UMA ABORDAGEM EM BLOCKCHAIN PARA MELHORIA DA COLABORAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO AÉREO

Leonado Cruciol e Li Weigang
TransLab, Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, CEP: 70910-900
leocruciol@gmail.com, weigang@unb.br

ABSTRACT

The collaborative initiative is been applied in the last three decades by many approaches to improve solutions in the Air Traffic Management (ATM). It is possible to verify that collaboration is majority the best approach to involved users, but there are points about market competitors and a lack of tools to incentive it in daily operations. The Blockchain technology makes possible to take new steps in next generation of ATM systems, specially giving opportunities to collaborate through the overall environment, such as Air Traffic Control Tower (ATCT); airways; airports; aircraft; runways; airlines, and others. This paper presents a collaborative approach by using Blockchain to optimize the users' business results. The proposed approach was applied with real data, regarding to Collaborative Trajectory Options Program (CTOP) demands in the USA airspace, and achieved up to 4% of reducement in *en* route delays during CTOP.

Keywords: ATM, CDM, Blockchain, CTOP, Decision Support System.

1. INTRODUÇÃO

O Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM) torna-se cada vez mais complexo com o tempo. Apoiar este processo sem sistemas inteligentes para que possam aumentar o desempenho de voo e a capacidade do espaço aéreo é uma tarefa muito difícil. Estes sistemas podem trazer como ganho a análise de muitas informações em tempo real, e assim, melhorar a segurança do espaço aéreo e a precisão do conhecimento disponível para o processo de tomada de decisão.

Considerando a complexidade de operação, especialmente nos EUA, a *Federal Aviation Administration* (FAA) tem enfrentado problemas que somente serão realidade em outros países no futuro. Assim, é importante entender o ambiente em execução atual nos EUA e Europa para que possam ser iniciados estudos específicos para o Brasil.

Durante a última década, a FAA implantou o *Next Generation Air Transportation System* (NextGen), que visa integrar novas tecnologias; políticas e procedimentos com novas abordagens no desenvolvimento do ATM, a fim de melhorar a segurança e a fluência do tráfego aéreo; aumentar a capacidade de operações; experiência do passageiro; e outros (FAA, 2012; FAA, 2016).

A FAA aplicou alguns programas e sistemas de ATM para obter resultados específicos, como o *Collaborative Decision Making* (CDM); *Collaborative Trajectory Options Program* (CTOP); *Airspace Flow Program* (AFP); *Ground Delay Program* (GDP); *Departure Manager* (DMAN); *Arrival Management* (AMAN); *Time Based Flow Management* (TBFM); *Trajectory Based Operations* (TBO); *System Wide Information Management* (SWIM); *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast* (ADS-B); dentre outros.

Assim, para suportar estes programas de transporte aéreo podem ser utilizados os Sistemas Inteligentes de Apoio à Decisão (IDSS), como uma evolução do DSS tradicional, o qual apoia o processo de tomada de decisão usando gestão de conhecimento e inteligência artificial. O IDSS agrega mais valor para o usuário final, analisando informações em tempo real e dados históricos; projeções estatísticas; simulações; aprendizado automático; dentre outros. Dentre algumas soluções, a abordagem *Blockchain* revolucionou muitas áreas nos últimos anos, especialmente melhorando a transparência e a segurança nas transações do sistema, descentralizando o poder geral e oferecendo mais opções para colaborar com seus parceiros e concorrentes, e assim, mantendo o ATM mais eficiente.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção 2, são revisados o NextGen e programas relevantes de ATM. Na seção 3, é apresentada a tecnologia SWIM que visa integrar o ambiente do espaço aéreo. Na seção 4, é apresentada uma abordagem *Blockchain* para melhorar a colaboração na navegação aérea. Na seção 5, conclui-se o trabalho e apresenta-se orientações para trabalhos futuro.

2. NEXTGEN E PROGRAMAS DE ATM

O ATM envolve um conjunto complexo de procedimentos; programas de tráfego aéreo; sistemas de apoio à decisão e controladores de tráfego especializados, que apoiam o gerenciamento e controle de tráfego aéreo integrando companhias aéreas; aeroportos; aeronaves; centros de controle de tráfego locais; e o centro nacional de gerenciamento de fluxo em um espaço aéreo com alto nível de segurança e uma fluidez aceitável do tráfego. O ATM é dividido em três partes: Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo (ATFM), Gerenciamento de Espaço Aéreo (ASM) e Controle de Tráfego Aéreo (ATC) (Odoni, 1987; Bianco et al., 2001).

Durante a última década, a FAA propôs um plano de implementação para a iniciativa NextGen, que basicamente visa melhorar a gestão do espaço aéreo, fornecendo novas tecnologias integradas; políticas; e procedimentos apoiados por um grande conjunto de automação e sistemas em todo o ambiente, a fim de melhorar a segurança, as operações e a experiência do passageiro. O NextGen alcançou grandes resultados até agora, e a evolução do ATM nos EUA desenvolveu um espaço aéreo mais integrado e eficiente (FAA, 2012a; FAA, 2016; NBAA, 2012).

2.1. Programa de Opções de Trajetória Colaborativa

O *Collaborative Trajectory Options Program* faz parte do NextGen e é uma evolução inicial de iniciativas como o GDP e o AFP, combinando atraso e alteração de rota na mesma medida restritiva. Tem como objetivo melhorar o ATM considerando as metas de negócios dos usuários do NAS; particularidades enfrentadas por cada restrição de voo e espaço aéreo, tornando este processo mais flexível e financeiramente estável para aqueles envolvidos durante os períodos de capacidade limitada do espaço aéreo (FAA, 2012b; FAA, 2014a; FAA, 2014b).

Assim que uma área do espaço aéreo for restringida, ou seja, a demanda original será afetada por medições restritivas, a FAA inicia uma demanda de CTOP para restringir a demanda de aeronaves através de uma *Flow Constrained Area* (FCA) durante um período pré-determinado. Neste momento, a FAA compartilha com todas as companhias aéreas proprietárias de voos nesta demanda informações como o período de restrição com as áreas geograficamente afetadas, seus voos capturados e a nova capacidade disponível para cada FCA. É importante ressaltar que cada companhia aérea tem conhecimento apenas sobre seus próprios voos, ou seja, a abordagem colaborativa é entre cada companhia aérea e FAA (Cruciol et al., 2015).

Assim, cada companhia aérea compartilhará suas preferências de rotas com a FAA, enviando mensagens definidas como *Trajectory Option Set* (TOS) para cada voo capturado do CTOP. Os voos capturados são classificados por seu primeiro *Estimated Time of Arrival* (ETA) em cada FCA, criando a lista *Initial Arrival Time* (IAT), que é usada para alocar os voos nos *slots* disponíveis.

A mensagem TOS contém informações como a Identificação da Aeronave (ACID), aeroportos de origem e destino, *Initial Gate Time of Departure* (IGTD), tipo de aeronave, *Earliest Runway Time of Departure* (ERTD), *Relative Trajectory Cost* (RTC), *Required Minimum Notification Time* (RMNT), *Trajectory Valid Start/End* Time (TVST/ TVET), altitude, velocidade e rota.

O algoritmo de alocação do CTOP pode ser resumido em seis etapas. Os voos de exceção são definidos como voos internacionais e voos em rota no momento em que a demanda de CTOP é criada (Golibersuch, 2012).

- Determinar quais voos estão incluídos no CTOP;
- Determinar quais voos são exceção no CTOP;
- Atribuir trajetórias para isentar voos;
- Ordenar os voos restantes pelo seu IAT;
- Considerando a lista do IAT e a capacidade disponível, atribuir voos para os *slots* com base em seus TOS. Assim, é escolhido o *slot* disponível que resulta no atraso mínimo com base no tempo estimado de chegada em cada FCA dentro dos TOS. Se não houver *slot* disponível ou a companhia aérea forneceu um atraso máximo para cada opção de trajetória, o voo receberá um NOSLOT e voará por fora das FCAs;
- Enviar alocações para as companhias aéreas.

Um cenário CTOP contendo um único voo é apresentado na Figura 1. O exemplo é composto por duas FCAs, FCA001 e FCA002, com um voo vindo do Aeroporto Internacional Dallas/Fort Worth (DFW) para o Aeroporto LaGuardia (LGA). Existem três rotas possíveis: as aeronaves podem voar através da FCA001 ou FCA002 ou voar por fora das FCAs sem restrições pelo CTOP.

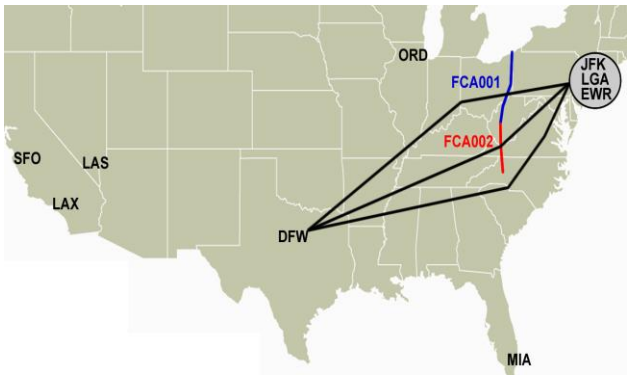


Figura 1. Exemplo do CTOP nos EUA

2.2. Tomada de Decisão Colaborativa

O *Collaborative Decision-Making* é aplicado desde 1993 nos EUA pela FAA para compartilhar informações em tempo real com as

companhias aéreas, para que cada uma possa obter melhores resultados ao considerar essas informações para tomar decisões. Este programa pode ser considerado como um conjunto de novos procedimentos e sistemas de trocas de informações que implementou uma nova abordagem com o programa *Fade Airlines Data Exchange* (FADE) (Ball et al., 2001).

Essa foi uma das iniciativas mais importantes de colaboração, uma vez que os envolvidos estão dispostos a compartilhar recursos e informações para melhorar a operação geral. Assim, as simulações e operações poderiam ser melhor integradas pela FAA para todas as companhias aéreas. A Figura 2 apresenta uma interação de alto nível dos participantes do CDM.



Figura 2. Visão Geral do CDM

A abordagem CDM foi adaptada em ambientes específicos como o *Airport*-CDM (A-CDM) e o *Surface*-CDM (S-CDM). É o mesmo conceito colaborativo com alguns ajustes para resolver outros problemas. O A-CDM considera os operadores terrestres, o controle de serviços de navegação aérea, o operador aeroportuário, as companhias aéreas, o controle de aproximação e os operadores de aeronaves.

Considerando a abordagem A-CDM, é importante verificar que para ter um ambiente de colaboração cada um tem algumas responsabilidades e deve cumprir, por exemplo, os operadores aeroportuários precisam fornecer informações como alocação de portão, pista disponível e movimentação de aeronaves; o controle de serviços de navegação aérea precisa compartilhar as informações sobre tempos estimados de chegada e índice de capacidade e demanda; o controle de aproximação precisa autorizar e informar os tempos de pouso e de decolagem; o operador de solo precisa fornecer informações sobre atualização de planejamento; e as companhias aéreas compartilham informações sobre voos prioritários, tipo de aeronave e registro (Byus, 2017).

O processo de colaboração não é uma tarefa fácil de ser implementada. É importante considerar alguns fatores para ter sucesso com essa abordagem e envolver todos os participantes, alguns são apresentados na Figura 3.



Figura 3. Fatores de Sucesso do CDM

Detalhando a Figura 3, estes fatores podem contribuir para a implementação de sucesso da CDM:

- Envolver e Motivar: Provavelmente, o passo mais importante em uma abordagem de colaboração é envolver todos os participantes em um mesmo objetivo e, assim, todos alcançarão melhores resultados do que se agirem isoladamente.
- Objetivos e Obrigações: Para organizar um ambiente justo, é importante ter todos os objetivos e deveres para cada um, incluindo o cronograma de cada tarefa a ser cumprida.
- Ferramentas e Processos: Para fornecer um suporte efetivo ao CDM, é primordial definir os procedimentos e usar um DSS bem definido.
- Monitorar Desempenho: Como qualquer implementação para alcançar melhores

resultados, o monitoramento é uma parte fundamental de todo o sucesso. É assim que os resultados serão verificados e medidos para fazer ajustes no processo.

- Identificar Melhorias: Considerando os dados coletados na etapa anterior, será avaliado e ajustado o processo de CDM como uma melhoria contínua.

3. INTEGRANDO O ESPAÇO AÉREO COM SWIM

O *System Wide Information Management* é um enorme avanço em tecnologia na iniciativa NextGen. O SWIM fornece uma plataforma completa para integrar e fornecer informações de alta precisão para cada usuário do *National Airspace System* (NAS) e, assim, possibilitar um próximo nível de evolução no ATM. Ele pretende coletar e compartilhar o conhecimento para cada participante para melhorar o processo de apoio à decisão (FAA, 2017a).

Um dos principais objetivos é fornecer uma arquitetura única, integrada e avançada por meio de um sistema que possa conectar e trocar os dados disponíveis. Este novo ambiente aplicado nos EUA deve reunir mais a comunidade internacional, por exemplo, melhorando a previsão de voos internacionais e alcançando uma melhoria significativa em muitos aeroportos internacionais. A ideia é fornecer serviços que serão consumidos por cada participante em uma Arquitetura Orientada a Serviços (SOA), contendo mais de 100 serviços até o momento e divididos em clima; voo e fluxo de tráfego; e aeronáutica (FAA, 2017b)

Um benefício importante do SWIM é fornecer condições para melhorar a operação do TBO e do TBFM, que foram projetados com o NextGen para suportar melhores opções de trajetórias baseadas no tempo, por exemplo, abordar problemas do espaço aéreo local combinando muitos outros movimentos de trajetórias em tempo real; fornecer informações para aplicar o *Required Time of Arrival* (RTA) durante toda a trajetória; melhorar as soluções em terminais congestionados; simplificar o gerenciamento de rotas com medidas de junção e espaçamento. A Figura 4 apresenta uma visão geral dos serviços SWIM.

Analisando a Figura 4, é possível visualizar a arquitetura de serviços do SWIM e verificar a operação. Existem cinco camadas: 1- Infraestrutura de rede: pode ser resumida na infraestrutura que conectará e fornecerá dados para o ambiente; 2- Serviços principais do SWIM: foram definidos quatro serviços principais que serão fornecidos: gerenciamento de interface, mensageria, segurança de serviço e *Enterprise Service Monitoring* (ESM); 3- Publicação de dados SWIM: os dados disponíveis são categorizados em três: dados meteorológicos, aeronáuticos e de fluxo, e de voo; 4- Serviços inteligentes SWIM: fornece serviços avançados para usuários finais, como *NAS Common Reference Service* (NCR), *Common Support Services – Flight Data* (CSS-FD), *Flight Plan* e *Flow* (FP&F), e *Flight Data Service* (FDS); e 5- Usuário, Sistemas e Displays: fornece informações e integra-se a usuários finais, como *Enterprise Information Display System* (E-IDS), usuário NAS, *En Route Automation Modernization* (ERAM), *Traffic Flow Management System* (TFMS), TBFM, e *Terminal Flight Data Manager* (TFDM).

4. ABORDAGEM DE OTIMIZAÇÃO COM BLOCKCHAIN

Avaliando o conceito de SWIM e CDM, a FAA tem trabalhado para conectar todos os participantes e fornecer procedimentos e tecnologias para suportar um espaço aéreo mais integrado, com mais informações para os usuários do NAS tomarem suas decisões com base no conhecimento comum consolidado. No entanto, há um ponto que pode ser analisado e aprimorado para alcançar uma alta transparência para o NAS. Considerando a Figura 4, é possível ver que o SWIM torna possível compartilhar mais informações com colaboração, mas há uma colaboração fraca entre os usuários finais. Embora os usuários do NAS tenham acesso as informações compartilhadas, eles geralmente não usam essa colaboração nas negociações de ATM entre eles, por exemplo, nas demandas do CTOP, cada um tem conhecimento somente sobre seus próprios voos.

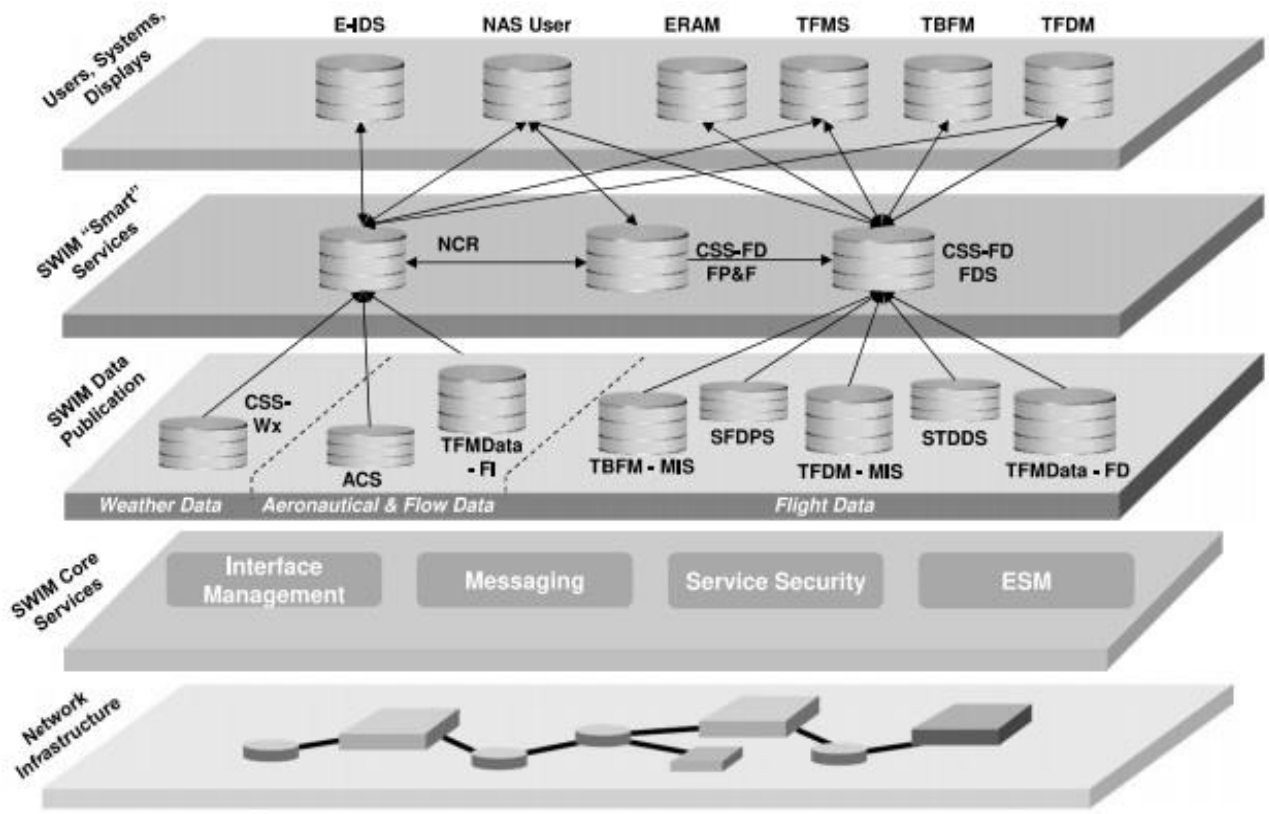


Figura 4. Visão Geral de Serviços do SWIM

Assim, foi desenvolvida uma abordagem utilizando *Blockchain* para otimizar os resultados de negócios dos usuários NAS. O objetivo principal é fornecer uma abordagem de alto nível para promover a integração entre os conceitos do SWIM e dos programas de ATM para que sejam mais colaborativos e transparentes nas operações. A Figura 5 apresenta uma visão geral da abordagem.

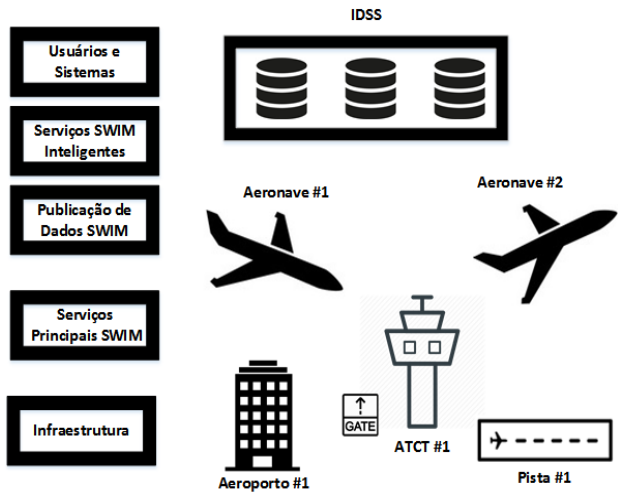


Figura 5. Abordagem Utilizando *Blockchain*

Analisando detalhadamente a Figura 5, é possível verificar que a arquitetura SWIM trabalha em conjunto com os programas ATM, como CTOP; TBO e TBFM. Foram definidos 6 tipos de participantes: *Airport Traffic Control Towers* (ATCT), aeronave, aeroporto, portão, pista e IDSS. As interações propostas consideram cada participante como um objeto autônomo que poderia negociar sua preferência, com base em suas políticas e procedimentos pré-estabelecidos. As interações são definidas abaixo:

- Aeronave com ATCT, aeroporto, pista, portão e aeronave;
- Aeroporto com ATCT, aeroporto, aeronave e portão;
- Pista com ATCT, pista, aeroporto, Portão e aeronave;
- Portão com aeroporto, aeronave e pista;
- Os usuários de IDSS compartilham e armazenam dados do ambiente geral para melhorar a tomada de decisões.

A tecnologia *Blockchain* torna possível garantir uma alta transparência e confiança para cada transação, que, com base nas interações acima possíveis, definirá claramente como cada um poderia interagir. O princípio é que cada participante poderia negociar para alcançar seus

melhores resultados de negócios por meio de uma implementação *sidechain*.

Considerando uma transação em que uma aeronave precisa atender a sua RTA às 8h07 em um ponto fixo, a chegada real estimada é às 08h11. A aeronave pode negociar diretamente com o aeroporto de chegada para ser alocada em um novo *slot* do portão, desde que a aeronave atenda à RTA às 08h09, o que reduzirá o custo operacional com combustível para alcançar o primeiro RTA. Após a negociação final, o controle de tráfego validaria ou faria ajustes finais.

Assim, não há modificação no conceito de ATM, mas uma nova maneira de interagir com outros participantes. Nessa abordagem, os usuários do NAS são convidados e incentivados a colaborar com regras e benefícios claros. Os limites de negociação são previamente definidos e compartilhados para todos. O controle de tráfego teria o mesmo poder para decidir, controlar e ser responsável pela segurança do espaço aéreo. No entanto, cada participante teria a oportunidade de contribuir com os outros e alcançar ganhos em todas as negociações. A principal tecnologia para viabilizar essa abordagem já está implementada na maioria dos participantes propostos e alinhada às iniciativas NextGen e CDM.

Para validar esta proposta, foi realizado um estudo de caso com base nos programas CTOP e TBO para analisá-la. O objetivo foi avaliar como o atraso alcançado no CTOP, em uma abordagem tradicional, comparado ao utilizar a abordagem proposta em *Blockchain*. Os aeroportos escolhidos foram: Aeroporto Internacional John F. Kennedy (JFK), Aeroporto Internacional de Los Angeles (LAX), Aeroporto Internacional de Dallas / Fort Worth (DFW) e Aeroporto Internacional de Miami (MIA).

Neste estudo inicial, foram definidas duas interações: companhias aéreas x companhias aéreas e aeronaves x aeronaves. Foram analisadas 72 demandas do CTOP nos voos de/para esses aeroportos, que incluíram 1352 voos. A Figura 6 apresenta a função PDF do estudo de caso executado, que alcançou até 4% de redução nos atrasos em rota durante o CTOP.

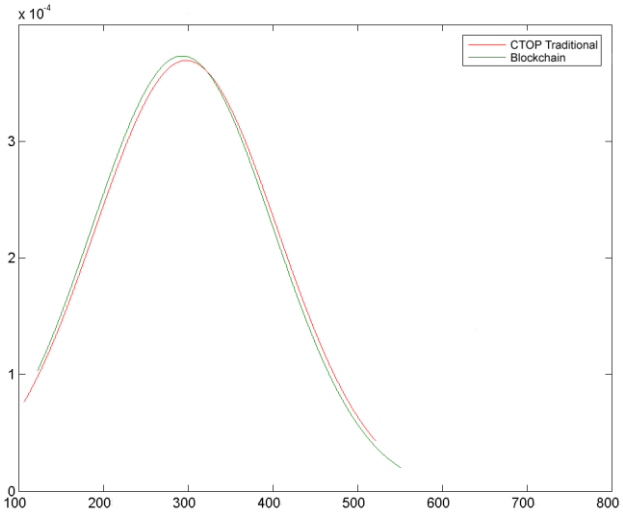


Figura 6. Abordagem Utilizando *Blockchain*

5. CONCLUSÃO

A colaboração pode ser uma tarefa fácil a ser implementada, porém a maneira de implementação é decisiva. Os benefícios precisam ser claros para todos os participantes e ter o processo transparente para fornecer e receber informações com base em políticas e procedimentos rígidos. Os usuários do NAS devem estar confiantes de que quanto mais informações eles fornecerem, mais conhecimento eles adquirirão para adaptar suas estratégias e obter melhores resultados.

Um ponto é compartilhar informações com o controle de tráfego e receber melhores condições para usar o conhecimento no processo de tomada de decisão, o que tem sido bem implementado por soluções como o SWIM. Outro ponto é como as companhias aéreas, ou outros usuários do NAS, poderiam alcançar melhores resultados de negócios, colaborando entre eles. O CTOP é um exemplo prático de como os programas de ATM estão em constante evolução, principalmente em um claro relacionamento com a FAA nos EUA, que está interessada em melhorar a segurança e reduzir os custos operacionais.

A abordagem apresentada foi desenvolvida para fornecer mais transparência no ambiente ATM, dando a oportunidade aos usuários NAS de ter mais poder no processo ATM e usando a tecnologia SWIM como suporte para colaborar diretamente com seus pares. Essa solução usa o *Blockchain* para otimizar os resultados de negócios dos usuários

do NAS como uma nova proposta para integrar uma camada de negócios que poderia fornecer colaboração entre pares de aeronaves ou companhias aéreas ou aeroportos. Esta abordagem foi aplicada com dados reais, em relação às demandas do CTOP no espaço aéreo dos EUA, e alcançou até 4% de redução nos atrasos em rotas durante o CTOP.

Para trabalhos futuros, considera-se estender a mesma abordagem para aumentar a colaboração com mais automação, ou seja, os especialistas gerenciariam os sistemas e resolveriam as disputas finais, mas o ambiente geral teria uma política clara para compartilhar e decidir como cada participante poderia negociar para atingir seus objetivos de negócios, colaborando com outros usuários do NAS.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parcialmente suportado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq) pelos processos 150856/2017-2 e 311441/2017-3.

6. REFERÊNCIAS

BALL, M. et al. “Assessing the benefits of collaborative decision making in air traffic management”, Air Transportation Systems Engineering, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, USA, pp. 239-250, 2001.

BIANCO, L. et al. “New Concepts and Methods in Air Traffic Management”, Springer, Berlin, Germany, 2001.

BYUS, G. “Transforming Global ATM Performance”, Third Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) Seminar, Lima, Peru, 2017.

CRUCIOL, L. et al. “Trajectory Option Set Planning Optimization under Uncertainty in CTOP”, In: 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Canary Islands, Spain, 2015.

FAA, Federal Aviation Administration “NextGen Implementation Plan”, March 2012, Washington, DC, Disponível em: http://www. faa.gov/nextgen/library/ media/NextGenImpl2012.pdf, 2012a.

FAA, Federal Aviation Administration “FAA TV: This is CTOP "An introduction to the CTOP, and the benefits to the users who participate", Disponível em: http://www.faa. gov/tv/?mediaId=572, 2012b.

FAA, Federal Aviation Administration, “Introduction to CTOP”, Disponível em: http://cdm.fly.faa.gov/?page id=983, 2014a.

FAA, Federal Aviation Administration “CTOP Awareness Items for Flight Operators”, Technical Report, Disponível em: http://cdm.fly .faa.gov/, 2014b.

FAA, Federal Aviation Administration “NextGen Implementation Plan”, June 2016, Washington, DC, Disponível em: http://www. faa.gov/nextgen/media/ NextGenImplementationPlan-2016.pdf, 2016.

FAA, Federal Aviation Administration “Integrated SWIM Services” by Jeri Groce, In Interregional APAC/EUR/MID Workshop, October 2017, Disponível em: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/events /presentation/0204102017-service-improvements-through-integration-workshop-session-12.1-integrated-services -faa.pdf, 2017a.

FAA, Federal Aviation Administration, “System Wide Information Management”, Disponível em: https://www. faa.gov/nextgen/whereweare now/nextgenupdate/progressandplans/swim/, 2017b.

GOLIBERSUCH, M. “CTOP Assignment Algorithm and Substitution Processing”, FAA PMO – Industry Forum 2012, Disponível em: http://www.faaindustryforum.org/, 2012.

NBAA, National Business Aviation Association “FAA's New CTOP Initiative Aims to Reduce Airspace Congestion”, Disponível em: http://www.nbaa.org/, 2012.

ODONI, A.R. “The flow management problem in air traffic control”, In: Flow Control of Congested Networks, Springer, Berlin, Germany, pp. 269–288, 1987.