência de acordo com a taxa de ocupação;
- Por fim, os biocombustíveis promovem a redução na emissão de gases de efeito estufa em relação aos combustíveis fósseis, variando de acordo com a porcentagem da mistura.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, T. D. **O setor de transportes urbanos por ônibus no Rio de Janeiro e emissão de gases de efeito estufa**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ALCOFORADO, M. J. Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns Apontamentos. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, v. 34, n. 67/68, p. 83-94, 1999.
- ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H.; OLIVEIRA, S. Alterações climáticas e desenvolvimento urbano. **Série Política de Cidades**, v. 4, 2009.
- ANDRADE, H. O clima urbano-natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. 40, n. 80, p. 67-91, 2005.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Mais um dia com carros. 2016. Disponível em: <http://www.antp.org.br/noticias/ponto-de-vista/mais-um-dia-com-carros.html>. Acesso em: 15.06.2020.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos / Simob - Sistema de Informações da Mobilidade Urbana. **Relatório geral 2016**. 2018.
- ASGARIAN, A.; AMIRI, B. J.; SAKIEH, Y. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. **Urban Ecosystems**, v. 18, n. 1, p. 209-222, 2015.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço E Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.
- BEN - Balanço Energético Nacional. Epe–Empresa. **Relatório Síntese, ano base**, 2018. 2019.
- BERLING-WOLFF, S.; WU, J. Modeling urban landscape dynamics: a case study in Phoenix, USA. **Urban ecosystems**, v. 7, n. 3, p. 215-240, 2004.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial**, Brasília, 2012.
- BRAVO, M. D.; CARVALHO, G.F.; SILVA, E.; TEIXEIRA, K.; SZTOLTZ. Estudos para implantação de estações de BRT na região metropolitana de Florianópolis: o uso do sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta de análise. In: **Anais do XXX Congresso em Pesquisa e Ensino de Transportes**. p. 2099-2110. 2016.
- CAMPOS, F.; CANDIDO, M. **Cidades brasileiras: seu controle ou o caos**. 4 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. **IPEA Boletim regional, urbano e ambiental**, Brasília, n. 05, 2011.
- CARVALHO, M. M. de. **Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. 2001. 283 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.
- CCAR - California Climate Action Registry General Reporting Protocol; California Climate Action Registry: Los Angeles, CA, 2007; pp 1-118.
- CERVERO, R.; DAI, D. BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments. **Transport Policy**, v. 36, p. 127-138, 2014.

CERVERO, R.; KANG, C. D. Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. **Transport Policy**, v. 18, n. 1, p. 102-116, 2011.

CMTC – Companhia Metropolitana de Transportes Coletivos. **Projeto Básico de Implantação do Corredor Norte-Sul com a Solução do Tipo Bus Rapid Transit**. 2012.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

CONGEDO, L. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.294...>

CULLEN, G. **Paisagem urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 1983.

CUNHA, D. F. **Instituição da Região Metropolitana de Goiânia – Goiás (1980-2010): configuração e interações espaciais entre os municípios**. 2017. 283 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

DANTAS, A.; TACO, P.; YAMASHITA, Y. Sistemas de informação geográfica em transportes: o estudo do estado da arte. In: **Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes ANPET**. 1996.

DANTAS, A.; Taco, P. W. G.; Yamashita, Y.; Bartoli, S. P. Aplicações dos SIG em Transporte Sob o Enfoque da Análise Espacial. **Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**, n. 4, p. 469-477, 1997.

DAWKINS, C.; MOECKEL, R. Transit-induced gentrification: Who will stay, and who will go? **Housing Policy Debate**, v. 26, n. 4-5, p. 801-818, 2016.

DE BARROS, M. P.; GOUVEIA, M. B.; WAZLAWICK, S. M.; SILVA, V. C. G. Uso de métricas de paisagem e sensoriamento remoto para avaliar a relação entre as temperaturas de superfície e os padrões de ocupação dos solos em Cuiabá, MT. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 3, 2012.

DE CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. **Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil**. Texto para Discussão - IPEA, 2011.

DEFRA. Department for Environment, Food and Rural Affairs. **Government GHG conversion factors for company reporting: methodology paper for emission factors**. Final Report. 2019.

DE MAGALHÃES, D. M. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem**. 2013. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

DE SOUSA, Silvio Braz; JÚNIOR, Laerte Guimarães Ferreira. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 26, p. 75-99, 2012.

DEL RIO, Vicente; DE OLIVEIRA, Livia. **Percepção ambiental: a experiência brasileira**. Studio Nobel, 1996.

DELTACO; CENA. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Pegada de Carbono na Produção de Biodiesel de Soja. Piracicaba. 2013.

ECOINVENT. Reports, 2017. Disponível em: <https://v36.ecoquery.ecoinvent.org/File/Reports>. Acesso em: 15.06.2020.

EMBARQ - World Resources Institute. **Social, environmental and economic impacts of BRT systems: bus rapid transit case studies from around the world**. 2013.

FAN, C.; MYINT, S. A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. **Landscape and Urban Planning**, v. 121, p. 117-128, 2014.

FILIMONAU, V.; DICKINSON, J. E.; ROBBINS, D.; REDDY, M. V. A critical review of methods for tourism climate change appraisal: life cycle assessment as a new approach. **Journal of Sustainable Tourism**, v. 19, n. 3, p. 301-324, 2011.

FILIMONAU, V.; DICKINSON, J.; ROBBINS, D. The carbon impact of short-haul tourism: A case study of UK travel to Southern France using life cycle analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 628-638, 2014.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, nº 1, p. 185-201, 2002.

Global BRT Data (2019). Disponível em: <https://www.brtdata.org/>

Goiânia. **Obras do BRT Norte-Sul são retomadas na Praça do Cruzeiro**, 2020. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/obras-do-brt-norte-sul-sao-retomadas-na-praca-do-cruzeiro/>. Acesso em: 30.06.2020.

Goiânia. Lei Complementar nº 171, de 29 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do Município de Goiânia e dá outras providências. **Diário Oficial**, 2007.

GOIÂNIA. Lei nº 5.019, de 8 de outubro de 1975. Altera a Lei nº. 4.523/71 que aprova o PDIG, transforma o Escritório de Planejamento em autarquia denominado Iplan. **Diário Oficial**, n. 434, 1975.

GOIÁS. Lei Complementar nº 27, de 30 de dezembro de 1999. Cria a Região Metropolitana de Goiânia, autoriza o Poder Executivo a instituir o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Goiânia, a Secretaria Executiva e a constituir o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano de Goiânia e dá outras providências correlatas. **Diário Oficial**, 1999.

GOIÁS. Lei Complementar nº 149, de 15 de maio de 2019. Altera a Lei Complementar nº 139, de 22 de janeiro de 2018, que dispõe sobre a Região Metropolitana de Goiânia, o Conselho de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Goiânia, cria o Instituto de Planejamento Metropolitano e dá outras providências. **Diário Oficial**, 2019.

HIRYE, M. C. M.; ALVES, D. S.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra na cidade de Altamira (PA) em 2000 e 2010, com a utilização do modelo linear de mistura espectral de imagens do sensor TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, 2015.

HOOK, W.; KOST, C.; NAVARRO, U.; REPLOGLE, M.; BARANDA, B. Carbon dioxide reduction benefits of bus rapid transit systems: Learning from Bogotá, Colombia; Mexico City, Mexico; and Jakarta, Indonesia. **Transportation research record**, v. 2193, n. 1, p. 9-16, 2010.

HOSSAIN, M.; KENNEDY, S. Estimating energy savings from bus improvement options in urban corridors. **Journal of Public Transportation**, v. 11, n. 3, p. 2, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**, v. 15, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD**, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Regiões de Influência das Cidades – informações de deslocamentos para comércio**. Notas Técnicas. Rio de Janeiro, 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Brasília.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET publica aviso iniciando em: 05/10/2020 12:01. Hipertermia/Risco de morte. Temperatura 5°C acima da média por período maior do que 05 dias**. 2020. Disponível em: <http://alert-as.inmet.gov.br/cv/emergencia/cap/15119>. Acesso em: 05/10/2020.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996, 2007.

IPHAN suspende obras do BRT na Avenida Goiás. **Diário de Goiás**. Goiânia, 04 de março de 2020. Disponível em: <https://diariodegoias.com.br/iphan-pede-suspensao-de-obras-do-brt-na-avenida-goias/>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **Transit Oriented Development: TOD Standard**. New York (US), 2013.

ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **BRT standard**. New York (US), 2016-a.

ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **People Near Transit: Improving Accessibility and Rapid Transit Coverage in Large Cities**. New York (US), 2016-b.

- ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **BRT Planning Guide**. New York (US), 2017-a.
- ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **Guia de implementação de políticas e projetos de DOTS**. Brasília, 2017-b.
- ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. **Adaptação para a Mudança Climática**. Brasília, 2018.
- ITDP - Institute for Transportation and Development Policy. Boletim 1/2019: Mobilidade de Baixo Carbono. **Mobilizados em foco**. 2019.
- ISO - International Organization for Standardization. ISO 14040: **Principles and framework**. 2006.
- ISO - International Organization for Standardization. ISO 14044: **Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**. 2009.
- ISO - International Organization for Standardization. 2018. ISO 14067: **Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification**. 2018.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.
- KNEIB, E. C. Mobilidade e centralidades: reflexões, relações e relevância para a vida urbana. **Projeto e cidade: centralidades e mobilidade urbana**. Goiânia: FUNAPE, 2014.
- KNEIB, E. C. Centralidades urbanas e sistemas de transporte público em Goiânia, Goiás. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 8, n. 3, p. 306-317, 2016.
- LANDSBERG, H. E. The urban climate. **Academic press**, 1981.
- LAUTSO, K.; SPIEKERMANN, K.; WEGENER, M.; SHEPPARD, I.; STEADMAN, P.; MARTINO, A. Planning and research of policies for land use and transport for increasing urban sustainability (PROPOLIS): Final report to the European Commission. **Brussels, EC**, 2004.
- LEVINSON, H. ZIMMERMAN, S. CLINGER, J. GAST, J. Bus rapid transit, volume 1: Case studies in Bus Rapid Transit. Technical Report TCRP Report 90. **Transit Cooperative Research Program Report**, v. 90, Washington, DC, 2003.
- LI, J. J.; WANG, X. R.; WANG, X. J.; MA, W. C.; ZHANG, H. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China. **Ecological Complexity**, v. 6, n. 4, p. 413-420, 2009.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3 ed. Crawfordsville: J. Wiley and Sons, 1994. 750 p.
- LIMA, G. S. **Metodologia de avaliação econômico-ambiental das emissões veiculares na implantação de um sistema BRT**. 2013. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.
- LLANO, X. C. (2019). AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps. 2019.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Editora Hucitec, 1985.
- LUCK, M.; WU, J. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. **Landscape ecology**, v. 17, n. 4, p. 327-339, 2002.
- MALARVIZHI, K.; KUMAR, S.V.; PORCHELVAN, P. Use of high-resolution Google Earth satellite imagery in land use map preparation for urban related applications. **Procedia Technology**, V. 24, p. 1835-1842, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.231>
- MAMUN, A. A.; MAHMOOD, A.; RAHMAN, M. Identification and Monitoring the Change of Land Use Pattern Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Dhaka City. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, V. 6, Issue 2, p. 20-28, 2013.
- MENDES, F. H.; SILVA FILHO, D. F.; LOPES, A. M. S. A sombra de edifícios como índice de verticalização das cidades. **Hipótese**, Itapetininga, v. 1, n. 1, p. 24-34, 2015.

- MENEZES, P.M.L.; FERNANDES, M.C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Manual de BRT: guia de planejamento**. ITDP-Brasil, Brasília, 2008.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Setorial de Transporte e da Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima – PSTM**. Brasil, 2013.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PNA**. Brasil, 2016.
- MPGO – Ministério Público do Estado de Goiás. Portal/Notícias. **MP pede paralisação das obras do BRT em Goiânia**, 2015. Disponível em: <http://www.mpggo.mp.br/portal/noticia/mp-pede-paralisacao-das-obras-do-brt-em-goiania#.Xut4FkVKhPY>. Acesso em: 30.06.2020.
- NETA, C. S. H. **Potencial de redução de emissões atmosféricas a partir da implantação do BRT: estudo de caso em Belém-PA**. 2019. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2019.
- NICHOL, J. E., FUNG, W. Y., LAM, K., & WONG, M. S. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ' air temperature. **Atmospheric Research**, v. 94, n. 2, p. 276-284, 2009.
- OLIVEIRA, G. T.; ANDRADE, C. E. S.; JUNIOR, I. C. L.; NASSI, C. D.; LINKE, C. C. Redução de Emissões de Dióxido de Carbono com a Implementação do BRT Transoeste na Cidade do Rio de Janeiro. In: **Anais do XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. 2014.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas**. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 464 p, 2016.
- PARISI, A. C.; BRASIL, A. C. M.; SILVA, C. P.; PEREIRA, E. S.; ARRUDA, F. S. Impacto da implantação de "Bus Rapid Transit" (BRT) na emissão de poluentes: estudo de caso BRT sul no distrito federal. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 31., 2017, Recife. **Anais...** Recife: ANPET, 2017. p. 2281-2292.
- PDI-RMG - Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia. **Análise da mobilidade urbana e metropolitana**. Goiânia, 2017.
- PEREIRA, R. P. T. **Transportes em Copas do Mundo FIFA: Um procedimento para o cálculo e a minimização da pegada de carbono**. 2018. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- PORTIS, G. T.; SANTOS, A. M.; NUNES, F. G. Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 513-525, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300513&lng=en&nrm=iso. Acesso em: julho/2020. Epub July 03, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300442>.
- REGIÃO da 44 atrai empresários paulistas e de outros países. **Hora Extra**, Goiânia, 30 de agosto de 2019. Disponível em: <https://www.jornalhoraextra.com.br/economia/17561-regiao-da-44-atrai-empresarios-paulistas-e-de-outros-paises/#:~:text=Considerada%20o%20segundo%20maior%20polo,regi%C3%A3o%20central%20de%20S%C3%A3o%20Paulo.>>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.
- RMTC – Rede Metropolitana de Transporte Coletivo. **Sobre a RMTC – Informações Institucionais**. Goiás, 2018. <http://www.rmtcgoiania.com.br/sobrea-a-rmtc/informacoes-institucionais>
- RMTC – Rede Metropolitana de Transporte Coletivo. **Informações sobre a RMTC**. Goiás, 2013. <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-06/3.1-informacoes-sobre-a-rmtc.pdf>
- SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2: passo a passo: Aplicações práticas**. CAUFES. Alegre, ES, 2010. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/LivroSPRING512PassoaPasoAplicacaoPratica.pdf. Acesso em: 11/11/2020.
- SANTOS, M. 1997. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 2 ed. São Paulo: Hucitec.

SILVA, A. M. Curso Processamento digital de imagens de satélite. **XX CBC**, 2001, 68 p.

SILVA, A. N. R. D.; COSTA, M. D. S.; MACÊDO, M. H. **Planejamento integrado, organização espacial e mobilidade sustentável no contexto de cidades brasileiras**. In: Cidade e movimento: mobilidades e interações no desenvolvimento urbano. Ipea. ITDP. Brasília, 2016.

SOARES, L.H.B., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., 2009. Mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa pelo uso do etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. **Embrapa Agrobiologia - Circular Técnica (INFOTECA-E)**, vol. 27. Rio de Janeiro, 2009.

SRIVANIT, M.; HOKAO, K. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: An application for the city of Bangkok, Thailand. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies**, v. 9, n. 1, p. 83-100, 2012.

TACO, Pastor Willy Gonzales. **Modelo de geração de viagens com aplicação dos sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto**. 1997. Tese de Doutorado. Faculdade de Tecnologia-Universidade de Brasília.

TACO, P. W. G. et al. Trip generation model: A new conception using Remote Sensing and Geographic Information Systems. 2000.

TANG, J.; WANG, L.; YAO, Z. Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. **Landscape and urban planning**, v. 87, n. 4, p. 269-278, 2008.

TURNER, M.; KOOSHIAN, C.; WINKELMAN, S. Colombia's Bus Rapid Transit (BRT) development and Expansion. Center for Clean Air Policy. **Center for Clean Air Policy**, 2012.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas**. Annablume, 2000.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte e meio Ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. ANNABLUME, São Paulo, 2006.

VINCENT, W.; JERRAM, L. C. The potential for bus rapid transit to reduce transportation-related CO₂ emissions. **Journal of Public Transportation**, v. 9, n. 3, p. 12, 2006.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003.

WEGENER, M.; FÜRST, F. Land-use transport interaction: state of the art. **Available at SSRN 1434678**, 2004.

WENG, Q. A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International journal of remote sensing**, v. 22, n. 10, p. 1999-2014, 2001.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335-344, 2009.

WIEDMANN, T.; MINX, J. A definition of 'carbon footprint'. **Ecological economics research trends**, v. 1, p. 1-11, 2008.

WU, J.; JELINSKI, D. E.; LUCK, M.; TUELLER, P. T. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. **Geographic information sciences**, v. 6, n. 1, p. 6-19, 2000.

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of environment**, v. 106, n. 3, p. 375-386, 2007.

ZHANG, Y.; Balzter, H.; Zou, C.; Xu, H.; Tang, F. Characterizing bi-temporal patterns of land surface temperature using landscape metrics based on sub-pixel classifications from Landsat TM/ETM+. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 42, p. 87-96, 2015.

ZHOU, W.; HUANG, G.; CADENASSO, M. L. Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. **Landscape and urban planning**, v. 102, n. 1, p. 54-63, 2011.