

# **Avaliação dos impactos do teletrabalho na mobilidade urbana e emissão de poluentes atmosféricos.**

Laís Guedes Matsushima<sup>1</sup>; Silvana Maria Zioni<sup>2</sup>; Humberto de Paiva Junior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFABC Av. dos Estados 5001, Santo André, SP (11)97375-3881, lais.gm@uol.com.br.

<sup>2</sup> (11) 2320-6367, silvana.zioni@ufabc.edu.br. <sup>3</sup> (11) 97148-0664, humberto.paiva@ufabc.edu.br.

## **SINOPSE**

Este estudo tem como objetivo avaliar os impactos da atividade do teletrabalho feito em domicílio e telecentros, no município de Santo André com o auxílio do software Aimsun ©, através da simulação do cenário atual e 2 cenários hipotéticos: 1 com trabalho em domicílio e o outro num telecentro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teletrabalho; Trabalho remoto; Telecentro; *Home-Office*; *simulação*.

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de urbanização no Brasil aconteceu de forma muito rápida e, por muitas vezes, de forma desordenada, sem investimentos adequados para o padrão de urbanização de crescimento de periferias distantes e dispersas, e isto resultou em alguns impactos negativos, como a exclusão social, moradias precárias e em péssimas condições de saneamento e acessibilidade, entre muitos outros.

Um dos problemas que mais afeta a população é o congestionamento, causado principalmente por uma política de incentivo ao uso do transporte motorizado individual e à má distribuição da oferta de emprego e moradias, sendo que grande parte da população realiza grandes deslocamentos para ir ao trabalho.

A precariedade do transporte público no país e o grande número de automóveis em circulação gera estresse aos motoristas e também lança uma quantidade muito grande de poluentes atmosféricos, tais como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e o Metano (CH<sub>4</sub>), que intensificam o efeito estufa e materiais particulados e óxidos de nitrogênio (NOx) que podem causar muitos problemas à saúde.

Em meio ao processo de urbanização, o advento da internet e o desenvolvimento das tecnologias a partir do final do século XX, principalmente as relacionadas à telecomunicação, permitiram que as distâncias fossem reduzidas, mudando completamente o modo como o fluxo de informações é transmitido, tornando-se muito mais rápido, mais econômico e eficaz, permitindo que pessoas em lados opostos do mundo possam se comunicar em tempo real.

Dentre as novas oportunidades que os avanços da tecnologia proporcionaram está o desenvolvimento de uma nova modalidade de trabalho, o Teletrabalho. Esta prática modificou o conceito de ambiente de trabalho, permitindo que atividades sejam realizadas remotamente e com potencial de redução dos fluxos diários, auxiliando na melhoria da fluidez no trânsito e redução da emissão de poluentes.

De modo geral esta modalidade de trabalho apresenta vantagens em três níveis distintos: nível organizacional, por exemplo, na redução de custos em infraestrutura, maior concentração do profissional no trabalho, melhoria da qualidade e aumento da produtividade; nível individual, como a melhora na forma de gerir o tempo, ter mais tempo para a família e ter o conforto de trabalhar em casa e no nível da sociedade, com a redução dos níveis de poluição em função do menor fluxo de veículos circulando diariamente. Este

estudo tem como foco avaliar estas últimas vantagens, as quais trazem benefícios a toda sociedade.

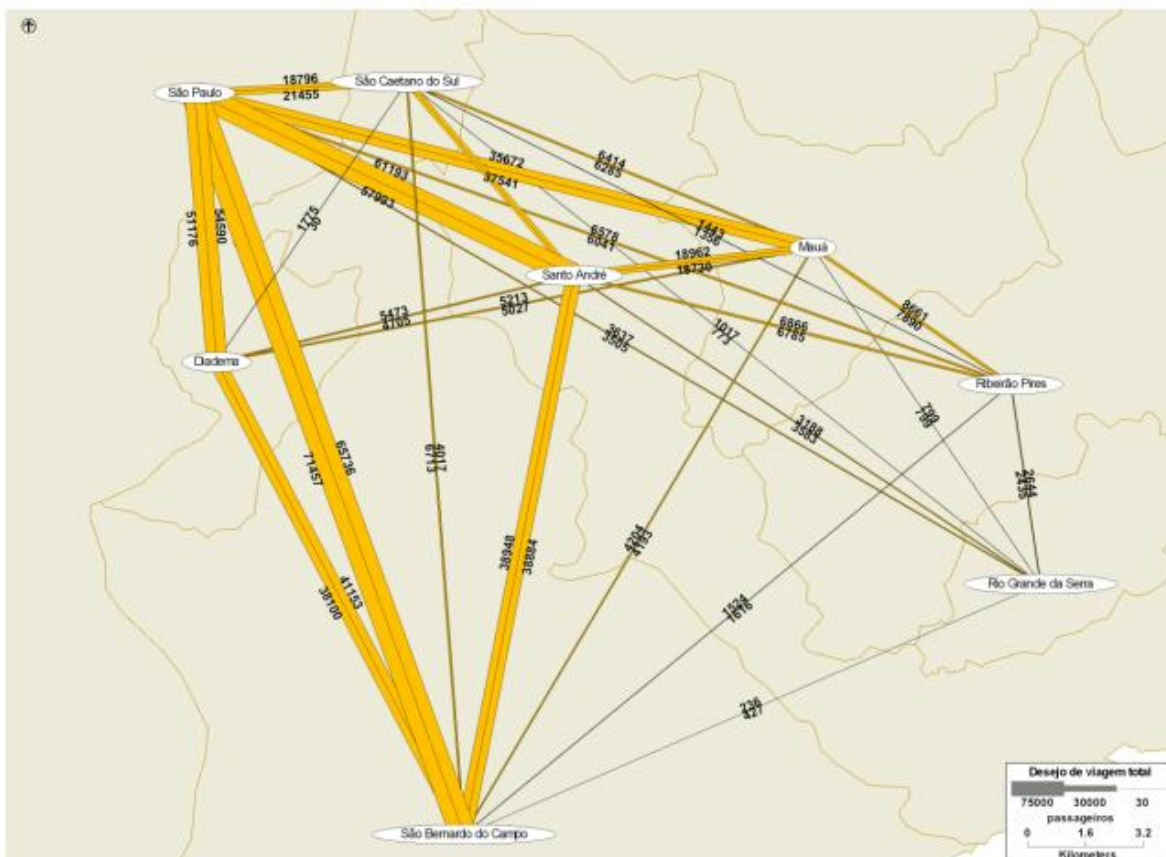
## 2. DIAGNÓSTICO

A área de estudo deste trabalho é o município de Santo André, situado na região do ABC na região metropolitana de São Paulo. Segundo o IBGE (2016), a área total do município é de 175,782 km<sup>2</sup> e a população de acordo com o censo de 2010 é de 676.407 habitantes com densidade demográfica de 3.848,01 hab/km<sup>2</sup>.

Segundo levantamento da pesquisa OD 2007 (METRÔ, 2008), os moradores do ABC realizam 5.643.775 viagens diariamente, o equivalente a quase 15% do total de viagens realizadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo que São Bernardo do Campo e Santo André juntos concentram mais da metade destas viagens no ABC.

Neste contexto, Santo André é o município escolhido para este estudo por ser um ponto central com grande quantidade de deslocamentos na região do ABC com origem e destino principalmente nos municípios de São Bernardo do Campo e São Paulo (Figura 1).

Conforme dados do IBGE do Censo 2010, de um total de 336.997 pessoas de 10 anos ou mais de idade que exercem algum tipo de ocupação, 61,6% trabalha no município, enquanto 37,2% trabalha em outro município. Constatou-se que do total de pessoas que trabalhavam fora do domicílio, 52,6% do total dessas pessoas realizavam viagens curtas para chegar ao trabalho (tempo de duração entre 6 e 30 minutos) e 7,2% dos trabalhadores faziam viagem longas, com mais de uma hora de duração.



**Figura 1** - Linhas de Desejo de viagens entre os Municípios do ABC e São Paulo Capital  
Fonte: Plano Regional de Mobilidade do ABC (Oficina, 2012), a partir de dados da Pesquisa Origem e Destino 2007.

### **3. PROPOSIÇÕES**

A base de dados para este estudo é a matriz de viagens elaborada por Gentile e Paiva (2016) e o modelo de simulação de sistemas de transportes do município de Santo André LabMAU (2018). A rede elaborada utilizou dados disponibilizados pela CPTM sobre a simulação desenvolvida através do software EMME/INRO para o cenário de 2014 da rede de transportes da RMSP considerando as projeções da Pesquisa Domiciliar Origem e Destino 2007 e os planos de obras de transportes previstos. Os dados desse modelo foram aplicados numa rede concebida para microssimulação através do software AIMSUN, elaborada pelo projeto Cidade Poluição e Clima (PAIVA, 2017) para o município de Santo André.

A Rede AIMSUN da cidade de Santo André possui um total de 737 km de vias, com 2.587 interseções. O desenho da rede foi baseado em um arquivo dxf de quadras fornecido pela prefeitura de Santo André e apresenta detalhes da geometria das vias, número de faixas e detalhamento de todos os movimentos nas interseções (GENTILE, 2016).

A Rede possui 45 centroides internos coincidindo com os da Rede EMME/CPTM no trecho dentro de Santo André, e 31 externos adicionais, nas entradas e saídas do município, representando as interações deste com o resto da RMSP.

Os centroides são a correspondência espacial dos vetores de geração de viagens utilizados por Gentile (2016) ao calcular a matriz de origem e destino, com o número de viagens entre zonas de tráfego, os denominados “pares origem-destino” para o transporte individual motorizado.

Os principais parâmetros de análise fornecidos pela rede de simulação são os impactos na circulação de veículos na rede, durante o horário de pico, expresso pela distância total percorrida na rede, o tempo de deslocamento e as relações entre fluxo e capacidade do sistema. A partir dessas informações os impactos socioeconômicos e ambientais podem ser quantificados e monetarizados para subsidiar decisões.

A rede foi desenvolvida com detalhes suficientes para a execução de microssimulações, mas para a finalidade desse estudo foi utilizada a macrossimulação.

A proposta é simular três cenários no horário de pico da manhã da RMSP (7 às 8 horas), como descrito adiante, para comparar a diferença entre a distância percorrida total (km), a quantidade de poluentes emitidos (aplicando o método IPEA/ANTP de 1998) e avaliar se essas diferenças são significativas. As simulações são realizadas levando em conta as matrizes de veículos motorizados individuais e veículos de carga, bem como, os serviços de transporte coletivo por ônibus municipais e metropolitanos programados no modelo de microssimulação de Santo André.

#### **3.1 Cenários**

##### **3.1.1 Cenário 1 (C1)– Cenário atual, sem teletrabalho.**

Este cenário considera a situação do município sem nenhuma modificação, ou seja, sem considerar o emprego adicional de práticas de teletrabalho, apenas o já existente. A base para esta simulação é o cenário de 2014 do modelo de demanda de transportes da RMSP (GENTILE, 2016).

Na pesquisa OD de 2007 foram registradas 1.503.598 viagens que tinham como origem as 9 zonas do município de Santo André, sendo 378.013 por motivo trabalho no setor de serviços, o que corresponde a aproximadamente 25,14% das viagens totais. As viagens por

motivo trabalho da indústria e comércio não foram consideradas neste estudo por ser mais difícil a implementação do teletrabalho nestes setores.

O cenário 1 é a base para a comparação dos impactos ambientais e na mobilidade gerados pelos outros dois cenários.

### **3.1.2 Cenário 2 (C2) – Teletrabalho em domicílio**

Considerando que para a prática do teletrabalho em domicílio é necessária uma estrutura mínima para o trabalhador, como acesso à internet, computador, telefone e espaço adequado, a renda do trabalhador é um indicativo para esta adequação. Desta forma, foram consideradas como zonas mais prováveis para localização de teletrabalhadores aquelas mais próximas ao centro e zona oeste do município de Santo André, onde predomina população de renda mais alta e disponibilidade de infraestrutura. A simulação levará em consideração estas localizações e a redução dos deslocamentos será feita nas zonas OD correspondentes: Zonas 383 - Santo André, 384 - Valparaíso e 385 - Campestre.

Nestas três zonas, segundo as faixas de renda familiar da pesquisa OD, 67.266 entrevistados possuem renda média familiar mensal maior que 3,5 salários mínimos, o que foi considerado neste estudo uma renda mínima para que os teletrabalhadores tenham a infraestrutura necessária para o trabalho em domicílio. Esta quantidade corresponde a aproximadamente 10% do total de entrevistas do município de Santo André e a 45% do total nestas zonas. Desta forma, a redução do número de viagens será feita para os centroides destas zonas, com redução de 20% do número de viagens de cada um.

O cenário dois tem como hipótese a mudança de padrão de localização laboral em que cerca de 20% dos trabalhadores passaram a trabalhar em casa, alterando o fluxo de deslocamentos individuais com motivo trabalho adotado no cenário 1.

### **3.1.3 Cenário 3 (C3) - Centro satélite**

Este cenário considera a construção de um telecentro coletivo, em que trabalhadores de diversas empresas podem compartilhar o espaço de trabalho, localizado ao sul da macrozona urbana (Figura 2), em que se concentra uma grande quantidade de viagens por motivo trabalho na área de serviços e que ainda não possui centros para trabalho coletivo. Esta localização permite descentralizar o fluxo de trânsito, criando um centro de atração de viagens para trabalhadores do próprio município de Santo André, como também de São Bernardo do Campo, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra, diminuindo a quantidade de automóveis no centro de Santo André no horário de pico. A localização do Telecentro Proposto no Município de Santo André foi baseada no número de viagens produzidas por motivo trabalho no setor de serviços de acordo com a Pesquisa Origem e Destino de 2007 (Figura 2).

O telecentro proposto terá capacidade de atender 150 trabalhadores, desta forma, a modificação na matriz de fluxos é feita através do redirecionamento das viagens que tinham o centro de Santo André como destino para o centroide da zona de tráfego que contém o telecentro proposto.

## **3.2. Cálculo das emissões de poluentes pelo Método IPEA/ANTP**

O método IPEA/ANTP foi o escolhido para avaliar o desempenho ambiental através das emissões veiculares (DUARTE E PAIVA, 2013). Os poluentes escolhidos para análise foram o NO<sub>x</sub> e MP devido aos potenciais impactos que causam à saúde e o CO<sub>2</sub> por ser um poluente que está sempre em discussão nos inventários de emissões e pelo qual é possível determinar a pegada de carbono, um parâmetro que serve para analisar os impactos

causados na atmosfera e as mudanças climáticas ocasionadas por ação de algum serviço, produto, atividade e neste caso, o deslocamento de automóveis particulares.

O método IPEA/ANTP, desenvolvido em 1998 estima as emissões de acordo com o fluxo de veículos em cada seção da rede, considerando a velocidade de tráfego. A formulação básica adotada nesse método pode ser vista na Equação 1.

$$E_p = Fx_{ki} \cdot FE_k(V_i) \cdot d_i \quad (1)$$

Em que:

$E_p$  – Emissões de um determinado poluente (g);

$Fx_{ki}$  – Fluxo de veículos tipo k, por segmento i da rede de transportes (veículos por hora);

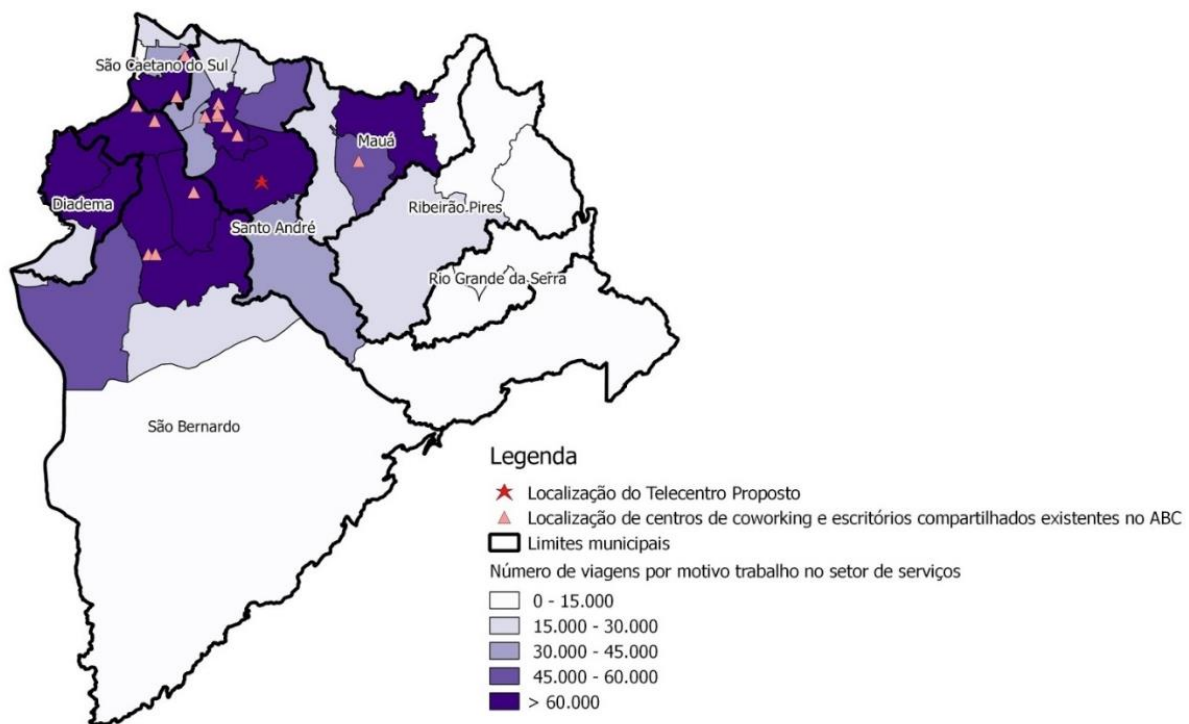
$v_i$  – Velocidade de tráfego no segmento i de rede de transportes

$FE_{ki}(v)$  – Fator de emissões de cada tipo de poluente (g/km) em função da velocidade de tráfego no segmento i da rede de transportes;

$d_i$  – Comprimento do segmento i da rede de transportes (km);

Para calcular os fatores de emissão de cada poluente, são utilizadas as equações descritas por Duarte e Paiva (2013).

A macrossimulação realizada pelo Aimsun gera como valores de saída o fluxo de veículos em cada seção da malha viária simulada no modelo de redes e o custo generalizado de deslocamento ao longo de cada seção que é expresso em minutos, considerando as condições de tráfego. Os fluxos alocados são desagregados em veículos leves (autos) e pesados (ônibus). Com os valores de custo e o comprimento de cada seção da rede é possível determinar a velocidade média de tráfego e utilizando as equações elaboradas pelo IPEA/ANTP é possível estabelecer as emissões dos poluentes escolhidos em cada seção da rede para NOx, CO<sub>2</sub> e MP.



**Figura 2** - Localização de telecentros existentes e Proposto no Município de Santo André. Fonte: Pesquisa OD 2007 e Google 2017.

#### 4. RESULTADOS

Considerando os tempos totais de viagem no modelo da rede de transportes observa-se que só há benefício significativo no cenário C2. O Cenário C3 não diferem significativamente do cenário base, porém pode-se afirmar que nesse cenário específico há piora dos tempos de viagens (Figura 3).

Com a aplicação do método IPEA/ANTP, foram obtidas as emissões dos poluentes, como pode ser visto na Figura 3. As conclusões gerais são as mesmas. O C2 é o melhor cenário e C3 apresenta uma pequena piora dos indicadores ambientais (Figura 3).

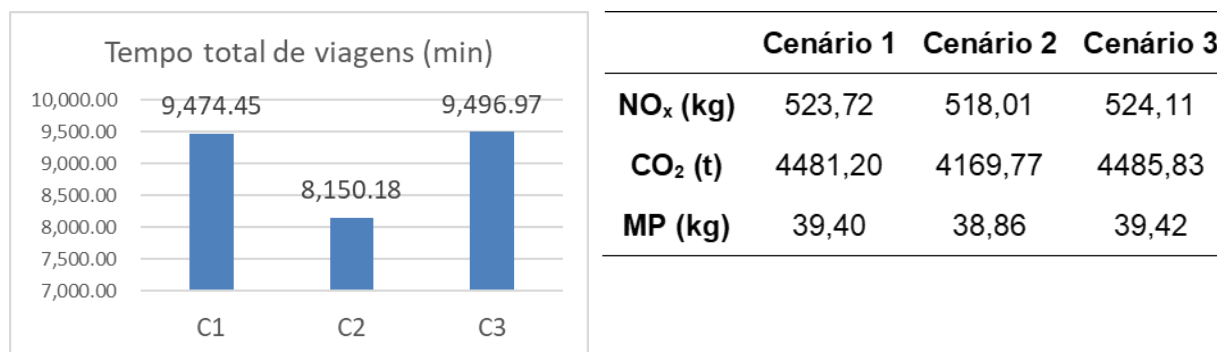


Figura 3 – Resultados das simulações

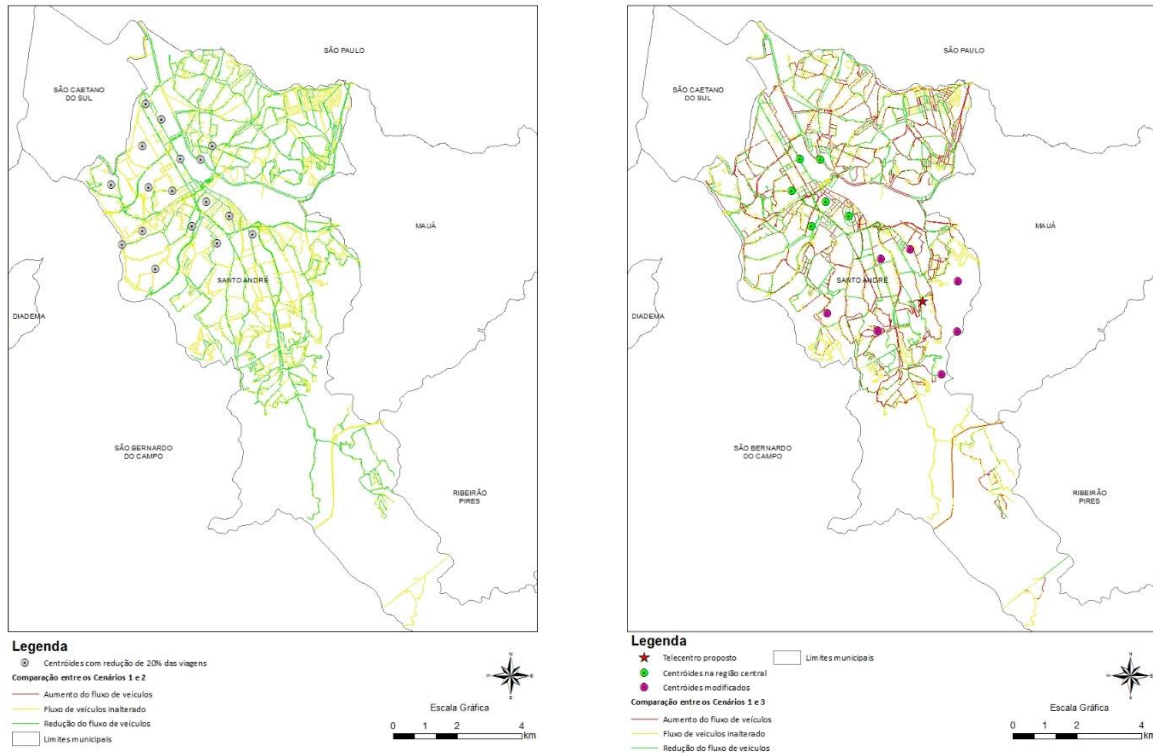
Na Figura 4 é possível visualizar que para as vias centrais e próximas aos centroides em que houve a simulação do *home-office*, o fluxo diminuiu representado por verde ou não se alterou, representado pela cor amarela. Outra observação é que a retirada destes deslocamentos também não gerou nenhum aumento do fluxo em qualquer segmento da malha viária.

Diferente do cenário 2, o cenário 3 apresentou muitas diferenças na distribuição de fluxos. Em toda a macrozona urbana houve aumento no fluxo de veículos e em algumas vias menores a redução de veículos (Figura 4). Desta forma é possível notar que as alterações feitas na matriz, com a implantação de um telecentro não teve o efeito desejado, que era o de redução de fluxo.

As alterações na matriz apenas no redirecionamento do fluxo acabaram gerando modificações em toda a rede, em parte porque as viagens atraídas pelo centroide próximo ao telecentro possuem origens externas a Santo André, fazendo parte de rotas secundárias que se interligam e pequenas alterações podem refletir mudanças na distribuição dos fluxos. Com a finalidade de verificar as diferenças em relação ao cenário 1 nas emissões dos poluentes, foram elaborados os mapas que indicam em quais partes da rede a emissão aumentou, permaneceu inalterada ou diminuiu. Isto foi feito de acordo com as diferenças entre os valores de emissão do cenário analisado (2 ou 3) pelos valores do cenário 1. A figuras 5 indica as diferenças entre as emissões de CO<sub>2</sub>. As emissões NO<sub>x</sub> e MP, são descritas em (MATSUSHIMA, 2017). Em todos os cenários a redução da emissão de poluentes foi maior no cenário 2, como era esperado, e mais disforme no cenário 3.

A emissão do Material Particulado foi a que menos sofreu alteração, pois este poluente é emitido principalmente pelos veículos movidos à diesel e neste estudo as linhas de ônibus não são alteradas. No cálculo feito pelo método IPEA/ANTP, o fator de emissão não considera a velocidade para os veículos leves, sendo um valor constante de 0,08g/km, o que pode justificar as menores variações entre as emissões deste poluente.





Comparação entre os fluxos equivalentes entre os Cenários 1 e 2

Comparação entre os fluxos equivalentes entre os Cenários 1 e 3.

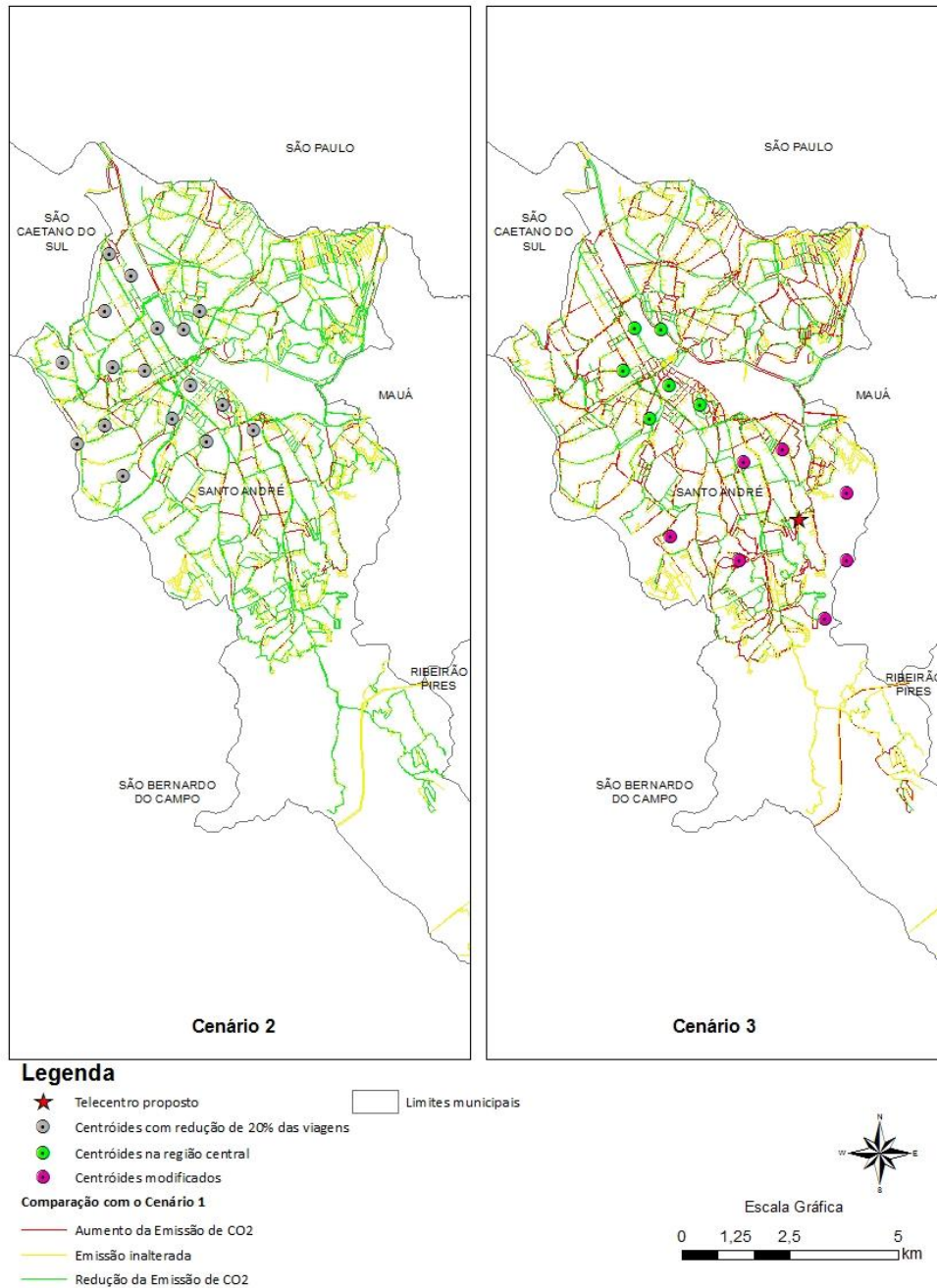
**Figura 4** – Comparação de fluxos dos Cenários

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pelas simulações e comparação com o cenário 1 (atual), o cenário 2 refletiu o esperado, com a redução da circulação de veículos na matriz devido ao teletrabalho em domicílio, os fluxos diminuíram assim como a emissão de todos os poluentes.

Em contrapartida, o cenário 3 não alcançou o resultado esperado. Com o redirecionamento das viagens do centro para a periferia, esperava-se uma melhora na mobilidade como também na redução da emissão dos poluentes, entretanto, estes valores aumentaram, ainda que pouco. Parte disso ocorreu devido a infraestrutura de Santo André ter sido feita para facilitar o acesso de automóveis para o centro da cidade, enquanto a periferia não está preparada para receber polos atratores de viagens. Portanto, conclui-se que os benefícios na melhoria das condições de tráfego na região central, que possui vias de alta capacidade, não compensaram os impactos no entorno da implantação do telecentro. Além disso, as melhorias das condições de tráfego na região central podem torná-la mais atrativa para rotas de automóveis que circulam no município.

De forma geral, foi possível verificar os benefícios para a mobilidade urbana e qualidade do ar do teletrabalho em casa, bem como, reforçar a ideia de que a implantação de um telecentro deve ser precedida de um estudo de impacto de vizinhança e relatório de impacto de trânsito (EIV/RIT) considerando áreas mediatas mais abrangentes devido a interconexão dos sistemas de mobilidade urbana.



**Figura 5** - Comparação nas emissões de CO<sub>2</sub> entre os cenários.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUARTE, L.H.K. PAIVA, H. Inventário de emissões por fontes móveis em cidades de pequeno e médio porte. In: Tobias, M.S.G. e Lima, A.C.M. Urbanização & Meio Ambiente. Belém. Unama – Universidade da Amazônia. 2013. p. 451-436. Disponível em <<http://www6.unama.br/mestrado/desenvolvimento/attachments/article/70/Urbaniza%C3%A7%C3%A3o%20e%20Meio%20Ambiente%20-%20Vol.%20II.pdf>> Acessado em: 15/11/2017

GENTILE, L.P. e PAIVA, H. **Construção de rede de macro e microsimulação para a cidade de Santo André/SP**. 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Associação Nacional de Transportes Públicos. São Paulo. 2017. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/2017/7/10/construcao-de-rede-de-macro-e-micro-simulacao-para-a-cidade-santo-andre.pdf>> Acesso em 15 nov 2017



GENTILE, L. P. **Inventário da emissão de poluentes provenientes do uso de sistemas de transporte individual da cidade de Santo André.** 2016. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Urbana, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2016.

IBGE. **Censo Demográfico 2000 – Características Gerais da População. Resultados da Amostra.** IBGE, 2003. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default\\_populacao.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default_populacao.shtm). Acesso em 01 de setembro de 2017.

IPEA (Org.). **Indicadores de mobilidade urbana da PNAD 2012.** 161. ed. Brasil: Ipea, 2013. 17 p. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/131024\\_comunicadoipea161.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/131024_comunicadoipea161.pdf) Acesso em: 27 abr. 2016.

LabMAU. **Modelo de rede de microssimulação de tráfego e transporte do município de Santo André.** Software AIMSUN. Urbana na Universidade Federal do ABC AIMSUN NEXT 8.3. Laboratório de Modelagem Ambiental e Urbana. Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas. UFABC. [secretariacecs@ufabc.edu.br](mailto:secretariacecs@ufabc.edu.br). Fone: 4996-7940 Santo André – SP – Brasil. 2018

MATSUSHIMA, L. G. **Avaliação dos impactos do Teletrabalho na mobilidade urbana e redução de poluentes atmosféricos.** 2017. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Urbana, Universidade Federal do Abc, Santo André. 2017

METRÔ, Companhia do Metropolitano de São Paulo. **Pesquisa origem e destino 2007 – Região Metropolitana de São Paulo. Síntese das Informações -Pesquisa Domiciliar.** São Paulo: Metrô, 2008.

OFICINA. Oficina Consultores Associados (Org.). **Plano Diretor de Mobilidade da Região do Grande ABC.** 2012. 62 p. Disponível em: [http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/noticia/Plano Regional de Mobilidade1.pdf](http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/noticia/Plano_Regional_de_Mobilidade1.pdf). Acesso em: 13 out. 2017

PAIVA, H. **Cidade, Poluição e Clima - Inventário de Transportes.** 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Associação Nacional de Transportes Públicos. São Paulo. 2017a. Disponível em: [http://files.antp.org.br/2017/7/7/inventario\\_de\\_transportes\\_artigo170522.pdf](http://files.antp.org.br/2017/7/7/inventario_de_transportes_artigo170522.pdf) Acesso em: 15 nov. 2017

PAIVA, H. **Mudanças Climáticas e Inventários Regionais de Emissões.** 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Associação Nacional de Transportes Públicos. São Paulo. 2017b. Disponível em: [http://files.antp.org.br/2017/7/7/inventario\\_emissoes\\_artigo170522.pdf](http://files.antp.org.br/2017/7/7/inventario_emissoes_artigo170522.pdf) Acesso em: 10 nov 2017