

TRANSPORTSIM: MODELAGEM E ANÁLISE DE UM SISTEMA METROVIÁRIO BASEADO EM REDES DE PETRI COLORIDAS

ANA K. T. HACHÉM¹, JOÃO V. C. MARTINS¹, C. G. FURTADO JUNIOR^{1,3}, G. C. BARROSO², J. M. SOARES³

¹Laboratório de Inovação Tecnológica - Depto de Telemática – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará . Av. 13 de Maio, 2081 – Fortaleza, Ceará, 60040-531, Brasil.

²Depto de Física - Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici
Av. Mister Hull, S/N – Fortaleza, Ceará, 60455-760, Brasil.

³Depto de Teleinformática - Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici
Av. Mister Hull, S/N – Fortaleza, Ceará, 60455-760, Brasil.

E-mails: katysombra@gmail.com, vtorcastelo.m@gmail.com,
cjunior@ifce.edu.br, gcb@fisica.ufc.br, marques@ufc.br

Abstract— The demand for trains and subways is constantly on the rise in Brazil. However, the investments in these kinds of transport are not enough to address this crescent demand of passengers. In this context, this article presents by Coulored Petri Nets the TransportSim, a parametric model for representation and analysis of real railway/subway systems. The TransportSim can be used, for example, for planning and improvement of these transports. For the model validation two simulation scenarios were proposed and analyzed along with two passenger flows simulation for the west line of Fortaleza subway – Metrofor. The scenarios seek to determine if the number of trains available is sufficient to meet the demand of users. The results suggest that the number of trains available in the first scenario is not sufficient to meet the passengers demand and they indicate that trains should be able to transport 1200 passengers to meet the demand of the west line of Metrofor.

Keywords— Trains, Subway, Passenger Demand, Coloured Petri Net, Public Transportation

Resumo— Trens e metrô são meios de transporte em ascensão no Brasil. Entretanto, os investimentos realizados nesses tipos de transportes públicos não conseguem acompanhar a crescente demanda de passageiros. Nesse contexto, este trabalho apresenta por Redes de Petri Coloridas o TransportSim, um modelo paramétrico para representação e análise de sistemas de transportes ferroviários/metroviários reais. O uso do TransportSim pode ser útil, por exemplo, para o planejamento e melhoria desses sistemas de transporte em massa. Para validação do modelo, foram propostos e analisados dois cenários de simulação de fluxo de passageiros para a linha oeste do metrô de Fortaleza – Metrofor. Os cenários buscam determinar se a capacidade de trens disponibilizados é suficiente para atender a demanda dos usuários. Os resultados sugerem que a capacidade de trens disponibilizados no primeiro cenário está subdimensionada para atender a demanda de passageiros e propõe trens com capacidade para 1200 passageiros para suprir a demanda da linha oeste do Metrofor.

Palavras-chave— Trens, Metrô, Transporte público, Rede de Petri Colorida.

1 Introdução

Trens e metrô foram responsáveis pelo transporte de 2,9 bilhões de passageiros, em todo Brasil, no ano de 2014. Esse número representa um aumento de 4,4% em comparação a 2013, quando os passageiros atendidos por esses modais somaram 2,7 bilhões (Ampitrilhos, 2014/2015).

Entretanto, a crescente demanda por esse meio de transporte não condiz com os investimentos realizados para a melhoria do serviço. Esses investimentos deveriam viabilizar, por exemplo, a expansão da malha ferroviária/metroviária e a aquisição de trens com diferentes capacidades de passageiros.

Para melhorar a qualidade dos serviços prestados, aumentar o conforto dos passageiros, diminuir custos e auxiliar em um crescimento inteligente e ordenado dos serviços de transportes ferroviários/metroviários, são necessários mecanismos que permitam a reconstrução e o entendimento desses

sistemas de forma global. A partir daí, é possível realizar estudos e determinar, por exemplo, o intervalo entre trens (t) com capacidade máxima (m) em horários de pico ou de menor fluxo, necessário para suprir a demanda de passageiros de uma linha de metrô.

Visando à identificação dos principais pontos de falha e possibilitar a otimização de investimentos em sistemas de transporte ferroviários/metroviários, este trabalho apresenta o TransportSim, um modelo paramétrico, modular e desenvolvido por redes de Petri Coloridas (RPC), cujo objetivo é permitir a representação de cenários de simulação de transportes ferroviários/metroviários e possibilitar a análise do sistema de transporte modelado. A adoção do TransportSim pode ajudar no incremento de indicadores de qualidade e desempenho dos serviços ofertados. Dentre outras coisas, com o TransportSim é possível prever os impactos em possíveis mudanças na malha ferroviária/metroviária, bem como intercorrências

causadas por situações atípicas, como, por exemplo, atrasos de trens.

No TransportSim, diversos cenários de simulação podem ser construídos apenas pelo reordenamento de módulos. Para descrever funções de embarque/desembarque de passageiros e intervalos entre trens, está disponível uma Interface de Extensões Java (IEJ), a mesma disponibilizada no CacheSim (Furtado Junior, Soares e Barroso 2015).

Ao final de cada simulação, dados estatísticos e gráficos pré-determinados são disponibilizados pelo TransportSim. Para a validação da ferramenta, foi modelada a linha oeste do metrô de Fortaleza (Metrôfor). Diferentes condições de funcionamento, incluindo diferentes fluxos de pessoas, intervalos entre trens e situações atípicas foram analisadas. Os resultados são apresentados na Seção 5.

Assim, este documento está estruturado da seguinte maneira: após a introdução realizada nesta seção, os trabalhos relacionados são apresentados na Seção 2. Na Seção 3 é apresentado o modelo TransportSim. Na Seção 4 são apresentados os cenários de testes adotados para validação deste trabalho. Os resultados obtidos são apresentados na Seção 5. Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 6.

2 Trabalhos Relacionados

Castelain e Mesghouni (2002) apresentam um modelo de uma rede de transporte multimodal, baseada em Redes de Petri de alto nível, capaz de representar o comportamento de meios de transporte e seus passageiros. Contudo, no trabalho de Castelain e Mesghouni, não é possível realizar análises acerca dos tempos de interesse, tais quais horários de pico ou horários de menor fluxo de passageiros. Além disso, o modelo não leva em consideração distúrbios que possam alterar o fluxo regular dos meios de transporte, como atrasos ou greves.

O simulador *Passanger Flow Simulation* (PFS) (Wang et al., 2008) reproduz o fluxo de passageiros em aeroportos e tem como objetivo estimar o impacto causado por cancelamentos de voos, atrasos e conexões perdidas na viagem. Ele possui uma interface que permite ao usuário indicar parâmetros ao modelo RPC e programar o algoritmo utilizado para simular o fluxo de passageiros. A estrutura do PFS é fixa e modelada apenas para o sistema aeroviário dos Estados Unidos. De maneira semelhante ao PFS, o TransportSim possui uma interface de programação Java que permite ao usuário especificar as funções de embarque e desembarque de passageiros, mesmo sem conhecer o formalismo das RPC.

O trabalho de Yamada et al. (2013) permite a geração automática de modelos de RPC, que representam sistemas de transporte ferroviário/metroviário, a partir da marcação de pontos em um mapa. Entretanto, as estações, tratadas como pontos do mapa, são interconectadas por retas. Isso impede que a distância

real entre duas estações seja representada. Além disso, não podem ser representadas estações com entroncamento entre linhas. Semelhante à proposta de Castelain e Mesghouni, o trabalho de Yamada et al. possui o fluxo de passageiros e o intervalo entre trens constantes. Novamente, isso impede a realização de análises em horários específicos.

Diferente dos trabalhos relacionados apresentados nesta seção, o TransportSim permite que sejam gerados fluxos de passageiros e de trens que variam no tempo, permitindo gerar cenários que representam situações específicas, tais quais horário de pico, horário com menor fluxo ou retomada de operações após uma greve dos funcionários do metrô. Além disso, ao contrário do que acontece em Yamada et al., no TransportSim é possível representar a distância real entre duas estações de embarque/desembarque. Em adição, estações com entroncamento de linhas podem facilmente ser representadas. Por fim, embora o TransportSim tenha sido inicialmente concebido para representar sistemas de transportes ferroviários/metroviários, os módulos e funções em RPC podem ser facilmente adaptados para lidar com outros sistemas de transporte.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as características dos trabalhos apresentados na seção 2 e o TransportSim.

Tabela 1. Comparação: Trabalhos relacionados x TransportSim

	Castelain e Mesghouni	Wang	Yamada	Transport-Sim
Entrada de Dados Simplificada	Não	Não	Sim	Sim
Permite análise de horários específicos	Não	Não	Não	Sim
Interface de interação com usuário leigo	Não	Sim	Não	Sim
Fácil adaptação para outros sistemas de transporte	Não	Não	Não	Sim

3 Descrição do TransportSim

Visando dar flexibilidade à construção de cenários de simulação com TransportSim, esse foi construído a partir de uma abordagem modular. Cada módulo representa uma característica do sistema de transporte e é constituído por redes independentes, que podem ser agrupadas para representação de cenários diversos.

Para simular a linha oeste do metrô de Fortaleza, foram utilizados três módulos: “Gerador_Trem”, “Estação” e “Plataforma”.

O primeiro módulo, “Gerador_Trem”, é responsável por instanciar os trens que serão utilizados durante uma simulação. Após essa etapa, os trens devem se deslocar por estações, instanciadas pelo módulo “Estação”. Por fim, o módulo “Plataforma” define o relacionamento entre duas ou mais estações.

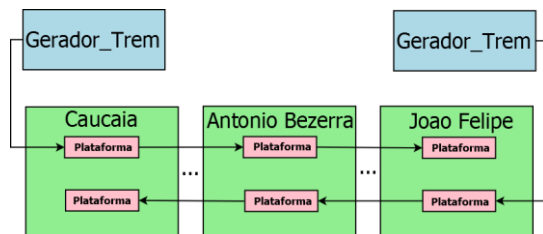


Figura 1. Relação entre os módulos do TransportSim

A Figura 1 apresenta o relacionamento dos módulos do modelo. Nas subseções seguintes, são apresentados com maiores detalhes os módulos “Gerador_Trem”, “Estação” e “Plataforma”.

2.1 Módulo Gerador_Trem

O módulo “Gerador_Trem” tem como funcionalidade enviar trens para o modelo, respeitando um intervalo de tempo definido. Assim, é essencial para cada linha ativa do sistema de transporte simulado a manutenção deste módulo.

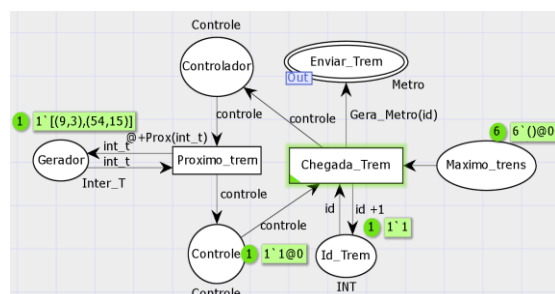


Figura 2. Módulo Gerador_Trem

O lugar “Maximo_Trens” indica a quantidade de trens disponíveis para atuar em uma linha. Cada um desses trens tem um identificador único, definido pela ficha do lugar “Id_Trem”. Os lugares “Controlador” e “Controle”, junto com a transição “Proximo_Trem”, definem o intervalo de tempo entre os trens. Uma ficha no lugar “Gerador” define o intervalo entre trens de uma linha. Fichas do tipo “Inter_T” são do tipo lista. Cada elemento da lista é composto pelo produto de dois inteiros. O primeiro indica um intervalo de tempo simulado, enquanto o segundo indica o intervalo entre partidas de trens.

No exemplo da Figura 2 está o intervalo de 0 a 9 trens, que serão gerados a cada três unidades de tempo, enquanto que no intervalo 9 a 54 eles estarão disponíveis a cada 15 unidades de tempo. Essa característica permite que sejam analisadas situações temporais específicas ao longo de uma simulação, como,

por exemplo, horários com grande número de passageiros e poucos trens, devido a um estado de greve de funcionários do metrô.

A transição “Chegada_Trem” é responsável pela criação de uma ficha do tipo “trem”. Fichas desse tipo representam por completo um veículo dessa natureza e contêm os seguintes atributos: identificador único, capacidade máxima, número de passageiros e velocidade média por trecho.

Por fim, o lugar “Enviar_Trem” é responsável por disponibilizar um trem para o módulo seguinte, o módulo “Estacao”.

2.2 Módulo Estação

O módulo “Estação”, apresentado na Figura 3, representa o sentido percorrido pelos trens, durante o percurso de ida (estação inicial → estação final) e volta (estação final → estação inicial).

O lugar “Entrada de Trens*” representa a entrada de um metrô na plataforma. As transições “Plataforma Conexão” indicam que o metrô está em uma plataforma, aguardando embarque e desembarque de passageiros. Por fim, o lugar “Saída de trens*” modela a saída dos trens da estação logo após o embarque e desembarque feitos na plataforma.

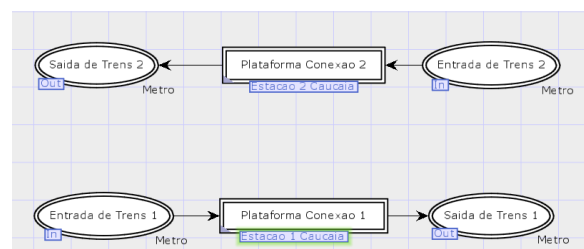


Figura 3. Módulo Estação

Diante do exposto, é possível observar que a Estação apresentada na Figura 3 é composta por duas linhas em sentidos opostos.

2.3 Módulo Plataforma

O módulo “Plataforma”, apresentado na Figura 4, descreve o embarque e desembarque de passageiros quando o trem chega à estação.

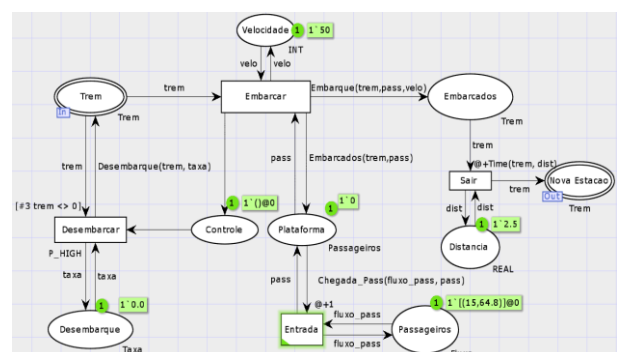


Figura 4. Módulo Plataforma

O lugar “Trem” representa a chegada de um trem na plataforma. No TransportSim, primeiro ocorre o

desembarque e, posteriormente, o embarque. Isso acontece para que seja possível calcular quantos passageiros cada trem comporta ao final de cada desembarque.

Cada plataforma possui uma taxa de desembarque e um fluxo de passageiros que podem variar dependendo do horário. O lugar “Desembarque” recebe fichas do tipo “taxa”, que representa a média de passageiros que desembarcam nessa estação por trem.

A transição “Desembarcar” é responsável por modelar o desembarque de passageiros de um trem, levando em consideração a média de desembarque na estação. Uma função de Poisson indica quantos passageiros devem desembarcar do trem. O lugar “Controle” é responsável por habilitar o embarque de passageiros imediatamente após o desembarque.

O lugar “Passageiro”, junto com a transição “Entrada”, simula o fluxo de passageiros na plataforma. O lugar “Passageiros” recebe fichas do tipo “fluxo”, que são do tipo lista. Cada elemento dessa lista é composto pelo produto $INT * Real$. Esses atributos representam um intervalo de tempo na rede e a média de passageiros que chegam à estação, respectivamente.

Como podemos observar na Figura 4, o lugar “Passageiros”, que possui a ficha [(15, 64.8)] juntamente com a transição “Entrada”, que tem custo de uma unidade de tempo (@+1), indica que do tempo 0 ao tempo 15 da rede chegam em média na estação 64.8 passageiros por unidade de tempo. Desse modo, podemos simular diferentes fluxos de passageiros no modelo.

A transição “Entrada” é responsável por gerar um determinado número de passageiros na estação, utilizando a “Media_Passageiros”. Esta transição utiliza uma função de Poisson para indicar o número de passageiros que entraram na estação. Cabe salientar que, embora para essa simulação tenha sido utilizada uma função de Poisson, a utilização de outras funções de distribuição é possível.

O lugar “Plataforma” recebe fichas do tipo Passageiros: INT e representa os passageiros que esperam por um trem. A cada disparo da transição “Entrada” e da transição “Embarcar”, é atualizado o número de passageiros que estão esperando na plataforma.

A transição “Embarcar” é responsável por modelar o embarque de passageiros e atribuir a velocidade média do trecho ao trem. O disparo dessa transição coloca fichas no lugar “Embarcados”.

O lugar “Embarcados” modela o trem após o embarque de passageiros e o lugar “Distância” indica a distância entre a estação atual e a próxima estação. A transição “Saída” envia uma ficha do tipo “trem” para a próxima estação da rede. Essa transição é temporizada e o tempo depende da velocidade média no trecho e da distância entre as estações. O lugar “Nova Estação” faz a conexão entre a estação atual e a próxima.

3 Cenário de Teste

O cenário de testes é composto por duas etapas. Na primeira, é gerada uma situação onde o serviço do metrô é incapaz de atender à demanda diária de passageiros. Na segunda, é proposta e avaliada uma solução para o problema definido no cenário anterior.

Ao final dos testes, é realizada uma análise elencando os prós e contras das situações encontradas em cada um dos cenários de testes.

Para construir os cenários de simulação, foram utilizados como base os dados obtidos da linha oeste do Metrofor, no sentido da estação Caucaia para a estação João Felipe.

O deslocamento de um metrô entre as estações acontece seguindo a *timetable* disponível no site do Metrofor (Metrofor, 2015). Os horários entre 5:30h - 8:30h e 16:00h - 18:15h são considerados horários de pico. Nesses horários, existe um intervalo de 45 minutos entre cada trem. Os horários entre 9:30h - 11:00h e 12:30h - 16:00h são os horários de demanda mínima. Nesse caso, o intervalo entre trens é de 1:45 horas. Nos demais horários, os trens são disponibilizados com intervalos de sessenta ou noventa minutos. Além disso, no horário entre 11:00h e 12:30h, o metrô não opera.

Devido à carência de informações sobre o fluxo de passageiros e à dificuldade de comunicação com a administração do Metrofor, a informação sobre número de passageiros e média de embarque/desembarque foi arbitrariamente definida.

O fluxo de passageiros adotado para os cenários de simulação é apresentado na Tabela 2 e varia de acordo com horário. A estação João Felipe é excluída da tabela, pois é considerada como a estação final do metrô e nela não há embarque.

Tabela 2. Fluxo de passageiros por horário de serviço

Estações	Horário Pico	Demanda Normal	Demanda Mínima
Caucaia	10.0	6.5	3.0
Araturi	6.10	1.8	1.5
Jurema	3.8	2.2	1.0
Conj.Ceará	5.8	2.45	1.0
P. Albano	4.8	2.0	1.5
São Miguel	4.0	1.5	0.9
A. Bezerra	6.0	2.0	0.5
P. Andrade	3.0	1.0	0.8
Á. Wayne	1.0	0.8	0.5

Sendo a linha oeste do Metrofor bastante requisitada, utilizou-se uma média de desembarque baixa em algumas estações, aumentando ainda mais a demanda pelo serviço.

Cada estação possui um número médio de passageiros que desembarcam por trem. Para essa simulação, foi utilizada a média de desembarque apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Média de Desembarque por trem

Estações	Média de Desembarque
Caucaia	0,0
Araturi	20,0
Jurema	35,0
Conj.Ceará	55,0
P. Albano	39,0
São Miguel	74,0
A. Bezerra	55,0
P. Andrade	100,0
Á. Wayne	112,0

A diferença entre o cenário de simulação 1 e cenário de simulação dois está no número de passageiros que um trem comporta. No primeiro cenário, os trens têm capacidade de 900 passageiros. No segundo, esses têm capacidade para 1200 passageiros. Ao final de cada simulação, são extraídas as seguintes métricas: número médio de passageiros atendidos, número médio de passageiros não atendidos e o nível de ociosidade do trem ao chegar à estação final.

4 Resultados Obtidos

As subseções seguintes apresentam os resultados obtidos para cenários com trens com capacidade para 900 e 1200 passageiros, respectivamente.

4.1 Simulação com trens de 900 passageiros

A Tabela 4 apresenta a média dos passageiros atendidos pelo Metrofor quando são utilizados trens com capacidade máxima de 900 passageiros. Por questões de confiança, cada simulação foi realizada trinta e três vezes.

Tabela 4. Média de passageiros atendidos - Trens com capacidade de 900 passageiros

Estações	Média de passageiros embarcados
Caucaia	5028.21
Araturi	2699.18
Jurema	1769.27
Conj.Ceará	2501.81
P. Albano	1766.90
São Miguel	1421.06
A. Bezerra	1656.12
P. Andrade	1259.60
Á. Wayne	513.54
Total Atendidos	18615.73

Analisando a Tabela 4, é possível concluir que, embora algumas estações possuam um maior fluxo de passageiros, a média de passageiros atendidos é menor se comparada com estações anteriores. Isso se dá pelo fato de, ao chegar a essas estações, os trens já se encontrarem perto de sua capacidade máxima, devido à alta demanda de passageiros acumulada nas estações anteriores.

A alta demanda de passageiros somada à baixa frequência de trens criou um cenário cheio de gargalos. A Tabela 5 apresenta o número de passageiros não atendidos pelo metrô.

Tabela 5. Média de passageiros não atendidos.

Estações	Média de passageiros não atendidos
Caucaia	0.00
Araturi	0.00
Jurema	0.00
Conj.Ceará	1.09
P. Albano	382.54
São Miguel	315.57
A. Bezerra	722.48
P. Andrade	17.09
Á. Wayne	0.00
Total Não Atendidos	1438.78

Pode-se observar, pela Tabela 5, que as estações Parque Albano, São Miguel e Antônio Bezerra possuem as maiores concentrações de passageiros não atendidos. Essas estações possuem um grande fluxo de passageiros. Contudo, estações como Araturi e Caucaia, que possuem as maiores demandas, não possuem passageiros não atendidos. O problema nessas estações está associado não somente à demanda de passageiros, mas também à média de desembarque e à capacidade dos trens. Com isso, pode-se concluir que uma estação que possui uma demanda de passageiros alta pode criar uma alta espera nas estações posteriores.

Ressaltamos ainda que a estação João Felipe, por se localizar no centro da cidade, possui uma alta demanda de passageiros. A Tabela 6 apresenta a média de passageiros por trem que chega à estação João Felipe e o percentual da capacidade utilizada pelo trem.

Tabela 6. Número de passageiros utilizando o trem

Trem	Média de passageiros por trem	% de utilização do trem
1	333.66	37.07
2	834.51	92.72
3	834.90	92.76
4	832.90	92.54
5	825.90	91.76
6	811.00	90.11
7	813.57	90.39
8	747.75	83.08
9	472.54	52.50
10	838.42	93.15
11	833.96	92.66
12	829.78	92.19
13	825.42	91.71
14	842.75	93.63
15	784.66	87.18

Os trens com identificação 8 e 9 funcionam no horário de demanda mínima. Contudo, o trem 8 chega à estação João Felipe com mais de 84% de sua capacidade máxima e o trem 9 com mais de 45%, o que ainda é alto se comparado com a demanda de passageiros nesse horário. Portanto, pode-se concluir que a maioria dos passageiros presentes nos trens 8 e 9 são passageiros ainda remanescentes de outros horários. Pode-se observar também que, embora o trem 9 chegue à estação com menos de 50% de sua capacidade máxima, o trem 10 chega com mais de 92%. Isso acontece por que o trem 10 opera em horário de pico.

Com base nos testes, é possível concluir que, se o Metrofor operar sob as circunstâncias impostas nesse caso de teste, o metrô não é apto a atender toda a demanda de passageiros.

Uma possível solução para o problema da alta demanda de passageiros seria aumentar a frota de trens e a frequência com que eles passam na estação. A seguir, são apresentados os resultados para simulações com trens com capacidade máxima de 1200 passageiros.

4.2 Simulação com trens de 1200 passageiros

Para a segunda fase do teste, foram utilizados trens que possuem a capacidade máxima de 1200 passageiros. A demanda de passageiros por estação, assim como a média de desembarque e o horário dos trens, foi mantida. Novamente, foi realizado um total de 33 simulações para esse cenário.

A Tabela 7 representa o número médio de passageiros atendidos no cenário 2.

Tabela 7. Média de passageiros atendidos - Trens com capacidade de 1200 passageiros

Estações	Média de passageiros embarcados
Caucaia	5001.93
Araturi	2684.72
Jurema	1773.09
Conj. Ceará	2495.87
P. Albano	2171.72
São Miguel	1741.33
A. Bezerra	2377.03
P. Andrade	1305.33
Á. Wayne	515.51
Total Atendidos	20066.58

Diferente da Tabela 4, na Tabela 7 as estações que possuem uma maior demanda tiveram um maior número de passageiros atendidos.

Devido à maior capacidade dos trens, o atendimento aos passageiros foi melhorado. A solução se mostrou eficaz em 32 das 33 simulações realizadas. Contudo, em uma das simulações, 43 passageiros da estação Antônio Bezerra não conseguiram utilizar o serviço. Analisando esse caso em específico, pode-se

concluir que as demandas de passageiros acima da média, aliadas à baixa taxa de desembarque nas estações anteriores, foram responsáveis pela ineficiência do serviço nesse caso.

A Tabela 8 apresenta o número médio de passageiros presentes em cada trem ao chegar à plataforma João Felipe e a porcentagem da capacidade utilizada pelo trem de 1200 passageiros (máximo).

Tabela 8. Número de passageiros utilizando o trem

Trem	Média de passageiros por trem	Porcentagem
1	328.75	27.39
2	1134.45	94.53
3	1133.81	94.48
4	1131.36	94.28
5	1126.66	93.88
6	1093.60	91.13
7	565.33	47.11
8	196.84	16.40
9	1.18	0.09
10	913.72	76.14
11	1130.39	94.19
12	1131.87	94.32
13	1120.18	93.34
14	1142.75	95.22
15	686.33	57.194

Observa-se que, nessa configuração, o trem 9 fica praticamente vazio, devido à baixa demanda de passageiros naquele horário.

Embora a solução proposta por este trabalho seja viável, a ociosidade do trem 9 pode causar prejuízos para a prefeitura de Fortaleza. Uma solução mais adequada é, por exemplo, a adoção de trens com capacidades diferentes de acordo com os horários. Trens de 1200 passageiros devem ser usados nos horários de pico, enquanto trens de 900 passageiros devem ser utilizados em horários de menor fluxo de passageiros. A seguir são apresentadas as conclusões.

5 Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado o TransportSim, um modelo paramétrico, construído por Redes de Petri Coloridas, para representação e análise de sistemas de transportes ferroviários/metroviários reais.

Para facilitar a operação com usuários sem conhecimento do formalismo das RPC, foi disponibilizada uma interface de extensões Java. Nela é possível implementar diversas funções, tais como embarque e desembarque de passageiros.

Diferente do apresentado nos trabalhos relacionados, o TransportSim permite que sejam gerados fluxos de passageiros e de trens que variam no tempo, permitindo gerar cenários que representam situações específicas, tais quais horário de pico, horário com menor fluxo ou retomada de operações após uma greve dos funcionários do metrô.

Para validação da proposta, foram descritos dois cenários de simulação. No primeiro, foi detectado que trens com capacidade de 900 passageiros são insuficientes para atender a demanda apresentada. Trens com capacidade superior, de 1200 passageiros, são suficientes, entretanto ficariam ociosos em alguns horários. Assim, sugere-se uma solução mista, na qual trens de maior capacidade sejam usados apenas em horários de pico.

Agradecimentos

Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados do projeto de pesquisa 468835/2014-8 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), denominado “Uma plataforma distribuída para a modelagem colaborativa, simulação de alto desempenho e análise de sistemas híbridos”. Agradecemos ao suporte e incentivo do CNPq.

Referências Bibliográficas

- Anprilhos 2014/2015, “Balanço do setor metroviário 2014/2015”, disponível em: http://anprilhos.org.br/wp-content/uploads/2015/04/Imprensa-Balanco_ANPTrilhos.pdf. Acesso em: 28/07/2015.
- Castelain, E.; Mesghouni, K. (2002). “Regulation of a Public Transport Network with Consideration of the Passenger Flow: Modeling of the System with High-Level Petri Nets”. In. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 6.
- Furtado Júnior, C.G.; Soares, J.M; Barroso G.C. (2015). “CacheSIM: A Web Cache Simulator Tool Based on Coloured Petri Nets and Java Programming”. Submitted to IEEE Latin America Transaction, Vol. 13, No. 5.
- Metrofor 2015, “Timetable Metrofor”, disponível em: <http://www.metrofor.ce.gov.br/images/stories/Menu-Servicos/horario-passagens-linha-oeste-2015-03-16.pdf>. Acesso em: 23/08/2016.
- Wang, D., L. Sherry, G. Donohue, and B. Hackney. (2008). "Passenger Flow Simulation (PFS) In A Complex Networked Transportation System". Submitted to International Conference on Research in Air Transportation.
- Yamada, C.K, et al. (2013). “Modelagem da Rede de Trens Urbanos Em Rede de Petri Utilizando o Google Maps ”. In. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI).