VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE OTIMIZAÇÃO DE MEDIDAS ATFM

Giovanna Ono Koroishi
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1061, gkoroishi@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

Fábio Joás de Carvalho Oliveira
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1061, fcoliveira@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

José Airton Patricio
Atech Negócios em Tecnologia S/A
Rua do Rócio 313, 5º andar, São Paulo/SP, Brasil
Telefone: +55 11 3103-4600 ext. 1293, jpatricio@atech.com.br, Fax: +55 11 3103-4601

RESUMO

Sistemas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM, *Air Traffic Flow Management*) utilizam programas que ajustam a demanda de voos às capacidades dos elementos regulados. A natureza interconectada dos elementos regulados demanda uma abordagem abrangente para atingir seu uso ótimo. Uma visão de contexto do espaço aéreo permite que sejam tomadas as melhores decisões, com adoção das medidas ATFM mais eficientes disponíveis. Para tanto, foi desenvolvida uma interface web para aprimorar a compreensão do cenário ao propor uma representação temporal com informações das demandas instantâneas e médias de cada setor através de gráficos em radar, além da representação da ocupação dos aeródromos. É possível filtrar os elementos para análise e também editar o cenário alterando-se parâmetros para simulação.

Palavras-chave: Medidas ATFM, Visualização de dados, Otimização, Pesquisa operacional, Interface web.

1. INTRODUÇÃO

A organização *Airports Council International* em relatório publicado em 2016, apontou um crescimento global de 6,5% no tráfego de passageiros e 4% no transporte de carga em relação ao ano anterior, totalizando 7,7 bilhões de passageiros e 110,3 milhões de toneladas transportadas (*Airports Council International*, 2018). Estima-se que, entre o período de 2016 e 2040, haja uma taxa média anual de 4,5% de crescimento no transporte de passageiros no mundo. Esse aumento, segundo o estudo, será acompanhado por um crescimento anual de 2,5% no transporte de carga. No Brasil, a previsão é que até 2037 haja um crescimento de 84,6% nos aeroportos sistêmicos (aeroportos que atendem as capitais) e de aproximadamente 104% nos aeroportos regionais (Ministério dos Transportes, 2017).

O aumento da competição pelo uso do espaço aéreo, de capacidade limitada, leva a cenários com ainda mais saturação dos elementos regulados e fluxos mais complexos, nos quais a alteração de um único parâmetro em um voo pode impactar a demanda de vários elementos regulados do espaço aéreo. A análise de cenários desse tipo demanda o uso de ferramentas mais sofisticadas que permitam ao usuário uma noção do comportamento do problema enquanto um sistema e o apoiem para a definição de um planejamento adequado do tráfego.

O suporte ao planejamento do fluxo aéreo é parte do Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo (ATFM), que tem o objetivo de contribuir para a segurança, eficiência e sustentabilidade ambiental do tráfego aéreo levando em conta demandas e capacidades do espaço aéreo em fase pré-voo (ICAO, 2016).

Os elementos do espaço aéreo cujas capacidades são conhecidas são chamados de elementos regulados e podem ser, por exemplo, aeródromos, fixos e setores. Tais elementos podem sofrer conflitos (duas aeronaves desejando ocupar a mesma pista em um mesmo instante) e saturações (capacidade do elemento regulado excedida).

Para que a demanda seja adequada à capacidade dos elementos regulados, medidas ATFM são aplicadas aos voos. Essas medidas podem ser, por exemplo, atraso na decolagem, atraso em voo, rerroteamento e, entre outras, alteração de velocidade e são aplicadas após um processo de tomada de decisão colaborativa.

Enquanto suficiente para o estudo de demanda em um único elemento regulado, formatos de visualização como o da figura 1 dificultam a interpretação completa do problema estudado e das consequências sofridas como resultado da aplicação de alguma medida ATFM, impondo obstáculos ao planejamento eficiente do uso do espaço aéreo. Ressalta-se que, na figura 1, o gráfico exibe os dados de apenas um aeródromo, para visualizar dados de outro aeródromo, é necessário fazer outra consulta a outro gráfico.

A necessidade de se ter uma visão de contexto do espaço aéreo de modo que as decisões de gestão do tráfego aéreo tomadas signifiquem a adoção das medidas ATFM mais eficientes disponíveis foi o motivador deste trabalho.

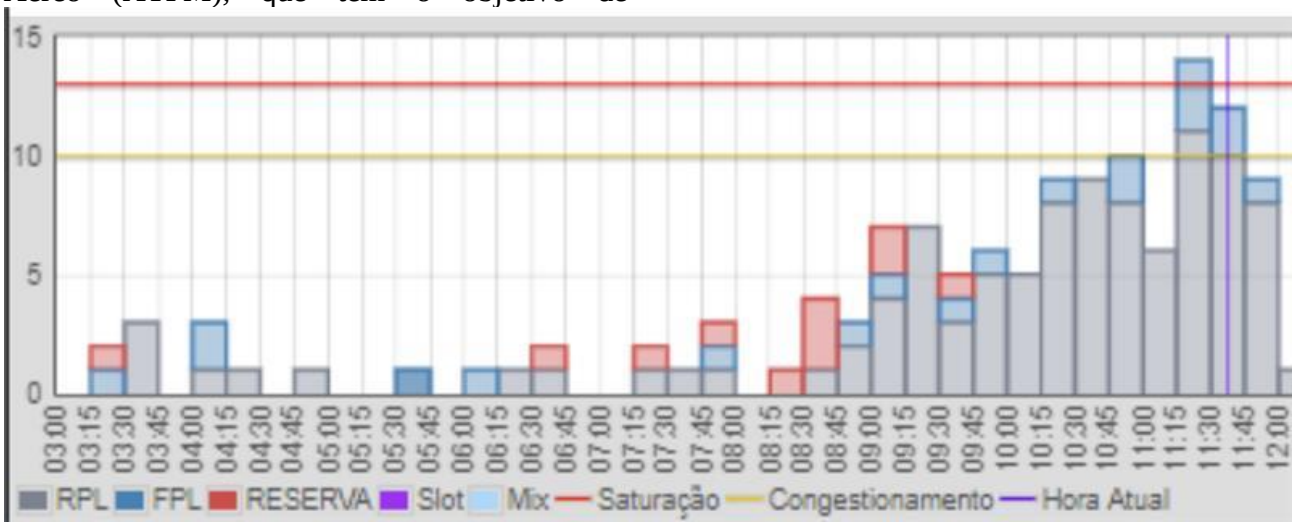


Figura 1: Visualização tradicional de ocupação de um aeródromo. Fonte: Portal CGNA (CGNA, 2019)

Em seu trabalho *"Visualization and Optimization"* (Jones, 1994), Christopher V. Jones afirma que a representação apropriada de um problema deve valorizar o processo de construção, validação e entendimento de modelos, algoritmos, dados e soluções e que ela deve ressaltar os elementos principais da solução, sendo tão importante quanto o algoritmo que resolve o problema. Além disso, afirma que pode ser necessário explorar de que maneira a solução ótima é afetada por alterações nos dados.

De fato, durante o desenvolvimento do projeto de otimização de medidas ATFM para múltiplos elementos regulados (Koroishi, G.O., Martins, T.C., Oliveira, F.J.C., 2018), que implementou uma solução de otimização global com restrições de capacidade de setores e aeródromos, a forma de visualização existente não deixava clara a natureza interconectada do problema e não viabilizava de forma prática a edição de parâmetros do problema nas soluções ótimas já existentes, o que trouxe dificuldades na interpretação e verificação dos resultados obtidos.

A necessidade de se gerar rapidamente mais dados simulados para verificar a implementação da solução de otimização, levou, portanto, ao desenvolvimento de uma interface gráfica que permitisse tanto a visualização temporal simultânea de vários elementos regulados quanto a edição de soluções ótimas. Dessa forma, a ferramenta de visualização proposta tem a vantagem de ser não somente uma ferramenta de visualização de dados, mas também uma forma rápida e intuitiva de se editar os cenários existentes e de se avaliar de que forma os resultados dessas edições contribuem na demanda de cada elemento regulado.

O uso da ferramenta como um método de entrada de dados e modelagem do problema permite que o usuário tenha uma melhor noção das consequências que algumas alterações no cenário analisado podem trazer ao contexto como um todo para que possa, então, embasar sua decisão.

Este trabalho apresenta uma solução proposta e implementada para visualização dos dados e dos resultados da ferramenta de otimização. O artigo apresenta a metodologia do trabalho no item 2, com o detalhamento do modelo, do solver e do servidor de otimização, para a apresentação da solução de visualização concebida. Os resultados obtidos são expostos no item 3 e no item 4 são discutidas as conclusões e trabalhos futuros

2. METODOLOGIA

A solução de otimização de medidas ATFM foi implementada com uma perspectiva orientada à modularização entre servidor web, modelo do problema e solver. Com foco em manter a proposta de um servidor de otimizações genérico, o processamento para visualização dos dados de resposta do serviço de otimização é implementado no módulo de visualização e sua construção depende do modelo empregado. Essa abordagem visa facilitar o reuso de componentes problemas de domínios diferentes do originalmente aplicado. Assim, cada módulo do sistema completo pôde ser implementado na linguagem mais apropriada para seu objetivo.

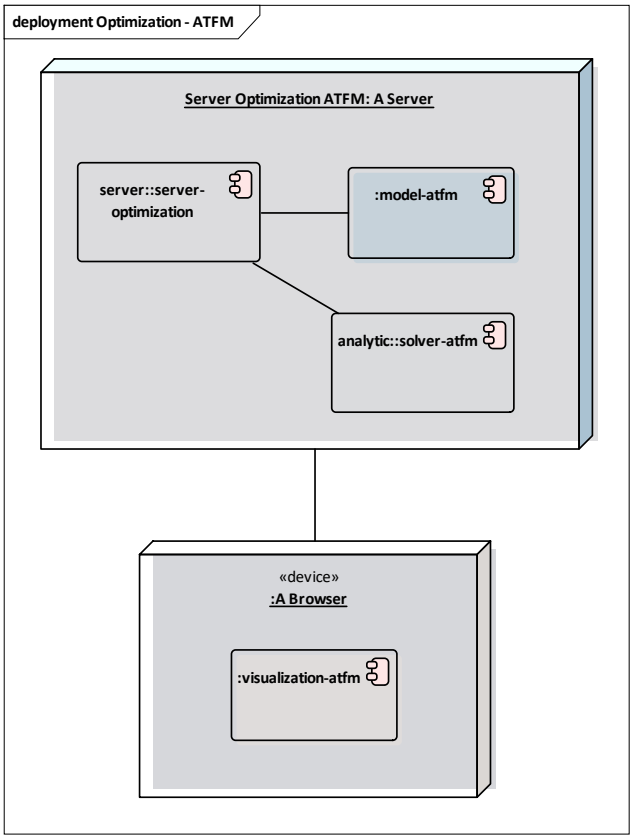


Figura 2 – Diagrama dos componentes da solução de otimização ATFM

2.1. Modelo

Para a solução do problema de otimização de medidas ATFM, foi adotado um modelo de programação linear inteira. O modelo busca minimizar os atrasos aplicados nos voos e privilegia atrasos em solo a atrasos em ar. São restrições do problema as capacidades de aeródromos e de setores de controle, máximos atrasos por voo e a existência de voos isentos (não podem sofrer atrasos) (Koroishi, G.O., Martins, T.C., Oliveira, F.J.C., 2018).

É responsabilidade da implementação do modelo a validação dos dados de entrada e as transcrições dos dados de entrada do servidor para o formato LP (*Linear Programming*) (IBM, 2018) e da saída do solver para o formato de resposta do servidor. O módulo implementado para a solução de otimização de medidas ATFM adotou linguagem Java e se comunica com o servidor através de *web-services*.

2.2. Solver

O módulo de solução do problema, implementado em C++, emprega o método *Branch and Cut* implementado pela biblioteca Cbc (*Coin-or Branch and cut*), que faz parte da suíte de pesquisa operacional COIN-OR (*Computational Infrastructure for Operations Research*) (Forrest, Lougee-Heimer, 2005).

2.3. Servidor

O servidor implementado em Java é uma solução agnóstica com capacidades de processamento assíncrono, acompanhamento e cancelamento das tarefas solicitadas. A comunicação é feita por meio de serviços REST (*Representational State Transfer*) (Fielding, 2000), sendo a descrição do problema feita por JSON (*JavaScript Object Notation*) (Json, 2019).

Os *endpoints* disponíveis no servidor permitem as seguintes operações: otimização a partir de um modelo descrito em JSON, construção de um modelo LP a partir de um modelo descrito em JSON e solução direta de um arquivo LP.

2.4. Solução de visualização ATFM

A visualização e a edição dos cenários ATFM se dá por meio de uma aplicação web implementada nas linguagens JavaScript, HTML5 e CSS3, que são recursos suportados pelos navegadores web modernos mais utilizados (W3Schools, 2019a), (W3Schools, 2019b), (W3Schools, 2019c). Para auxiliar na geração dos gráficos, foi utilizada a biblioteca Highcharts (Highsoft, 2019). Essa ferramenta foi desenvolvida em JavaScript e possibilita a geração de gráficos de diversos tipos, tais como gráficos em barras, pizza ou radar. Esses itens podem ser customizados de acordo com a necessidade da aplicação para melhor representar o tipo de dado que se deseja. Dentre as personalizações possíveis, estão propriedades como cores utilizadas, nomes dos eixos, zoom e granularidade dos dados.

A aplicação de visualização se conecta ao servidor de otimização para consumir os dados a serem processados e mostrados na interface gráfica. Os dados fornecidos pelo servidor à aplicação devem conter as informações a respeito do cenário analisado. Espera-se que sejam fornecidos, para cada caso estudado, dados dos aeródromos, dos setores e dos voos.

Para cada aeródromo, é necessário ter um nome, uma descrição e os intervalos de separação no tempo, entre duas aterrissagens, duas decolagens e aterrisagem-decolagem.

Para cada voo, são necessários: indicativo do voo (ex.: TAM1234); atraso máximo em solo; atraso máximo em voo; instante de decolagem; instante estimado de chegada; aeroporto de partida; aeroporto de chegada; custo de atraso em solo; custo de atraso em voo; setores envolvidos na trajetória do voo.

Para cada setor de um voo é necessário ter seu nome e os instantes de entrada e de saída naquele setor, além de sua capacidade declarada enquanto a aeronave estiver nele.

Como fonte de dados para a simulação de cenários de conflito e consequente validação da visualização proposta foram utilizados dados de RPL (*Repetitive Flight Plans*) publicados no portal do CGNA (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea) (CGNA, 2018). Os dados utilizados são abertos e correspondem a voos que decolam de aeródromos brasileiros. Esses voos foram processados juntamente com dados do espaço aéreo publicados pelo AisWeb (DECEA, 2018) no formato AIXM (Eurocontrol, 2018). O servidor de otimização então gerou sugestões de medidas ATFM a serem adotadas para sanar os conflitos e saturações presentes.

A representação, na interface de visualização, dos dados de entrada e de saída do servidor permitiu uma análise comparativa entre as demandas originais e as demandas após a aplicação das medidas sugeridas. Porém, observou-se a necessidade de simulação de mais cenários tanto para validação da solução proposta pelo otimizador quanto para a análise de medidas de otimização alternativas às propostas pelo servidor. A solução encontrada foi a criação de novos cenários a partir daqueles já existentes. Diante disso, foi implementado na interface de visualização o recurso de edição de parâmetros desses cenários já carregados, permitindo então que sejam realizadas novas solicitações de otimização.

A edição de um cenário pode ser feita através da edição dos custos dos atrasos dos voos, dos horários estimados de calços fora (EOBT, *Estimated Off-Block Time*), dos máximos atrasos aceitos ou das capacidades máximas dos setores regulados.

3. RESULTADOS

Obtivemos como resultado a integração entre as soluções de otimização de medidas ATFM e de visualização e edição dos cenários estudados.

A ferramenta de visualização e edição de cenários é de fácil portabilidade, executada em um navegador web, e tem integração com o servidor de otimização via chamadas REST, permitindo uma visualização atualizada dos cenários otimizados disponíveis e também a solicitação de soluções de novos cenários a partir da edição das sugestões de medidas ATFM oferecidas pelo servidor. O funcionamento da visualização é independente de acesso à internet, sendo necessário apenas a comunicação com o servidor de otimizações, que também não depende de conexão externa.

Trata-se de uma visualização flexível quanto ao cenário representado: as configurações do cenário analisado são

carregadas em tempo de execução, no momento em que a visualização é solicitada, de maneira independente de configurações prévias da aplicação e permitem visualizar e editar, em uma mesma aplicação, dados de otimização ATFM de diferentes regiões, intervalos e quantidades de voo, sendo necessário apenas que os dados consumidos estejam formatados em uma mesma estrutura JSON.



Figura 3: Interface implementada para visualização e análise dos cenários

A figura 3 mostra a interface de visualização desenvolvida. Os detalhes de cada componente são aprofundados a seguir na figura 4. A interface é composta por três partes. A primeira é o gráfico de voos com os horários de partida, permanência em setores e chegada de cada voo, tanto para o cenário original quanto para o otimizado. A segunda parte consiste no gráfico de ocupação de aeródromo, que dado o aeródromo selecionado, apresenta os pousos e decolagens no decorrer do período, sendo possível observar conflitos decorrentes desses movimentos. Por fim, há o gráfico de ocupação de setores, que são três gráficos em radar, para três instantes de tempo, que indicam qual a ocupação dos setores selecionados nesses instantes, bem como suas capacidades e picos de demanda.

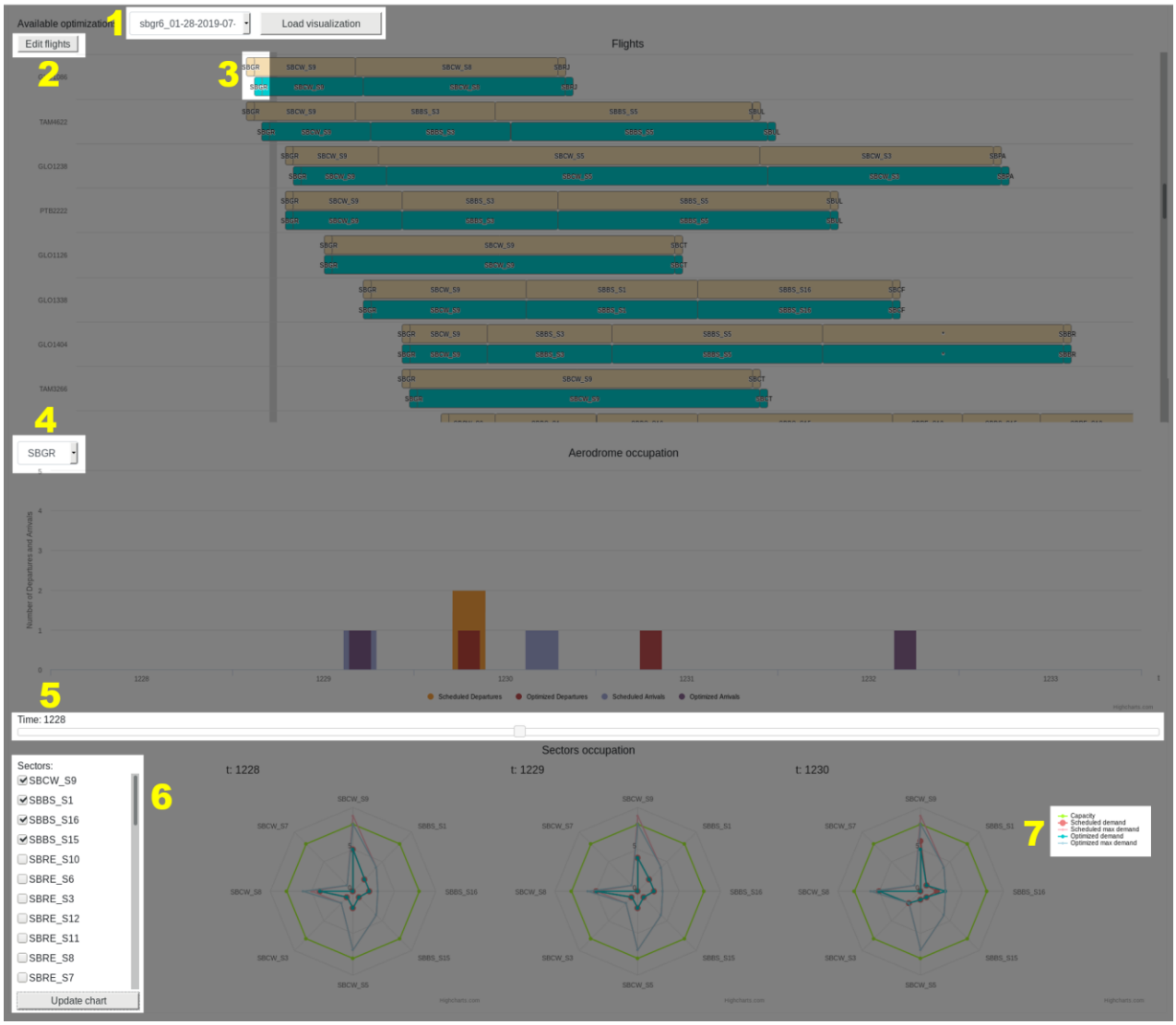


Figura 4: Detalhes da interface implementada

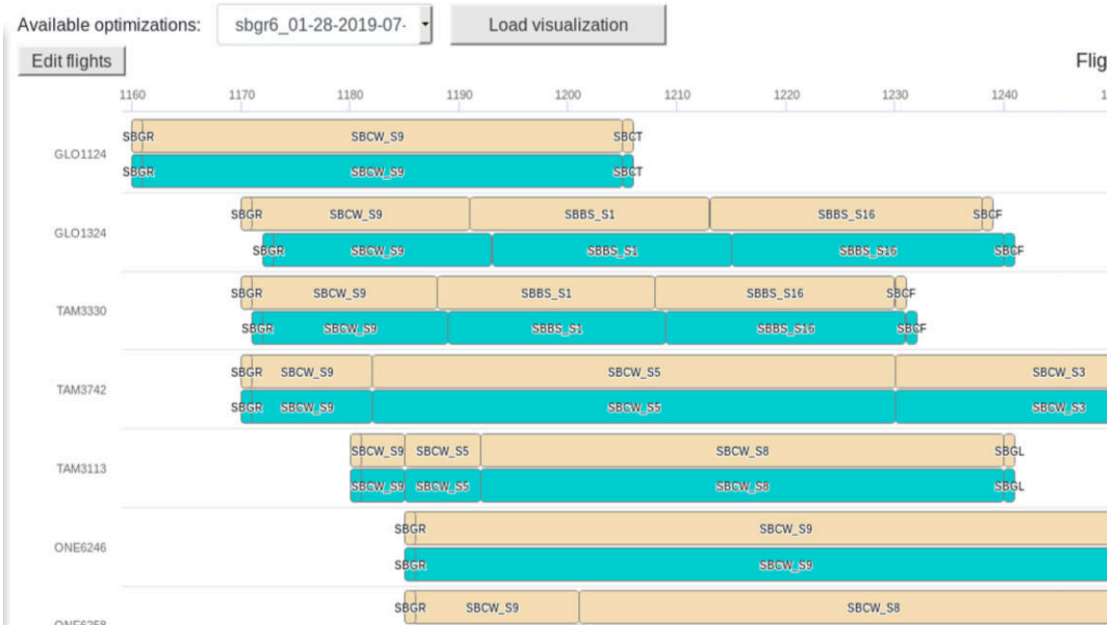


Figura 5: Gráfico dos voos alocados no cenário estudado

Na figura 4 são destacadas as seguintes funcionalidades:

1. Seleção do cenário a ser visualizado
2. Iniciar modo de edição dos voos
3. Instantes de saída originais (bege) e sugerido pela otimização (verde)
4. Seleção do aeroporto de interesse para visualização de demandas
5. Controle do instante de tempo representado nos gráficos de aeródromos e setor
6. Seleção dos setores para compor visualização em radar
7. Filtro de informações visíveis nos gráficos dos setores.

A figura 5 exemplifica o gráfico dos voos alocados.

No cenário representado na figura 5, havia conflito inicial entre os voos TAM3330, GLO1324 e TAM3742. Todos os três com saída de Guarulhos no instante 1170. No cenário otimizado sugerido, o voo TAM3742 permanece inalterado, enquanto os voos TAM3330 e GLO1324 são atrasados em um e dois minutos, respectivamente.

A figura 6 exibe o gráfico de ocupação de aeródromo. A localidade selecionada é SBGR e a separação entre cada movimento deve ser de 1 minuto. No cenário original há conflito no instante 1230, que é resolvido com aplicação de atraso em solo de um minuto para duas aeronaves.

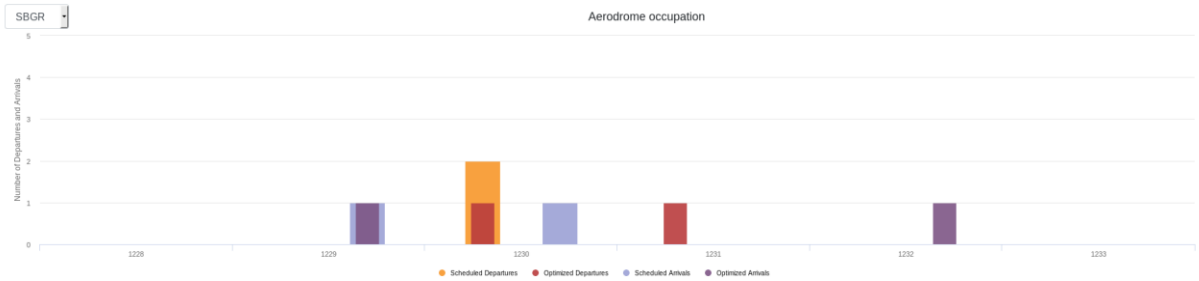


Figura 6: Gráfico de ocupação de aeródromo



Figura 7: Gráfico de ocupação dos setores

A figura 7 apresenta a ocupação dos setores. É possível selecionar quais os setores serão incluídos nos gráficos e também quais séries ficam visíveis: capacidade, ocupação antes e depois da otimização, máxima ocupação antes e depois da otimização.

A edição de cenários para geração de novos outros é realizada na mesma aplicação de visualização e mantém uma correspondência com a mesma. A figura 8 ilustra uma operação de edição:

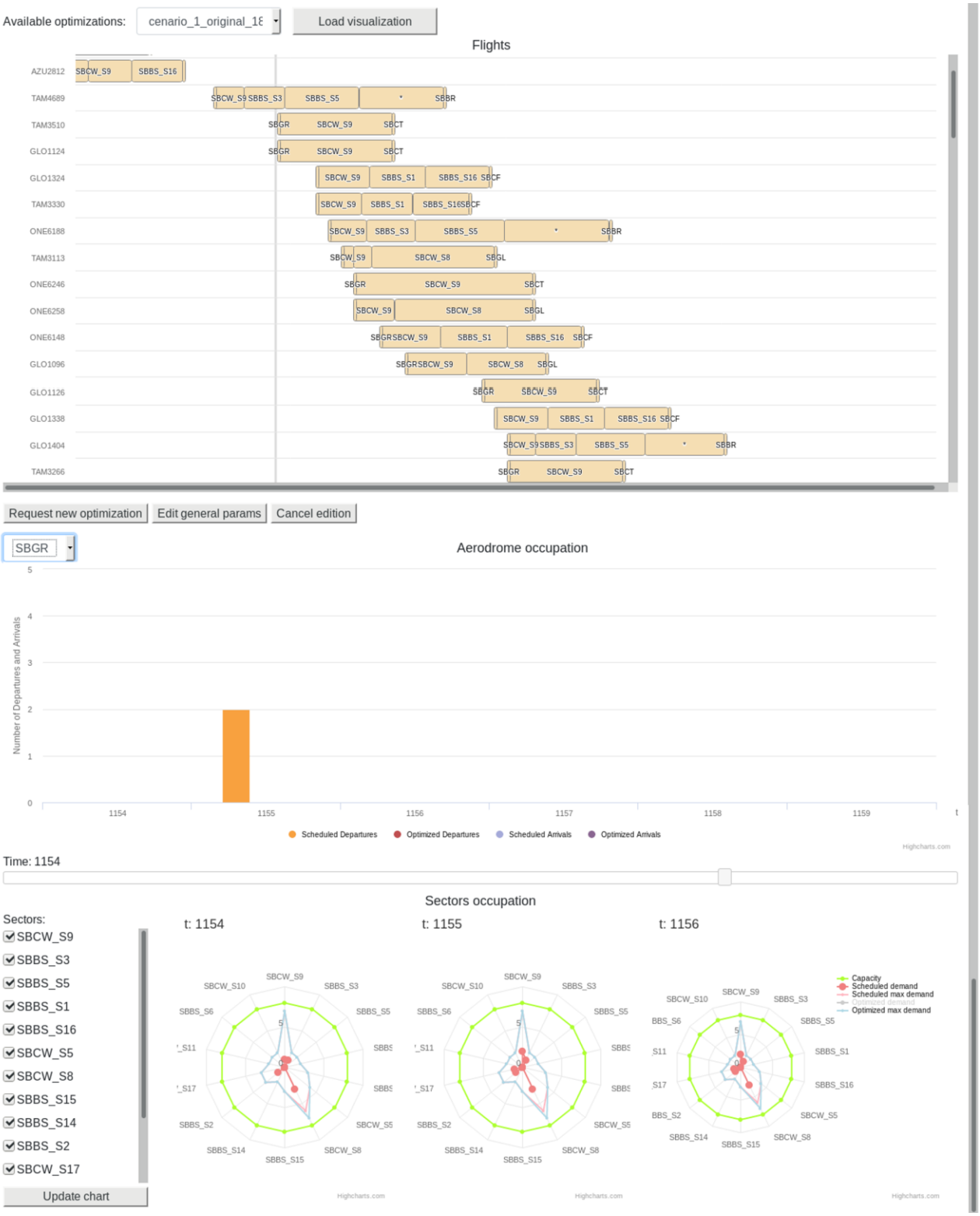


Figura 8: Modo de edição de cenários

No lugar do gráfico comparativo dos voos antes e depois da otimização, há um gráfico de barras com os voos originais que estão sendo editados.

A edição de cenários existentes pode ocorrer, para cada voo, segundo os parâmetros de atraso máximo em solo, atraso máximo em ar, custo de atraso em solo e custo de atraso em voo. É possível também antecipar ou atrasar o horário de partida de cada voo arrastando-se a barra que o representa no gráfico.

É possível personalizar as prioridades de cada voo, descritas na forma de custos de atraso em solo ou em voo e atraso máximo aplicável. Os voos podem ser definidos como isentos (atraso máximo zero) ou com valores que

reflitam políticas acordadas com as companhias aéreas ou limitações de autonomia da aeronave. Os parâmetros de custos de atraso e de atrasos máximos aplicáveis não são utilizados diretamente na visualização, mas são necessários na construção do cenário que será enviado ao servidor para otimização. Essas edições são mostradas nas figuras a seguir:

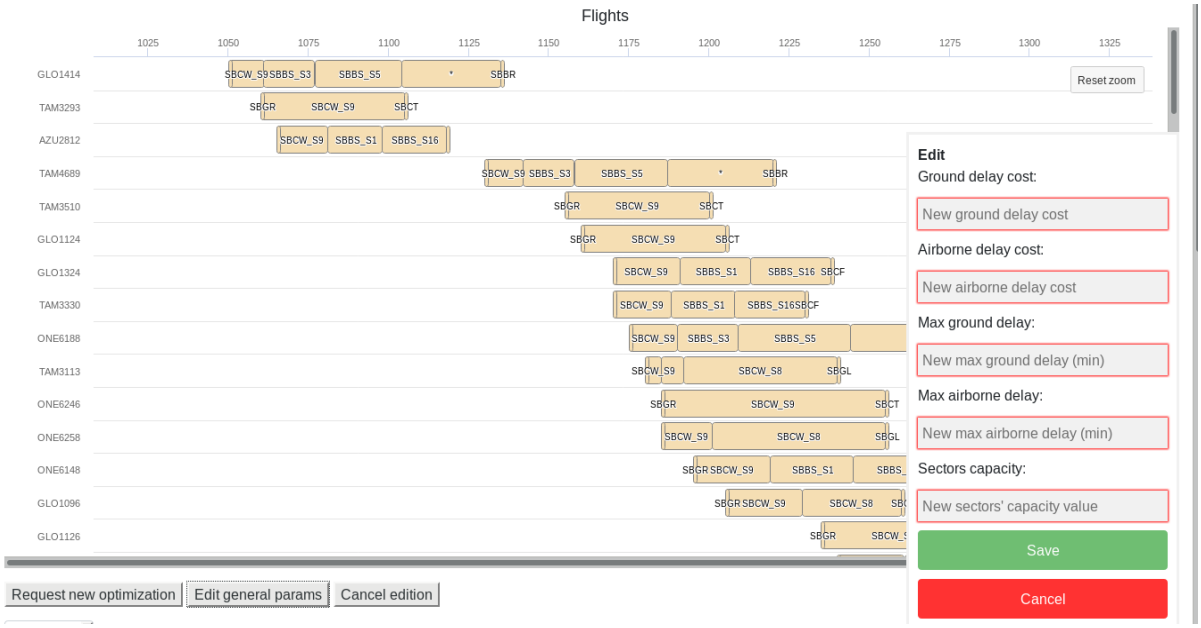


Figura 9: Edição de parâmetros do cenário

Apesar de os exemplos representados neste artigo utilizarem os parâmetros temporais em minutos, não é necessário que essa escala seja mantida. O único requisito é que as escalas sejam coerentes entre si para possibilitar uma representação gráfica e uma otimização corretas. Os parâmetros que definem instantes de entrada e saída de setores, horários de decolagem e aterrissagem, atrasos máximos em solo e em voo devem estar, portanto, todos na mesma escala.

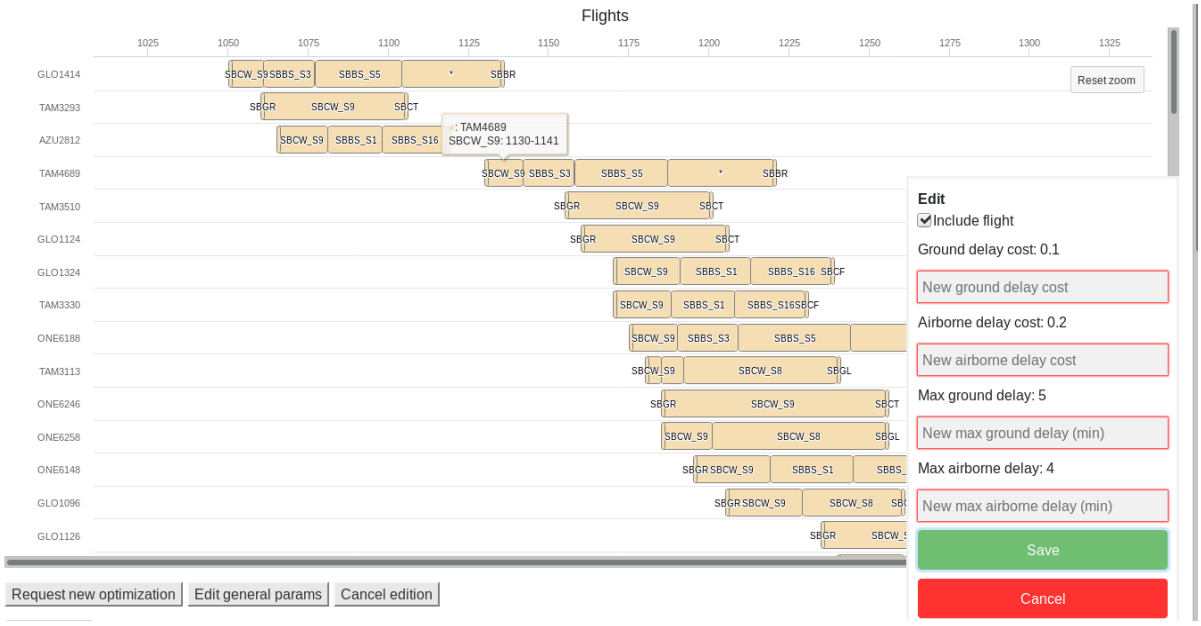


Figura 10: Edição de parâmetros de um voo

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A otimização com restrições de mais de um elemento regulado criou a oportunidade de construir uma nova forma de apresentação de dados de otimização ATFM, dado que as ferramentas de visualização existentes anteriormente focam em apenas um elemento regulado por vez.

A ferramenta de visualização de dados de otimização de medidas ATFM proposta por este trabalho facilita a validação e simulação de diferentes cenários complexos em que as capacidades de vários elementos regulados são consideradas. A natureza interconectada desses leva a dificuldades de análise dos resultados obtidos por programas de otimização. Dessa forma, foi proposta uma visualização que não oculta tal característica do problema estudado.

A ferramenta desenvolvida possibilita uma análise contextual dos cenários estudados, através da integração de mais de um gráfico na mesma visualização e a possibilidade de interação do usuário com a escolha de filtros e dados.

A capacidade de edição desses cenários por meio de ferramentas que contem com uma visualização de contexto viabiliza uma rápida validação de diferentes sugestões de medidas ATFM, indo ao encontro das necessidades emergentes de um espaço aéreo cada vez mais complexo e competitivo. A interface gráfica produzida atingiu o objetivo inicial desejado, que era apoiar a verificação do conjunto de medidas ATFM gerado pelo otimizador.

Versões futuras da ferramenta poderiam contar com opções de edição como alterar voos que atendam a um critério de seleção (por exemplo, voos de determinada companhia aérea ou relacionados a determinado aeroporto) ou incluir novos voos ao cenário. Essas novas funcionalidades significariam um aumento na capacidade de simulação de casos da ferramenta.

5. REFERÊNCIAS

AIRPORTS COUNCIL INTERNATIONAL. Airport Statistics Infographics. (2018). Disponível em http://www.aci.aero/Data-Centre/Airport-Statistics-Infographics Acesso em 10 ago 2018

CGNA. Portal Operacional ATFM - CGNA. 2018. Disponível em: http://portal.cgna.gov.br/ . Acesso em: 11 mar. 2018

CGNA. Portal Operacional ATFM –Briefing diário ATFM. 2019. Disponível em: http://portal.cgna.gov.br/files/abas/2019-03-07/painel_brifim_diario_atfm/1239-painel_brifim_diario_atfm.pdf. Acesso em: 07 mar. 2019

DECEA. AISWEB - Informações Aeronáuticas do Brasil. 2018. Disponível em: https://www.aisweb.aer.mil.br/. Acesso em: 23 ago. 2018.

EUROCONTROL. Aeronautical Information Exchange Model. Disponível em: http://aixm.aero/. Acesso em: 23 ago. 2018.

FIELDING, R. T. Architectural styles and the design of network-basedsoftware architectures (The Representational State Transfer (REST)) Ph.D. dissertation, pp 76-85, Dept. Inf. Comput. Sci. Univ. California,Irvine, 2000. [Online]. Available: http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm.

FORREST, J.; LOUGEE-HEIMER, R. CBC User Guide. In: Emerging Theory, Methods, and Applications. [s.n.], 2005. p. 257–277. ISBN 1877640212. Disponível em: http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/educ.1053.0020.

HIGHSOFT. Interactive JavaScript charts for your web page - Highcharts. 2019. Disponível em: https://www.highcharts.com/. Acesso em: 29 jan. 2019.

IBM. IBM Knowledge Center - LP file format: algebraic representation. Disponível em: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.5.0/ilog.odms.cplex.help/CPLEX/FileFormats/topics/LP.html. Acesso em: 9 ago. 2018.

ICAO. Doc 4444, Procedures for Air Navigation Service Air Traffic Management. 16th editi. ed. [S.l.], 2016.

JONES, Christopher V. Visualization and optimization. Journal of the Operational Research Society, v. 48, n. 9, p. 964-964, 1997.

JSON. JSON. 2019. Disponível em: https://www.json.org/. Acesso em: 8 mar. 2019.

KOROISHI,G.O., MARTINS, T.C., OLIVEIRA, F.J.C.. Otimização Global de Medidas ATFM em Cenários de Larga Escala. Em: SITRAER Simpósio de Transporte Aéreo, 2018, São Paulo. XVII SITRAER, 2018.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Projeções de demanda para os aeroportos brasileiros 2017-2037. 2017. Disponível em https://issuu.com/ministeriodostransportes/docs/relat__rio_-_proje____es_2017_2037_ Acesso em 10 ago 2018.

W3SCHOOLS. JavaScript Versions. 2019a. Disponível em: https://www.w3schools.com/js/js_versions.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.

W3SCHOOLS. HTML5 Browser Support. 2019b. Disponível em: https://www.w3schools.com/html/html5_browsers.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.

W3SCHOOLS. CSS Reference Browser Support. 2019c. Disponível em: https://www.w3schools.com/cssref/css3_browsersupport.asp. Acesso em: 07 mar. 2019.