

Projeção de quantidade de passageiros do sistema de transporte público de Curitiba

Rodrigo Salvador dos Santos (UFPR) rodrigo.salvador@ufpr.br

Gustavo Valentim Loch (UFPR) gustavo.gvalentim@gmail.com

Cassius Tadeu Scarpin (UFPR) cassiusts@gmail.com

Resumo:

Grande parte das decisões políticas de uma organização depende de estimativas sobre valores futuros de seus dados. Quanto maior a precisão da estimativa, menor a chance de erros serem cometidos. No caso do transporte público de Curitiba, estimativas incorretas podem causar desequilíbrio econômico no sistema. Neste trabalho, foram aplicadas seis metodologias diferentes para obter valores estimados para a projeção de passageiros para o ano de 2018. O erro médio observado na metodologia proposta atingiu valores abaixo de 2%.

Palavras chave: Projeção de séries temporais, Transporte público, Curitiba.

Projection of quantity of passengers on Curitiba's public transport system

Abstract

Much of an organization's policy decisions depend on estimates of future values of its data. The higher the accuracy of the estimate, the less chance of errors being made. In the case of public transport in Curitiba, incorrect estimates can cause economic imbalance in the system. In this work, six different methodologies were applied to obtain estimated values for the projection of passengers for the year 2018. The average error observed in the proposed methodology reached values below 2%.

Key-words: Time series projection, Public transportation, Curitiba

1. Introdução

Em Curitiba e região metropolitana, o transporte público se dá majoritariamente por meio de ônibus. O sistema é gerido pela Urbanização de Curitiba S.A. (URBS) e pelas empresas de ônibus, representado pelo Sindicato de Empresas de ônibus de Curitiba e Região Metropolitana (SETRANSP). No total, a Rede Integrada de Transporte (RIT) é composta por 251 linhas de ônibus e 83 quilômetros de canaletas, vias ou faixas exclusivas, caracterizando corredores de transporte, atendendo 13 municípios (URBS, 2018).

De acordo com o contrato vigente em 2018, o repasse financeiro da URBS às empresas acontece ao fim de um ano tarifário, que é o período compreendido entre 26 de fevereiro de um ano e 25 de fevereiro do ano seguinte. O valor repassado é referente a uma tarifa técnica, calculada antes do início do ano tarifário, e ao total de passageiros verificado ao fim do período. O que se percebe nos últimos anos é que o total verificado de passageiros vem ficando abaixo do projetado. Com isso, as empresas que operam o sistema podem ter o equilíbrio econômico-financeiro não atingido.

Neste trabalho, pretende-se estimar com maior acurácia a quantidade de passageiros que fará

uso do sistema de transporte no período referente ao ano tarifário, no período de 26 de fevereiro de 2018 a 25 de fevereiro de 2019. A partir de dados coletados no intervalo entre 2013 e 2017, pretende-se observar a série histórica mensal do número de passageiros no sistema e, com o uso de métodos de previsão de séries temporais, identificar as tendências para os próximos anos.

2. Revisão da literatura

A necessidade de previsão ocorre nos mais diversos tipos de empresas. Prever uma demanda em um sistema é um processo que deve ser conduzido de maneira cuidadosa. Uma previsão precária pode conduzir a ações incorretas, como excessos de estoque, reduções desnecessárias de preços ou perdas de vendas. Por isso, constitui-se em uma das atividades mais importantes a fim de aumentar a vantagem competitiva comercial em um ambiente de constantes mudanças.

Para este fim, a literatura oferece técnicas de previsão na tentativa de solucionar, ou oferecer boas alternativas, para o problema de previsão de demanda. Estas técnicas podem ser divididas em dois grupos principais: quantitativos e qualitativos. Uma possível subdivisão é apresentada por Scarpin (2012) na Figura 1.

Neste trabalho, serão utilizados especificamente os métodos quantitativos de análises de séries temporais. Morettin e Bussab (2010) definem séries temporais como sequências de valores (ordenados no tempo) de uma variável de interesse particular, obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico. Os modelos de séries temporais realizam previsões em dados observados em intervalos de tempo, e é especialmente útil quando há pouco conhecimento da base teórica que influencia o objeto de estudo, ou quando a complexidade da explicação sobre este objeto é muito alta.

2.1 Regressão Linear

Na Regressão Linear Simples, valores futuros de uma variável dita dependente podem ser estimados estatisticamente a partir de uma variável dita independente, através da relação linear entre elas. Se houverem duas ou mais variáveis independentes no modelo, utiliza-se Regressão Linear Múltipla.

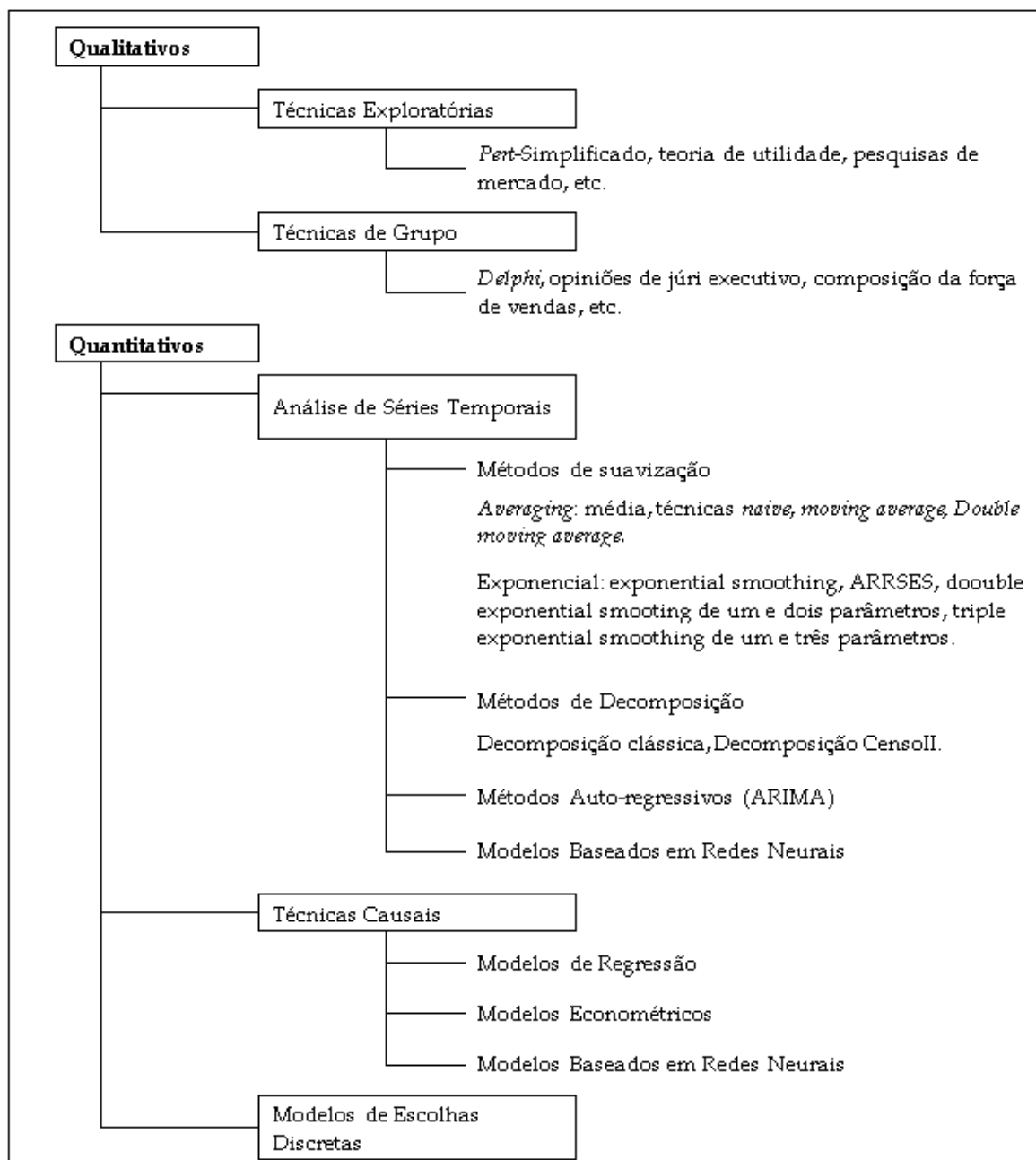
Conforme Morettin e Bussab (2010), a relação entre duas variáveis pode ser verificada visualmente por um gráfico de dispersão ou por uma reta de tendência. Quanto menor o grau de dispersão, mais próximos os pares ordenados estarão em relação à reta. Para uma avaliação numérica, a relação pode ser medida por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

2.2 Regressão Linear Ponderada Pela Sazonalidade

Quando se sabe de antemão o intervalo de tempo onde a série temporal observada apresenta um comportamento específico, ocorre a ponderação da sazonalidade sobre os dados estimados pela regressão linear. Um exemplo muito comum são os meses do ano: a partir da premissa de que o mês de janeiro, por exemplo, tem características específicas e diferentes dos outros meses, utiliza-se a comparação dos dados deste mês para ponderar o comportamento dos dados em janeiro do ano que se deseja prever. Este valor representa a tendência histórica dos dados com a característica sazonal do período em estudo.

2.3 Redes Neurais Artificiais de Bases Radiais (RBF)

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais que se inspiram em propriedades do cérebro humano. Consistem de unidades simples (os neurônios) trabalhando em paralelo e sem um controle central (Haykin, 2001). Suas principais características são a capacidade de aprendizado e a generalização, e são empregadas no reconhecimento de padrões, composição musical, processamentos de sinais digitais, otimizações, além de previsão de séries temporais (Scarpin, 2012).



Fonte: Scarpin(2012)

Figura 1 – Classificação de técnicas de previsão

Quando se tem RNAs com múltiplas camadas sem treino por retropropagação de erro nem unidades de processamento com função de ativação sigmoideal, temos as Redes Neurais com Base Radial (*Artificial Neural Networks of Radial Basis Functions*, RBF). Esta estratégia permite às redes utilizarem unidades com campos receptivos locais nos quais as unidades na entrada do sistema não enxergam o todo. De acordo com Scarpin (2012), a principal diferença entre as redes RBF e as RNA é a natureza adaptativa das primeiras, que permite a utilização de um número relativamente menor de unidades de processamento localmente armazenadas (os centroides).

O treinamento supervisionado para a camada de saída – a terceira das três camadas de processamento de uma RBF – compreende a determinação entre os pesos da camada escondida – a segunda na linha de processamento. Para o cálculo do erro, compara-se a resposta da rede com a resposta esperada. Pode ser calculado de várias maneiras, dentre elas a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Erro Médio Percentual Absoluto, conforme as fórmulas a seguir

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{npad} \sum_{i=1}^{npad} \|y_d^{(i)} - y_o^{(i)}\|^2}$$
$$MAPE = \frac{1}{npad} \sum_{i=1}^{npad} \left\| \frac{y_d^{(i)} - y_o^{(i)}}{y_d^{(i)}} * 100 \right\|$$

2.4 RBF com Análise de Tendência

O objetivo da RBF com Análise de Tendência é explorar os dados históricos concentrando-se apenas na sazonalidade, sem a influência da tendência. O método consiste em aplicar uma Regressão Linear Simples nos dados históricos e verificar se há tendências de crescimento ou decrescimento. Em caso positivo, os dados são rotacionados de forma que elas sejam eliminadas, mantendo apenas as oscilações sazonais nos dados rotacionados. A previsão para o período é então obtida a partir da aplicação de uma RBF.

2.5 Metodologia ARIMA

Os modelos ARIMA foram propostos por Box e Jenkins (1976). Consistem em uma classe de modelos lineares que integram modelos Auto Regressivos (AR) e modelos de Médias Móveis (MA). Os dois modelos, bem como a combinação deles (os modelos ARMA), são válidos para representação de séries estacionárias, ou seja, aquelas que permanecem com seus valores em torno de média e variância constantes com o decorrer do tempo.

Na prática, porém, a maioria das séries encontradas não é estacionária, e carece da integração proposta pelo método ARIMA. A construção do modelo é baseada em um ciclo iterativo, resumido em quatro etapas principais: identificação da estrutura do processo gerador, estimação, verificação e previsão.

2.6 Metodologia Híbrida

Dada a diversidade de métodos existentes, e as vantagens e desvantagens de cada um, uma estratégia interessante é a mescla entre eles. A metodologia Híbrida proposta neste trabalho consiste em utilizar as informações obtidas pelos cinco métodos univariados descritos acima, eliminar o maior e o menor valor e calcular a média dos restantes, desde que diferentes de zero. Este valor médio é utilizado tanto para o ajuste da série quanto para os valores da previsão, e busca a minimização do erro da previsão.

Testes computacionais mostraram que esta metodologia possui uma estabilidade quanto ao erro de previsão. Em cada cenário pesquisado, uma das 5 metodologias apresenta o menor erro, mas o segundo ou terceiro menor valor cabe à metodologia híbrida, e com valores nunca muito distantes do menor erro obtido na série.

3. Descrição do problema

A projeção do total de passageiros na RIT inclui os passageiros não pagantes (idosos,

operadores do sistema, carteiros, acompanhantes de pessoas com necessidades especiais, policiais, guardas municipais, fiscais e oficiais de justiça) e estudantes, que têm direito à meia tarifa. O cálculo da tarifa técnica, porém, é baseado em apenas na variável “passageiros”, de forma que, apesar de todos usarem o sistema de transporte, não são considerados separadamente do ponto de vista econômico.

Para agregar todos os casos em uma única variável independente, definiu-se o Passageiro Pagante Equivalente (PPE), que é a quantidade de passageiros necessária para chegar ao mesmo montante de arrecadação. Para ilustrar, dois passageiros estudantes equivalem a um PPE. Os valores históricos desta variável não foram calculados neste trabalho, mas obtidos junto à SETRANSP, com informações repassadas pela URBS nesse mesmo período.

Sendo o PPE a principal variável de referência do estudo, a Tabela 1 apresenta valores referentes aos anos tarifários desde 2010. São apresentados os valores totais e a média mensal em cada período na segunda e terceira colunas, respectivamente. A quarta coluna da tabela mostra o crescimento ou redução da média mensal em relação ao período anterior. Por fim, nas duas últimas colunas tem-se a projeção feita pela URBS para a média mensal do ano tarifário e o erro observado em relação ao valor observado (conforme a terceira coluna da tabela).

Ano Tarifário	Total real de PPE por ano	Média de PPE Mensal Real	Varição da Média Mensal	Projeção de PPE Mensal URBS	Erro da projeção
AT1	74.867.973,35	20.234.587,39			
AT2	246.886.305,94	20.573.858,83	1,68%	20.844.383,00	1,31%
AT3	241.241.553,45	20.103.462,79	-2,29%	20.729.279,00	3,11%
AT4	239.162.580,77	19.930.215,06	-0,86%	19.998.673,00	0,34%
AT5	227.043.141,76	18.920.261,81	-5,07%	19.546.740,00	3,31%
AT6	211.782.430,71	17.648.535,89	-6,72%	18.824.884,00	6,67%
AT7	198.044.100,92	16.503.675,08	-6,49%	17.655.104,00	6,98%
AT8	180.413.251,86	15.034.437,66	-8,90%	16.174.214,08	7,58%

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Dados de PPE no decorrer dos anos tarifários

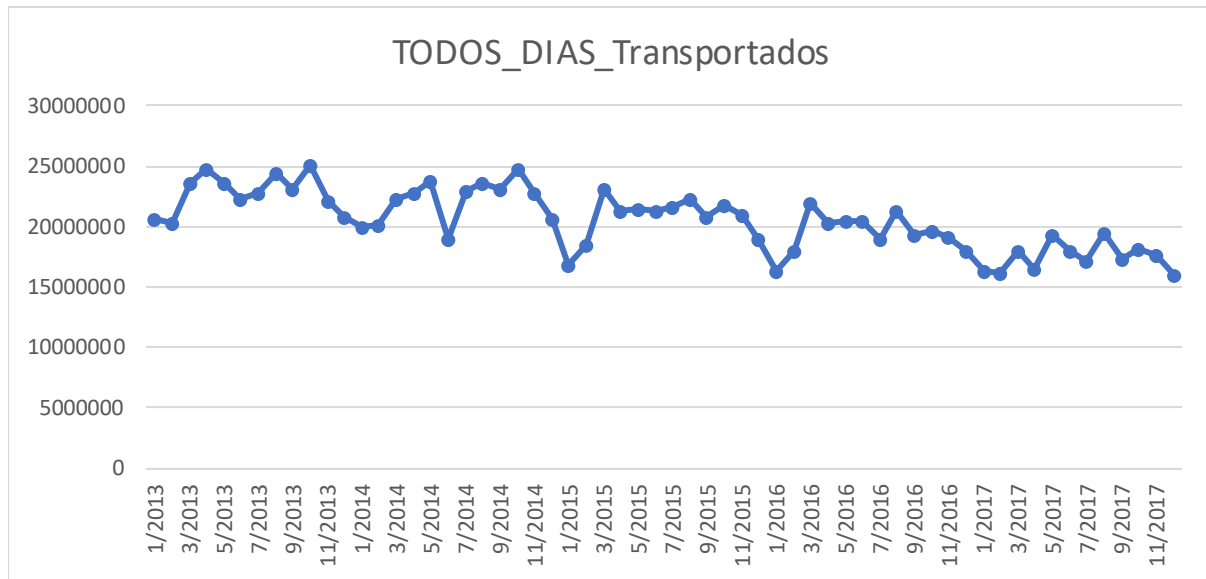
É importante notar, de imediato, que o primeiro ano tarifário representa apenas dados entre novembro/10 e fevereiro/11, totalizando 3,7 meses, devido à ausência de dados anteriores a este período. Isso pode afetar a percepção de crescimento observada do AT2 para o AT1, já que os períodos comparados não são semelhantes. A partir do AT2, é possível perceber que a média mensal apresenta quedas cada vez maiores. O maior índice de queda, inclusive, deu-se no último ano tarifário.

Outro fator a ser destacado é o crescimento no erro da projeção da média para o ano tarifário seguinte, conforme se observa na última coluna. O erro observado entre o valor projetado e o realizado para a variável PPE cresce de forma praticamente proporcional à queda da média mensal real. A partir disso, é possível levantar a hipótese de que informações relevantes para a projeção não estão sendo consideradas nos cálculos de projeção.

A plotagem gráfica dos dados obtidos junto à SETRANSP corrobora com as inferências iniciais. O Gráfico 1 mostra a série histórica de passageiros transportados mensalmente desde 2013. É possível verificar que, durante o ano de 2013, o total observado de passageiros transportados ficou na faixa entre 20 e 25 milhões, ao passo que o ano de 2017 comporta todas as suas observações em uma faixa abaixo, entre 15 e 20 milhões de passageiros.

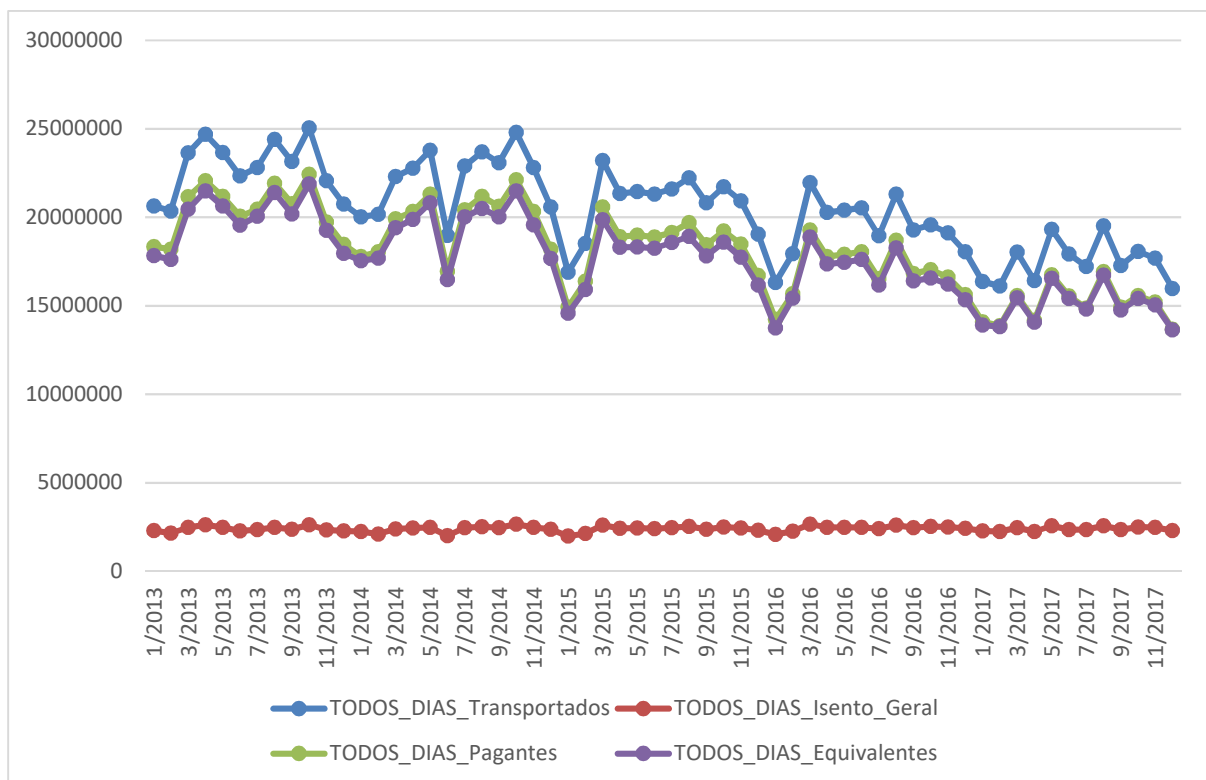
No Gráfico 2, a informação dos passageiros está subdividida nas categorias Pagantes, Isento Geral e PPE. Fica evidente que, em relação à queda percebida no volume de passageiros Pagantes, Transportados e Equivalentes, a quantidade de passageiros Isentos permaneceu

praticamente estável.



Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 1 – Passageiros transportados mensalmente entre 2013 e 2017

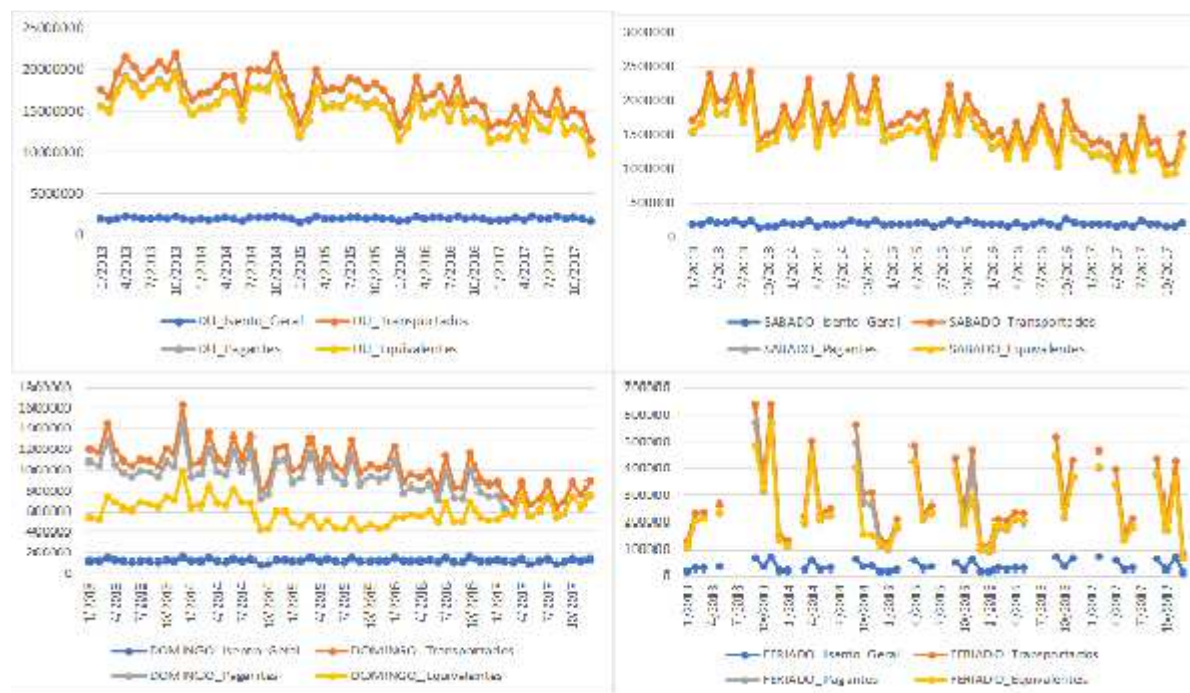


Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 2 – Total mensal de passageiros pagantes, equivalentes e isentos entre 2013 e 2017

Ao separar os dados em grupos de dias, temos como resultado o Gráfico 3, o qual detalha a evolução do total de passageiros conforme o apresentado anteriormente, separada em dias úteis, sábado, domingo e feriado. Uma diferença relevante acontece no gráfico referente aos dados de

domingo (o primeiro gráfico da segunda linha). Nele, a série dos PPE não acompanha o total de transportados com uma proporção semelhante à dos demais grupos. Isso se dá por conta da tarifa diferenciada do domingo, intitulada “tarifa domingueira”, mais barata que a dos dias úteis.



Fonte: Os autores (2018)

Gráfico 3 – Série mensal de passageiros pagantes, equivalentes e isentos entre 2013 e 2017 em a) dias úteis b) sábados c) domingos e d) feriados

4. Metodologia

Para predição das séries temporais citadas anteriormente, fez-se necessário identificar métodos utilizados com sucesso na literatura acadêmica, afim de estabelecer a projeção com a maior precisão possível.

Também cabe destacar que o cálculo da tarifa técnica, de acordo com a legislação em vigor no momento da publicação deste trabalho, baseia-se no ano tarifário anterior. Deste modo, como a data do cálculo não coincide com o fim do ano tarifário, nem toda a informação do período é considerada para estimar a quantidade de passageiros para o ano seguinte. Esta fragilidade de informações se evidencia ao se considerar perdas como sazonalidade, tendências e ciclo de ocorrências de passageiros.

As projeções apresentadas a seguir consideram os seis grupos de dias mencionados no capítulo anterior. Os dados referentes a Dias Úteis, Sábados e Domingos foram utilizados sem qualquer tratamento, já que são grupos presentes em todos os meses. Para Feriados, Dias Úteis Atípicos e Sábados Atípicos, cujos dados não formam uma série temporal completa, foram aplicadas a média anual e a informação sazonal dos meses.

Todos os modelos de previsão mencionados no capítulo 2 foram aplicados da seguinte forma:

a) Validação das metodologias: para cada categoria de passageiros, foi realizada a entrada de dados de janeiro de 2013 a dezembro de 2015 para estimar valores de 2016, e o histórico de janeiro de 2013 a dezembro de 2016 para a projeção de 2017. Em ambos os casos, os valores do ano de projeção foram utilizados para comparações e validações dos modelos a partir de percentuais de erro;

b) Projeção do ano tarifário seguinte: a projeção para os meses entre janeiro de 2018 e fevereiro de 2019 (um período de 14 meses) se deu a partir da entrada de dados de janeiro de 2013 a dezembro de 2017. Uma validação inicial foi possível ao comparar os valores obtidos na projeção com dados reais de passageiros entre janeiro de 2018 e junho de 2018.

4.1 Validação das metodologias

São apresentados no presente documento, como exemplo, os resultados da validação das metodologias na estimativa do ano de 2017 para a categoria de passageiros Equivalentes, com dados entre janeiro de 2013 e dezembro de 2016. A Tabela 1 apresenta os dados da projeção realizada para o ano de 2017, enquanto o erro de cada medição está apontado na Tabela 2.

Projeção	REAL	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2017	179.626.715	189.362.598	189.283.701	204.139.797	189.338.158	187.436.088	189.535.410
Janeiro	13.918.081	16.568.081	13.705.825	16.425.209	15.755.492	15.671.596	15.755.492
Fevereiro	13.814.794	14.885.407	14.251.410	15.770.065	15.036.221	14.451.309	14.885.407
Março	15.445.586	16.392.464	16.973.669	17.692.873	16.767.780	16.095.753	16.767.780
Abril	14.077.822	15.778.700	16.568.769	17.058.688	16.068.769	15.581.661	16.068.769
Maio	16.552.993	16.216.848	16.606.603	17.516.982	16.399.993	16.070.812	16.399.993
Junho	15.406.769	15.608.749	15.492.016	16.861.752	15.689.964	15.509.676	15.608.749
Julho	14.810.198	16.041.232	16.054.607	17.361.253	16.055.452	15.977.075	16.054.607
Agosto	16.726.394	15.953.424	16.969.363	17.327.037	15.924.844	15.925.355	15.953.424
Setembro	14.767.777	15.353.822	15.944.859	16.754.173	15.302.781	15.360.775	15.360.775
Outubro	15.410.638	15.777.808	16.777.981	17.309.043	15.711.001	15.819.920	15.819.920
Novembro	15.056.769	15.183.871	15.577.063	16.751.375	15.109.546	15.258.302	15.258.302
Dezembro	13.638.895	15.602.192	14.361.536	17.311.347	15.516.315	15.713.854	15.602.192

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Projeção para passageiros Equivalentes para 2017

Erro (MAPE)	REAL	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2017	179.626.715	5,42%	5,38%	13,65%	5,41%	4,35%	5,52%
Janeiro	13.918.081	19,04%	-1,53%	18,01%	13,20%	12,60%	13,20%
Fevereiro	13.814.794	7,75%	3,16%	14,15%	8,84%	4,61%	7,75%
Março	15.445.586	6,13%	9,89%	14,55%	8,56%	4,21%	8,56%
Abril	14.077.822	12,08%	17,69%	21,17%	14,14%	10,68%	14,14%
Maio	16.552.993	-2,03%	0,32%	5,82%	-0,92%	-2,91%	-0,92%
Junho	15.406.769	1,31%	0,55%	9,44%	1,84%	0,67%	1,31%
Julho	14.810.198	8,31%	8,40%	17,22%	8,41%	7,88%	8,40%
Agosto	16.726.394	-4,62%	1,45%	3,59%	-4,79%	-4,79%	-4,62%
Setembro	14.767.777	3,97%	7,97%	13,45%	3,62%	4,02%	4,02%
Outubro	15.410.638	2,38%	8,87%	12,32%	1,95%	2,66%	2,66%
Novembro	15.056.769	0,84%	3,46%	11,25%	0,35%	1,34%	1,34%
Dezembro	13.638.895	14,39%	5,30%	26,93%	13,77%	15,21%	14,39%

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 2 – Erro da projeção para passageiros Equivalentes para 2017

4.2 Previsão para o ano tarifário 2018/2019

As tabelas apresentadas a seguir são as estimativas de cada método para o período de janeiro de 2018 a fevereiro de 2019. Ao final de cada tabela, a linha “Total AT9” é a soma do período referente ao ano tarifário, compreendido entre março de 2018 e fevereiro de 2019, enquanto a linha “Média Mês AT9” contém a média mensal prevista por cada metodologia neste mesmo período.

A previsão de passageiros da categoria Transportados se encontra na Tabela 3. Na Tabela 4, os dados da estimativa para os passageiros Isentos. Os resultados para passageiros Pagantes são apresentados na Tabela 5.

Projeção	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2018	201.111.017	200.995.623	210.943.640	200.972.615	200.449.083	202.754.412
Janeiro	17.670.001	14.815.371	18.109.904	17.617.042	16.513.166	17.617.042
Fevereiro	15.863.674	15.178.901	16.385.186	15.880.387	15.285.053	15.863.674
Março	17.456.705	17.906.293	18.492.537	17.856.051	17.187.819	17.856.051
Abril	16.790.378	17.215.688	17.892.835	17.212.087	16.762.212	17.212.087
Maio	17.243.409	17.778.224	17.713.011	16.974.549	17.350.348	17.350.348
Junho	16.583.963	16.567.347	16.986.390	16.216.020	16.749.459	16.583.963
Julho	17.030.113	16.861.522	17.507.094	16.648.694	17.221.639	17.030.113
Agosto	16.923.466	18.136.844	17.679.993	16.747.754	17.113.932	17.113.932
Setembro	16.274.340	16.843.712	17.273.535	16.298.563	16.451.303	16.451.303
Outubro	16.710.170	17.705.689	17.887.471	16.811.082	16.887.806	16.887.806
Novembro	16.067.924	16.673.978	17.267.330	16.163.499	16.241.206	16.241.206
Dezembro	16.496.874	15.312.054	17.748.354	16.546.887	16.685.140	16.546.887
2019	31.097.974	27.815.218	33.689.025	31.220.039	31.507.102	31.220.039
Janeiro	16.390.226	13.742.346	17.697.021	16.432.015	16.594.803	16.432.015
Fevereiro	14.707.748	14.072.872	15.992.004	14.788.024	14.912.299	14.788.024
Total AT9	198.675.316	198.816.569	210.137.575	198.695.225	200.157.966	200.493.735
Média Mês AT9	16.556.276	16.568.047	17.511.465	16.557.935	16.679.831	16.707.811

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 3 – Previsão para passageiros Transportados para 2018/2019

Projeção	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2018	29.181.166	29.181.574	28.831.996	29.196.214	28.416.398	28.950.979
Janeiro	2.473.923	2.204.083	2.263.618	2.305.737	2.328.359	2.305.737
Fevereiro	2.235.243	2.194.276	2.257.652	2.297.206	2.187.474	2.235.243
Março	2.475.543	2.553.429	2.523.541	2.565.020	2.421.747	2.523.541
Abril	2.396.471	2.475.808	2.396.530	2.433.331	2.343.530	2.396.530
Maio	2.477.164	2.526.903	2.437.062	2.471.859	2.421.548	2.471.859
Junho	2.398.040	2.339.196	2.355.476	2.386.578	2.343.337	2.355.476
Julho	2.478.784	2.437.844	2.456.745	2.486.550	2.421.349	2.456.745
Agosto	2.479.595	2.572.189	2.470.258	2.497.587	2.421.249	2.479.595
Setembro	2.400.392	2.436.536	2.385.886	2.409.739	2.343.048	2.400.392
Outubro	2.481.215	2.594.035	2.455.783	2.477.725	2.421.050	2.477.725
Novembro	2.401.960	2.479.423	2.373.433	2.392.124	2.342.856	2.392.124
Dezembro	2.482.836	2.367.852	2.456.012	2.472.758	2.420.851	2.456.012
2019	4.727.671	4.415.644	4.681.739	4.706.390	4.607.148	4.681.739
Janeiro	2.483.646	2.212.746	2.459.786	2.473.964	2.420.752	2.459.786
Fevereiro	2.244.025	2.202.898	2.221.953	2.232.426	2.186.396	2.221.953
Total AT9	29.199.671	29.198.859	28.992.465	29.299.661	28.507.713	29.091.738
Média Mês AT9	2.433.306	2.433.238	2.416.039	2.441.638	2.375.643	2.424.312

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 4 – Projeção para passageiros Isentos para 2018/2019

Projeção	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2018	171.929.850	171.801.832	182.216.538	171.826.518	171.881.769	173.674.523
Janeiro	15.196.078	12.639.325	15.689.050	15.188.327	14.177.898	15.188.327

Fevereiro	13.628.431	12.993.484	14.232.146	13.713.934	13.128.824	13.628.431
Março	14.981.162	15.355.488	15.808.921	15.161.872	14.757.424	15.161.872
Abril	14.393.907	14.744.051	15.270.675	14.576.325	14.384.432	14.576.325
Mai	14.766.245	15.245.920	15.876.085	15.081.772	14.883.116	15.081.772
Junho	14.185.923	14.216.694	14.466.414	13.676.301	14.364.058	14.216.694
Julho	14.551.329	14.417.899	15.059.592	14.167.690	14.766.479	14.551.329
Agosto	14.443.871	15.546.341	15.174.434	14.205.464	14.671.410	14.671.410
Setembro	13.873.948	14.394.282	14.816.417	13.801.358	14.099.409	14.099.409
Outubro	14.228.954	15.101.712	15.397.387	14.270.515	14.467.445	14.467.445
Novembro	13.665.964	14.189.034	15.027.491	13.857.057	13.905.606	13.905.606
Dezembro	14.014.038	12.957.602	15.397.926	14.125.903	14.275.668	14.125.903
2019	26.370.303	23.449.825	29.072.538	26.467.128	26.924.366	26.467.128
Janeiro	13.906.580	11.566.786	15.301.962	13.965.221	14.186.942	13.965.221
Fevereiro	12.463.723	11.883.039	13.770.576	12.501.907	12.737.424	12.501.907
Total AT9	169.475.644	169.618.848	181.367.880	169.391.385	171.499.413	171.324.893
Média Mês AT9	14.122.970	14.134.904	15.113.990	14.115.949	14.291.618	14.277.074

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 5 – Projeção para passageiros Pagantes para 2018/2019

O resultado das projeções para passageiros Equivalentes se encontra na Tabela 6, com algumas diferenças em relação às anteriores. A primeira delas são os dados na coluna “Real”, já que os dados reais desta categoria entre janeiro de 2018 e junho de 2018 foram disponibilizados para o estudo. Com estes dados em mãos, foi possível acrescentar a linha “2010 (6m)”, com os totais referentes aos seis primeiros meses do ano, e as linhas “Total AT9 (4m)” e “Média mês AT9 (4m)”, com totais parciais referentes aos 4 primeiros meses do ano tarifário.

Projeção	REAL	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2018 total		169.703.872	169.597.359	182.323.477	169.562.928	165.620.076	170.563.133
2018 (6m)	88.000.924	85.921.918	84.126.492	91.260.457	85.903.825	82.905.866	86.523.406
Janeiro	13.097.889	14.967.510	12.495.207	15.759.309	14.977.788	13.954.289	14.967.510
Fevereiro	12.960.374	13.428.440	12.865.605	14.335.092	13.571.932	12.856.760	13.428.440
Março	15.903.987	14.766.894	15.130.967	15.897.813	14.993.157	14.304.012	14.993.157
Abril	15.634.252	14.193.470	14.568.695	15.574.603	14.630.894	13.828.439	14.568.695
Mai	15.974.359	14.566.278	15.043.637	15.168.531	14.193.152	14.240.907	14.566.278
Junho	14.430.063	13.999.326	14.022.381	14.525.109	13.536.902	13.721.459	13.999.326
Julho		14.365.662	14.300.989	15.123.197	14.037.536	14.111.323	14.300.989
Agosto		14.265.355	15.304.533	15.266.098	14.112.541	14.041.618	14.265.355
Setembro		13.708.110	14.192.323	14.996.946	13.806.774	13.520.356	13.806.774
Outubro		14.064.739	14.895.389	15.495.345	14.206.425	13.900.099	14.206.425
Novembro		13.513.965	13.960.639	14.892.022	13.596.061	13.382.925	13.596.061
Dezembro		13.864.123	12.816.994	15.289.412	13.899.766	13.757.889	13.864.123
2019	0	26.105.047	23.314.303	29.020.007	26.215.595	25.984.663	26.105.047
Janeiro		13.763.815	11.490.337	15.228.061	13.784.775	13.686.732	13.763.815
Fevereiro		12.341.232	11.823.966	13.791.946	12.430.820	12.297.931	12.341.232
Total AT9		167.412.969	167.550.850	181.249.083	167.228.803	164.793.690	168.272.230
Média Mês AT9		13.951.081	13.962.571	15.104.090	13.935.734	13.732.808	14.022.686
Total AT9 (4m)	61.942.660	57.525.968	58.765.680	61.166.056	57.354.105	56.094.817	58.127.456
Média Mês AT9 (4m)	15.485.665	14.381.492	14.691.420	15.291.514	14.338.526	14.023.704	14.531.864

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 6 – Projeção para passageiros Equivalentes para 2018/2019

O acesso aos dados reais de passageiros Equivalentes do primeiro semestre de 2018 permitiu também o cálculo do erro da projeção, apresentado na Tabela 7. A coluna “REAL” apresenta a variação da média de passageiros em um mês com relação ao mesmo mês de 2017. Nas demais colunas, os erros das projeções, do mesmo modo como apresentado nas validações.

Erro (MAPE)	REAL	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2018 (6m)	-1,36%	-2,36%	-4,40%	3,70%	-2,38%	-5,79%	-1,68%
Janeiro	-5,89%	14,27%	-4,60%	20,32%	14,35%	6,54%	14,27%
Fevereiro	-6,18%	3,61%	-0,73%	10,61%	4,72%	-0,80%	3,61%
Março	2,97%	-7,15%	-4,86%	-0,04%	-5,73%	-10,06%	-5,73%
Abril	11,06%	-9,22%	-6,82%	-0,38%	-6,42%	-11,55%	-6,82%
Maio	-3,50%	-8,81%	-5,83%	-5,04%	-11,15%	-10,85%	-8,81%
Junho	-6,34%	-2,98%	-2,83%	0,66%	-6,19%	-4,91%	-2,98%
Julho							
Agosto							
Setembro							
Outubro							
Novembro							
Dezembro							
2019							
Janeiro							
Fevereiro							
Total AT9 (4m)		-7,13%	-5,13%	-1,25%	-7,41%	-9,44%	-6,16%

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 7 – Erros nas projeções de passageiros Equivalentes para 2018/2019

5. Análise dos resultados e conclusão

O primeiro ponto de nota é o destoante crescimento de passageiros verificado nos meses de março e abril de 2018. Um fato significativo para este dado é a greve de ônibus ocorrida em alguns dias dos meses de março e abril de 2017. Em uma análise paralela, considerando a proporção de dias de pleno funcionamento do sistema nos meses de greve e o histórico dos anos tarifários, estima-se que o mês de março registrou, na verdade, uma queda de 11,55% de passageiros Equivalentes, enquanto abril a queda de abril foi de 4,78%.

Outro destaque é que, mesmo que se considere o crescimento dos meses de março e abril como efetivo, o acumulado de 2018 é negativo em relação a 2017. Isto é, o período de janeiro a julho de 2018 registrou 1.215.021 passageiros Equivalentes a menos que 2017. Os três meses de queda acima dos 5,8% sugerem, além da tendência percebida nos anos anteriores, algum novo fator externo de influência. Uma hipótese é que a regulamentação do transporte de passageiros por meio de compartilhamento de veículos privados, realizada no município de Curitiba em julho de 2017, pode ter atraído uma parcela de usuários do transporte público.

Em geral, percebe-se nos resultados que as metodologias subestimam os meses de março e julho, e superestimam os demais meses. A diferença em relação ao real, porém, vem diminuindo a partir de junho de 2018, dando indícios de convergência da queda de passageiros Equivalentes em relação a 2017.

Categoria	Transportados					
Erros (MAPE)	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2016	4,50%	4,47%	10,93%	4,47%	12,41%	7,54%
2017	6,89%	6,85%	14,05%	6,88%	6,18%	7,53%
Média (16-17)	5,69%	5,66%	12,49%	5,68%	9,30%	7,54%

Categoria	Isentos					
Erros (MAPE)	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2016	-1,40%	-1,40%	-3,26%	-1,41%	-1,86%	-1,93%
2017	2,88%	2,88%	-0,47%	2,88%	0,59%	1,70%
Média (16-17)	0,74%	0,74%	-1,87%	0,74%	-0,64%	-0,11%
Categoria	Pagantes					
Erros (MAPE)	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2016	5,35%	5,31%	14,43%	5,34%	1,41%	5,22%
2017	7,53%	7,48%	14,29%	7,52%	6,58%	8,09%
Média (16-17)	6,44%	6,39%	14,36%	6,43%	4,00%	6,66%
Categoria	Equivalentes					
Erros (MAPE)	RLS	RLS Saz	RBF	RBT Tend	ARIMA	Híbrido
2016	3,95%	3,91%	10,20%	3,95%	14,00%	6,68%
2017	5,42%	5,38%	13,65%	5,41%	4,35%	5,52%
Média (16-17)	4,68%	4,64%	11,92%	4,68%	9,18%	6,10%
2018 (6m)	-2,36%	-4,40%	3,70%	-2,38%	-5,79%	-1,68%
AT9 (4m)	-7,13%	-5,13%	-1,25%	-7,41%	-9,44%	-6,16%

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 10 – Resumo dos erros das metodologias para cada tipo de passageiro

A Tabela 10 sumariza os erros dos métodos estudados. O método Híbrido rendeu o menor erro médio para os dados do primeiro semestre de 2018, mas nas validações, cada método teve desempenho de destaque em algum cenário específico. Os métodos de Regressão Linear e RBF com Tendência tiveram bom desempenho para os passageiros Transportados. Apenas o RBF ficou com erro acima de 1% na projeção dos Isentos, bem como o único que ficou acima de 6,7% para os passageiros Pagantes. Nesta categoria, o método ARIMA teve o melhor desempenho, com erro médio de 4%.

Pela análise dos dados e das projeções, é de se esperar que as projeções tenham erros acumulados cada vez menores, seja para o ano de 2018, seja para o período do AT9. Ou seja, espera-se que todos se aproximem dos valores reais. Neste cenário, o método Regressão Linear Simples com Sazonalidade e o método Híbrido proposto se mostram robustos para a projeção, especialmente o segundo, devido à consistência apresentada em todos os cenários testados.

Referências

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time series analysis, Forecasting and Controls*. Holden-Day, San Francisco, 1976.

HAYKIN, S. *Redes Neurais. Princípios e prática*. Porto Alegre, RS: Bookman, 2001

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. *Estatística Básica, 6a edição*. São Paulo: Saraiva, 2010.

SCARPIN, C. T. *Uma metodologia para a previsão de demanda de produtos utilizando redes neurais artificiais de funções de bases radiais modificadas e uma proposta de logística de reposição*. UFPR, 2012.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA. *Características da RIT*. Disponível em <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>. Acessado em 15/09/ 2018.