# Gerenciamento do Fluxo do Tráfego Aéreo no Ecossistema da Mobilidade Aéreo Urbana

Jose Airton Patricio*, Rogerio, Yugo Takimoto, Agenir de Carvalho Dias
Atech Negócios em Tecnologias S/A

*** Corresponding author e-mail adress:** jpatricio@atech.com.br

**PAPER ID: SIT233**

## RESUMO

O conceito de Mobilidade Aéreo Urbana (UAM) foi criado com o objetivo de reduzir o congestionamento urbano fornecendo uma demanda de voos curtos no espaço aéreo com zero emissão de poluentes através do uso de veículos elétricos de pouso e decolagem vertical (eVTOL). No longo prazo como mais voos (UAM), o controle do tráfego aéreo deverá ser feito de forma segura e eficiente. Na aviação comercial, a gestão do tráfego aéreo (ATM) é feito envolvendo tanto o controle de slots de acordo com a regulamentação, quanto com mudanças nos preços dos voos de acordo com o congestionamento ou negociação de slots. No entanto, como a dinâmica dos voos UAM é orientada através da demanda dos voos da aviação comercial, o controle de slots deve ser modificado levando-se em conta que a duração dos voos é bem menor quando comparado a aviação comercial. Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma nova proposta de slot para o UAM que correlacione a reserva do plano diretamente com os recursos do *vertiports* e também utilize a informação da previsão do tempo para a reserva.

**Keywords:** Mobilidade Aéreo Urbana (UAM), Tráfego Aéreo, Slot.

## 1. INTRODUÇÃO

Em virtude do crescimento das cidades, observa-se um aumento da densidade populacional fazendo com que a infraestrutura de transporte seja um desafio a ser superado. Nesse sentido foi introduzido o conceito de Mobilidade Aéreo Urbana (UAM). Este conceito é utilizado para poder expandir a rede de transporte incluindo voos curtos voltados ao transporte de pessoas e bens em áreas metropolitanas, Com isso, tanto empresas(Uber, 2022) como institutos de pesquisa (Nasa, 2022) estão abordando soluções para verificar a viabilidade de implantar este conceito em cidades e regiões próximas. Neste sentido, diversos estudos (Balakrishnan et al., 2018; MITRE, 2014; INRIX, 2022; Haddad et al., 2019; Ancel et al., 2017) mostram várias abordagens para permitir o deslocamento seguro e eficientes dos veículos elétricos e híbridos de pouso e decolagem vertical (eVTOL, hVTOL) no espaço aéreo urbano. As idéias propostas cobrem uma grande variedade de possibilidades como a de permitir o pouso de eVTOLs em *vertiports* instalados no topo de edifícios ou nas proximidades de trevos rodoviários (Wei et al., 2022).

A introdução dos voos dos eVTOLs, hVTOLs ou dos ”carros voadores”no cenário urbano exigirá, por parte dos provedores de serviços, uma nova visão de gerenciamento de fluxo para fazer frente às particularidades desses veículos no que diz respeito ao tráfego aéreo urbano. As limitações de autonomia desses novos usuários em função das necessidades de ciclos de recarga entre os *vertiports*, bem como o consumo elevado de energia nos casos de realização de *Holdings* em baixas altitudes, implicarão numa abordagem mais crítica do gerenciamento dos slots quando comparadas à sistemática de gerenciamento de slot aplicado na aviação comercial.

Portanto, por apresentar uma maior dinâmica quando comparado aos voos da aviação comercial, a abordagem do tráfego aéreo no contexto do UAM deve ser diferente. Este trabalho tem o objetivo de apresentar a abordagem do gerenciamento do tráfego aéreo na aviação comercial, apresentando uma proposta de o gerenciamento do tráfego aéreo no UAM com slots que estejam diretamente correlacionados aos recursos do *vertiports* com o plano de voo submetido. Esta proposta discute ainda a apresentação da revisão da oferta de slots de forma dinâmica considerando alguns cenários. A proposta apresentada tem como objetivo levar em conta a previsão do tempo e os fatores relacionados a manutenção dos recursos do *vertiport* para evitar que medidas que influenciem no voo submetido tenham que ser tomadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O gerenciamento seguro e eficiente do Tráfego Aéreo são pilares da aviação ao redor do mundo. Com o passar dos anos, sob o crescimento exponencial da malha aérea, os Provedores de serviços de navegação aérea (ANSP) perceberam que a eficiência não poderia ficar restrita somente ao Controle do Tráfego Aéreo (ATC). Apesar da proficiência do ATC, no que diz respeito a solução dos conflitos e a acomodação da demanda em período de tráfego aéreo intenso, gera-se um aumento da carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo (ATCO) e tripulações, bem como nos custos operacionais das empresas aéreas de forma significativa, em função da falta de previsibilidade dos voos e dos atrasos gerados para os passageiros.

Para responder a esses problemas, duas soluções podem ser adotadas: a aplicação de medidas de gerenciamento de demanda/capacidade ou a implementação de programas de melhorias da capacidade. Devido a complicações para expandir a capacidade de aeroportos existentes, soluções de gerenciamento de demanda tem recebido maior atenção de pesquisadores e operadores. O gerenciamento da demanda em aeroportos inclui uma ampla variedades de medidas, como as administrativas, envolvendo tanto o controle de slots de acordo com a regulamentação, quanto as econômicas e de mercado, envolvendo variações de preços de acordo com o congestionamento ou negociação de slots. Num ambiente de aeroportos congestionados, as medidas de balanceamento da demanda/capacidade é feita através dos slots pela alocação pré-definida de períodos de tempo para a aeronave pousar ou decolar (Cook, 2007) e permitir o uso dos recursos de um aeroporto coordenado. Essa alocação de slots não leva em

conta mudanças dinâmicas na capacidade devido a efeitos meteorológicos e outros fenômenos temporários. Além disso, como o número de slots alocados não pode ultrapassar a capacidade declarada do aeroporto (ICAO, 2018), em caso de uma situação de desbalanceamento entre o tráfego aéreo esperado e a capacidade disponível, os controladores de tráfego aéreo podem tomar diversas medidas para manter a capacidade do aeroporto. Essas medidas vão desde o atraso na decolagem das aeronaves, a mudança da rota utilizada pela aeronave e até mesmo a alteração da velocidade da aeronave (Ahamada et al., 2018).

Por outro lado, para as soluções UAM, disrupções não programadas como o fechamento de locais de pouso devido a condições climáticas precisam ser consideradas antecipadamente pois os voos são de curtas distâncias e por estarem sobrevoando áreas densamente povoadas. Neste sentido, apesar de existirem poucos trabalhos relacionados ao Tráfego Aéreo no UAM, algumas propostas para a alocação, estabelecer a capacidade, a reserva e o uso do espaço aéreo de forma segura foram discutidas em alguns trabalhos (Rigas et al., 2021; Wang et al., 2021; Wei et al., 2021; Chen et al., n.d.; Kleinbekman et al., 2018; Wei et al., 2022). Rigas et al. (2021) aborda o problema de planejar a alocação de uma aeronave para o passageiro maximizando o consumo de energia dessas aeronaves forçando elas a voarem na menor altitude possível. Wang et al. (2021) apresenta uma otimização de alocação do tráfego aéreo considerando a complexidade dos corredores aéreos urbanos. Wei et al. (2021) propõe um modelo de otimização para o planejamento dos serviços UAM considerando capacidades limitadas de pouso e tempos de voos incertos. (Chen et al., n.d.) determina a capacidade do espaço aéreo através de uma implementação de balanceamento de demanda e capacidade (DCB) para o UAM quando a incertezas das operações são altas. Kleinbekman et al. (2018) aborda a utilizaçao de um algoritmo de sequenciamento e agendamento para a chegada de múltiplos eVTOLs competindo com espaço aéreo e recursos de *vertiports* limitados. Wei et al. (2022) propõe algoritmo se a aeronave poderá pousar no destino sem violar a capacidade limitado de recebimento do voo pelo *vertiport*. Apesar dessas propostas, não existe nenhuma proposta que garanta de forma antecipada, no estratégico, a reserva do recurso no *vertiport* de forma antecipada para que não ocorra um problema de capacidade do *vertiport*.

## 3. DEFINIÇÃO DE SLOT NA AVIAÇÃO COMERCIAL

Na Europa, como a Unidade Central de Gerenciamento de Tráfego (CFMU) é responsável pelo gerenciamento do fluxo para garantir a capacidade dos setores e utiliza os slots. Esse gerenciamento é feito por um serviço conhecido como Gerenciamento do Fluxo do Tráfego Aéreo (ATFM) e tem como objetivo contribuir com a segura, ordenada e rápida do fluxo do Tráfego Aéreo. O ATFM é dividido em 3 fases:(Eurocontrol, 2003)

- A fase estratégica acontece entre 18 a sete dias antes do dia da operação e inclui pesquisa, planejamento e coordenação das atividades. Como resultado dessa fase tem-se a produção de entradas para a geração do plano de capacidade para o ano seguinte.
- A fase pré-tática é aplicada durante os 6 dias que antecedem a operação até o dia da operação e consiste no planejamento e coordenação das atividades. Como resultado dessa fase tem-se a produção de entradas para a geração do plano diário do ATFM.
- A fase tática é aplicada no dia da operação. Esta fase atualiza o plano diário de acordo com o tráfego e a capacidade. O gerenciamento do tráfego é obtido através da alocação do slot.

Para que aconteça o voo entre dois aeroportos, a companhia deve submeter o plano de voo para o CFMU. Este plano deve conter as seguintes informações:

- identificador da aeronave,
- aeroporto de decolagem,
- aeroporto de pouso,
- horário de decolagem desejado,
- lista de waypoints
- nível do voo associado para cada waypoint.

A partir das informações do plano de voo, a decisão de ativar o balanceamento da demanda de tráfego deve ser feita para os setores necessários (número de aeronaves superior a capacidade). Utilizando o princípio do primeiro que solicita é o primeiro servido (”First filed-First Served”), o sistema responsável verifica todos os voos desse espaço aéreo e faz a ordenação de modo que o voo entre no espaço aéreo sem restrições. Com base nisso, o horário de decolagem (TOT) é calculado e o TOT calculado (CTOT) é então transmitido para as companhias aéreas interessadas e a torre de controle do aeroporto de partida. No ATFM, o CFMU é reponsável pela alocação de slot para todos os voos e elabora o planejamento diário dos slots com base nos CTOTs. O slot corresponde a uma janela de tempo (-5 min, +10 min) do CTOT durante o qual a aeronave deve decolar. Infelizmente devido a eventos operacionais incertos (efeito climático, falha técnica, espera de passageiros,..) podem ocorrer diariamente eventos na gestão tática que pertubem o planejamento realizado pelo CFMU. Nesse caso, medidas adicionais devem ser tomadas para realocar os slots e garantir a capacidade. A fig. 1 mostra o planejamento e as fases do ATFM para a alocação dos slots e garantia da capacidade.

### 3.1. Gerenciamento Estratégico dos slots na na aviação comercial

Os aeroportos coordenados que fazem parte da Worldwide Slot Guidelines (WSG - IATA) declaram suas capacidades para as temporadas *Winter/Summer* com o objetivo de distribuir os slots de forma harmônica considerando as capacidades de pista e de pátio desses aeroportos.

No exemplo da Tab.1, temos o Aeroporto Internacional de Guarulhos (ICAO - SBGR) em São Paulo, com a sua capacidade declarada e os slots distribuídos para a temporada W22 (*Winter*).

Como pode ser observado no exemplo de SBGR, embora haja uma previsão de redução de capacidade, em função de manutenções programadas para determinadas janelas de operação, na maior parte do tempo, assume-se uma distribuição linear dos slots, o que na prática nem sempre é verdade.

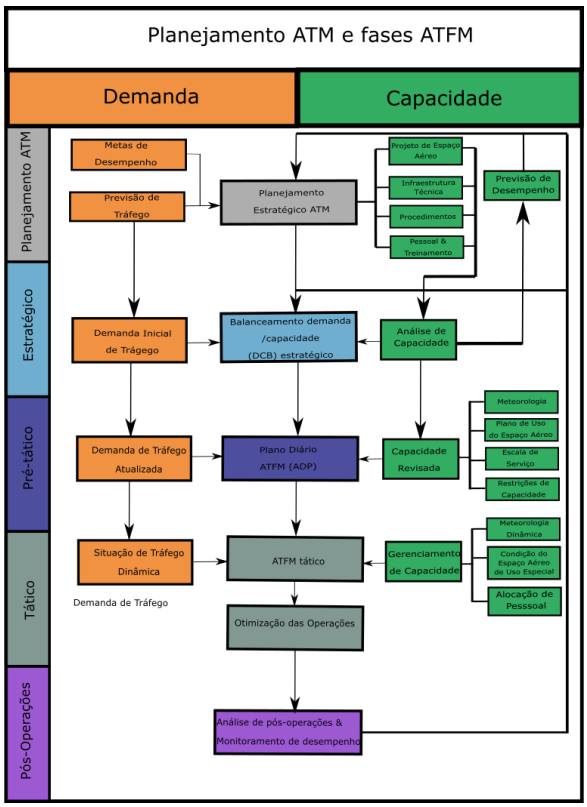



**Figura 1 Fases do ATFM e planejamento de cada fase. Adaptado de ICAO (2018).**

## 4. PROPOSTA PARA SLOT NO UAM

No ecossistema do UAM, toda a operação planejada estrategicamente por meio da submissão do plano de voo, bem como todas as mensagens de atualizações dos planos de voo, como Delay Message (DLA), Modification Message (CHG), e Cancellation Mesasage (CNL) devem refletir dinamicamente a reserva dos recursos nos *vertiports*.

Esse processo complexo envolve interações de sistemas que deverão ser realizadas por 3 subsistemas dedicados, mas interligados e que serão providos pelo PSU (*Provider of Services to Urban Air Mobility*) (Hill et al., 2020) dentro do contexto da capacidade do sistema.

Embora todo o gerenciamento dos slots no cenário urbano seja de responsabilidade do serviço de gerenciamento de fluxo, os serviços como os de gerenciamento dos recursos dos *vertiport*, o de autorização dos planos de voos, os de meteorologia e os de informações aeronáuticas também fazem parte do processo otimizado e eficiente da alocação dos slots.

**Tabela 1 Capacidade do Sistema de Pistas de Pouso e Decolagem.**
([1]Conforme NOTAM Vigente, as capacidades serão reduzidas entre 36 e 52 movimentos nos horários estabelecidos)

| Hora | 00:00 | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slots | 58[1] | 58[1] | 58[1] | 58[1] | 58[1] | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |

Podemos definir um processo de alocação sistemática de slots pela submissão do plano, onde o usuário submete um plano de voo para a operação em determinado *vertiport*. Nessa submissão, o sistema de gerenciamento de plano de voo, antes de autorizar determinada operação, deverá realizar as seguintes atividades:

- **Validação dos dados da submissão:** Nessa etapa, o sistema deverá realizar as validações semânticas e sintáticas relacionadas aos dados de entrada informados pelo usuário. Nesse momento, verifica-se a compatibilidade do voo em relação às regras e requisitos mínimos para a operação que devem considerar não somente as características da aeronave/veículo, mas também os recursos disponíveis para a operação segura e eficiente. Todo o planejamento da capacidade requer o conhecimento do tipo da demanda prevista, assim como o tempo que essa demanda vai ser absorvida pela capacidade, ou seja, os dados de *Turn Around* previsto e os tipos de recursos necessários para a operação devem ser validados e transparentes no conceito do slot urbano.
- **Análise das condições meteorológicas presentes e futuras:** Concomitante ao processo de validação, o sistema deve realizar as chamadas necessárias para obter os dados meteorológicos atuais e futuros que impactem a operação. Eventos como baixa visibilidade, restrição de teto e outros fenômenos climáticos adversos devem ser considerados, uma vez que esses restringem a navegação para os pilotos e irão impactar a capacidade do espaço aéreo e dos *vertiports*, e consequentemente irão reduzir a oferta de alocação de slots;
- **Informações dos elementos do espaço aéreo e possíveis constraints:** Uma informação essencial durante uma submissão de um plano de voo é saber com exatidão a condição operacional dos recursos dos *vertiports* no que diz respeito à disponibilidade dos auxílios à navegação (NAVAID), restrições no espaço aéreo incluindo a suspensão/interdição de corredores e setores, ativação de espaços aéreos condicionados (EAC), etc. Essas informações auxiliam não só os usuários durante a submissão do plano de voo, mas principalmente alimentam o gerenciamento do fluxo, uma vez que esses eventos impactam diretamente a capacidade do sistema, e consequentemente, a oferta de slots.

Uma vez percorridas as atividades anteriormente mencionadas, o plano de voo submetido será a fonte principal de informação sobre a operação e todas as ações do gerenciamento de fluxo serão tomadas a partir dos dados validados.

### 4.1. Necessidade do gerenciamento tático dos slots no UAM

Enquanto na aviação comercial, a oferta e alocação dos slots baseiam-se nos valores de capacidades declaradas, por outro lado, o slot no contexto da UAM deve refletir a capacidade revisada.

Embora a capacidade declarada de um aeroporto ou de um *vertiport* seja de suma importância para o planejamento estratégico do gerenciamento de fluxo, uma vez que a oferta de slots está limitada à capacidade declarada pelo provedor, para efeitos de balanceamento da demanda e da capacidade (DCB), é necessário conhecer os valores reais da capacidade nas fases pré-tática e, principalmente tática.

Nesse sentido, a capacidade revisada considera a incidência dos diferentes tipos de constraints que vão desde a ocorrência de fenômenos meteorológicos, inoperância de auxílio à navegação, até a redução dos recursos disponíveis. Esses eventos podem ser parametrizados e tabulados previamente no sistema e a

ocorrência de um ou combinação de vários deles implica num fator de redução da capacidade declarada, obtendo dessa forma um valor revisado da capacidade.

Considerando-se o volume de operações futuras no UAM, associado à instabilidade do cenário urbano devido ao microclima e as restrições de espera em voo dos veículos, o slot no UAM deve refletir continuamente os impactos de natureza tática, no que diz respeito não só ao número de slots disponíveis, mas principalmente a capacidade dinâmica da alocação temporal dos recursos disponíveis.

### 4.2. Amplitude da janela de alocação dos slots no UAM

No caso do Brasil, de acordo com a ICA 100-41 (DECEA, 2017), a validade de um slot na na aviação comercial compreende uma janela de 15 min antes até 30 minutos após da hora alocada, o que na prática absorve pequenos atrasos na decolagem e no pouso, de forma quase que imperceptível nos grandes aeroportos.

No entanto, janelas de alocação com amplitudes como as do ATM podem não atender as necessidades do UAM, visto que a maior parte dos voos ocorrerão em cenários urbanos, alguns com duração entre 10 e 15 min.

Numa simulação realizada durante a EVE Rio Experience, em novembro de 2021, onde foram coletadas informações sobre a jornada dos usuários bem como dos operadores de frota, a finalidade era conectar a região da Barra da Tijuca, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, ao Aeroporto Internacional Tom Jobim (ICAO - SBGL).

Na simulação em questão, a duração média dos voos foi de 10 min, onde foram consideradas janelas de validade dos slots de $\pm$1min, em relção à hora alocada para pouso e decolagem, com a finalidade de simular a quantidade de slots que perderiam a validade em função dos ajustes na operação.

### 4.3. Atualização dos recursos disponíveis para revisão dos slots no UAM

A infraestrutura da aviação comercial e flexibilidade por parte de alguns usuários permitem, na maioria das vezes, a acomodação de voos com os seus horários atualizados, sem a necessidade de redimensionar um slot previamente alocado, isso se explica pelo fato de haver uma oferta considerável de recursos disponíveis nos grandes aeroportos, mas o mesmo não se pode afirmar se os *vertiports* contarão com a mesma estrutura.

No caso do UAM, os recursos necessários para a realização de um voo devem estar bem definidos desde a submissão do plano de voo e, qualquer atualização da disponibilidade ou alteração na reserva/alocação desses recursos que impactem direta ou indiretamente à capacidade, devem estar refletidos no cálculo dos slots.

### 4.4. Informações dos recursos necessários na submissão do plano de voo

Diferente da aviação comercial, onde as informações sobre os recursos necessários para a realização do voo não são objeto de análise nas validações semânticas e sintáticas, ou seja, ao obter um slot na aviação comercial para uma operação qualquer num aeroporto coordenado, o operador de frota entende que todos os recursos necessários serão fornecidos e estarão disponíveis no horário planejado, o UAM necessitará de informações atualizadas sobre os recursos disponíveis de forma a considerá-los na validação semântica do plano de voo submetido. Ainda que informações adicionais possam ser inseridas no campo *Remarks* (RMK) do item 18 do plano de voo ICAO, de acordo com as regras de preenchimento estabelecidas no Doc.4444 (ICAO, 2016), não está prevista a obrigatoriedade de o piloto informar os recursos necessários, bem como o tempo de utilização que se pretende operá-los.

Por outro lado, no cenário do UAM, de acordo com Nuair (2021), já na submissão do plano o operador de frota informa a descrição de quais serviços pretende utilizar junto ao provedor adequado e o tempo de permanência no *vertiport*.

### 4.5. Ambiente colaborativo para o gerenciamento dinâmico dos slots

Conforme mencionado em Hill et al. (2020) estimam-se 100 voos simultâneos. Com isso, não há dúvidas que essa previsão significativa do número de operações irá potencializar o transporte de pessoas e cargas dentro dos grandes centros, mas ao mesmo tempo irá criar um desafio para o gerenciamento do fluxo, uma vez que o tempo requerido para a tomada de decisão pode ser bem mais curto do que praticado na aviação comercial.

Nesse contexto dinâmico, onde o operador de frota pretende atender com eficiência e prontidão as solicitações dos usuários, os voos considerados *ON DEMAND* ou *NON SCHEDULED* vão exigir uma resposta rápida do sistema, uma vez que o diferença entre o tempo da submissão de um plano e a hora prevista de decolagem pode ser algo em torno de minutos.

Caso esse tipo de demanda se concretize, torna-se fundamental um modelo de negócios capaz de promover a troca de informações rápidas e precisas entre os stakeholders dentro de um ambiente colaborativo.

Devido a densidade elevada de tráfego no cenário urbano, os slots derivados da combinação dos recursos alocados nos *vertiport* deverão ser precisos e as janelas de utilização deverão ser cronometradas.

Portanto, numa operação real no UAM, quando um voo não for capaz de operar numa janela de tempo previamente coordenada, seja por razões operacionais, técnicas ou até mesmo de gerenciamento de fluxo, haverá um processo colaborativo entre o operador de frota, o PSU e o *vertiport* com a finalidade de acomodar o voo sem comprometer a segurança das operações.

A Tab.2 mostra uma comparação das principais características que devem ser levadas em conta para o slot na aviação comercial e no UAM.

**Tabela 2 Tabela comparativa dos Slots na aviação comercial (AC) e no UAM (TBD: A ser definido)**

| Visão Comparativa | | |
|---|---|---|
| **Características** | **Slot AC** | **Slot UAM** |
| Comportamento | Estático | Dinâmico |
| Capacidade de Referência para alocação | Utiliza a capacidade declarada | Utiliza a capacidade revisada |
| Fase do Gerenciamento do fluxo | Foco no estratégico | Todas as fases do gerenciamento, mas com o foco no tático |
| Janela de Validade do slot | 15 min antes /30 min depois da hora alocada | TBD |
| Detalhamento dos recursos utilizados | Sem detalhamento | Detalhamento obrigatório desde a submissão do plano |
| Ambiente Colaborativo para oferta e alocação do slot | Ênfase no estratégico durante as definições das temporadas | Todas as fases, com ênfase no tático |
| Processo de alocação e atualização do slot | Automatizado | Automatizado |
| Regras de alocação do slot | Regras bem definidas | TBD |

## 5. IMPACTO DA CAPACIDADE REVISADA NA OFERTA DE SLOTS

A Tab.3 apresenta 3 cenários hipotéticos para a revisão da capacidade de forma dinâmica

**Cenário 1:** O cenário hipotético apresenta a melhor configuração operacional para um dado *vertiport* sem a incidência de qualquer redutor da capacidade declarada. Nesse caso, de acordo com os dados temos:

DC = 10 Mov/h

RC = 10 Mov/h

NAS = Number of Available Slots = 10 Slot

**Cenário 2:** O cenário hipotético apresenta uma redução das condições climáticas implicando na mudança de uma operação VFR para IFR* nos mínimos. Em função dessa degradação meteorológica, a taxa de aceitação do *vertiport* diminui não só pela restrição da visibilidade na aproximação, mas também na superfície do *vertiport* devido à realização do taxi mais lento das aeronaves. Desse modo, supondo que essas restrições impactem os valores do MSAT e MTT

**Tabela 3 Tabela paramétrica da capacidade revisada do vertiport (MSAT = Tempo Mínimo de aproximação padrão [Relativo a taxa de chegada do Vertiport - VAR], MTT = Tempo Mínimo de Rotação, MSDT = Tempo Mínimo padrão de Partida [Relativo à taxa de aceitaçã no espaço aéreo - AAR], TLOF = Nùmero de TLOFs disponìveis, WMI = Informaçã meteorolçõogica, DC = Capacidade Declarada, RC = Capacidade Revisada)**

| Cenários | MSAT[min] | MTT[min] | MSDT[min] | TLOF | Total Time[min] | DC[Mov/h] | RC[Mov/h] | NAS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Cenário 1** | 1 | 10 | 1 | 2 | 12 | 10 | 10 | 10 |
| **Cenário 2** | 2 | 12 | 1 | 2 | 15 | 10 | 8 | 8 |
| **Cenário 3** | 2 | 10 | 1 | 1 | 12 | 10 | 5 | 4 |

para 2min e 12min, respectivamente, teremos:

DC = 10 Mov/h

RC = 8 Mov/h

NAS = Number of Available Slots = 8 Slot

**Cenário 3:** O cenário hipotético apresenta uma indisponibilidade do recurso, nesse caso, há uma impraticabilidade de uma TLOF, que limita uma possível aproximação simultânea ou uma operação de pouso e decolagens em TLFO diferentes. Nessa configuração, para que o *vertiport* possa intercalar decolagens entre aproximações sucessivas e de forma segura, assumindo um aumento no MSAT para 2min, teremos:

DC = 10 Mov/h

RC = 4 Mov/h

NAS = Number of Available Slots = 4 Slot

Nota: Os dados considerados nesse cenário hipotético não levaram em consideração o número de stands, postos de recarga elétrica, número de taxiways, dentre outros recursos, com intuito de facilitar o entendimento. No entanto, esses recursos e outros parâmetros operacionais devem ser incluídos na metodologia de cálculo aplicada pelo provedor.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo descreve o problema dos slots para o ecossitema da mobilidade aéreo urbana. A grande questão é a de que o slot da maneira como é utilizada na aviação comercial deverá ser revisto para o cenário UAM pois somente considera as capacidades de pista e de pátio desses aeroportos no estratégico. Para o ambiente UAM, um dos desafios é de que a rede possui recursos limitados no *vertiport* para atender a todas as aeronaves. Por esse motivo, o plano de voo deve considerar o recurso a ser utilizado antes de decolar para garantir que haja essa disponibilidade para que a aeronave possa utilizá-la ao pousar. Além disso, fatores meteorológicos também devem ser levados em conta para garantir que os voos curtos desse ecossistema possam estar utilizando o espaço aéreo de forma segura.

## Referências


Ahamada, Y., Diagne, S., Kone, B., Koulibaly, A. & Gningue, Y. (2018). Optimization of time slots for the air-traffic management, Journal of Mathematics Research 10, 39.

Ancel, E., Capristan, F. M., Foster, J. V. & Condotta, R. C. (2017). Real-time risk assessment framework for unmanned aircraft system (uas) traffic management (utm) Anais do 17th aiaa aviation technology, integration, and operations conference, p. 3273.

Balakrishnan, K., Polastre, J., Mooberry, J., Golding, R. & Sachs, P. (2018). Blueprint for the sky: The roadmap for the safe integration of autonomous aircraft, Airbus UTM, San Francisco, CA.

Chen, S., Wei, P., Evans, A. D. & Egorov, M. (n.d.). Estimating Airspace Resource Capacity for Advanced Air Mobility Operations.

Cook, A. (2007). European air traffic management: principles, practice, and research, Ashgate Publishing, Ltd.,.

DECEA (2017). ICA 100-41 Regras de Alocaução de Slot para Aviação Geral em Aeródromos Coordenados Ministério da Defesa Brasília.

Eurocontrol (2003). ATFM Users Manual edition n.9.0 edition.

Haddad, C. A., Chaniotakis, E., Straubinger, A., Plötner, K., Constantinos & Antoniou

(2019). Identifying the factors affecting the use and adoption of urban air mobility.

Hill, B. P., DeCarme, D., Metcalfe, M., Griffin, C., Wiggins, S., Metts, C., Bastedo, B., Patterson, M. D. & Mendonca, N. L. (2020). Uam vision concept of operations (conops) uam maturity level (uml) 4.

ICAO (2016). Doc. 4444 - Air Traffic Management 2nd ed. edition The International Civil Aviation Organization (ICAO), Vienna, Austria.

ICAO (2018). Doc. 9971 - Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management 3rd ed. edition The International Civil Aviation Organization (ICAO), Vienna, Austria.

INRIX (2022). Vertical take-off and landing services potential study. Acessado em Ago 24, 2022.
**URL:** *https://inrix.com/learn/vtol-study/*

Kleinbekman, I. C., Mitici, M. A. & Wei, P. (2018). evtol arrival sequencing and scheduling for on-demand urban air mobility Anais do 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC), pp. 1–7.

MITRE (2014). Nextgen independent assessment recommendations.

Nasa (2022). Urban air mobility simulation - nasa. Acessado em Ago 24, 2022.
**URL:** *https://www.nasa.gov/simlabs/uam*

Nuair (2021). High-density automated vertiport concept of operations.

Rigas, E. S., Kolios, P. & Ellinas, G. (2021). Scheduling aerial vehicles in an urban air mobility scheme.

Uber (2022). Uber elevate. Acessado em Ago 24, 2022.
**URL:** *https://www.uber.com/br/pt-br/elevate*

Wang, Z., Delahaye, D., Farges, J.-L. & Alam, S. (2021). Air Traffic Assignment for Intensive Urban Air Mobility Operations, Journal of Aerospace Information Systems.
**URL:** *https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03082598*

Wei, Q., Nilsson, G. & Coogan, S. (2021). Scheduling of urban air mobility services with limited landing capacity and uncertain travel times Anais do 2021 American Control Conference (ACC), pp. 1681–1686.

Wei, Q., Nilsson, G. & Coogan, S. (2022). Safety verification for urban air mobility scheduling, IFAC-PapersOnLine 55(13), 306–311, 9th IFAC Conference on Networked Systems NECSYS 2022.