



Relatório Final do Projeto

ANÁLISE DOS FATORES INFLUENTES NA QUEDA DA DEMANDA DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NA RMR

1. INTRODUÇÃO

A avaliação do comportamento da evolução da demanda do sistema de ônibus urbano da Região Metropolitana do Recife (RMR) por meio de métodos econométricos é uma das formas de buscar causas para explicar o cenário existente. Com a queda contínua da quantidade de passageiros transportados pelo sistema é imprescindível a busca pelos fatores que podem estar contribuindo para essa conjunção. Com isso, o propósito geral desta pesquisa é analisar o comportamento da demanda por transporte público por ônibus por intermédio dos prováveis fatores que a têm influenciado, o nível de intensidade dessas relações e se essa influência é positiva ou negativa, ou seja, se contribui para o aumento ou para a redução da demanda.

A partir desse objetivo e metodologia, a primeira parte do desenvolvimento do estudo foi fundamentada na busca na literatura técnica e acadêmica, tanto teórica quanto empírica, de fatores que influenciam a demanda por transportes públicos em diversos contextos e cidades, bem como dos sentidos e das intensidades da influência desses fatores. Desses estudos foram extraídas as principais variáveis que foram utilizadas para teste da significância dos fatores que podem ser associados a modelos de demanda por transporte, bem como de outras variáveis disponíveis que pudessem apresentar alguma relação com a demanda. Além disso, o estudo do comportamento das variáveis coletadas foi realizado com cada uma delas para investigar as tendências individuais no cenário da RMR. Os primeiros modelos e equações de variáveis explicativas foram avaliados com o intuito de criar um esboço das relações existentes entre os parâmetros e a demanda no cenário da região.

Na segunda etapa do projeto realizou-se o estudo das tendências ao longo dos anos das variáveis relacionadas à demanda por transporte público obtendo-se ao final através de modelos econométricos a significância estatística das mesmas. Com isso, as variáveis que influenciam de uma forma geral na RMR a escolha pela utilização do transporte público são determinadas.

Na etapa seguinte visando entender a relação entre a demanda por transporte público e a evolução do uso e a ocupação do solo na RMR avaliou-se também um modelo que verificasse como determinadas variáveis afetam a demanda por transporte público em cada uma das 245 zonas de tráfego da RMR, nas datas das últimas três pesquisas de origem-destino realizadas na RMR.

Para a exposição desses procedimentos, este relatório está dividido em cinco seções, sendo esta introdução a primeira delas. Seguido a isso, os principais dados

coletados são apresentados com suas devidas interpretações na segunda seção. A terceira seção tem como objetivo apresentar os principais resultados dos modelos econométricos desenvolvidos com uma série de dados ao longo do tempo (2007 a 2018), resultando no cenário geral da RMR com relação às variáveis de transporte. A quarta seção apresenta a outra abordagem de dados e um modelo para o entendimento da influência do uso do solo na demanda por transporte por área e por zona. A quinta seção apresenta as principais conclusões do estudo com base nos resultados encontrados e as recomendações de políticas públicas e estratégias para superar o presente quadro.

2. ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE PRELIMINAR DA BASE DE DADOS

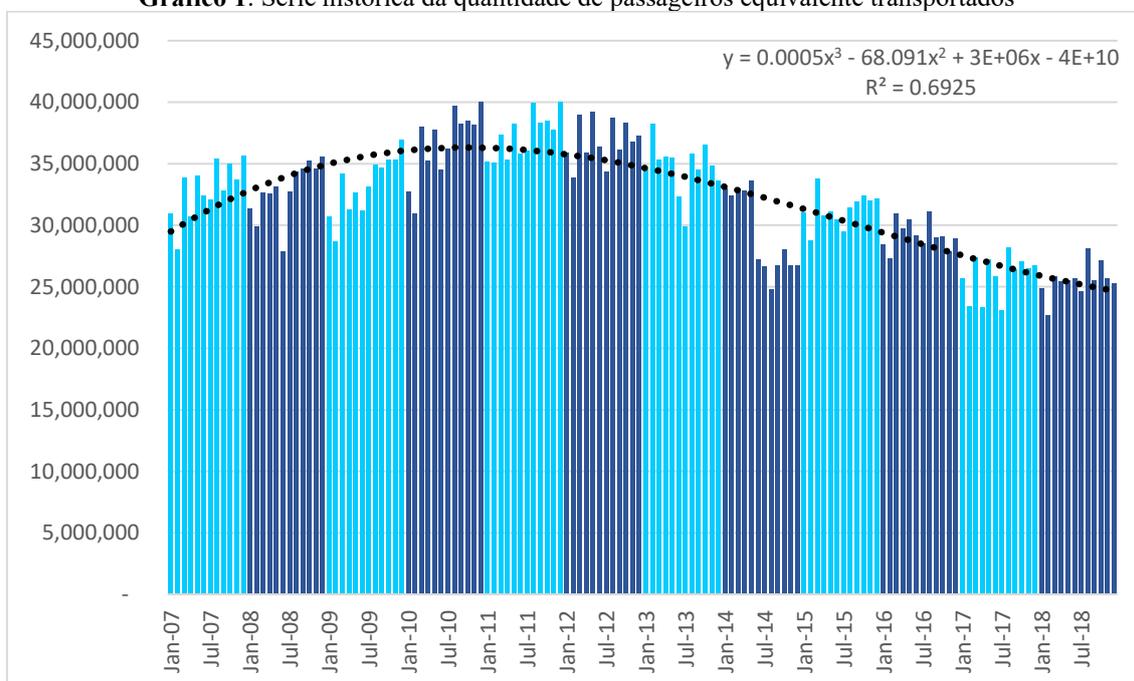
Os dados secundários para a montagem da base de dados da pesquisa foram coletados de fontes oficiais, como Grande Recife Consórcio de Transportes, Urbana/PE, IBGE, ANP, DETRAN/PE e Agência CONDEPE/FIDEM e puderam apresentar as características dos fatores influentes na demanda por ônibus urbano na RMR. O período em estudo começa no ano de 2007 e conclui-se no ano de 2018, sendo os dados obtidos mensalmente para cada fator ou variável. Inicialmente, é apresentado o comportamento dos dados para o entendimento da possibilidade de influência de cada um deles na quantidade demandada por ônibus na RMR. As variáveis obtidas e avaliadas foram:

- Quantidade de passageiros equivalentes mensal;
- Quilometragem mensal percorrida pelos ônibus urbanos;
- Índice mensal de passageiros por quilômetro (IPK);
- Índice mensal de quebra dos veículos;
- Índice mensal de cumprimento de viagens;
- Idade média da frota;
- Quantidade mensal de passageiros usuários do Sistema Estrutural Integrado (SEI);
- Tarifa média;
- Número de reclamações total e por tipo;
- Quantidade de linhas no sistema;
- Tempo médio das viagens em um dia tipo do mês;
- População da RMR;
- Renda média dos trabalhadores na RMR;
- Taxa de desemprego na RMR;
- Preço da gasolina na RMR;
- Preço do diesel na RMR;
- Frota de automóveis na RMR;
- Frota de motocicletas na RMR;
- Área da RMR;
- Densidade demográfica; e

- Número de empresas registradas de todos os setores econômicos na RMR;

Começando a análise dos dados, a evolução da quantidade de passageiros equivalentes transportados mensalmente no período do estudo é apresentada no Gráfico 1. A variação de cores no gráfico foi utilizada com o intuito de destacar a sazonalidade existente nos anos, sendo essa variação, em geral, semelhante ao longo dos anos, ou seja, um crescimento no período de março a maio, uma queda em junho e julho e um novo crescimento de agosto a outubro. No Gráfico 1 também é possível observar a queda contínua da demanda a partir de 2012, a uma taxa média de 1.750.000 passageiros mensais por ano.

Gráfico 1: Série histórica da quantidade de passageiros equivalente transportados

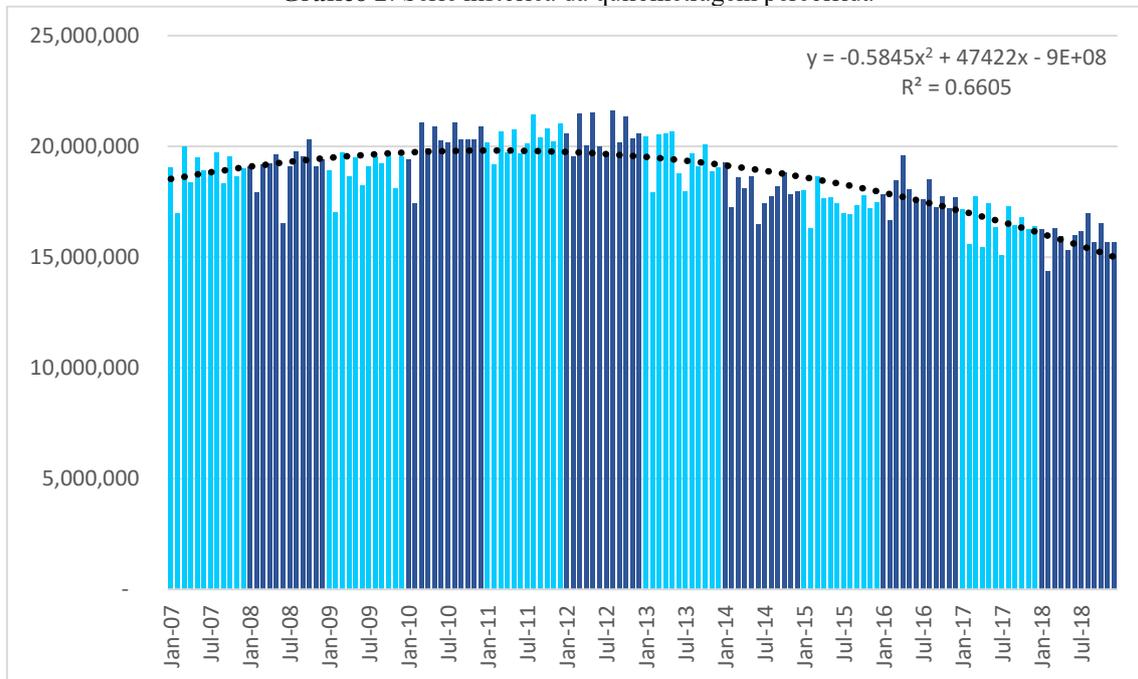


Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

Com a comprovação de que a quantidade demandada por ônibus na RMR vem caindo desde 2012 sem conseguir reverter este cenário, a análise de fatores relacionados a esta quantidade de passageiros deve ser feita. O primeiro parâmetro do estudo e que tem relação direta com a quantidade demandada de maneira operacional é a quilometragem percorrida pelo sistema de ônibus da região que representa o nível da oferta. O Gráfico 2 apresenta os dados de quilometragem disponibilizados e demonstra claramente um perfil muito próximo do visto na quantidade demandada, apresentando uma queda média a partir de 2012 de 1.000.000 km mensais a cada ano.

Outra variável amplamente estudada na literatura é a densidade da rede, sendo esse resultado da divisão da quilometragem percorrida apresentada no Gráfico 2 pela área da região atendida. Essa variável pode ser considerada como uma proxy da qualidade de atendimento do serviço e nesse caso, apresenta um perfil semelhante ao da quilometragem propriamente dita.

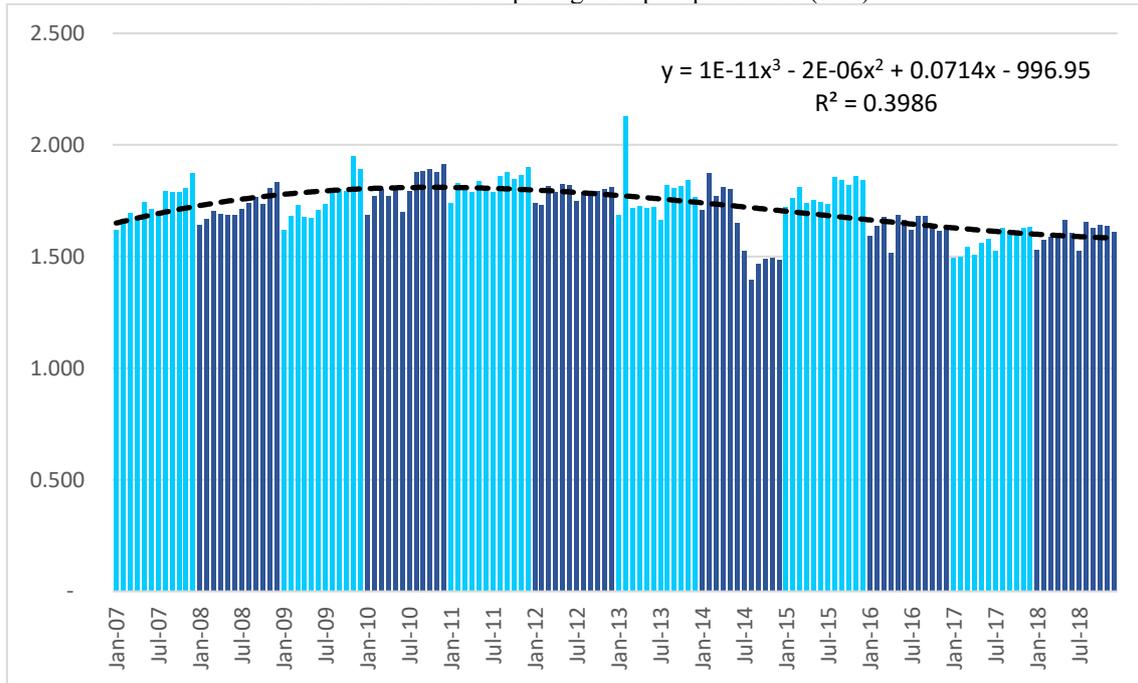
Gráfico 2: Série histórica da quilometragem percorrida



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

O índice de passageiros por quilômetro (IPK) é a variável que relaciona a quantidade demandada e a oferta de transporte, ou seja, os quilômetros percorridos pelos ônibus. Este índice está destacado no Gráfico 3. Como é possível observar, o valor é bem estável, apresentando variações sazonais apenas até o início de 2013 quando revela um pico e posteriormente em 2014, quando demonstra uma redução maior do que o normal. Após isto, em 2016, os valores começam a se estabilizar novamente, porém com uma redução em relação ao início da série.

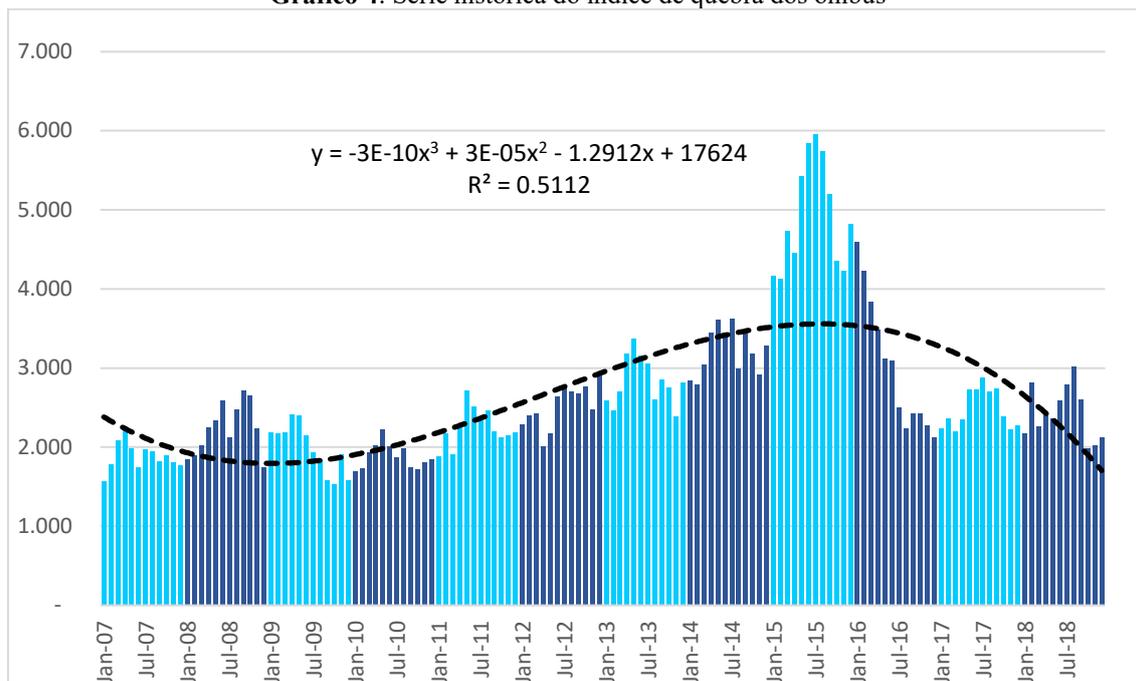
Gráfico 3: Índice de passageiros por quilômetro (IPK)



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

Outro parâmetro operacional avaliado como um indicador de qualidade foi o índice de quebra mensal dos ônibus ao longo dos anos. Pelo Gráfico 4, observa-se um crescimento relevante desse índice no primeiro semestre de 2015. Porém, como esse é um valor pequeno e o comportamento voltou ao que estava ocorrendo anteriormente ao pico, pode-se dizer que esse foi um caso pontual que pode não ter gerado influência na demanda. Mesmo assim, a variável foi testada para verificar sua influência como fator influenciador dessa queda de demanda.

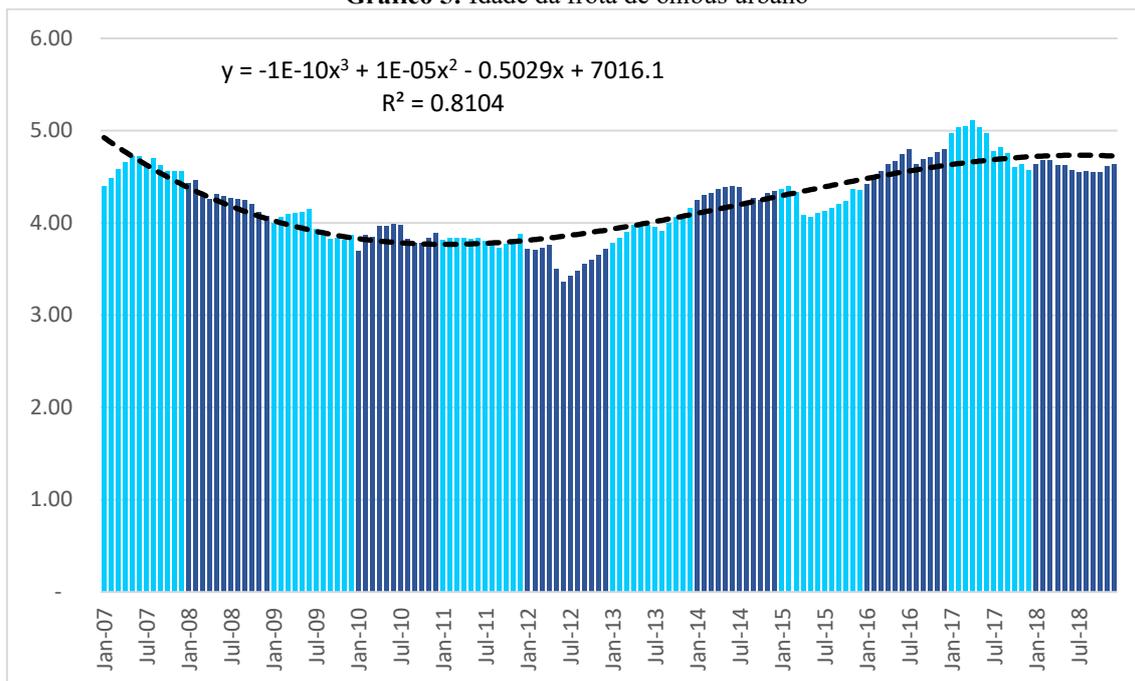
Gráfico 4: Série histórica do índice de quebra dos ônibus



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

A idade da frota de ônibus foi mais um parâmetro operacional avaliado, como uma *proxy* da qualidade do serviço e apresentada no Gráfico 5. Esse dado não apresenta grande variação no período em estudo, porém pode-se notar que existe uma tendência de diminuição até meio de 2012 e a partir daí o valor começa a crescer ligeiramente até o primeiro semestre de 2017 quando a curva decresce um pouco retornando a um valor próximo do inicial. Pode-se daí, inferir certa relação desse indicador com a demanda, uma vez que demandas crescentes em média coincidem com período de redução da idade média da frota e demandas decrescentes em média coincidem com períodos de aumento da idade média da frota. Logicamente a significância dessa relação ainda está sujeita a comprovação na formulação dos modelos de regressão desenvolvidos em etapas seguintes.

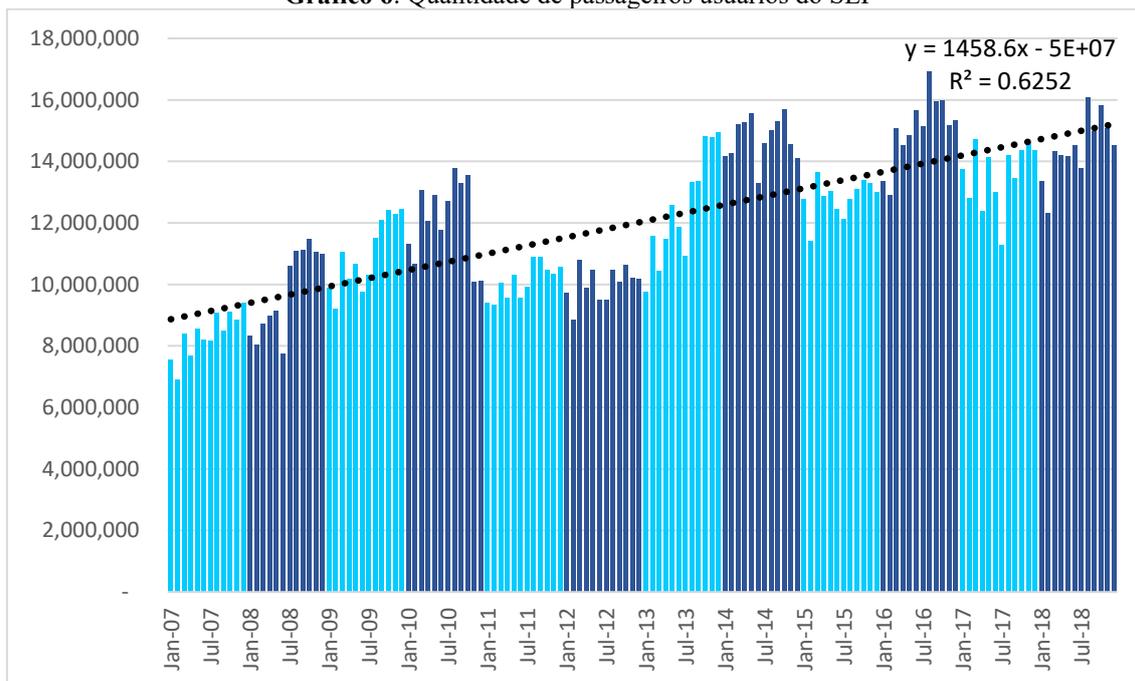
Gráfico 5: Idade da frota de ônibus urbano



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

A quantidade de passageiros transportados pelo SEI é apresentada no Gráfico 6. Esta série histórica apresenta um perfil de crescimento até 2010, uma queda entre os anos de 2010 e 2013 e um novo pico, com uma ligeira redução entre os anos de 2015 e 2016. A partir de 2013, novas integrações do sistema foram inauguradas e isso pode ter gerado esse crescimento médio da ordem de 500.000 passageiros mensais a cada ano observado até o fim da série. Apesar das flutuações ao longo dos anos, a série apresenta uma tendência geral de crescimento. Vale observar que um dos menores valores da curva é encontrado no início de 2012, mesmo período em que a quantidade de passageiros equivalentes transportados por ônibus é uma das mais altas, ou seja, pode existir uma relação inversa entre a quantidade de passageiros transportados e a quantidade de usuários do SEI, que terá testada sua significância adiante.

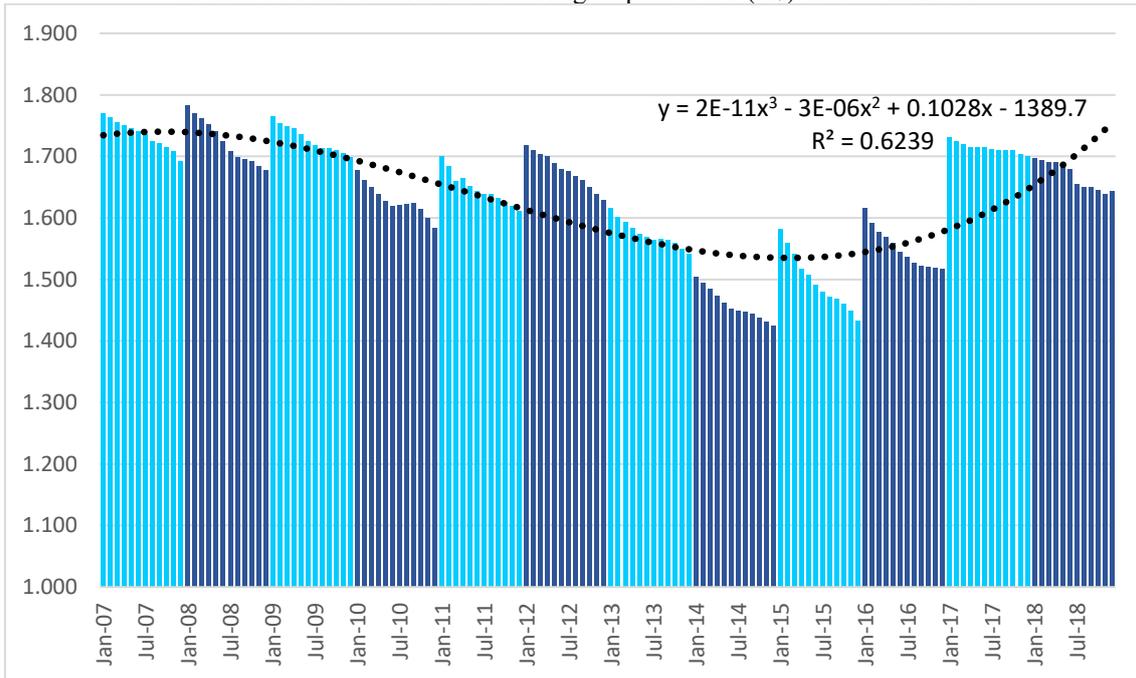
Gráfico 6: Quantidade de passageiros usuários do SEI



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

A última variável operacional avaliada nessa fase inicial é a tarifa média de transporte cuja série histórica é apresentada no Gráfico 7. Como o transporte é um setor economicamente regulado, o governo procura manter a modicidade tarifária, isso pode ser visto no gráfico, onde a tarifa real (descontada da inflação) é ligeiramente declinante. Apesar desta tendência, a demanda também é declinante e isso demonstra inicialmente, face a essas circunstâncias, que a tarifa pode não exercer influência significativa sobre a demanda, já que grande parte dos usuários é cativa do transporte público. Porém, esse é um parâmetro teórico microeconômico essencial em uma função de demanda, não podendo ser desconsiderado.

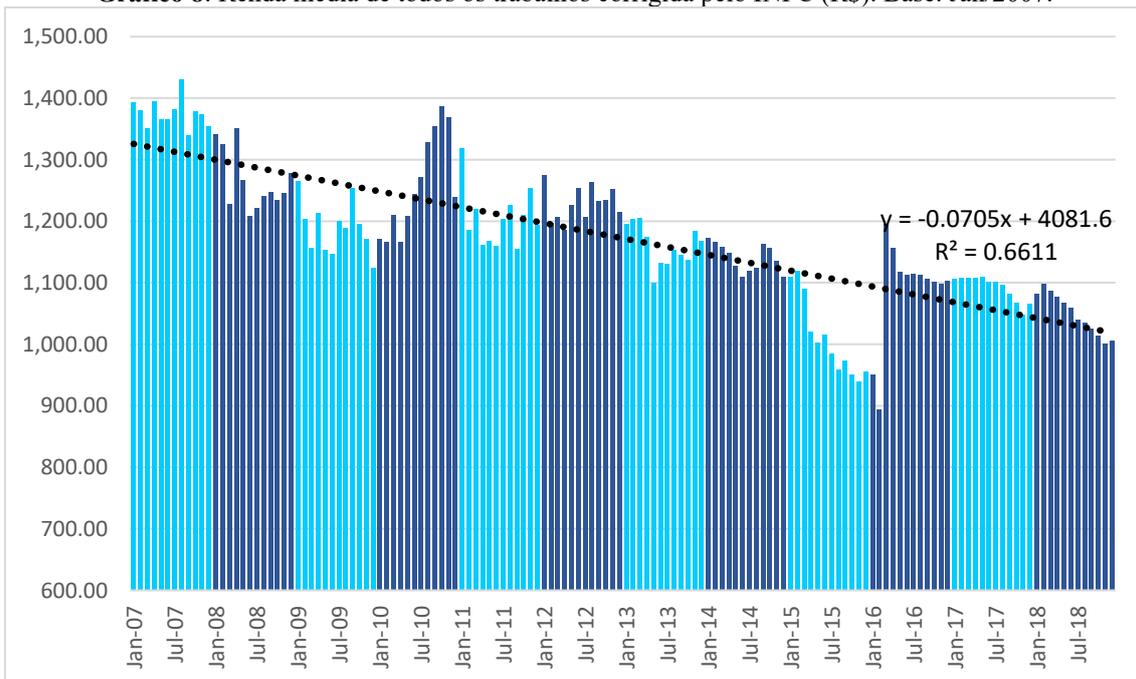
Gráfico 7: Série da tarifa média corrigida pelo INPC (R\$). Base: Jan/2007.



Fonte: Grande Recife Consórcio de Transportes

A renda média dos trabalhadores na RMR é apresentada no Gráfico 8 e foi obtida da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD do IBGE. Para a avaliação da série disponível, a renda foi corrigida pelo INPC (Base Jan/2007). Como mostra o gráfico, a tendência entre os anos foi de queda. No período a partir de 2012 no qual a demanda inicia sua queda, a renda média dos trabalhadores reduziu-se em média em termos reais em 12,5%.

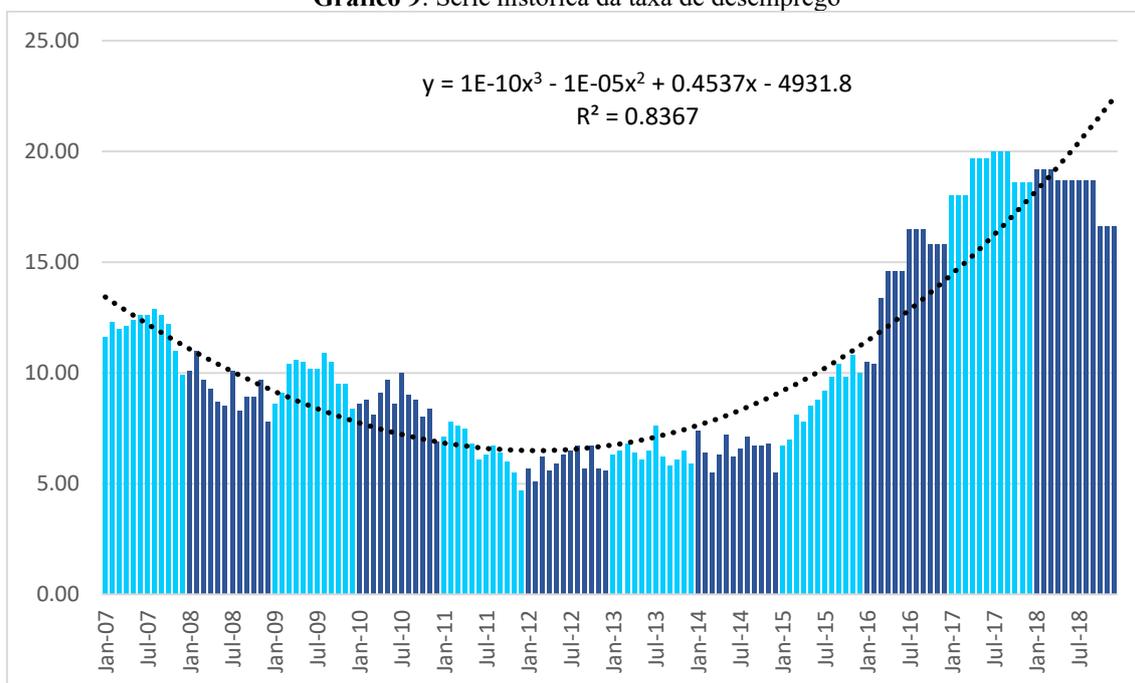
Gráfico 8: Renda média de todos os trabalhos corrigida pelo INPC (R\$). Base: Jan/2007.



Fonte: IBGE

O Gráfico 9 apresenta a série histórica da taxa de desemprego dos anos do estudo conforme PNAD do IBGE. Como é possível observar, a tendência até 2011 era de queda dessa taxa, seguida de um período relativamente constante entre 2012 e 2015 e um aumento significativo a partir de 2015 até o início de 2018 quando a curva apresenta uma ligeira redução. Assim como a renda dos trabalhadores, a taxa de desemprego é calculada trimestralmente, mas no presente estudo para gerar dados em painel foi ajustada linearmente para uma série mensal. Para destacar esse crescimento vertiginoso mostra-se que a taxa de desemprego de 6,1% em janeiro de 2013 evoluiu para 19,2% em janeiro de 2018, sendo essa forte razão para ser testada como uma das causas da perda de demanda por transporte público na RMR.

Gráfico 9: Série histórica da taxa de desemprego

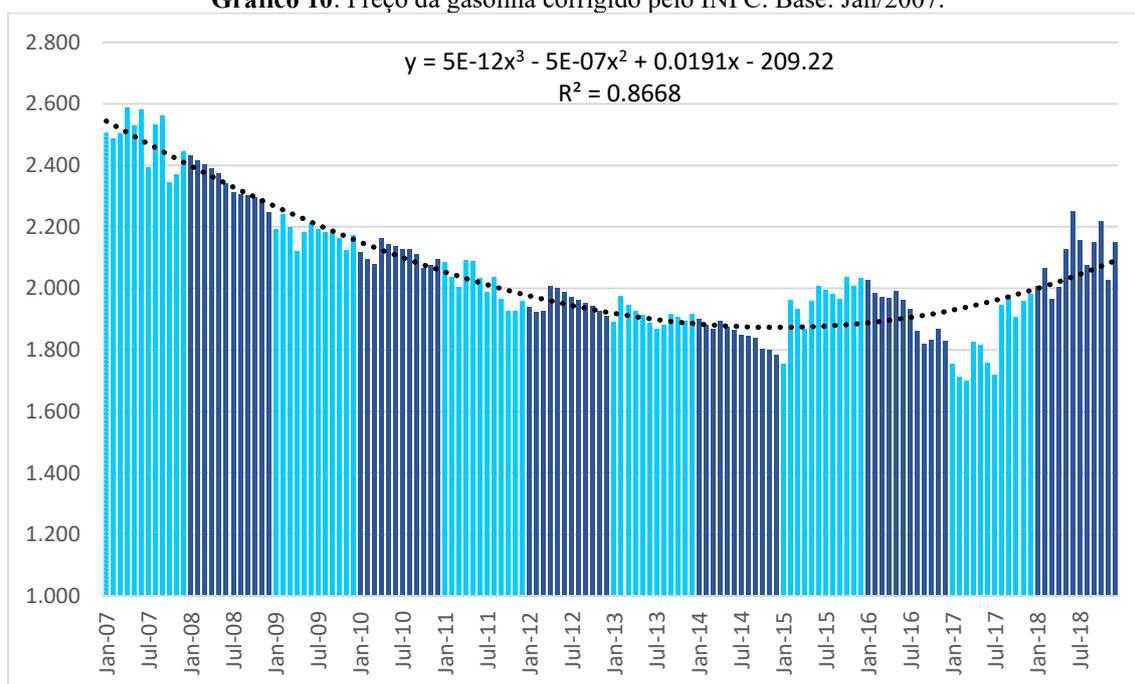


Fonte: IBGE

Outro fator externo ao sistema, que pode influenciar indiretamente a demanda por transporte público é o preço da gasolina corrigido pelo INPC apresentado no Gráfico 10. Teoricamente, o aumento do preço da gasolina afeta diretamente o uso do transporte privado que pode induzir de forma indireta as pessoas a buscarem alternativas de mobilidade mais baratas. No gráfico que tem como fonte de dados a Agência Nacional de Petróleo (ANP), é possível observar um período de preços declinantes que se estende até o final de 2014. Nesse período houve crescimento e decréscimo da demanda por transporte público, demonstrando certa indiferença a esse fator. A partir de

2014 os preços da gasolina sobem em valores relativos e a demanda por transporte declina mais fortemente. Dessas observações percebe-se que o preço de um produto complementar a um modo substituto do transporte público não tem influenciado a demanda na RMR. Essa percepção é também corroborada em etapas posteriores deste estudo, quando essa variável não se mostrará significativa nos modelos de demanda,

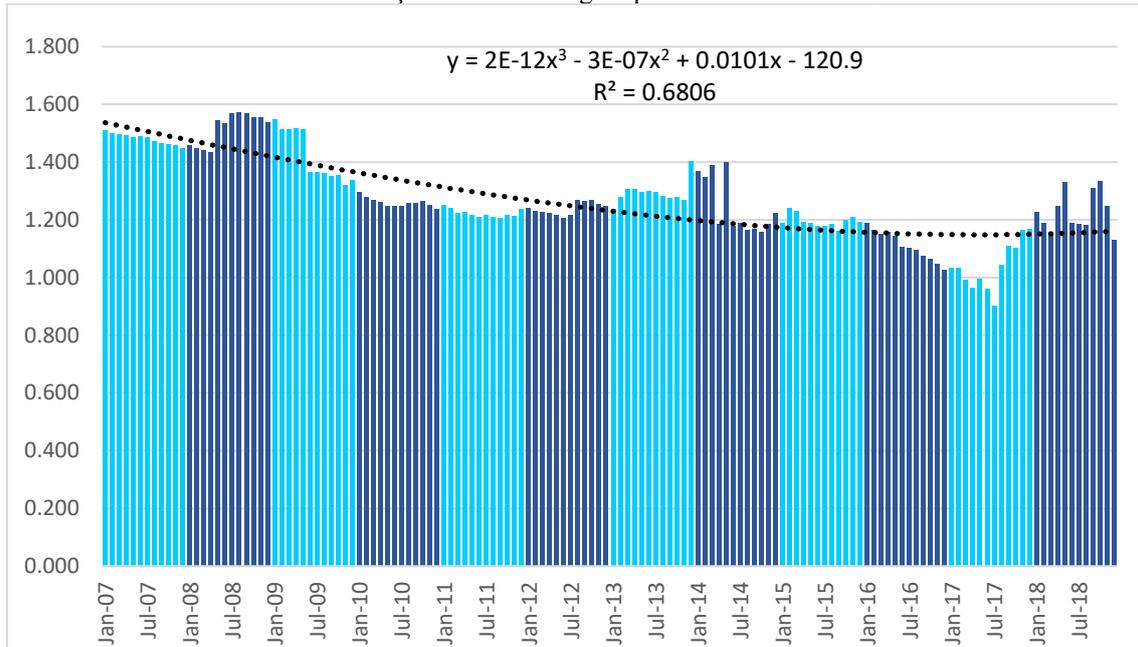
Gráfico 10: Preço da gasolina corrigido pelo INPC. Base: Jan/2007.



Fonte: ANP

O preço do diesel como insumo complementar influencia diretamente nos custos de transportes e se crescente, pressiona para cima os valores das tarifas. O Gráfico 11 apresenta a evolução do preço do diesel também obtida da ANP ao longo dos anos de estudo, corrigido pelo INPC. Como é possível observar, os preços reduzem ao longo dos anos até meados de 2017 quando começam a crescer de forma acentuada. Essa variável é importante de ser observada porque está relacionada ao equilíbrio entre custos e tarifas, que podem influenciar a demanda, pela capacidade de pagamento dos usuários ou pela perda de qualidade devida aos déficits de receita do sistema.

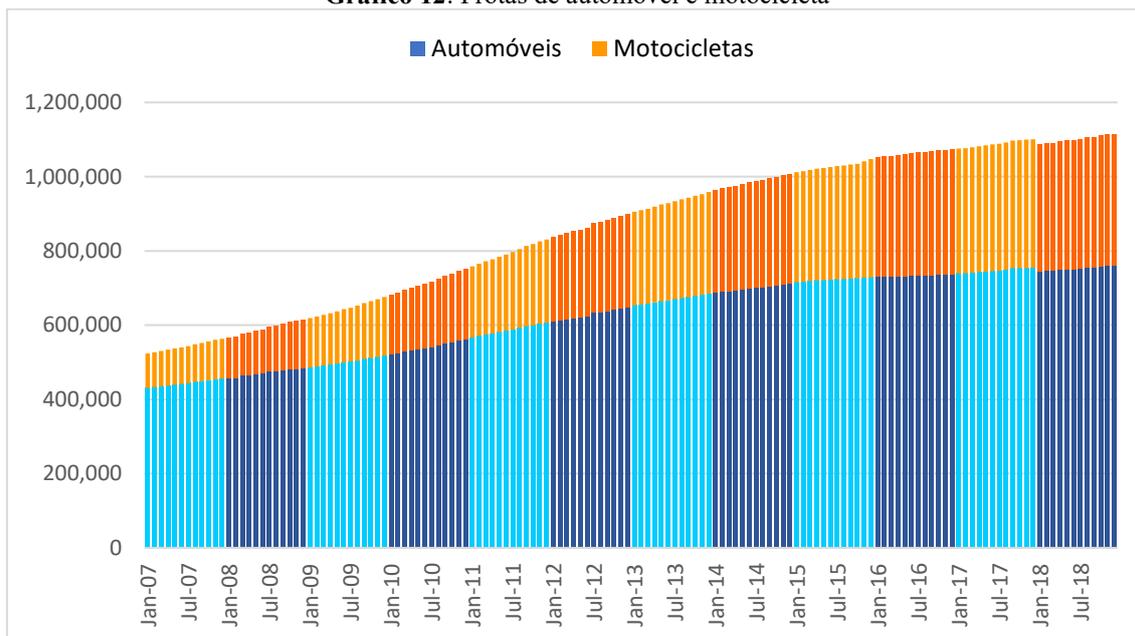
Gráfico 11: Preço do diesel corrigido pelo INPC. Base: Jan/2007.



Fonte: ANP

O Gráfico 12 apresenta a evolução do estoque de automóveis e motocicletas na RMR no período do estudo. Como se pode ver, o crescimento é contínuo, para os dois tipos de veículos motorizados privados ao longo de toda a série, o que pode também influenciar no uso do transporte público, pois são considerados na literatura como produtos substitutos. No entanto, esse crescimento contínuo perpassa períodos nos quais a demanda por transporte público cresce e decresce, não deixando clara a influência, que deve ser testada na etapa de modelagem da demanda. Ao serem analisados esses dados sob a ótica do aumento mensal de veículos registrados, verifica-se que no período de 2007 a 2012 quando a demanda de transporte crescia, o número de veículos crescia a taxas mais aceleradas. Por outro lado, no período de redução de demanda por transporte público (2012 -2018), o acréscimo mensal de veículos também apresenta tendência de redução. Dessa forma, não parece haver uma relação também entre a entrada de novos veículos particulares em circulação e a evolução da demanda por transporte público.

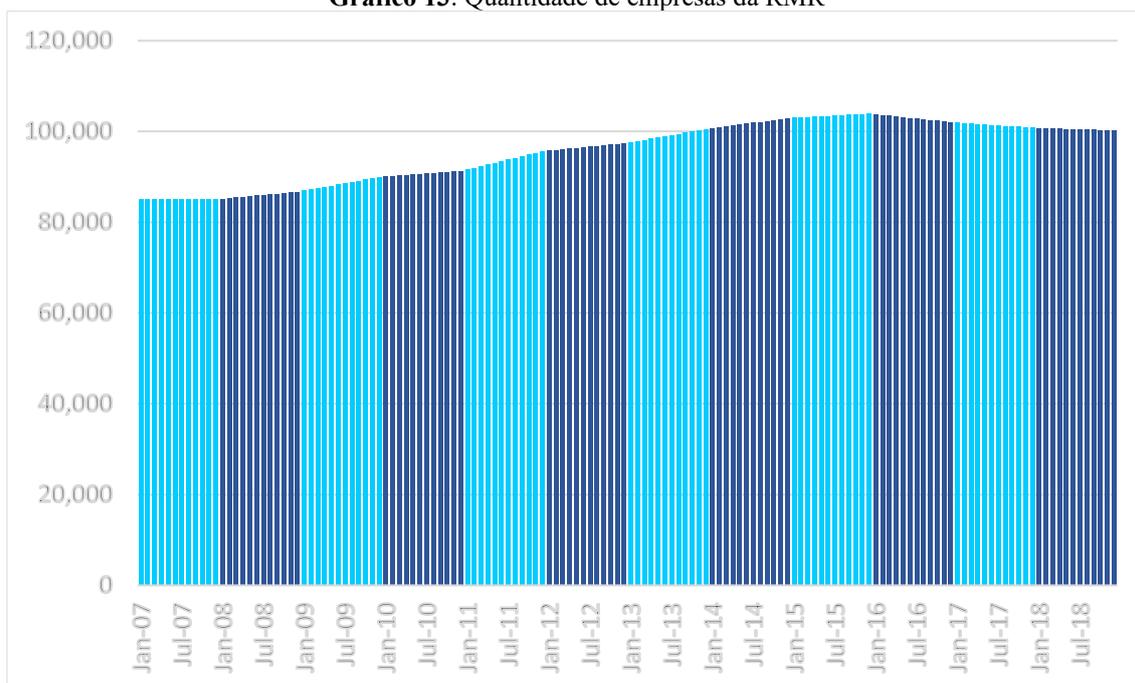
Gráfico 12: Frotas de automóvel e motocicleta



Fonte: DENATRAN

Por fim, o Gráfico 13 apresenta a quantidade de empresas formais na RMR no período em estudo. É possível observar um crescimento médio até 2015 e uma leve diminuição a partir de 2016 até 2018. Esse fator foi considerado na tentativa de demonstrar a influência da dinâmica dos negócios na quantidade demandada por transporte público, como é avaliada também adiante pela taxa de desemprego.

Gráfico 13: Quantidade de empresas da RMR



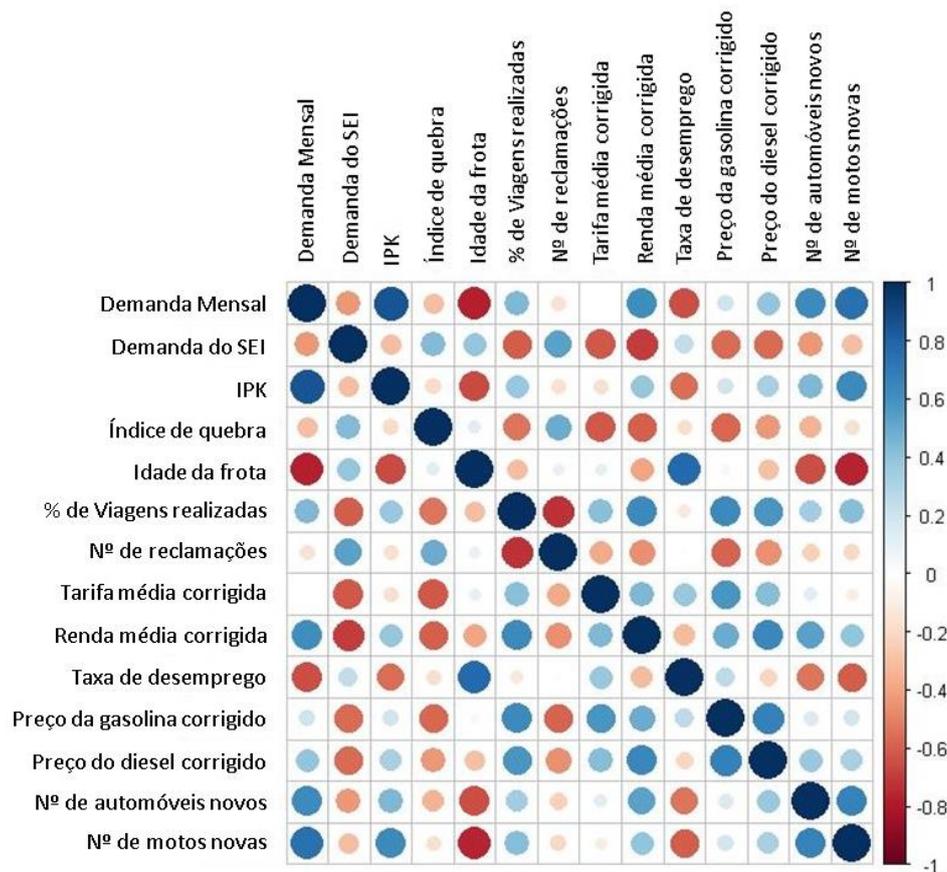
Fonte: BDE – CONDEPE FIDEM

Esses foram, portanto, os principais dados secundários coletados com características ao longo do tempo interessantes de serem destacadas para a montagem dos modelos explicativos econométricos discutidos adiante.

3. AVALIAÇÃO DOS FATORES INFLUENCIADORES DA DEMANDA COM DADOS AGREGADOS DA RMR

Após a observação do comportamento dos fatores individualmente, esses foram agregados em um quadro para o estudo da relação existente entre eles e entre a demanda e as variáveis independentes. Para iniciar a análise, foi elaborada uma matriz de correlação, apresentada na Figura 1, que expõe os valores da correlação de Pearson entre as diversas variáveis. Esse fator mostra a intensidade e o sentido da relação entre as variáveis par a par, exibindo círculos maiores e de cor mais forte quanto maior for a relação e mais próxima estiver de 1 (azul) ou -1 (vermelho), ou seja quanto mais próximo de 1 ou - 1 maior poderá ser a influência dessa variável sobre a demanda de transporte público. Na Figura 1, a linha ou coluna intitulada ‘Demanda Mensal’ é a que apresenta a variável relativa aos passageiros equivalentes transportados, sendo em cada célula dessa linha apresentada a correlação entre esse parâmetro e todos os outros coletados para o estudo. A diagonal da matriz não tem sentido analítico, pois apresenta o valor 1, ou seja, a correlação da variável com ela mesma.

Figura 1: Correlação de Pearson entre as variáveis



Como se pode observar na figura, existe uma correlação alta da demanda mensal com IPK, idade da frota, renda, desemprego, frotas de automóvel e motocicleta. Essa correlação pode indicar uma influência desses parâmetros na demanda, porém somente por meio da análise econométrica é possível comprovar a significância da relação, uma vez que as variáveis são analisadas conjuntamente. A correlação individualizada indica tendência de fatores influentes, mas a avaliação conjunta da influência dos parâmetros é que pode trazer um resultado mais concreto da dependência que a demanda possui de cada variável.

Análises econométricas foram realizadas para entender melhor o comportamento dos fatores com relação à demanda por meio de variáveis levantadas na literatura técnica e acadêmica que normalmente são avaliadas na caracterização dela. Assim, modelos de regressão linear em série temporal (2007 a 2018) foram formulados com as variáveis expressas em logaritmo para encontrar o valor da elasticidade direta, ou seja, qual a intensidade da influência de cada variável na demanda diretamente.

Variáveis clássicas microeconômicas foram inicialmente testadas, tendo a tarifa e a renda não apresentado resultados muito significativos quando avaliadas junto com a

quilometragem percorrida por área. Essa constatação resultou na necessidade de analisar de forma mais aprofundada a relação entre a densidade da rede e a demanda por transporte, como pode ser notado nos Gráficos 1 e 2. Além da perda de significância da tarifa e da renda, a maior influência em todos os modelos em que estão incluídas é a densidade de rede. Essa variável pode estar sendo realmente um fator que traz tantos benefícios às pessoas que fazem com que elas escolham o transporte público principalmente pela eficiência de sua área de cobertura. No entanto, como essa relação resultou em um valor muito mais significativo que os outros parâmetros, existe uma hipótese de que a cobertura da rede pode estar se moldando à mudança de demanda. Dessa forma, a relação entre as duas variáveis foi avaliada. Nessa análise observou-se uma alta correlação entre a demanda e a densidade da rede mostrando que a densidade da rede não pode ser usada na análise econométrica por não ser uma variável independente da demanda.

A taxa de desemprego demonstra em alguns modelos que quanto maior for o desemprego menor será a demanda pelo transporte, pois as pessoas irão demandar menos viagens, já que são suprimidas ou fortemente reduzidas as viagens por motivo trabalho. A demanda do SEI apresentou influência negativa também na quantidade de usuários dos ônibus. Outros fatores, como a densidade demográfica, número de reclamações, número de empresas, preço da gasolina e frotas de automóvel e moto, foram testados, mas, em vários modelos, não apresentaram resultados com sentido ou significância relevante, provavelmente pelo tipo e agregação dos dados no modelo.

Com a exclusão da densidade da rede dos testes, a renda e tarifa apresentam significância em vários modelos. Uma ressalva importante deve ser feita sobre a renda. No modelo que a renda apresenta significância, o sinal encontrado é positivo. A elasticidade positiva da renda significa que com a diminuição da renda média da população, diminuirá a quantidade demandada pelo sistema de ônibus, ou seja, com a diminuição do poder aquisitivo da população, a quantidade de pessoas que utiliza o transporte público também diminui. Isso pode ocorrer em cenários como o atual brasileiro pelo fato das pessoas que utilizam o transporte público serem pessoas em sua maioria de baixa renda e uma diminuição no poder aquisitivo delas, faz com que busquem meios alternativos mais baratos, como é o exemplo da bicicleta ou aumentem a marcha a pé.

O IPK não foi testado como variável independente pela forte correlação com os passageiros equivalentes, visto que um parâmetro é calculado a partir do outro. Uma

alternativa para o modelo é avaliá-lo como variável dependente no lugar da quantidade de passageiros para entender a influência dos fatores na quantidade de passageiros por quilômetro no sistema de ônibus da RMR. Para isso, de forma preliminar, o IPK foi utilizado como variável dependente num modelo com as variáveis que apresentaram melhores resultados nos modelos preliminares. Porém, para esse teste, a renda perde a sua relevância e o modelo de forma geral tem uma resposta menos eficiente do que o modelo com a quantidade de passageiros transportados, visto que os valores dos coeficientes de determinação (R^2 e R^2 ajustado) são menores quando a variável dependente é o IPK.

Outros fatores como o índice de cumprimento de viagens, índice de quebra dos veículos e as reclamações em categorias separadas por tipo também foram incluídos com o intuito de agregar variáveis aos modelos formulados inicialmente. Porém, entre as variáveis dessa segunda etapa de testes, somente o tempo médio de viagens revelou significância para ser agregado ao modelo.

Após todas as análises e testes, foram elaborados dois modelos de regressão que apresentaram bons resultados com significância de todas as variáveis, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos principais da regressão linear com série temporal

Modelo 1	
Variáveis Explicativas (log)	Coefficiente parcial (erro padrão)
Intercepto	12,43101*** (3,12e-08)
Tarifa Corrigida	-0,59486*** (1,36e-06)
Renda corrigida	0,21019* (0,0232)
Idade da frota de ônibus	-0,61739*** (1,77e-11)
% da demanda do SEI	-0,22272*** (2,92e-07)
% de viagens realizadas	0,94186 * (0,0467)
R ²	0,7824
R ² ajustado	0,7745
P-valor	2,2e-16
Modelo 2	
Variáveis Explicativas (log)	Coefficiente parcial (erro padrão)
Intercepto	19.24819*** < 2e-16)
Tarifa Corrigida	-0.38860* (0.02868)
% da demanda do SEI	-0.33185*** (1.66e-13)
Taxa de desemprego	-0.05985* (0.03193)
Tempo médio das viagens	-0.42842**(0.00236)
R ²	0.7309
R ² ajustado	0.7232
P-valor	2.2e-16

Legenda: '***'p<0,001; '**'p<0,01; '*'p<0,05; '.'p<0,1; ' 'p<1

Com os modelos formulados que melhor respondem às variações de demanda, outros testes foram feitos para analisar se a série temporal disponível para o estudo tinha uma variação muito significativa nas características do seu perfil ao longo do tempo, ou seja, se existem diferentes padrões de comportamento dos parâmetros das variáveis nessa linha do tempo. Com a observação da curva da demanda, pode-se observar que a curva tem uma característica crescente até 2012 e depois disso, decrescente. Além disso, a investigação dessas características no conjunto de variáveis é possível por meio da aplicação do teste de Chow. Nos dois modelos finais, o teste foi realizado e a tendência é de uma quebra no ano de 2014. Com isso, foram testados novamente os modelos para o período de 2012-2018, como visto na curva da demanda, e de 2014-2018, como indicado no teste. Entretanto, os resultados dos modelos nos dois casos não apresentaram melhores resultados em termos de capacidade de explicação, do que os modelos com toda a série temporal disponível, ou seja, de 2007 a 2018. Por essa razão, foram mantidos os modelos 1 e 2 com a série completa como já justificado.

Dessa forma os dois modelos estão aptos a explicarem o peso dos fatores que têm influenciado a queda da demanda. Além disso, testes de atendimento aos pressupostos foram feitos para os dois modelos para comprovar a robustez teórica do modelo. Em síntese, os modelos são robustos, pois são lineares, não apresentam heterocedasticidade, sazonalidade e multicolinearidade.

O Modelo 1 demonstra a influência de variáveis econômicas clássicas como tarifa e renda, apresentando relação negativa da tarifa com a demanda, como ocorre nos modelos conceituais da literatura econômica e dos transportes, e positiva da renda com a demanda pelo perfil dos usuários do transporte público, como explicado anteriormente. A qualidade do serviço foi também analisada nesse modelo e os critérios utilizados para esse fator foram: idade da frota de ônibus e porcentagem de viagens programadas que foram efetivamente realizadas. Essas duas variáveis demonstram que quando maior a qualidade do serviço relacionado ao atendimento e ao conforto, maior a utilização dele, pois para cada 10% de redução da idade média da frota e para cada 10% de aumento no cumprimento da programação de viagens, a demanda aumenta respectivamente, 6,17% e 9,42%.

O modelo 1 apresenta coeficiente de determinação R^2 igual a 0,78., o que significa que as variáveis independentes explicam 78% da variância do modelo. A elasticidade-preço da demanda de - 0,595, demonstra *ceteris paribus*, que 10% de aumento real da tarifa reduz a demanda em 5,95%. Esse modelo ao utilizar a variável

renda média do usuário demonstra uma elasticidade-renda de 0,21, que pode ser interpretada da seguinte forma: o sinal positivo demonstra que redução de renda reduz a demanda por transporte público. Outra interpretação direta sobre o valor dessa elasticidade é de que 10% de redução na renda média dos usuários, *ceteris paribus*, reduzem em 2,1% a demanda por transportes, ou que 10% de aumento de renda média pode elevar a demanda em 2,1%.

O Modelo 2 também foi selecionado por apresentar uma variável com influência importante, principalmente diante do cenário econômico que o Brasil vive nesses últimos anos: a taxa de desemprego. Esse modelo apresentou coeficiente de determinação de 0,73, também bastante satisfatório. A variável taxa de desemprego apresenta significância com p-valor abaixo de 5% e elasticidade com relação à demanda por transporte público negativa de 0,06, visto que boa parte dos trabalhadores formais recebe auxílio por meio do vale transporte, o que direciona a escolha pelo sistema de ônibus. Com base nos dados e no modelo, um aumento na taxa de desemprego de 10% indica uma redução no uso do sistema de 0,6%. Como é uma variável relacionada à renda, essas duas não apresentam significância no mesmo modelo.

Também no Modelo 2 pode ser observada uma variável operacional muito importante para o sistema de transporte público: o tempo médio das viagens. Aumentos de tempo de viagem de 10% induzem à redução da demanda em cerca de 4,2%. Dessa forma, esse fator traz para o modelo mais uma variável que avalia a qualidade do serviço e apresenta a maior influência dentre as variáveis presentes, confirmando assim a importância que o tempo de viagem tem na escolha do modo de transporte. Assim, é possível entender que mesmo as variáveis econômicas tendo a sua importância na escolha modal, questões que revelam a qualidade do serviço são, em muitos casos, vistas com intensidade de influência maior do que as variáveis financeiras.

A variável independente representada pelo percentual de passageiros que utiliza o sistema estrutural integrado (SEI) apresenta significância em ambos os modelos de regressão com dados agregados (Modelos 1 e 2). As elasticidades têm sinal negativo e situam-se entre 0,22 e 0,33, respectivamente, ou seja, *ceteris paribus*, aumento de 10% no percentual de passageiros SEI em relação ao total de passageiros equivalentes reduz a demanda catracada em 2,2 a 3,3%.

Finalmente a variável relativa ao percentual de viagens realizadas em relação às programadas (Modelo 1), como variável que expressa qualidade ou satisfação do

usuário apresentou elasticidade positiva 0,94. Esse valor demonstra que para cada 1% de acréscimo no cumprimento de viagens a demanda tende a aumentar em 0,94%.

4. A EVOLUÇÃO DA DEMANDA POR ZONAS DE TRÁFEGO EM FUNÇÃO DE TRANSFORMAÇÕES URBANAS NA RMR

Muito se discute atualmente em como a configuração das cidades influencia nas atividades das pessoas, no deslocamento delas e conseqüentemente na utilização do transporte. Dessa forma, é de grande importância trabalhar meios que possam viabilizar essas respostas. Com o crescimento acelerado das áreas urbanas e o constante aparecimento de novas tecnologias que resultam na mudança de comportamento das pessoas, a configuração das cidades tem tido suas modificações de forma bem mais rápida. Com isso, os transportes precisariam estar se adaptando e encontrando meios de aumentar ou manter a sua atratividade. Em síntese, a oferta de transportes precisa estar constantemente se ajustando à dinâmica das alterações ocorridas no uso solo.

A fim de buscar a compreensão da relação dessa variação de atividades ao longo do território com utilização dos transportes públicos, ao invés de contabilizar os dados de passageiros equivalentes transportados, foram utilizados os dados das amostras de três pesquisas de origem e destino realizadas nas RMR. Assim, dados dos anos de 1997 (EMTU), 2007 (CBTU) e 2018 (ICPS) foram coletados e um painel ao longo desses anos e para cada uma das 265 zonas de tráfego da RMR foi estruturado. O intuito é entender se variáveis como população, emprego e renda afetam nas demandas de viagens das pessoas de acordo com as zonas de tráfego da região metropolitana. A variável populacional num painel de dados demonstra que tanto a variação da população relacionada ao tempo como a variação com relação as zonas podem apontar padrões de relação entre a quantidade de habitantes e a utilização do transporte. Da mesma forma, a variável de empregos em cada zona para os três anos pode apresentar significância e indicar o impacto dessa alteração na intensidade do uso do solo na demanda de transportes na RMR. Por fim, a renda é relevante por poder ajudar na compreensão do perfil da população usuária do sistema e o atendimento do sistema ao longo das cidades que compõem a metrópole polarizada pelo Recife.

Isso posto, um modelo econométrico com dados empilhados em painel foi gerado com a variável dependente sendo as viagens com destino para a zona em questão e as variáveis independentes sendo a quantidade de empregos na zona, a população residente na zona e a renda média da zona. É importante ressaltar que em algumas zonas

os valores eram zero para as variáveis em determinados anos por vários motivos, tais como, a zona não dispunha de transporte público nessa época e a zona representa apenas um polo atrator de viagens, o que implica em população zero. Dessa forma, foram feitos dois modelos (3 e 4): o primeiro com a exclusão dessas zonas sem os dados completos e o segundo mantendo todas as zonas conforme apresentados na Tabela 2 a seguir. Foram ainda realizados testes de validação dos modelos por meio da Correção Robusta de White para evitar os efeitos da endogeneidade.

Tabela 2: Resultados da regressão com dados em painel

Modelo 3 com todas as zonas	
Variáveis Explicativas (log)	Coefficiente parcial (erro padrão)
Intercepto	1,493002*** (6,843e-08)
População	0,241830*** (8,356e-09)
Renda	-0,077330 (0,3908)
Emprego	0,666776*** (< 2,2e-16)
as.factor(ano)2007	0,364767 (0,0690)
as.factor(ano)2018	-0,109866 (0,5839)
R ²	0,6926
Nº de observações	795
Modelo 4 para as zonas com dados existentes	
Variáveis Explicativas (log)	Coefficiente parcial (erro padrão)
Intercepto	1,554159*** (0,0002918)
População	0,413849*** (< 2,2e-16)
Renda	0,387685*** (5,363e-09)
Emprego	0,332707*** (< 2,2e-16)
as.factor(ano)2007	0,248533** (0,0026389)
as.factor(ano)2018	0,616064*** (1,931e-11)
R ²	0,4834
Nº de observações	579

Legenda: '***' p<0,001; '**' p<0,01; '*' p<0,05; '.' p<0,1; ' ' p<1

Como é possível observar, o Modelo 3 com todas as zonas apresenta coeficiente de determinação de 0,69, com a população e o número de empregos apresentando significância com sinal positivo. Isso indica que a população habitante e a quantidade de empregos das zonas tende a influenciar as viagens atraídas pela zona, ou seja, pode-se dizer que a existência de postos de emprego ao longo da cidade, bem como as habitações, tende a impulsionar o uso do transporte coletivo. A renda nesse modelo não apresentou significância possivelmente pelo fato de existirem várias zonas sem valor da renda, como citado anteriormente.

Analisando-se o Modelo 3, com todas as 265 zonas de tráfego, as variáveis são significativas a pelos menos 1% . Fazendo-se variar um fator de cada vez no modelo, mantidas as demais variáveis inalteradas, verifica-se:

- i) Aumento da população residente em cada zona de 1% resulta em aumento da demanda por transporte por ônibus de 0,242%;
- ii) A renda neste modelo não apresentou relação significativa com a evolução da atração de viagens;
- iii) Aumento de empregos em uma zona em 1% resulta no aumento de demanda em 0,666%;
- iv) Aumento de demanda de 0,365% para o período entre 1997 e 2007; e
- v) Redução de demanda de 0,11% para o período de 1997 a 2018.

O Modelo 4, somente com as zonas que apresentavam todos os dados foi considerado significativo, apesar de apresentar um coeficiente de determinação menor (0,483 contra 0,692 no Modelo 3). Nesse modelo, a população e quantidade de empregos continuam com significância e a renda aparece dessa vez também com significância e sinal positivo. Essa característica pode ter relação com as zonas que possuem maiores rendas também possuem um melhor atendimento do transporte público e por isso apresentam maior número de viagens atraídas.

Analisando-se o modelo 4, verifica-se que também as variáveis são significativas com p-valor inferior a 1% . Fazendo-se variar um fator de cada vez no modelo, mantidas as demais variáveis inalteradas, verifica-se:

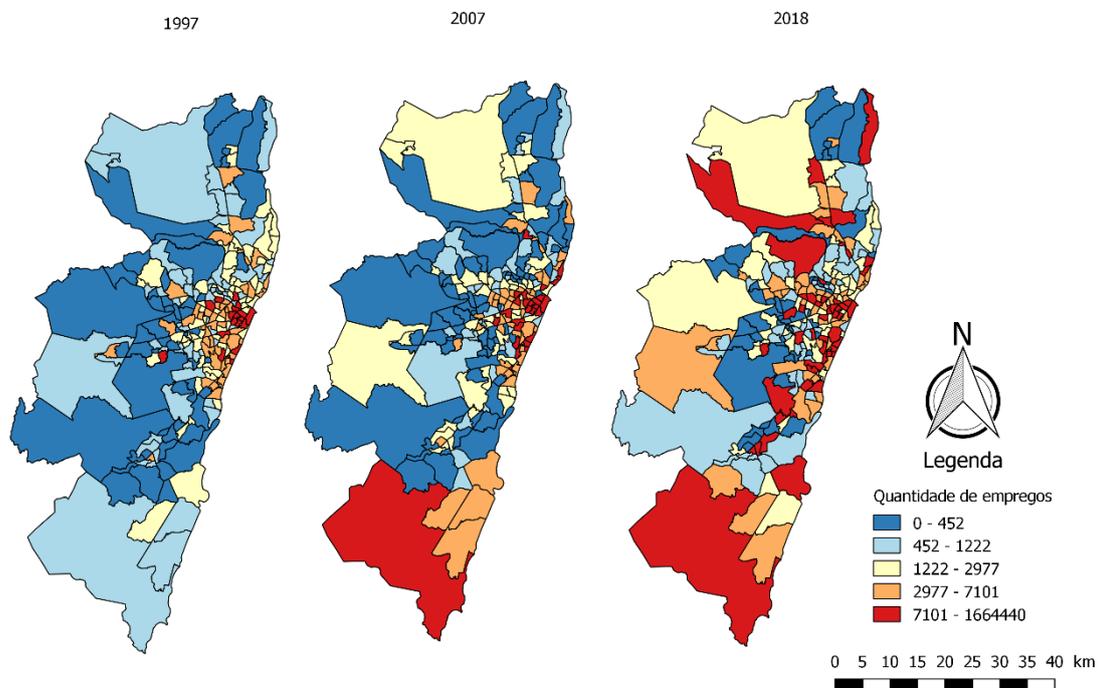
- i) Aumento da população residente em cada zona de 1% resulta em aumento da demanda por transporte por ônibus de 0,413%;
- ii) Aumento de renda de 1% resulta no aumento de demanda de 0,387%;
- iii) Aumento de empregos em uma zona em 1% resulta no aumento de demanda em 0,333%;
- iv) Aumento de demanda de 0,248% para o período entre 1997 e 2007; e
- v) Redução de demanda de 0,616% para o período de 1997 a 2018.

Após a modelagem econométrica das funções de demanda considerando as zonas de tráfego com suas variáveis de intensidade de uso do solo, passou-se a fazer análises com dos dados de empregos e de estimativas de demanda por zona de tráfego para os anos de 1997, 2007 e 2018 (intervalos praticamente constantes de 10 anos entre recortes temporais). Objetiva-se assim entender onde, por razões de mudanças na dinâmica de uso do solo, ocorreram as maiores modificações em demanda, além

identificar tendências que possam ajudar a interpretar possíveis alternativas de políticas que sejam eficientes em reverter a atual tendência.

A Figura 2 apresenta a evolução da quantidade e da localização dos empregos em cada uma das zonas da RMR para os anos 1997, 2007 e 2017. Como se pode observar, os empregos que eram desenvolvidos majoritariamente na cidade do Recife têm se espalhado pelo território da RMR, chegando a ter pontos bem periféricos com alta concentração de empregos. Este fato logicamente interfere na demanda por transportes públicos como será visto adiante.

Figura 2: Quantidade de empregos por zona para os três recortes da pesquisa



Comparando-se os três recortes, percebe-se uma grande transformação entre os extremos temporais (1997 e 2018). O retrato da situação em 2007 serve para mostrar que uma tendência de mudança vem se configurando ao longo do tempo. Em 1997, os empregos se concentravam no centro expandido do Recife (Boa Vista, Santo Antônio e Santo Amaro), ao longo da orla e de seu entorno na zona sul (Boa Viagem e Pina) e ao longo das margens dos corredores principais, como Av. Norte, Av. Caxangá e Av. Mascarenhas de Moraes. Em 2018, percebe-se uma transformação importante na localização dos empregos. Há uma desconcentração com redução do peso relativo do

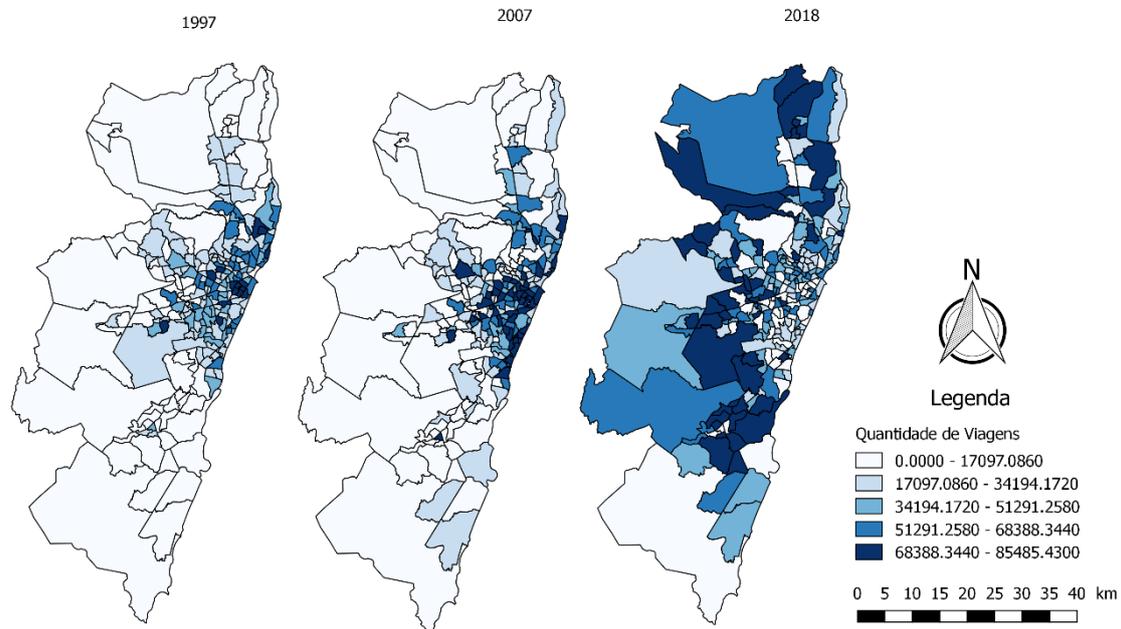
centro expandido, principalmente como o esvaziamento econômico nos bairros de Santo Antônio e São José. Neste recorte temporal verifica-se um adensamento de empregos ao longo da BR-101, PE-015 e PE-060 na direção dos extremos norte (Paulista, Abreu e Lima e Igarassu) e sul (Prazeres, Cabo e Ipojuca) da RMR. De forma menos pontual, observa-se uma pulverização de empregos, antes mais restritos às margens dos principais corredores, para áreas entre corredores gerando uma tendência natural de uso do solo misto em grande parte da planície da cidade do Recife. No entanto, toda essa dinâmica não foi aparentemente incorporada em ajustes na rede de transporte, gerando assim, déficits de atendimento em áreas mais dinâmicas e excesso de oferta em outras áreas com tendências de estabilização ou reversão de demandas.

Da mesma maneira, a quantidade de viagens com destino às zonas mais centrais da RMR (Figura 3) tinha força maior em 1997 e 2007, revelando uma modificação de perfil nítido quando considerada a pesquisa do ano 2018. A imagem de 2018 revela nesse quesito de geração de viagens, uma nítida desconcentração de demanda de viagens de ônibus com destino ao centro expandido, principalmente na região dos bairros de Santo Antônio e São José e à orla da Zona Sul, Boa Viagem, Piedade e Candeias. Ao mesmo tempo mais viagens são atraídas para as zonas de expansão dos empregos formais na direção do eixo da BR-101 – norte em Abreu e Lima, Paulista, Igarassu e Itapissuma, dos eixos da Zona Sul, BR-101, Estrada da Batalha e PE-060, que polarizam a zona de influência de Suape; e da BR-232, polarizados pela CEASA e pelo Distrito Industrial do Curado e adjacências.

No entanto, esse aumento de demanda em direção dos extremos norte e sul da RMR não tem sido acompanhado por investimentos nos corredores transversais da RMR. Geram-se assim segmentos viários extremamente congestionados, como a BR-101, BR-232/ Av. Abdias de Carvalho, gerando assim, baixos níveis de serviço devidos a congestionamentos, principalmente nas travessias urbanas na BR-101, principalmente em Prazeres, Jordão e na Cidade Universitária, e na II e III Perimetrais nos bairros da Madalena, Torre, Ipsep e Areias.

Essas imagens só confirmam o resultado obtido pela regressão em painel e a ideia de que as características das escolhas das pessoas de moradia e a localização das atividades desempenham também um papel importante na escolha pelo transporte público da mesma forma que fatores econômicos e de qualidade, como visto na seção anterior.

Figura 3: Quantidade de viagens atraídas por zona para os três anos da pesquisa



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos econométricos estudados para a RMR revelam a relevância da tarifa ao usuário como variável chave, conforme conceito consolidado na teoria microeconômica da demanda. As elasticidades-preços da demanda estimadas nos modelos válidos na etapa de análise dos dados agregados demonstram que aumentos reais acima da inflação reduzem a demanda por transporte público. Daí já se pode concluir que uma primeira estratégia para recuperar demanda por transporte público é a redução de tarifa ao usuário, por meio de novos modelos de financiamento ou por subsídios públicos ao sistema ou diretamente aos usuários.

Os modelos também demonstram que a variável renda média do usuário revela uma elasticidade-renda positiva que demonstra que redução de renda reduz a demanda por transporte público. Dessa forma em termos microeconômicos e em nível local, o transporte público é percebido com um bem normal, ao contrário de alguns contextos, onde o transporte público é considerado um bem inferior, nos quais aumentos de renda reduzem a sua utilização. Interpreta-se que no caso da RMR, o perfil do usuário do transporte público é de pessoas de baixa renda, que não demonstram uma capacidade estatisticamente significativa de optarem por transportes individuais (bens superiores).

São, portanto, usuários cativos, sobre os quais pequenas variações nas suas rendas não influenciam a substituição por outros modos de transportes. Como a variável renda não está sob a capacidade de influência dos gestores e operadores de transportes, não podem esses agir estrategicamente sobre essas variáveis, mas podem chamar a atenção aos decisores de políticas públicas que em contextos de perda de renda e para manter a modicidade tarifária, subsídios públicos são essenciais.

A taxa de desemprego indica que a redução da quantidade de pessoas nos empregos formais, da mesma forma que a redução da renda da população, reduzem a utilização do transporte público. Isso ocorre principalmente pelo fato mencionado anteriormente de vários trabalhadores formais terem seus auxílios para deslocamentos atrelados ao sistema de transporte público. Nesse contexto, programas públicos de auxílio aos desempregados poderia incluir certa quantidade de passagens mensais quitadas.

A idade média da frota, como uma *proxy* de qualidade do serviço, também tem influenciado na redução de demanda por transporte público na RMR. Nessa lógica, manter as frotas modernas e atualizadas representa um incentivo para a aumentar a atratividade do serviço. Para atingir esse objetivo, obviamente a tarifa precisa ser adequada para o cumprimento dessa meta, exigindo também modelos de financiamentos ou de contratação inovadores para isso.

O tempo médio de viagem representa também uma variável significativa na redução de demanda. Essa variável pode ser aproveitada pelos gestores dos sistemas de transportes para pressionarem os decisores políticos a ampliarem as faixas exclusivas para transporte público, com o objetivo de aumentar a velocidade média de operação. Sistemas de integração mais eficientes com mais agilidade nas trocas poderia também a ajudar a reduzir tempos totais de viagem.

Outro fator relevante que tem gerado redução na quantidade de passageiros pagantes é a sistemática ampliação dos serviços integrados, que reduz viagens diretas e aumenta as viagens com transbordos em terminais com integração tarifária. Como essa é uma variável que interfere na contabilidade dos custos do sistema, é preciso que se estude um modelo de avaliação desse déficit no cálculo tarifário.

O percentual de viagens realizadas em relação às programadas, também como variável que expressa qualidade ou satisfação do usuário demonstra ser um indicador operacional fundamental para aumentar a confiabilidade e a atratividade dos serviços.

Resultados neste quesito podem ser obtidos com ampliação das faixas exclusivas, que aumentarão as chances das viagens serem realizadas no tempo programado.

Com relação às análises dos dados em painéis das zonas de tráfego para os anos de 1997, 2007 e 2017, escolhidos por disporem de pesquisas de origem e destino, conclui-se que a atração de viagens evoluiu de forma diretamente proporcional na direção de zonas de tráfego que sofreram ao longo dos anos mais transformações em termos de densidade demográfica e do número de empregos criados ou deslocados para outras áreas. Esta constatação apenas confirma a teoria da relação direta teórica entre uso do solo e geração e atração de viagens.

Ao serem feitas análises espaciais percebeu-se que a tendência da redução de demanda de transporte por ônibus na RMR não se manifesta de forma homogênea, mas tem forte relação com a direção das mudanças na intensidade do uso do solo, em termos de empregos e residentes. Áreas com aumento da concentração de empregos e população ao longo dos eixos viários transversais, principalmente nas proximidades dos corredores da BR-101, PE-060, II e III Perimetrais e BR-232 nos extremos norte, sul e oeste, apresentam a tendência de ao longo do período de atrair mais viagens mesmo em uma ambiente econômico de redução de demanda. Em síntese as linhas de desejo têm-se modificado, sem que aparentemente a rede acompanhe esse movimento.

Em síntese para superar esse quadro de queda de demanda e degradação do sistema de transportes é necessário um novo modelo de financiamento dos serviços, no qual o usuário não seja o único a arcar com os custos de transportes; bem como investimentos públicos em infraestrutura com uma radical transformação na prioridade ao transporte público no espaço viário da metrópole, ajustes na forma de integração com revisão na oferta com uma rede flexível e mais adequada às transformações na demanda e uma política pública de ajuste fino na relação uso do solo e transportes.

REFERÊNCIAS

Grande Recife Consórcio de Transportes. Anuário Estatísticos.

<http://www.granderecife.pe.gov.br/sitegrctm/transporte/dados-e-estatisticas/anuarios/>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados Socioeconômicos.

<https://www.ibge.gov.br/>

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados de preços de gasolina e diesel. http://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Mensal_Municipio.asp

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Dados das frotas de automóvel e motocicleta. <https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>

Banco de Dados - CONDEPE FIDEM. Número de empresas.
http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?codFormatacao=438&CodInformacao=801&Cod=3