



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102012003746-7 A2



(22) Data do Depósito: 17/02/2012

(43) Data da Publicação: 21/03/2017

(54) Título: MÉTODO DE NEGOCIAÇÃO DE TRAFEGO AÉREO E SISTEMA

(51) Int. Cl.: G08G 5/00

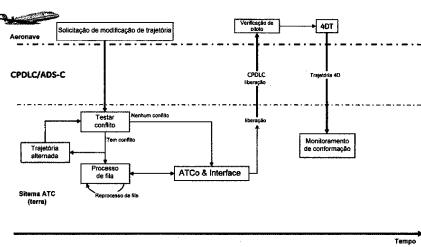
(30) Prioridade Unionista: 22/02/2011 US
13/032,176

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC
COMPANY, LOCKHEED MARTIN
CORPORATION

(72) Inventor(es): SERGIO TORRES;
LOCKHEED MARTIN CORPORATION; FENG
XUE; JOACHIM KARL ULF HOCHWARTH;
JOEL KENNETH KLOOSTER; MAURICIO
CASTILLO-EFFEN; RAJESH VENKAT SUBBU;
WEIWEI CHEN

(74) Procurador(es): ARTUR FRANCISCO
SCHAAL

(57) Resumo: MÉTODO DE NEGOCIAÇÃO DE TRAFEGO AÉREO E SISTEMA Trata-se de métodos e sistemas de programação e negociação de tráfego aéreo dentro de um espaço aéreo que circunda um aeroporto e programado para pouso no aeroporto. É usado um sistema de controle de tráfego aéreo (ATC) para monitorar as altitudes, velocidades e rotas laterais de aeronave à medida que entram no espaço aéreo. O sistema ATC gera um tempo de chegada programado (STA) para cada aeronave em um ou mais pontos de fixação de medição associados ao aeroporto, é armazenado o STA para cada aeronave, e os dados são recebidos ou inferidos com o sistema ATC para pelo menos uma primeira aeronave, incluindo uma velocidade de custo mínimo d combustível e parâmetros de trajetória previstos da primeira aeronave com base em valores atuais de seus parâmetros de trajetória existentes. Os dados auxiliares, incluindo o tempo de chegada avaliado mais antigo e o último ETAMin e ETAMax no ponto de fixação de medição, são gerados para a primeira aeronave usando os parâmetros de trajetória previstos. O sistema STC determina se o STA da primeira aeronave está dentro ou fora de uma variação ETA limita (...)



“MÉTODO DE NEGOCIAÇÃO DE TRÁFEGO AÉREO E SISTEMA”

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se em geral a métodos e sistemas para gerenciar tráfego aéreo. Especificamente, os aspectos dessa invenção 5 incluem métodos e sistemas para negociar e processar solicitações de modificação de trajetória de tráfego aéreo, e métodos e sistemas para programar chegada de tráfego aéreo em aeroportos.

As Operações Baseadas em Trajetória (TBO) é um componente chave tanto do Sistema de Transporte Aéreo da Próxima Geração U.S. (NextGen) e Pesquisa ATM de Céu Único Europeu da Europa (SESAR). Há 10 uma quantidade significativa de esforço a caminho em ambos os programas para avançar esse conceito. A sincronização de trajetória de aeronave e a negociação de trajetória são capacidades existentes nos conceitos TBO, e fornece a estrutura para aperfeiçoar a eficiência das operações de espaço 15 aéreo. A sincronização de trajetória e a negociação implementada em também possibilita que os usuários do espaço aéreo (que inclui operadores de vôo (linhas aéreas), despachantes aéreos, pessoal de convés de vôo, Sistemas Aéreos não Tripulados, e usuários militares) para trajetórias de vôo próximas as suas trajetórias preferidas (preferido pelo usuário), possibilitando objetivos 20 comerciais, incluindo economias de tempo e de combustível, rotina de vento ótima, e direção para circundar células de tempo, a serem incorporados nos conceitos TBO. Como tal, há um desejo de gerar tecnologias que suportem sincronização de trajetória e negociação, que sucessivamente podem facilitar e acelerar a adoção de TBO.

25 Conforme usada no contexto, a trajetória de uma aeronave é uma sequência de tempo ordenada de posições tridimensional uma aeronave segue da decolagem para aterrissagem, e pode ser descrita matematicamente por um conjunto de tempo ordenado ou vetores de trajetória. Em contrapartida, o

plano de vôo de uma aeronave será referido como documentos que são preenchidos por um piloto ou um despachante de vôo com a autoridade de aviação civil local antes da partida, e inclui tal informação como pontos de partida e chegada, tempo de rota avaliado, e outras informações gerais que

5 possam ser usadas pelo controle de tráfego aéreo (ATC) para fornecer serviços de monitoramento e roteamento. Incluído no conceito de trajetória de vôo está o fato de que há um caminho de trajetória que tem uma linha central, e posição e incertezas de tempo que circundam essa linha central. A sincronização de trajetória pode ser definida como um processo de solução de discrepâncias

10 entre representações diferentes de uma trajetória de aeronave, de maneira que quaisquer diferenças remanescentes sejam operacionalmente insignificantes. O que constitui uma diferença operacionalmente insignificante depende na intenção de uso da trajetória. As diferenças relativamente maiores podem ser aceitáveis para avaliações de demanda estratégica, embora as diferenças

15 devam ser menores para uso no gerenciamento de separação tática. Um objetivo abrangente das TBO é reduzir a incerteza associada à previsão de um local futuro de aeronave por meio do uso de uma trajetória quadridimensional precisa (4DT) no espaço (latitude, longitude, altitude) e tempo. O uso das 4TD precisas tem a habilidade de reduzir drasticamente a incerteza do caminho de

20 vôo das futuras aeronaves em termos da habilidade para prever a posição espacial futura da aeronave (latitude, longitude e altitude) relativa ao tempo, incluindo a habilidade de prever tempos de chegada em um local geográfico (referido como fixação de medição, fixação de medição, fixação de chegada, ou “cornerpost”) para um grupo de aeronaves que estão se aproximando de seu

25 aeroporto de chegada. Tal capacidade representa uma alteração significativa da presente abordagem de “controle baseado em autorização” (que depende de observações no estado atual da aeronave) para uma abordagem baseada em controle de trajetória, com o objetivo de permitir que uma aeronave voe ao

longo de uma trajetória preferida por usuário. Portanto, um facilitador crítico para TBO é a disponibilidade de uma trajetória planejada precisa (ou múltiplas trajetórias possíveis), fornecendo ATC com informações valiosas para permitir uso mais eficaz de espaço aéreo.

5 Geralmente, a negociação de trajetória é um processo pelo qual é trocada informação para equilibrar as preferências de usuário com segurança, capacidade e objetivos de negócio e restrições de operadores ou Provedores de Serviço de Navegação Aérea (ANSPs). Apesar da negociação de trajetória ser um componente chave dos conceitos TBO existentes, pode haver muitos 10 pontos de vista diferentes no que a negociação de trajetória é e envolve. Dependendo da estrutura de tempo e do resultado desejado da negociação, serão envolvidos diferentes autores na negociação, e serão trocadas informações diferentes. Geralmente, o conceito de negociação de trajetória tem sido descrito como um desejo de operador de aeronave para negociar uma 15 trajetória ótima ou preferida, equilibrada com o desejo de assegurar separação segura da aeronave e sequência ótima daquelas da aeronave durante a partida e chegada, ao mesmo tempo em que fornece uma estrutura de igualdade. Os conceitos de negociação de trajetória também permitem que os usuários do espaço aéreo submetam preferências de trajetória para solucionar conflitos, 20 incluindo modificações propostas para uma trajetória 4D de aeronave (rota lateral, atitude e velocidade).

Em vista do acima, os conceitos TBO requerem a geração, negociação, comunicação e gerenciamento de 4DTs de aeronave individual e agrega fluxos que representam as trajetórias de várias aeronaves dentro de um 25 determinado espaço. O gerenciamento de trajetória de múltiplas aeronaves pode ser alcançado com mais confiabilidade através de assistência automatizada para negociar solicitações de alteração de trajetória do piloto com operadores de aeronave equipados apropriadamente, permitindo a negociação

de trajetórias quadridimensionais entre o piloto / operador de uma aeronave e o ANSP. A negociação de trajetória foi descrita como sendo dotada de quatro fases: pré-negociação, negociação, acordo e execução. Ver, por exemplo, "Joint Planning and Development Office", outubro, 2008, "NextGen Avionics Roadmap", Versão 1. Na pré-negociação, as trajetórias preferidas pelo usuário de toda aeronave relevante são conhecidas ou inferidas por um sistema de gerenciamento de tráfego aéreo (ATM). Quaisquer conflitos entre essas trajetórias preferidas pelo usuário ou com restrições de espaço aéreo levam à fase de negociação. Nessa fase, as modificações em uma ou mais trajetórias preferidas pelo usuário podem ser negociadas entre o operador de vôo e o ANSP para fazer o melhor uso do espaço aéreo da perspectiva ANSP ao mesmo tempo em que minimiza o desvio dos objetivos do operador para esse vôo. A fase de acordo resulta em uma negociação 4DT para a aeronave, pelo menos uma parte da qual é liberada pelo ANSP. Na fase de execução, a aeronave voa o 4DT concordado e liberado, e o ANDS monitora a aderência a esse 4DT. A falha da aeronave em aderir à trajetória negociada, ou às alterações nas circunstâncias (por exemplo, uma situação de emergência ou vôo popular) pode resultar em reinício da fase de negociação. Para uso nas fases de negociação e acordo, há, ou estão em desenvolvimento, vários protocolos de negociação e padrões de desempenho aviônicos, por exemplo, comunicação de link de dados piloto controlador (CPDLC) e tecnologias de contrato de vigilância dependente automática (ADSC).

Há vários tipos de Gerenciadores de Chegada (AMAN) relacionados aos conceitos de gerenciamento de tráfego conhecidos na técnica, cujos exemplos não limitadores incluem sistemas conhecidos como Aconselhador de Gerenciamento de Tráfego (TMA) e Aconselhador Apropriado em Rota (EDA), que são parte das Aeronáuticas Nacionais e Administração de Espaço (NASA) Sistema de Automação de TRACON Central (CTAS)

atualmente sob desenvolvimento. O TMA é comentado em *H.N. Swenson* em torno de al., "Projeto e Avaliação Operacional do Aconselhador de Gerenciamento de Tráfego no Centro de Controle de Tráfego de Rota da *Fort Worth Air*", Primeira Pesquisa de Gerenciamento de Tráfego Aéreo EUA / Europa e Seminário de Desenvolvimento, *Saclay*, França (17 a 19 de junho de 1997), e EDA é comentado em *R.A. Coppenbarger* em torno de al., "Projeto e Desenvolvimento do Aconselhador Apropriado em Rota (EDA) para Medição de Chegada Livre de Conflito," Procedimentos de Guia AIAA, Navegação, e Conferencia de Controle (2004). O objetivo principal de TMA é programar chegadas atribuindo a cada aeronave um tempo de chegada programado (STA) nas fixações de medição. O TMA computa o retardo necessário como a diferença entre o STA e o tempo de chegada avaliado (ETA). O objetivo principal de EDA é computar aconselhadores para controladores de tráfego aéreo (ATCo) para auxiliar a liberar a aeronave para uma fixação de medição de chegada em conformidade com STAs, ao mesmo tempo em que impede os conflitos de separação com outra aeronave ao longo da trajetória de chegada. O EDA usa principalmente instrumentações de velocidade e então, se necessário, adiciona distância lateral para absorver mais retardo por via de extensões de caminho. O EDA também incorpora a detecção de conflito e resolução de conflito por meio de ajustes simultâneos tanto para cruzeiro quanto velocidades apropriadas. Contudo, as preferências do usuário não são incorporadas no conceito EDA.

Permanecem várias brechas na implementação TBO, devido em parte a falta de velocidade das atividades de validação e avaliações de benefícios. Em resposta, a *General Electric Company* e a *Lockheed Martin Corporation* criaram uma iniciativa de Pesquisa Estratégica de Articulação (JSRI) para gerar tecnologias que acelerem a adoção de TBO no setor de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM). Os esforços da JSRI incluíram o uso

do Sistema de Gerenciamento de Vôo da GE (FMS) e experiência de aeronave, experiência de domínio ATC de *Lockheed Martin*, incluindo a Modernização de Automação Em Rota (ERAM) e o Sistema Terminal de Radar Automatizado Comum (ARTS Comum), para explorar e avaliar a negociação de 5 trajetória e conceitos de sincronização. Os sistemas de automação terrestre tipicamente fornecem um modelo de trajetória quadridimensional capaz de prever os caminhos da aeronave em tempo e espaço, fornecendo informação que seja requerida para planejar e realizar controle de tráfego aéreo crítico e 10 funções de gerenciamento de fluxo de tráfego, tal como programa, previsão de conflito, gerenciamento de separação e monitoramento de conformidade. A 15 bordo de uma aeronave, o FMS pode usar uma trajetória para orientação de loop fechado por meio de sistema de controle de vôo automático (AFCS) da aeronave. Muitos FMSs modernos são capazes de atender um tempo de chegada requerido (RTA), que pode ser atribuído a uma aeronave por sistemas terrestres.

Apesar das capacidades tecnológicas acima, permanecem as 20 questões relacionadas ao processo de negociação de trajetória, incluindo a maneira na qual as alterações dos parâmetros e restrições afetam as trajetórias 4D de um grupo de aeronaves em um determinado espaço aéreo, e como 25 chegar em trajetórias negociadas que estejam os próximo possível às trajetórias preferidas pelo usuário (em termos de objetivos comerciais) ao mesmo tempo em que honram inteiramente os objetivos ATC (separação de segurança, fluxo de tráfego, etc.).

Breve Descrição Da Invenção

25 A presente invenção fornecer um método e sistema adequados para negociar tráfego aéreo compreendendo várias aeronaves que estejam dentro de um espaço aéreo que circunda um aeroporto e programadas para chegarem em um ponto, tal como uma pista de pouso e decolagem do

aeroporto ou em uma fixação de medição intermediária.

De acordo com um primeiro aspecto da invenção, o método inclui o uso de um sistema de controle de tráfego (ATC) para monitorar a altitude, velocidade e roda lateral de cada aeronave das várias aeronaves à medida que

5 a aeronave entra no espaço aéreo, gerando com o sistema ATC um tempo de chegada programado (STA) para cada das várias aeronaves em pelo menos um ponto de fixação de medição associado ao aeroporto, armazenando o STA para cada aeronave, recebendo ou inferindo os dados com o sistema ATC para pelo menos uma primeira das várias aeronaves em que os dados

10 compreendem uma velocidade de mínima de custo de combustível e parâmetros de trajetória prevista da primeira aeronave e os parâmetros de trajetória prevista compreendem altitude, velocidade e rota lateral previstas da primeira aeronave com base nos valores atuais dos parâmetros de trajetória existentes da primeira aeronave modificada por quaisquer modificações não

15 intencionadas para a mesma, os dados de recebimento e de geração auxiliares para a primeira aeronave usando os parâmetros de trajetória preferidos da primeira aeronave em que os dados auxiliares compreendem um tempo de chegada avaliado mais antigo (ETA_{min}) e o último tempo de chegada avaliado (ETA_{max}) para a primeira aeronave no ponto de fixação de medição, realizando

20 uma computação com o sistema ATC para determinar se o STA da primeira aeronave está na ou fora de uma variação ETA limitado pelo ETA_{min} e o ETA_{max} da mesma, transmitindo para as instruções da primeira aeronave para assegurar que a primeira aeronave chegará ao ponto de fixação de medição no STA ou no ETA_{min} da primeira aeronave, e atualizando o STA para cada

25 aeronave armazenada na fila.

Outro aspecto da invenção é um sistema adaptado para realizar o método acima descrito.

Ainda de acordo com outro aspecto da invenção, o sistema inclui

meios para monitoramento da altitude, velocidade e rota lateral de cada aeronave das várias aeronaves à medida que as aeronaves entram no espaço aéreo, meios para gerar um tempo de chegada programado (STA) para cada das várias aeronaves em pelo menos um ponto de fixação de medição

5 associado com o aeroporto, meios para armazenar o STA para cada aeronave em uma fila, meios para receber ou inferir dados para pelo menos uma primeira das várias aeronaves em que os dados compreendem uma velocidade de mínimo de custo de combustível e parâmetros de trajetória da primeira aeronave e os parâmetros de trajetória previstos compreendem altitude,

10 velocidade e rota lateral previstas da primeira aeronave com base nos valores atuais dos parâmetros de trajetória existentes da primeira aeronave modificados por quaisquer modificações não intencionadas, meios para receber ou gerar dados auxiliares para a primeira aeronave usando os parâmetros de trajetória previstos da primeira aeronave em que os dados auxiliares que

15 compreendem um tempo de chegada avaliado mais antigo (ETA_{min}) e o último tempo de chegada avaliado (ETA_{max}) para a primeira aeronave no ponto de fixação de medição, meios para executar uma computação para determinar se o STA da primeira aeronave está na ou fora da variação ETA limitada pelo ETA_{min} e o ETA_{max} da mesma, transmitindo para a primeira aeronave instruções

20 para assegurar que a primeira aeronave chegue no ponto de fixação de medição no STA ou no ETA_{min} da primeira aeronave, e meios para atualizar o STA para cada aeronave armazenada na fila, em que o meio de monitoramento, o meio de geração de STA, os meios de recebimento ou inferência de dados, e os meios para realizar computação são componentes de

25 um sistema ATC que não estão situados e qualquer das várias aeronaves.

Um efeito técnico da invenção é que o método e sistema de gerenciamento de programa podem ser empregados para possibilitar que um sistema ATC facilite um ou mais vôos de aeronave em um determinado espaço

aéreo para alcançar alvos de tempo de sistema preferidos e/ou programas que reduzem significativamente os custos operacionais tais como queima de combustível, tempo de vôo, conexões de passageiros perdidas, etc. Como tal, o método e sistema de gerenciamento de programa podem facilitar um 5 aperfeiçoamento nas operações ATC em um ambiente com tipos diferentes de capacidades de desempenho de aeronave (Equipagem Mista). Fornecendo mais soluções ótimas para aeronave com melhores capacidades, esse método e sistema de gerenciamento de programa encorajam os operadores de aeronave a considerar a instalação dos sistemas de gerenciamento de vôo 10 avançados (AFMS) que suportem as negociações de ar-terra.

Outros aspectos e vantagens dessa invenção serão mais bem explicados a partir da descrição detalhada.

BREVE DESCRIÇÃO Dos DESENHOS

A Figura 1 é um diagrama em bloco de um método de gerenciamento de preferência e sistema para gerenciar trajetórias quadridimensionais de aeronave dentro de um espaço aéreo de acordo com um primeiro aspecto dessa invenção. 15

A Figura 2 representa um diagrama de fluxo de informação de software adequada para implementar o método de gerenciamento de preferência da Figura 1. 20

A Figura 3 representa um módulo de software e um diagrama de interface adequados para implementar o método de gerenciamento de preferência da Figura 1.

A Figura 4 representa um fluxo de processo para o processador de fila da Figura 1 e o processador de fila e os blocos de otimização de fila da Figura 2. 25

As Figuras de 5 a 10 ilustram um exemplo de implementação do método e sistema de gerenciamento de preferência da Figura 1.

A Figura 11 é um diagrama em bloco de um método e sistema de gerenciamento de programa para monitorar os caminhos e/ou velocidades de aeronave de maneira que possam atender as variações de tempos programadas (ATAs) em um aeroporto de acordo com outro aspecto desta 5 invenção.

As Figuras 12 e 13 são diagramas em bloco indicando processos realizados por uma ferramenta consultiva do método e sistema de gerenciamento de programa da Figura 11.

A Figura 14 é um fluxograma representando operações realizadas 10 pela ferramenta consultiva do método e sistema de gerenciamento de programa da Figura 11.

A Figura 15 ilustra um exemplo de um cenário para implementar o método de gerenciamento de programa desta invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

15 A seguir são comentados vários aspectos de um gerenciamento de tráfego aéreo dentro do escopo desta invenção. Um primeiro desses aspectos é inferido como gerenciamento de preferência, que envolve negociações de trajetória entre os sistemas de controle de tráfego aéreo terrestre (ATC) e aeronave que permitem modificações nas trajetórias 20 quadridimensionais de aeronave (4DTs) para atender objetivos comerciais e de segurança. Conforme aqui usado, o “sistema ATC” se refere a qualquer um ou qualquer aparelho responsável para monitorar e gerenciar tráfego aéreo em um determinado espaço aéreo, incluindo controladores de tráfego aéreo (ATCo) e 25 a automação que usam, e “aeronave” será usada para englobar não apenas a própria aeronave como também qualquer um ou qualquer coisa responsável pelo planejamento e alteração da trajetória 4D da aeronave, incluindo, mas não se limitando aos despachantes de vôo, operadores de vôo (linhas aéreas), e pessoal de cabine de comando. Hardware e outros aparelhos empregados

pelo sistema ATC são terrestres para distinguir do sistema ATC do hardware a borda da aeronave. Um segundo aspecto dessa invenção é referido como um gerenciamento de programa, envolvendo comunicações entre sistemas ATC e aeronave para determinar modificações de trajetória necessárias para atender

5 um programa de chegada de aeronave dentro de um espaço aéreo que circunda um aeroporto. O gerenciamento de programa também incorpora negociações de trajetória entre os sistemas ATC e a aeronave de maneira que os programas de tempo preferidos do sistema podem ser atendidos sem violar as restrições de segurança de voo embora de preferência minimizem os custos

10 dos usuários. Conforme aqui usado, uma negociação de trajetória irá se referir a um processo, potencialmente iterativo, entre um sistema ATC e uma aeronave para chegar em um conjunto de alterações de trajetória que sejam aceitáveis para a aeronave e não apresentar conflitos com outra aeronave em um determinado espaço aéreo, incluindo a habilidade de atender objetivos de

15 operadores das empresas enquanto mantém a segurança ANSP e as necessidades de programa.

De acordo com o primeiro aspecto da invenção, são proporcionados métodos e sistemas de gerenciamento de preferência para facilitar um ou mais vôos de aeronave em um determinado espaço aéreo para alcançar trajetórias (4TD) preferidas por usuário quadridimensional (altitude, latitude, longitude, tempo) durante voo de maneira que os objetivos de segurança possam ser atendidos e os custos comerciais relevantes para o operador de aeronave podem ser minimizados. O gerenciamento preferencial requer negociações de trajetória, que podem ser iniciadas por uma solicitação

20 de modificação de trajetória de uma aeronave, incluindo solicitações para alterações em altitude, rota lateral (latitude e longitude), e velocidade. Um exemplo não limitativo é quando uma aeronave transmite uma solicitação de

25 modificação de trajetória que irá possibilitar que a aeronave passe uma

aeronave à frente mais lenta. O gerenciamento de preferências proporciona o processamento de alterações compatíveis da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) pela habilidade para analisar e conceder solicitações de modificação de trajetória. Deve ser também observado que as observações terrestres podem iniciar uma negociação de trajetória, por exemplo, se os caminhos de determinado conjunto de aeronaves estiverem em conflito e precisarem ser modificados para vôo livre de conflito.

A Figura 1 é um diagrama em bloco do cenário de preferência de usuário, e representa uma aeronave dentro de um espaço aéreo de interesse. O método de gerenciamento de preferência é iniciado com a transmissão por uma aeronave de uma solicitação de modificação de trajetória, que pode incluir uma alteração de altitude de cruzeiro (devido à diminuição de massa ou mudança de ventos) durante o vôo, uma mudança de rota lateral (latitude / longitude) (por exemplo, um "Direct-To" ou redirecionamento de escape de tempo), e/ou alteração de velocidade para diminuir uso de combustível ou alterar o tempo de chegada da aeronave, por exemplo, para compensar um atraso. A aeronave pode fornecer (por exemplo, por via de downlink digital da aeronave, uma solicitação de voz, ou uma alteração digital do despachante de vôo) a solicitação de modificação de trajetória para a "Terrestre", que inclui o sistema ATC e seus ATCos, suas interfaces gráfica / usuário ("Interface"), e automação ("Teste de Conflito" e "Processo de Fila"). A solicitação de modificação pode ser uma emenda de trajetória específica, por exemplo, usando um mecanismo de Comunicações de Link de Dados de Controlador-Piloto (CPDLC) cuja automação do sistema ATC converte para um 4DT previsto usando plano de vôo suplementar e dados de estado. Alternativamente, a emenda de trajetória pode ser incorporada em uma trajetória alternada, possivelmente usando tecnologias existentes como, por exemplo, usando um Contrato de vigilância dependente automática (ADS-C).

Como tal, a invenção pode padronizar existentes, tais como mensagens ADS-C e CPDLC definidas pela Comissão Técnica de Rádio para Aeronáutica (RTCA) Comitê Especial-214 (SC-214), apesar do processo de negociação aéreo-terrestre desta invenção não se limitar a tais formatos de comunicação ou 5 tempos de chegada controlados (CTAs).

O sistema ATC pode ou escolher considerar manualmente a solicitação de modificação de trajetória (ATCo & Interface), apesar de um aspecto preferido da invenção deva delegar o processamento de solicitação para automação, conforme representado na Figura 1. Em ordem de 10 recebimento, o Teste de Conflito do sistema ATC compara os 4TDs resultantes das solicitações de modificação de trajetória para um agregado de outras trajetórias para um subconjunto ou inteiramente de todo tráfego conhecido em um determinado espaço aéreo para o qual o sistema ATC é responsável. Cada comparação identifica quaisquer conflitos (por exemplo, uma violação de uma 15 separação mínima entre os estados de aeronave previstos correlacionando as trajetórias, ou conflitos relacionados à congestão de espaço aéreo ou fluxo) entre a 4TD resultante e os 4TDs de todos antecedentes de tráfego aéreo relevantes, que são mantidos no sistema ATC. Se não for identificado nenhum conflito, o sistema ATC pode iniciar um uplink automático para a aeronave cuja 20 solicitação de modificação de trajetória tenha sido esclarecida (concedida), ou pode fornecer a solicitação de negociação e outras informações de esclarecimento relacionadas para o ATCo (ATCo & Interface) para ação adicional, incluindo a solicitação de negociação de concessão ou de conservação. Uma vez que a solicitação de modificação tenha sido observada 25 (“Verificação de Piloto”) e (“4DT”) implementado pela aeronave, o sistema ATC monitora a trajetória da aeronave para conformação da solicitação de modificação negociada. O resultado do processo de negociação de trajetória é de preferência uma trajetória sincronizada que é próxima à trajetória preferida

pelo usuário (em termos de custos comerciais) ao mesmo tempo em que honra todos os objetivos do sistema ATC relacionado à separação de segurança, fluxo de tráfego, etc.

Por outro lado, se a solicitação de modificação de trajetória 5 apresentar conflito, o sistema ATC pode colocar a solicitação de modificação de trajetória em uma fila de dados de memória de computador para consideração futura ("Processo de Fila"), e então processa a solicitação de modificação de trajetória seguinte que tenha sido submetida por uma aeronave diferente. O processo de fila envolve o processamento periódico de fila para 10 identificar as solicitações de fila que possam ser concedidas, por exemplo, devido as circunstâncias que tenham sido resultadas anteriormente em um conflito que não mais existe. A aeronave que transmitiu as solicitações concedidas pode então ser notificada de que suas solicitações foram concedidas, e as solicitações concedidas podem ser limpas da fila. Como será 15 comentado abaixo com referência à Figura 4, o processo de fila utiliza um algoritmo de otimização para identificar e conceder solicitações de fila, de preferência em uma maneira que elimina maximamente as solicitações pendentes em fila e garante equidade através de todos os usuários do espaço aéreo. Por exemplo, o processo de fila pode utilizar um método de otimização 20 combinatória, por exemplo, heurísticas combinatórias. Para evitar que a fila seja sobrecarregada com números excessivos de solicitações, o processo de fila de preferência permite que as solicitações de modificação de trajetória 25 sejam eliminados pela solicitação da aeronave, e as solicitações de modificação de trajetória são preferivelmente dotadas de um tempo de duração finito dentro da fila após o que podem ser limpas da fila.

Além disso, para utilizar a fila, o sistema ATC pode identificar e realizar um teste de conflito em uma solicitação de modificação de trajetória alternada e, se apropriado, propor a modificação de trajetória alternada para a

aeronave se estiver livre de conflito. A modificação de trajetória alternada pode ser baseada na informação fornecida da aeronave com relação ao impacto (positivo ou negativo) nos objetivos comerciais do operador de vôo de várias alterações de trajetória, tal como uma alteração de distância lateral, uma 5 altitude de cruzeiro aumenta ou diminui, ou uma alteração de velocidade. Isso permite uma trajetória alternativa que pode preferível à trajetória atualmente limpa a ser concedida, mesmo que a solicitação original (ótima) não possa ser concedida. A aeronave pode aceitar ou rejeitar a modificação de trajetória alternativa. Se a modificação de trajetória alternativa for rejeitada pela 10 aeronave, sua solicitação de modificação de trajetória original é retornada para a fila para processamento subsequente. Se a modificação de trajetória alternativa for aceita pela aeronave, sua solicitação de modificação de trajetória original pode ser eliminada da fila.

Uma arquitetura de software de sistema de alto nível e 15 comunicações da mesma podem ser realizadas em um aparelho de processamento de computador para implementar o método de gerenciamento de preferência descrito acima. Os fluxogramas de um módulo de gerenciamento preferido estão descritos nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 representa o fluxo de informação de software de gerenciamento de 20 preferências, e a Figura 3 representa os módulos e interfaces de software de gerenciamento de preferências. Nas Figuras 2 e 3, o módulo de gerenciamento de preferências lê dados de vôo e eventos do meio de armazenamento de dados de um controlador central, que sincroniza a informação entre ar e terra, em uma maneira dinâmica. Essa informação, 25 incluindo os parâmetros de trajetória da aeronave, é atualizada no meio de armazenamento de dados. O fluxo de processo para o processador de fila do módulo de gerenciamento de preferências, incluindo a representação de algoritmos de otimização alternativa, está representado na Figura 4. O

processador de fila utiliza trajetórias previstas, por exemplo, obtidas por meio de um prognosticador de trajetória de automação terrestre, para detectar conflitos entre as trajetórias 4D existentes de aeronave dentro do espaço aéreo e da trajetória 4D resultante de cada solicitação de modificação de trajetória.

5 O processo de fila é particularmente importante na situação típica na qual várias aeronaves ocupam o espaço aéreo monitorado por um sistema ATC, e duas ou mais das modificações de desejo de aeronave para suas trajetórias para alcançar determinados objetivos. Na prática existente, as solicitações de preferência seriam ou minimamente consideradas ou 10 provavelmente negadas sem consideração adicional devido a sobrecarga de informação que os controladores de tráfego aéreo tipicamente experimentam.

15 Considere T_i e P_i , respectivamente, a trajetória atual e a trajetória preferida para uma determinada aeronave A_i , que é uma de n aeronaves em um espaço aéreo monitorado por um sistema ATC. O objetivo ideal é alcançar potencialmente um arquivo de trajetória sem conflito $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ onde P_i 's 20 de aeronave solicitando modificações de trajetória substituíram os T_i 's dessas aeronaves seguindo um teste de conflito que não detecte quaisquer conflitos. Contudo, isso pode não ser possível na prática devido a conflitos potenciais, nos quais o objetivo seja identificar um arquivo que conceda o número máximo de preferências sem conflito e, por exemplo, esforçar-se para atender determinados objetivos comerciais ou minimize custos operacionais (por exemplo, uso de combustível) entre a aeronave (A_n). Tal processo pode requerer arquivos de trajetória considerável onde um ou mais T_i 's no conjunto 25 são seletivamente substituídos com o P_i 's e testado para conflitos. Essa substituição seletiva e processo de teste é um problema combinatório, e para n solicitação de modificação de trajetória há 2^n opções. Mesmo com um tamanho de fila muito modesto de cinco vôos, há trinta e duas possibilidades, que não podem ser prontamente avaliadas manualmente pelo ATCo.

Em vista do acima, o objetivo é empregar uma abordagem para manipular dinamicamente várias solicitações de modificação de trajetória, de maneira que a fila seja periodicamente processada em uma maneira ótima sob restrições operacionais, com cada processo periódico realizando uma avaliação de conflito nas solicitações de modificação de trajetória enfileiradas para determinar qual, se alguma, das solicitações ainda apresenta conflitos com as trajetórias 4D de outra aeronave dentro do espaço aéreo. Durante tal processamento periódico, as solicitações mais recentes podem receber prioridade mais alta para maximizar o tempo total que as aeronaves voam de acordo com suas preferências. Com essas capacidades, o módulo de gerenciamento de preferências representado nas Figuras de 1 a 3 seriam mais prontamente capazes de acomodar preferências de usuário por meio das solicitação de modificação de trajetória por via das negociações em rota.

Do exposto, deve ser apreciado que o módulo de processo de fila (Figura 4) do módulo de gerenciamento de preferências deve ser configurado para aceitar solicitações de modificação de trajetória que não possam ser imediatamente esclarecidas pelo sistema ATC devido aos conflitos situacionais, e capazes de processar com eficiência as solicitações em fila (pendentes) em tempo hábil. Conforme anteriormente descrito com referência à Figura 1, embora as trajetórias acordadas e sincronizadas de aeronave dentro de um espaço aéreo estejam livres de conflito por algum tempo, uma ou mais aeronaves podem desejar alterações de altitude, lateral, e/ou de velocidade de maneira que possam atingir um perfil de vôo ótimo, que pode incluir a passagem de preferências de manobra, como pode ser recomendado por seu sistema de gerenciamento de vôo (FMS). Nesse caso, as preferências, expressas como solicitações de modificação de trajetória, são conectadas de forma descendente ao sistema ATC em terra. O sistema ATC precisa então identificar uma combinação de solicitações de modificação de trajetória que

estarão livres de conflito. Conforme evidenciado a partir do comentário que se segue, são possíveis vários algoritmos para esse fim, incluindo algoritmos heurísticos, para processar com eficiência um conjunto de solicitações em fila, apesar de ser possível o desenvolvimento de outros algoritmos no futuro.

5 Uma primeira solução heurística visualiza a substituição seletiva acima e o processo de teste como um problema de designação combinatória binária. A designação $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ é o primeiro conflito testado, e se o resultado dor um arquivo de trajetória sem conflito, então todo o arquivo é liberado através das comunicações com a aeronave. Contudo, se for
10 detectado um conflito, pode ser construída uma tabela de verdade de n bits para explorar as opções com n a k bits ativos, onde k é um inteiro maior do que ou igual a 1, mas menor do que n . como um exemplo, cada opção na tabela de verdade corresponde a um arquivo de trajetória $\{P_1, P_2, \dots, T_m, \dots, P_n\}$ onde as
15 solicitações de modificação de trajetória (P_n) para todas exceto uma aeronave (solicitação T_m para aeronave A_m) são provisoriamente concedidas. Nos arquivos de trajetória alternada, a(s) solicitação(ões) de modificação de trajetória que não é/são provisoriamente concedidas e/são diferente(s) para cada arquivo. Cada desses arquivos de trajetória alternada é testado para conflito, e os arquivos que resultam em um conflito são eliminados. Se existir
20 um único arquivo que não tenha conflito, as solicitações de modificação de trajetória associadas a esse arquivo são concedidas e liberadas por via das comunicações com a aeronave que transmitiu as solicitações concedidas. No caso em que os arquivos não apresentam conflito, pode ser realizada uma computação de custo que compara os custos operacionais relativos associados
25 à concessão de cada arquivo sem conflito, incluindo os benefícios adicionais associados à concessão das solicitações mais recentes, de maneira que pode ser selecionado o arquivo com o custo mais baixo. Os custos operacionais relativos podem considerar custos relacionados a combustível e/ou relacionado

a tempo. As solicitações de modificação de trajetória associadas ao arquivo selecionado são estão concedidas e liberadas por via das comunicações com a aeronave que transmitiu as solicitações concedidas, e as solicitações de modificação concedidas podem sair da fila. Por outro lado, se não forem 5 identificados arquivos de trajetória sem conflito com $n-1$ preferências ativas, o processo pode ser repetido com $n-2$ preferências ativas. Esse processo pode ser repetido $n-3, n-4$, e assim por diante ou até que tenham sido explorados todos os arquivos de trajetória possíveis. A pior situação é aquela em que todos os arquivos de trajetória $2n$ resultam em um conflito. A pior 10 complexidade computacional para essa heurística é também exponencial.

Outra solução heurística é considerar preferências alternadas para uma ou mais da aeronave de acordo com alguma sequência de consideração. Quando é considerada uma preferência de vôo (solicitações de modificação de trajetória, P_i), todas as outras trajetórias de vôo são retidas em 15 seu estado aceito corrente ou provisoriamente. Um estado aceito provisoriamente corresponde a uma trajetória modificada que tenha sido temporariamente liberada, mas que não foi comunicada para a aeronave como uma modificação liberada. Para cada vôo, é considerada sua preferência modificada, e é verificado se a aceitação da preferência assegura um vôo sem conflito. Se for detectado um conflito, essa preferência é não é considerada, e é considerada a próxima preferência de modificação de vôo e é realizado um 20 teste de conflito similar. Esse processo pode ser continuado até que a preferência A Figura modificação da cada vôo no arquivo tenha sido considerada em um planejamento experimental. Em seguida, cada vôo cujas 25 preferências de modificação foram descartadas anteriormente é considerado em sequência até que não sejam mais possíveis aceitações sem conflito. Esse processo iterativo pode ser repetido até que nenhuma preferência de modificação adicional possa ser aceita, Nesse ponto, é realizado um exame de

conflito final e o conjunto de modificações experimentais é concedido e liberado por via das comunicações com a aeronave. Na situação em que uma determinada aeronave pode fornecer mais de uma solicitação de modificação, e sua solicitação de modificação preferida resulte em um conflito, suas outras 5 preferências podem ser consideradas em sequência.

Ainda outra abordagem combinatória para processamento de fila usa o problema de empacotamento de nó sobre um conflito gráfico, que aqui será definido como uma pesquisa combinatória guiada ótima. Formalmente, um conflito gráfico é um gráfico $G=(V,E)$ tal como uma borda existente entre 10 quaisquer dois nós que formem um conflito (isto é, dois eventos que não podem ocorrer juntos). Considere T indicando alguma janela de tempo que é decidida pelo ATCo. O conflito gráfico é formado como se segue. Considere A indicando todas as aeronaves que apareçam no determinado espaço aéreo dentro de T . Ainda considere $AN \Phi A$ indicando a aeronave que tenha uma 15 solicitação anteriormente negada na fila. Considere $V^1 \chi V^2$ divisão de todos os nós como se segue. Toda aeronave a 0 A terá um nó em V^1 que representa a trajetória original. Toda aeronave a N 0 AN terá um nó em V^2 que representa a trajetória solicitada para essa aeronave. Todos os nós em V^1 isolado são livres 20 de conflito porque representam as trajetórias originais. Portanto, todos os vôos representados em V^2 devem ser examinados para conflito tanto com (a) todos os nós em V^1 e (b) todos os nós em V^2 . Para cada conflito existente entre vN 0 V^2 e vO 0 $V^1 \chi V^2$ extraia uma margem vN e vO . O resultado é um gráfico de conflito. Como uma margem representa um conflito em T , então não pode ser 25 “escolhido” mais de um nó para cada margem. Esse é precisamente o conjunto de restrições que define o problema de pacote de nó.

O gráfico irá consistir de dois conjuntos de nós: a aeronave correspondente às trajetórias originais e aeronave correspondente às trajetórias solicitadas. Considere KN indicando o nó no gráfico que representa

a solicitação de trajetória para aeronave $k \in \{1, 2, \dots, 5\}$. As margens são construídas entre cada conflito em pares. Para um determinado vetor de peso w o problema de pacote de nó de peso máximo será solucionado.

Foram implementados dois algoritmos para solucionar o problema de pacote de nó de peso máximo. É possível definir qual algoritmo usar ao classificar o algoritmo de processamento de fila. Um dos algoritmos é LP-Heurístico: o MWNPP é solucionado, considere 0 indicando uma solução ótima. Claramente se 0 for integral, então 0 é ótimo para o problema original. De outro modo, é retornada uma solução possível arredondando o componente fracional com o peso mais alto até 1, e seus vizinhos para baixo de zero. Isso é feito para todos componentes fracionais até que o vetor arredondado seja integral. O outro algoritmo é uma abordagem “Gananciosa”: o vetor de peso é classificado em ordem não crescente. O nó com o peso mais alto recebe o valor 1, e todos os seus vizinhos recebem 0. Então é escolhido o próximo nó com o peso mais alto que não tenha recebido um valor zero, e o processo é repetido até que todos os nós tenham recebido um valor de 0 ou 1.

A partir do acima, é evidente que o processo de fila facilita muito a habilidade do sistema ATC para acomodar solicitações de modificação de trajetória de várias aeronaves em um determinado espaço aéreo. Ao fazer isso, a utilização do processo de fila dentro de um método de gerenciamento de preferência possibilita que a aeronave alcance altitudes de cruzeiro preferidas e/ou trajetórias durante o voo de maneira que os custos comerciais associados à aeronave possam ser reduzidos e possivelmente minimizados ao mesmo tempo em que assegura a separação segura entre todos os vôos no espaço aéreo.

As Figuras de 5 a 10 ajudam a ilustrar a implementação do método de gerenciamento de preferência desta invenção. A Figura 5 representa um conjunto de cinco aeronaves, designadas como 1, 2, 3, 4 e 5,

identificadas como partindo dos aeroportos designados como KSJC, KOAK ou KSFO, e todos destinados para um aeroporto designado como KSEA. Nesse cenário de linha de base, todos os vôos seguem suas altitudes de cruzeiro de plano de vôo, designadas FL320, FL340, FL360 e FL380. Todos os vôos são de altitude separada exceto para os dois vôos KSFO (2 e 5), que são de tempo separado na mesma altitude (FL360). Para simplificar a representação visual, todos os vôos são presumidos voando na mesma precisão de velocidade aérea nesse cenário.

Na Figura 6, o Vôo 2 de KSFO solicita subir da altitude FL360 para FL380, mas essa solicitação é negada porque sua concessão resultaria em um conflito de separação com o Vôo 1 em cruzeiro em KSJC em FL380. Essa solicitação é colocada em fila, conforme representado pela entrada da solicitação em uma caixa de fila na figura 6.

Na Figura 7, o Vôo 3 de KOAK faz uma solicitação para subir de FL340 para FL360, mas essa solicitação também é negada porque sua concessão resultaria em um conflito de separação com o Vôo 2 de KSFO em cruzeiro em FL360. Como tal, essa segunda solicitação é também colocada em fila, conforme ilustrado na caixa de fila na Figura 7.

Na Figura 8, o Vôo KSJC faz uma solicitação para subir de FL320 para FL340, mas essa solicitação é negada porque sua concessão resultaria em um conflito de separação com o Vôo 3 de KOAK em cruzeiro em FL340. Essa terceira solicitação é então colocada em fila, conforme ilustrado na caixa de fila na Figura 8.

Na Figura 9, o Vôo 5 de KSFO faz uma solicitação para subir de FL360 para FL380, e essa solicitação é imediatamente atendida porque é livre de conflito. Como um resultado da solicitação concedida na Figura 9, a Figura 10 representa o resultado do processamento de fila realizado na fila, na qual três solicitações pendentes são autorizadas a subida de cruzeiro porque a

alteração de altitude concedida para o Vôo 5 facilitou uma resolução de impedimentos de conflito. Mesmo assim, a solicitação do Vôo 2 permanece pendente na fila e não pode ser concedida a menos que ocorram alterações adicionais.

5 A partir do acima, deve ser evidente que o gerenciamento de preferência pode ser empregado para possibilitar que o sistema ATC facilite um ou mais vôos de aeronave em um determinado espaço aéreo para alcançar trajetórias 4D preferidas (altitude, latitude, longitude e tempo) (4DTs) durante o vôo, de maneira que os custos operacionais associados à aeronave (por exemplo, queima de combustível, tempo de vôo, conexões de passageiro perdidas, etc.) possam ser reduzidos ou minimizados embora assegure separação segura entre todos os vôos no espaço aéreo. O gerenciamento de preferência também permite que os sistemas ATC suportem economias de combustível em amplo espaço aéreo nacional e reduzam retardos.

15 Além das solicitações de modificação de trajetória de aeronave, as negociações de trajetória podem também ser iniciadas como um resultado de observações no solo que os caminhos e/ou velocidades de uma ou mais aeronaves devam ser modificados de maneira que possam atender os tempos de chegada programados (STAs). A estrutura de negociação para atender esse tipo de evento é o módulo de gerenciamento de programação anteriormente mencionado dessa invenção, que pode ser implementado como 20 um módulo usado em combinação com o módulo de gerenciamento de preferências acima descrito. Em qualquer caso, a estrutura de gerenciamento de programa fornece um método e sistema pelos quais uma ou mais aeronaves 25 voando em um determinado espaço aéreo podem alcançar com mais facilidade os alvos de tempo preferidos do sistema de maneira que os custos comerciais relevantes para o operador de aeronave sejam minimizados e os custos de retardo do sistema sejam minimizados sem violar as restrições de segurança

de vôo. Do mesmo modo como com o método e sistema de gerenciamento de preferência comentados com referência às Figuras de 1 a 10, as negociações de trajetória ocorrem entre a aeronave e um sistema ATC (como esses termos foram anteriormente definidos sob o comentário do método e sistema de gerenciamento de preferência).

Conforme representado na Figura 11, o módulo de gerenciamento de preferências compreende módulos secundários, dois dos quais são identificados como um “Programador” e “DA” (orientador de descida). É comumente usado um Gerenciador de Chegada (AMAN) em espaço aéreo congestionado para computar uma escala de chegada para aeronave em um aeroporto particular. A função do DA é relacionada ao Orientador de Descida Em Rota da NASA (EDA), apesar de haver adições chave para essa funcionalidade. O módulo de gerenciamento de programa usa dados de supervisão de aeronave e/ou trajetória prevista da aeronave para construir um programa para chegada de aeronave em um ponto, tipicamente uma fixação de medição situado no limite do espaço aéreo terminal. Atualmente, nos Estados Unidos, essa função é realizada pelo Orientador de Gerenciamento de Tráfego de FAA (TMA), embora sejam usados internacionalmente outros AMANs. Em geral, a invenção usa uma ferramenta programadora de chegada que monitora a aeronave com base nos dados de aeronave e computa condicionalmente as sequências e STAs para a fixação de medição. Apesar dos procuradores mais atuais computarem STAs usando um algoritmo de primeiro a chegar primeiro a ser servido, há muitos meios de programa alternativo diferente, incluindo um tipo de programa de tipo melhor servido. DA, por outro lado, é uma ferramenta consultiva usada para gerar consultores de manobra para aeronave que irão possibilitar que a aeronave execute manobras precisamente (alterações de velocidade e/ou extensões de caminho) que irão entregar a aeronave para a fixação de medição de acordo com o STA computado pelo Programador.

Com referência adicional à Figura 11, uma ou mais aeronaves dentro de um espaço aéreo de interesse são monitoradas por um sistema ATC. Por exemplo, o sistema ATC monitora a trajetória 4D (altitude, rota lateral, e tempo) (4DT) de cada aeronave à medida que entra no espaço aéreo monitorado pelo sistema ATC. Para cada aeronave de interesse, o Programador gera um STA e um ou mais pontos de fixação de medição, que podem ser associados ao aeroporto de destino da aeronave. Os STA para várias aeronaves são armazenados em uma fila que é parte de um armazenamento de dados baseado em computador que podem ser acessados pelo Programador e DA. O DA então realiza uma computação para determinar se, com base na informação inferida ou conectada de forma descendente da aeronave, a aeronave poderá atender seu STA. Se necessário e possível, o sistema ATC transmite instruções para a aeronave para assegurar que a mesma chegue no ponto de fixação de medição no ATA e, se necessário, irá atualizar o STA para cada aeronave armazenada na fila. Como representado na Figura 11, as computações do DA distribuído para um Raciocinador de Programação (comentado abaixo com referência à Figura 13) antes de serem passadas para uma interface ATCo (tal como uma interface gráfica / usuário), que executa a tarefa de transmitir as instruções para a aeronave.

Para gerar conselheiros de manobra capazes de distribuir a aeronave para a fixação de medição de acordo com STA, o DA requer trajetória quadridimensional (4DT) prevista atual bem como dados auxiliares relacionados à operação e estado da aeronave. Tais dados auxiliares incluem um ou mais do seguinte: tempo de chegada preferido (TOA), o mais antigo tempo de chegada avaliado (ETA_{Min}), último tempo de chegada avaliado (ETA_{Max}), velocidades planejadas atuais (onde as velocidades podem ser uma velocidade aérea calibrada (CAS) e/ou número de Máquina para uma ou mais fases de vôo (subida, cruzeiro, ou descida), velocidades preferidas (que podem

ser velocidades de mínimo de custo de combustível, mínima e máxima velocidades possíveis, e eDTs propostas alternadas para velocidades de combustível mínimo ao longo da rota lateral atual e da altitude de cruzeiro atual. A aeronave com equipamento apropriado (tal como FMS e Comunicação de Dados (DataComm) podem fornecer esses dados auxiliares diretamente para o sistema ATC. Em particular, muitos FMS avançados podem computar precisamente esses dados, que podem ser trocados com o sistema ATC usando CPDLC, ADS-C, ou outro mecanismo de comunicações de dados entre a aeronave e o sistema ATC, ou outra troca digital do despachante de vôo.

Na prática, é provável que muitas aeronaves não possam fornecer parte dos ou todos esses dados auxiliares porque as aeronaves não estão apropriadamente equipadas ou, por motivos relacionados a negócios, os operadores restringiram as informações que podem ser compartilhadas pela aeronave. Em tais circunstâncias, parte das ou todas as informações precisarão ser computadas ou inferidas pelo sistema ATC. Devido às velocidades de combustível ótimas e em particular o 4DT previsto serem dependentes das características de desempenho da aeronave às quais o sistema ATC não tem acesso (tal como massa de aeronave, avaliação do motor, e vida do motor), espera-se que os dados auxiliares fornecidos pela aeronave equipada apropriadamente sejam mais precisos do que os dados auxiliares gerados pelo sistema ATC. Portanto, precisam ser tomadas determinadas etapas para possibilitar que o sistema ATC infira mais precisamente os dados relacionados às características de desempenho da aeronave que irão ajudar o sistema ATC a prever determinados dados auxiliares, incluindo velocidades ótimas de combustível, 4DT previsto, e fatores que influenciam os mesmos quando esses dados não são fornecidos pela própria aeronave. Conforme explicado acima, os parâmetros de interesse de desempenho de aeronave irão derivar em parte dos dados do estado da

aeronave e a informação intencionada de trajetória tipicamente incluída nos dados auxiliares fornecidos pela aeronave por via de um link de dados de comunicação. Opcionalmente, ou, além disso, a informação de supervisão pode também ser usada para aperfeiçoar o processo de inferência. Os 5 parâmetros inferidos são então usados para modelo do comportamento da aeronave pelo sistema ATC, especificamente para propósito de precisão de trajetória, planejamento experimental, e avaliação de custos operacionais associados aos planos experimentais diferentes ou manobras de trajetória.

Para prever a trajetória de uma aeronave, o sistema ATC precisa 10 confiar em um modelo de desempenho de aeronave que possa ser usado para gerar o 4DT planejado atual da aeronave e/ou vários “what if” 4DTs representando alterações não intencionadas no plano de vôo para a aeronave. Tais previsões de trajetória terrestres são em grande parte baseadas em física e utilizam um modelo do desempenho de aeronave, que inclui vários 15 parâmetros e possivelmente incertezas associadas. Alguns parâmetros que são considerados gerais para o tipo de aeronave sob consideração podem ser obtidos das especificações dos fabricantes ou dos dados de desempenho comercialmente disponíveis. Outros parâmetros específicos que tendem a ser mais variáveis podem também ser conhecidos, por exemplo, podem estar 20 incluídos no plano de vôo arquivado ou fornecidos diretamente pelo operador da aeronave. Contudo, outros parâmetros não são fornecidos diretamente e precisam ser inferidos pelo sistema ATC das informações obtidas da aeronave, e, opcionalmente, da informação de supervisão. A maneira na qual esses parâmetros podem ser inferidos está comentada abaixo.

25 Os parâmetros de desempenho de aeronave tais como propulsão do motor, arrasto aerodinâmico, fluxo de combustível, etc., são comumente usados para previsão de trajetória. Além disso, esses parâmetros são as principais influências no perfil vertical (altitude) e velocidade de uma aeronave.

Portanto, a inferência do parâmetro de desempenho tem a maior relevância para a parte vertical do 4TD de uma aeronave. Contudo, o impulso de aeronave, e as características do fluxo de combustível podem variar significativamente com base na idade e tempo da aeronave uma vez que a 5 manutenção, que o sistema ATC provavelmente não conhecerá. Em alguns casos, a informação da linha aérea, a informação de desempenho de linha aérea tal como peso bruto e índice de custo não podem ser compartilhados diretamente com automação terrestre devido à preocupação relacionada à informação que é considerada estratégica e de propriedade do operador.

10 Contudo, foi determinado que o impulso durante a fase de subida de uma aeronave é considerado muito incerto, com variações sujeitas apenas aos ajustes de energia reduzida. Na realidade, a distância ao longo da rota correspondente ao topo do ponto de subida pode ser expressa como uma função de peso de decolagem (TWO). Como tal, há uma dependência direta 15 entre a distância para o topo da subida e TOW até um determinado valor de TOW. Uma variação de peso é também conhecida a partir das especificações do fabricante da aeronave, que pode também ser aumentada com conhecimento que se origina do plano de vôo arquivado e dos regulamentos aplicáveis (distância entre aeroportos, distância para aeroporto alternado, 20 reservas mínimas, etc.). Entradas adicionais no modelo de previsão, incluindo velocidades de aeronave, velocidades de vento presumidas, e ângulos de rolo podem ser derivadas da informação de perfil lateral e usadas para prever um perfil vertical para a aeronave.

25 Em vista do acima, o conhecimento da trajetória prevista da aeronave durante a decolagem e subida pode ser usado para inferir no peso da decolagem (massa) da aeronave. Se estiver disponível uma avaliação do fluxo de combustível de aeronave, isso pode ser usado para prever o peso da aeronave durante sua operação subsequente, incluindo sua aproximação para

uma fixação de medição. As medições subsequentes do estado da aeronave (tais como velocidades de taxa de subida ou descida) com relação a trajetória prevista podem ser usadas para avaliar o fluxo de combustível e peso previsto. O peso da aeronave pode então ser usado para inferir os dados auxiliares, tais 5 como a velocidade de mínimo de custo de combustível e os parâmetros de trajetória previstos da aeronave, uma vez que dependem da massa da aeronave. Como um exemplo, o peso da aeronave é inferido pela correlação do peso de decolagem da aeronave com a distância para o topo de subida que ocorreu durante a decolagem. Podem então ser usada várias etapas de 10 geração para prever um perfil vertical da aeronave durante e seguindo a decolagem. Cada etapa de geração compreende comparar a altitude prevista da aeronave obtida de uma das etapas de geração com uma altitude atual da aeronave relatada pela aeronave. A diferença entre as altitudes atual e prevista é então usada para gerar uma altitude prevista subsequente da 15 primeira aeronave.

Conforme descrito pelo diagrama em bloco da Figura 12, o STA e os dados de aeronave (incluindo supervisão e dados auxiliares) são inseridos na automação DA, que é responsável pela geração dos consultores de manobra para a aeronave, se necessário, para atender STA. O DA usa os 20 valores de chega de tempo mais antigo e mais recente (ETA_{Min} e ETA_{Max}) para determinar o tipo de manobra requerido para atender STA. Esses limites de tempo podem ser ainda mais acolchoados para responder às incertezas potenciais na computação ETA_{Min} e ETA_{Max} , ou incerteza nos ventos que serão encontrados enquanto voa para a fixação de medição que pode ocasionar 25 tempo de precisão de chegada para não incidir nos limites de tempo previstos.

Se o STA estiver dentro dos limites ETA_{Min} e ETA_{Max} (potencialmente acolchoados) da aeronave, isso pode ser alcançado pela simples atribuição de STA para a aeronave como uma restrição de tempo e permitindo que a função

(TOAC) de controle TOA da aeronave (com frequência referida como um intervalo de tempo requerido (RTA)) para guiar e distribuir a aeronave para a fixação de medição em seu STA. O 4DT associado a atribuição de STA como um RTA é ou fornecida da aeronave (por exemplo, por via de link de dados) ou 5 computada pela automação ATC usando os parâmetros de trajetória de aeronave inferidos anteriormente descritos. Contudo, se o STA estiver fora dos limites ETA ou do 4DT associado com o RTA não é aceitável (por exemplo, se resultar em um conflito com o 4DT de outra aeronave), um consultor de velocidade (com velocidades potencialmente diferentes para cada fase de vôo) 10 ou atribuição RTA, possivelmente combinado com uma rota lateral alternativa (especificada pelas fixações laterais ou procedimentos (extensões de caminho)) e possivelmente restrições verticais (tal como altitude de cruzeiro ou restrições de altitude de ponto de passagem) pode ser computado pelo DA que fará com que a aeronave atenda o STA desejado de sistema ao mesmo tempo 15 em que honra todas as restrições ATC relevantes (tais como permanecer dentro do corredor de chegada necessário, ou passar sobre um conjunto de fixações). Por exemplo, se a computação indicar que o STA na aeronave está mais atrasado do que seu ETA_{max} , o DA pode gerar uma manobra de extensão de caminho que envolva uma rota lateral modificada que se estenda o ETA_{max} 20 o suficiente de maneira que a aeronave possa alcançar seu ETA no ponto de fixação de medição. Alternativamente, pode ser usada uma manobra vertical que requeira que a aeronave desça para uma altitude intermediária mais baixa onde possa voar em velocidades mais baixas (devido à densidade de ar mais alta), potencialmente em combinação com uma extensão de caminho lateral. 25 Contudo, se a computação indicar que o STA da aeronave é anterior ao seu ETA_{min} , a solução mais acessível será tipicamente envolver a atribuição de ETA_{min} como o RTA para a aeronave no ponto de fixação de medição, e então permitir que o FMS da aeronave modifique sua velocidade para alcançar o RTA

no ponto de fixação de medição. O DA par os resultados de suas computações para o Raciocinador de Programação que então, dependendo da existência de um dos cenários acima, emite a informação apropriada para a interface ATCo. A interface pode iniciar uma conexão ascendente automática da liberação para a aeronave ou fornecer a informação de liberação para o ATCo para ação adicional.

A Figura 13 é um diagrama em bloco representando cenários nos quais são necessárias as modificações para a rota lateral ou caminho vertical, conforme representado pelo nó 1 na Figura 12 e relatado como a entrada na Figura 13. O DA pode gerar um ou mais 4DTs alternativos caracterizados por alterações diferentes para altitude, velocidade e/ou rota lateral, por exemplo, trajetórias de extensão de caminho alternativo ou uma descida para uma altitude mais baixa com velocidades alternativas para retardar a chegada da aeronave em sua fixação de medição. O processo de gerar trajetórias alternativas pode ser conduzido por preferências de usuário, conforme descrito acima para o método e sistema de gerenciamento de preferências desta invenção. Se forem propostos vários 4DTs alternados, o DA compara cada 4DT alternado a um agregado de outras trajetórias para um subconjunto ou totalidade de todo tráfego conhecido no determinado espaço aéreo. A comparação identifica quaisquer conflitos (uma violação de separação mínima entre os estados de aeronave previstos correlacionados às trajetórias) entre cada 4DT potencial do conjunto inicial e todo tráfego antecedente relevante. Os 4DTs do tráfego antecedente são mantidos no armazenamento de dados do sistema ATC. Se não for identificado nenhum conflito, ou se a probabilidade do conflito potencial estiver abaixo de um determinado limite, para dois ou mais 4DTs no conjunto inicial, os 4DTs alternativos podem ser encaminhados para um módulo que realiza uma avaliação de custo de manobra, pelo qual o custo normalizado da manobra de modificação de trajetória e/ou velocidade é

computado para cada 4DT alternado. Essa computação de custo pode também utilizar os modelos de desempenho de aeronave e/ou informação de custo fornecida diretamente da aeronave ou inferida dos dados auxiliares para computar os perfis de uso de combustível. De preferência, o sistema ATC 5 ordena os 4DTs alternativos de acordo com seu custo normalizado, e a lista ordenada é inserida no Raciocinador de Programação, que seleciona a modificação de trajetória (ordenação mais alta) de custo mais baixo que não ocasiona um conflito com os 4DTs de outra aeronave nem viola quaisquer 10 restrições de espaço aéreo. Essas modificações de trajetória podem incluir alterações de caminho lateral, alterações de altitude, e quaisquer atribuições de velocidade ou uma restrição de tempo RTA. Essa informação é então inserida 15 na interface ATCo, que inicia uma conexão ascendente automática da liberação para a aeronave ou fornece a informação de liberação para o ATCo para outra ação.

15 O módulo de gerenciamento de programação tem um horizonte de programação inicial e final. O horizonte de programação inicial é um horizonte espacial, que é a posição na qual cada aeronave entra em determinado espaço aéreo, por exemplo, o espaço aéreo em torno de 200 milhas náuticas (370,4 km) do aeroporto de chegada. O gerenciador ATM 20 monitora as posições de aeronave, e é disparado se a aeronave entrar no horizonte de programação inicial. O horizonte de programação final, referido como horizonte de congelação STA, é definido por uma fixação de medição de tempo para chegada específica. O horizonte de congelação STA pode ser 25 definido como uma fixação de medição de aeronave ETA menor do que ou igual a vinte minutos no futuro. Uma vez que uma aeronave tenha penetrado no horizonte de congelação STA, seu STA permanece inalterado, o DA é disparado, e qualquer manobra de tempo adequado é conectada de maneira ascendente na aeronave para realizar o plano imaginado pelo gerenciador de

programação.

A Figura 14 é um fluxograma que representa operações realizadas pelo módulo DA. Conforme indicado na Figura 14, o módulo DA monitora a fila de programação mantida pelo Programador no armazenamento de dados do sistema ATC. Alternativamente, o módulo DA pode ser evento conduzido e invocado pelo Programador conforme necessário, por exemplo, quando uma aeronave penetra o horizonte de programação final. O DA então coleta informação de velocidade da aeronave, a trajetória prevista da aeronave (ou fornecida diretamente da aeronave ou prevista no solo), e o plano programado do Programador. O DA então gera uma ou mais manobras de tempo adequado (ajuste de velocidade ou restrição de tempo, ajuste de altitude, e/ou extensões de caminho) para a aeronave, executa um teste de conflito de cada manobra de tempo adequada gerada com trajetórias previstas ativas existentes, e elimina quaisquer manobras de tempo adequado com conflitos. No pool de manobra de tempo adequado sem conflito, é realizado um processo de avaliação de custo (por exemplo, pelo modelo de avaliação de custo de manobra) do qual o DA seleciona uma manobra de tempo adequado preferida. A manobra selecionada é então enviada para uma interface, onde pode ser conectada de forma ascendente à aeronave ou fornecida para outro usuário para outro processamento. Se nenhuma das manobras de tempo adequado estiver livre de conflito, o módulo de gerenciamento de programação pode utilizar uma operação de voz / manual tradicional (Figura 13).

O programador obtém informação de terra e de aeronaves potencialmente equipadas podem fornecer informação de trajetória. Isso cria uma trajetória de aeronave prevista e contém informação do estado de aeronave se expandindo dinamicamente (por exemplo, posição 4D, velocidade de terra, curso, e taxa de altitude). O programador gera um plano de programação para o DA, que coleta informação tanto do ar quanto de terra, e

fornecer informação tanto para o ar quanto para terra. Esse processo pode também usar os dados inferidos descritos anteriormente se os dados não puderem ser fornecidos diretamente da própria aeronave.

Conforme anteriormente observado, o algoritmo de programação

5 implementado no Programador pode ser, por exemplo, um algoritmo de primeiro chegado primeiro servido com base na ordem de tempos avaliados na fixação de medição programada ou poderia dar preferência à aeronave melhor equipada que possa fornecer informação de trajetória mais precisa e atender STA usando o algoritmo TOAC transportado pelo ar. Quando o programador é
10 inicializado, o algoritmo constrói uma fila vazia para cada fixação de medição avaliada. Quando uma aeronave entra no horizonte de programação inicial, essa aeronave é impulsionada para a fila de programação correspondente e o algoritmo atualiza o STA para cada aeronave na fila se necessário. Quando uma aeronave na fila de programação e seu ETA é alterado, o mesmo
15 processo será realizado para toda fila de programação. Quando uma aeronave está na fila de programação e penetrar no horizonte de congelamento, seu STA irá permanecer inalterado na fila até que saia da fila.

O algoritmo de programação recebe dados para cada aeronave

na fila de programação, por exemplo, ETA (mínimo e máximo), classe de peso
20 de aeronave, identificação de aeronave, etc. Para cada fila de programação, o processo de atualização STA pode ser descrito como se segue. Se não houver nenhuma aeronave com seu STA congelado, a aeronave é processada com base na ordem se seu ETA na fixação de medição. A aeronave processada recebe um tempo igual ao seu ETA ou o tempo mais antigo que assegura o
25 tempo de separação mínimo requerido para os tipos de aeronave que são programadas mais cedo na fila, a que for maior. Se houver alguma aeronave com STAs congelado, a aeronave são classificadas com STAs congelados com base em seus STAs, e essas aeronaves podem ser tratadas como aeronaves

pré-programadas. A aeronave STAs não congelados são então processados com base na ordem de seus ETAs na fixação de medição. O algoritmo do Programador verifica o status de cada ciclo de loop de CE Daca fila de programação, mantendo os STAs constantemente atualizados até que sejam 5 congelados.

A Figura 15 ajuda a ilustra um cenário no qual pode ser implementado o módulo de gerenciamento de programa desta invenção. A Figura 15 representa um conjunto de cinco aves, designadas como FLT #1 a #5, identificadas como partindo dos aeroportos designados como KSFO, 10 KDEN, KDFW e KDCA, e todos destinados para um aeroporto designado como KSEA. Nesse cenário de linha de base, todos os vôos de chegada irão conflitar quando se fundirem no seu ponto de fixação de medição, designado como OLM. O Programador gera STAs na fixação de medição para todos os cinco vôos, o DA associado à fixação de medição gera alterações de 15 velocidade ou orientadores de tempo adequado a partir do horizonte de congelação (vinte minutos de vôo antes da fixação de medição) para a fixação de medição. Todos os cinco vôos são programados por esse processo para chegar ao OLM em dois minutos com relação à janela de tempo na ordem indicada pelo número de vôo, FLT #1 a #5.

20 Do acima, é evidente que o método sistema de gerenciamento de programa podem ser empregados para que um sistema ATC facilite um ou mais vôos de aeronave em determinado espaço aéreo para alcançar alvos de tema preferidos do sistema que reduzem significativamente os custos de operação tais como, queima de combustível, tempo de vôo, conexões de 25 passageiro perdidas, etc. Como tal, o método e sistema de gerenciamento de programa podem facilitar o aperfeiçoamento nas operações ATC em um ambiente com tipos diferentes de capacidades de desempenho de aeronave (Equipagem Mista). Fornecendo mais soluções ótimas para a aeronave com

melhores capacidades, esse método de gerenciamento de programa e sistema encoraja os operadores de aeronave a considerar a instalação de sistemas de gerenciamento de vôo (AFMS) que suportem negociações aéreo-terrestre.

Embora a invenção tenha sido descrita em termos de realizações 5 específicas, é evidente que podem ser adotadas outras formas por aquele versado na técnica. Por exemplo, as funções dos componentes do desempenho e sistemas de programa podem ser realizados por componentes diferentes capazes de uma função similar (apesar de não necessariamente equivalente). Portanto, o escopo da invenção deve ser limitado apenas pelas 10 reivindicações que se seguem.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO DE NEGOCIAÇÃO DE TRÁFEGO AÉREO, compreendendo várias aeronaves que estão dentro de um espaço aéreo que circunda um aeroporto e programadas para chegar a um ponto, tal como uma 5 pista de pouso e decolagem de um aeroporto ou uma fixação de medição intermediária, cada aeronave tendo parâmetros de trajetória existentes que compreendem altitude, velocidade e rota lateral da mesma, sendo que o dito sistema compreende:

monitorar a altitude, velocidade rota lateral de cada aeronave das 10 várias aeronaves à medida que a aeronave entra no espaço aéreo, o monitoramento sendo realizado com um sistema de controle de tráfego aéreo (ATC) que não está situado em qualquer das várias aeronaves;

gerar com o sistema ATC um tempo de chegada programado (STA) para cada aeronave em pelo menos um ponto de fixação de medição;

15 armazenar o STA para cada aeronave;

receber ou inferir dados com o sistema ATC para pelo menos uma primeira das várias aeronaves, os dados compreendendo uma velocidade de custo mínimo de combustível e parâmetros de trajetória previstos da primeira aeronave, os parâmetros de trajetória previstos compreendendo altitude, 20 velocidade e rota lateral previstas da primeira aeronave com base em valores atuais dos parâmetros de trajetória existentes da primeira aeronave modificados por quaisquer modificações não intencionais para os mesmos;

receber ou gerar dados auxiliares para a primeira aeronave usando os parâmetros de trajetória previstos da primeira aeronave, os dados 25 auxiliares compreendendo um tempo de chegada avaliado mais antigo (ETA_{min}) e um último tempo de chegada avaliado (ETA_{max}) no ponto de fixação de medição;

executar uma computação com o sistema ATC para determinar se

o STA da primeira aeronave esta dentro ou fora de uma variação ETA limitada pelo ETA_{min} e o ETA_{max} do mesmo;

transmitir para a primeira aeronave instruções para assegurar que a primeira aeronave chegue ao ponto de fixação de medição no STA ou o

5 ETA_{min} da primeira aeronave; e

atualizar o STA para cada aeronave armazenada na fila.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a computação indica que o STA da primeira aeronave está na variação ETA, o método compreendendo adicionalmente:

10 atribuir o STA como um tempo de chegada requerido (RTA) para a primeira aeronave Np ponto de fixação de medição;

transmitir o RTA para a primeira aeronave; e

usar um sistema de gerenciamento de voo automatizado (FMS) da primeira aeronave para modificar a velocidade da primeira aeronave para alcançar o
15 RTA da primeira aeronave no ponto de fixação de medição.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que se a computação indicar que o STA da primeira aeronave é anterior ao ETA_{min} para a primeira aeronave, o método também compreende:

atribuir o ETA_{min} da primeira aeronave como o tempo de chegada

20 requerido (RTA) para a primeira aeronave no ponto de fixação de medição;

transmitir o RTA para a primeira aeronave; e

usar um sistema de gerenciamento de voo automatizado (FMS) da primeira aeronave para modificar a velocidade da primeira aeronave para alcançar o RTA da primeira aeronave no ponto de fixação de medição.

25 4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que se a computação indicar que o STA da primeira aeronave é mais tarde do que o ETA_{max} para a primeira aeronave, o método também compreende:

gerar com o sistema ATC uma manobra compreendendo uma rota

lateral modificada, uma manobra de velocidade, e/ou uma manobra de alteração de altitude para que a primeira aeronave alcance o STA da primeira aeronave no ponto de fixação de medição; e

transmitir a manobra para a primeira aeronave.

5 5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a etapa de gerar a manobra também comprehende:

gerar uma pluralidade de manobras alternativas além da manobra, cada manobra alternativa compreendendo uma rota lateral modificada para a primeira aeronave para alcançar o STA da primeira aeronave no ponto de fixação 10 de medição;

executar uma avaliação para determinar qual das rotas laterais modificadas das manobras alternativas não apresenta conflitos com as altitudes, velocidades e rotas laterais de qualquer outra das várias aeronaves;

15 entre as rotas laterais modificadas das manobras alternativas que não apresentam um conflito, realizar uma computação de custo para comparar custos relativos das rotas laterais modificadas; e então

selecionar a manobra das manobras alternativas com base na computação de custo.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado 20 pelo fato de que a computação indica que o STA da primeira aeronave está fora da variação ETA, o método também comprehende:

25 identificar pelo menos duas trajetórias modificadas nas quais pelo menos um dos parâmetros de trajetória existentes da primeira aeronave é modificado para produzir uma variação ETA modificada que limita o STA da primeira aeronave;

executar uma determinação de conflito para determinar se as trajetórias modificadas apresentam conflitos com as altitudes, velocidades e rotas laterais de qualquer outra das várias aeronaves;

se não for identificado nenhum conflito pela etapa de determinação de conflito, executar uma computação de custo para comparar custos relativos das trajetórias modificadas;

selecionar uma das trajetórias modificadas;

5 transmitir a trajetória modificada selecionada para a primeira aeronave; e

então

atualizar o STA armazenado para cada aeronave individual na fila.

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 10 1 a 6, caracterizado pelo fato de que os parâmetros de trajetória previstos ou a velocidade de custo mínimo de combustível da primeira aeronave individual são gerados com o sistema ATC usando pelo menos um valor de massa da primeira aeronave que é inferido pelo sistema ATC.

8. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 15 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os dados da primeira aeronave são dados inferidos e são gerados com o sistema ATC pela previsão da massa da primeira aeronave com base na correlação de peso de decolagem para a distância para o topo de subida que ocorreu durante a decolagem da primeira aeronave.

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado 20 pelo fato de que a etapa de gerar os dados inferidos compreende uma pluralidade de etapas de geração que prognostica um perfil vertical da primeira aeronave, cada das etapas de geração compreende comparar a altitude prognosticada da primeira aeronave obtida de uma das etapas de geração com a altitude atual da primeira aeronave relatada pela primeira aeronave, e usar uma diferença entre as altitudes 25 corrente e prevista para gerar uma altitude prevista subsequente da primeira aeronave.

10. SISTEMA, para executar o método de qualquer uma das reivindicações de 1 a 9.

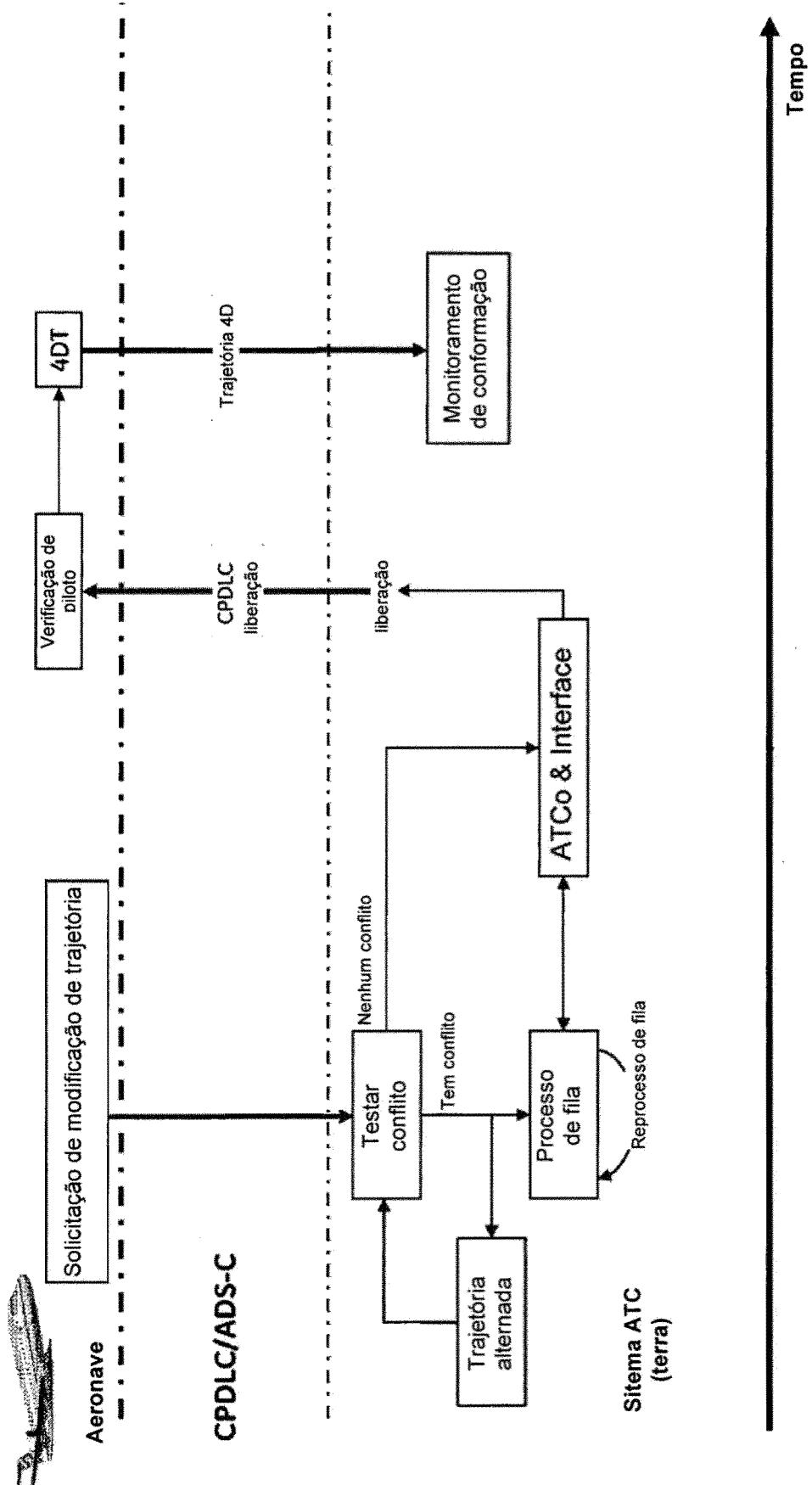


Fig. 1

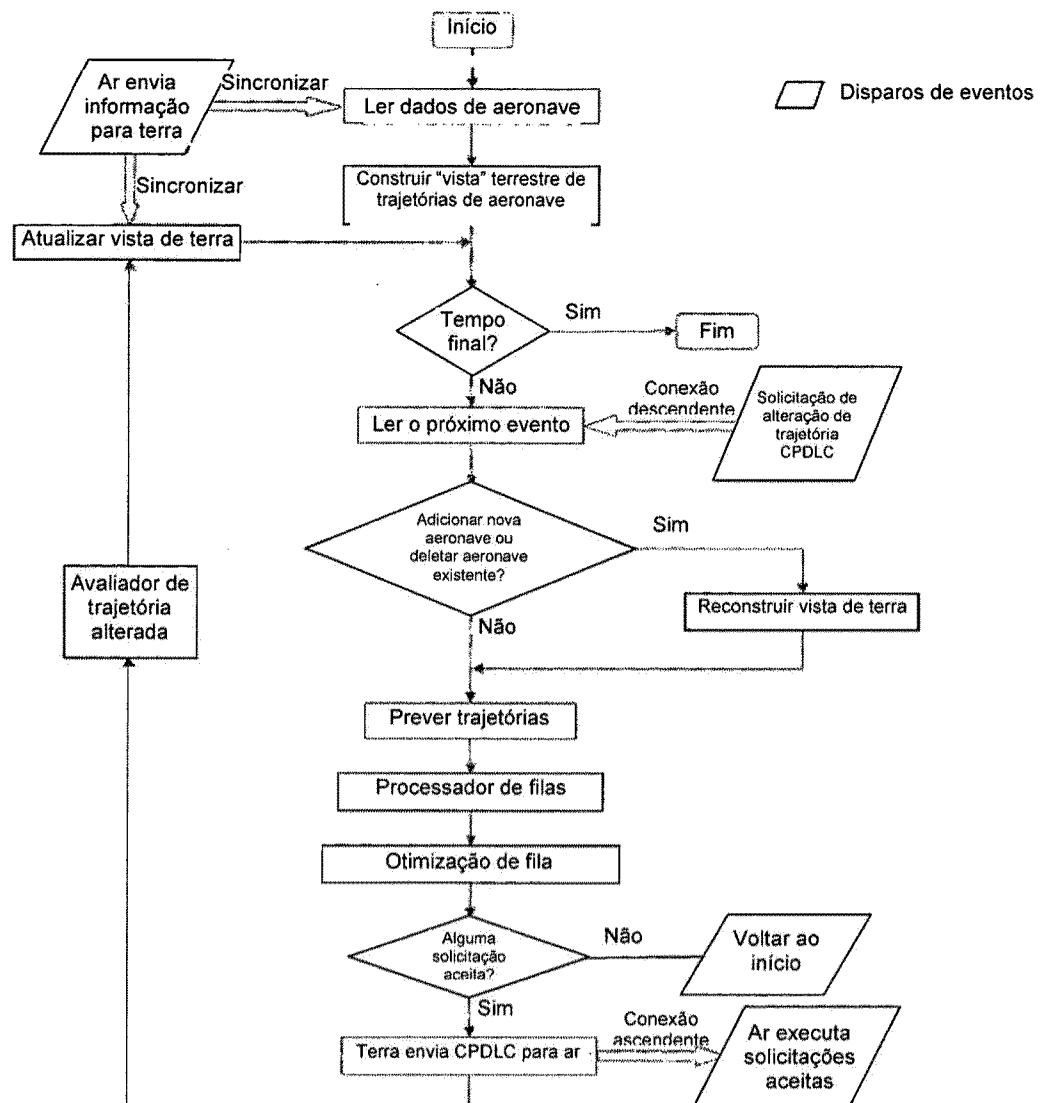


Fig. 2

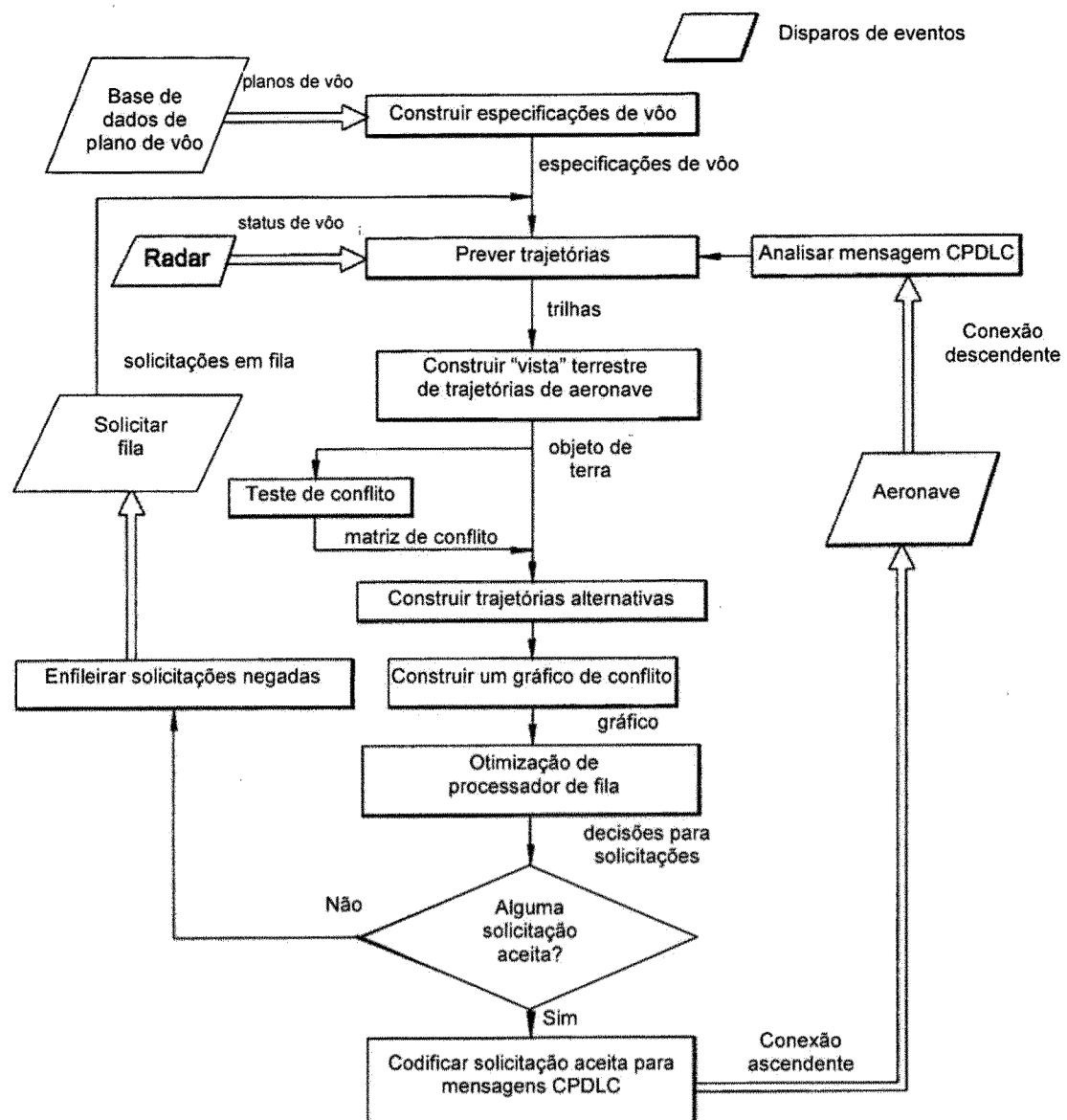


Fig. 3

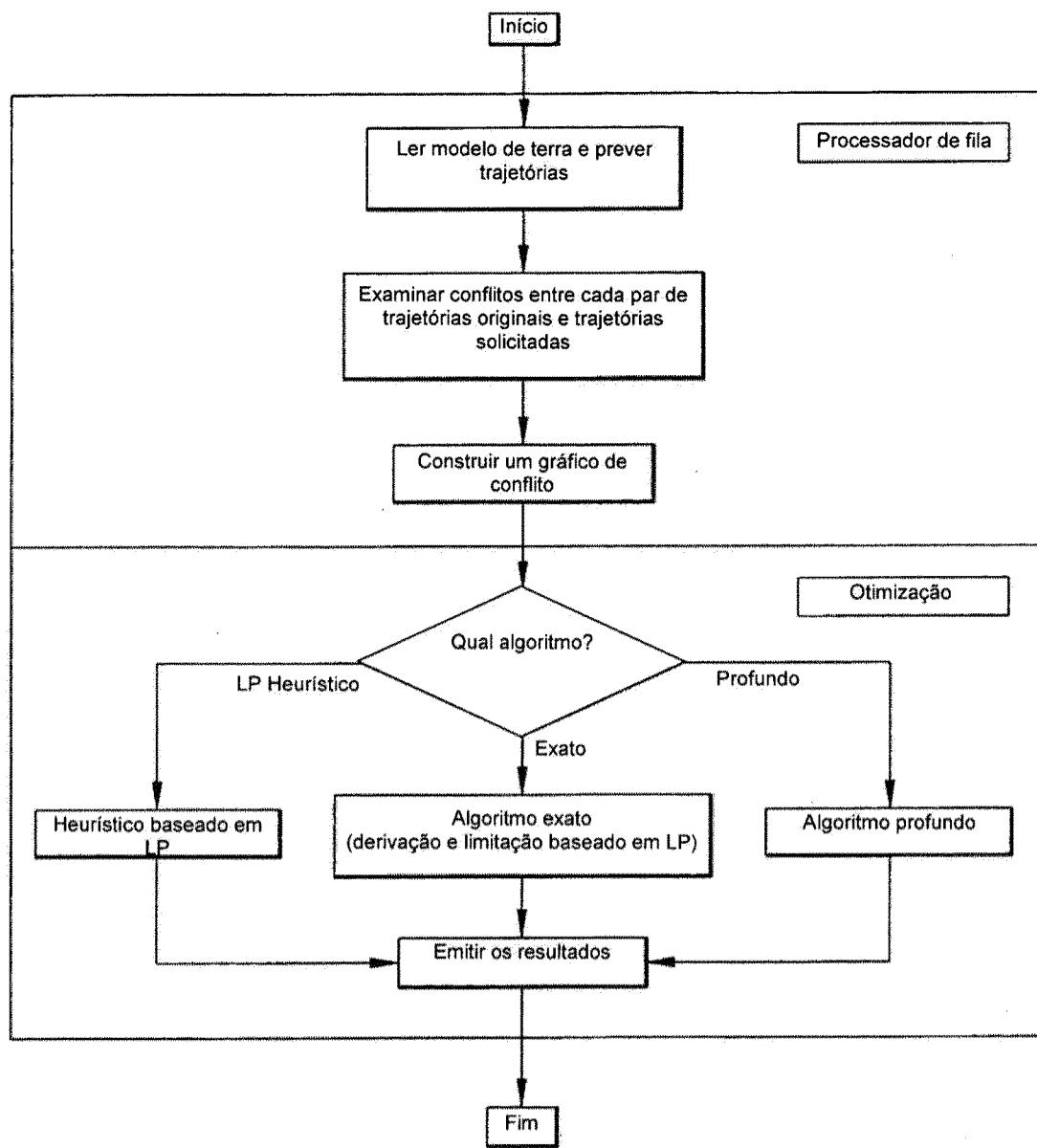


Fig. 4

Vôos – Cenário Original

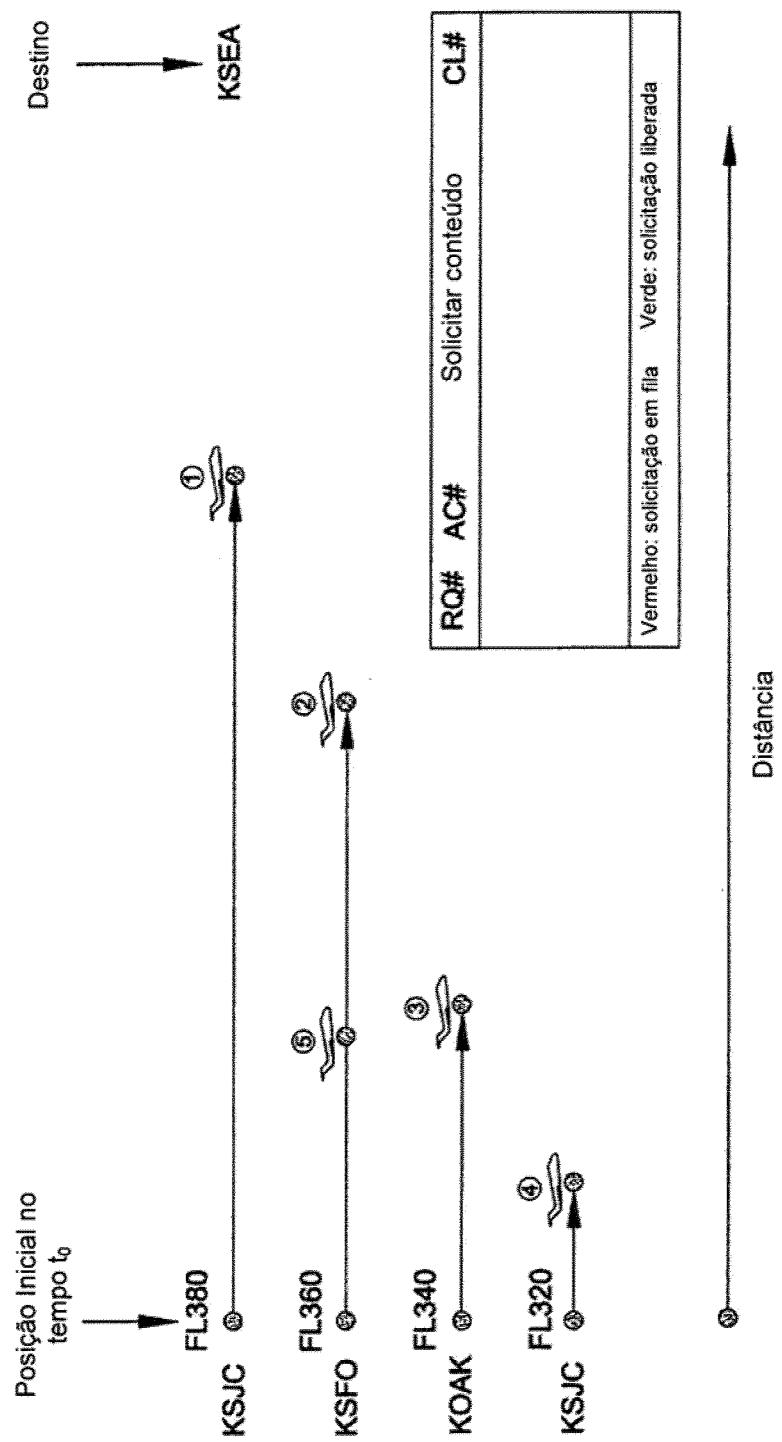


Fig. 5

Vôos – Solicitação 1

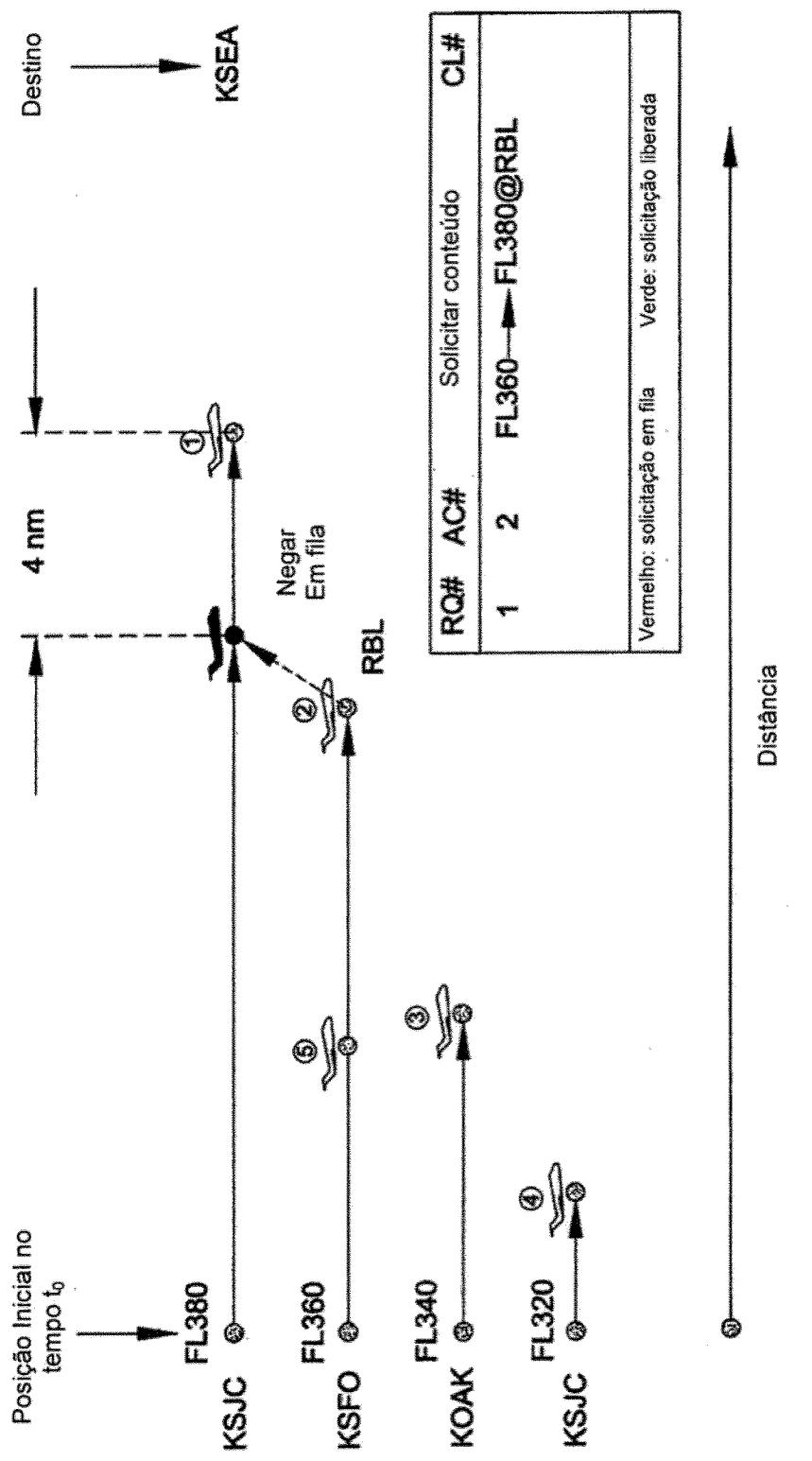


Fig. 6

Vôos – Solicitação 2

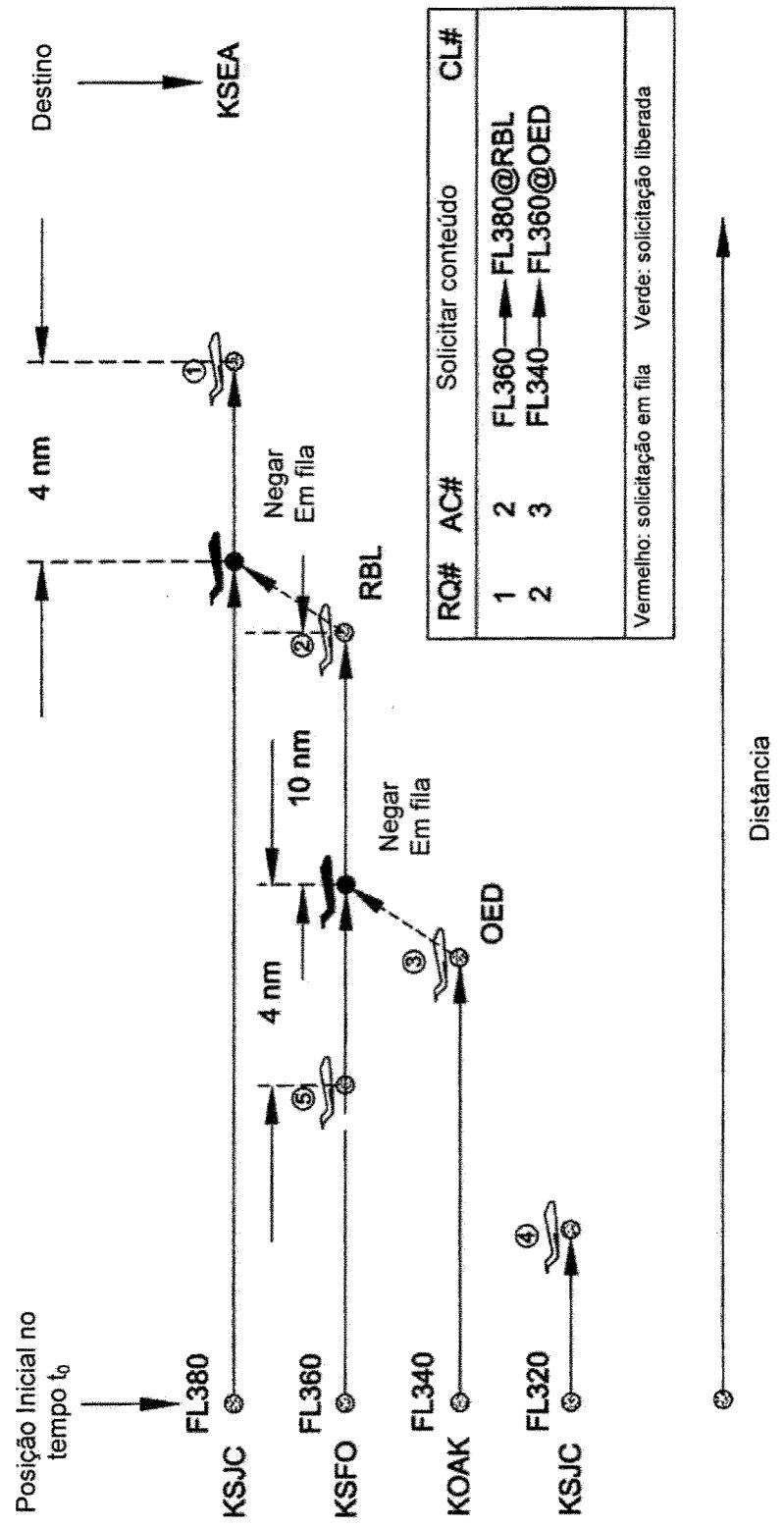


Fig. 7

Vôos – Solicitação 3

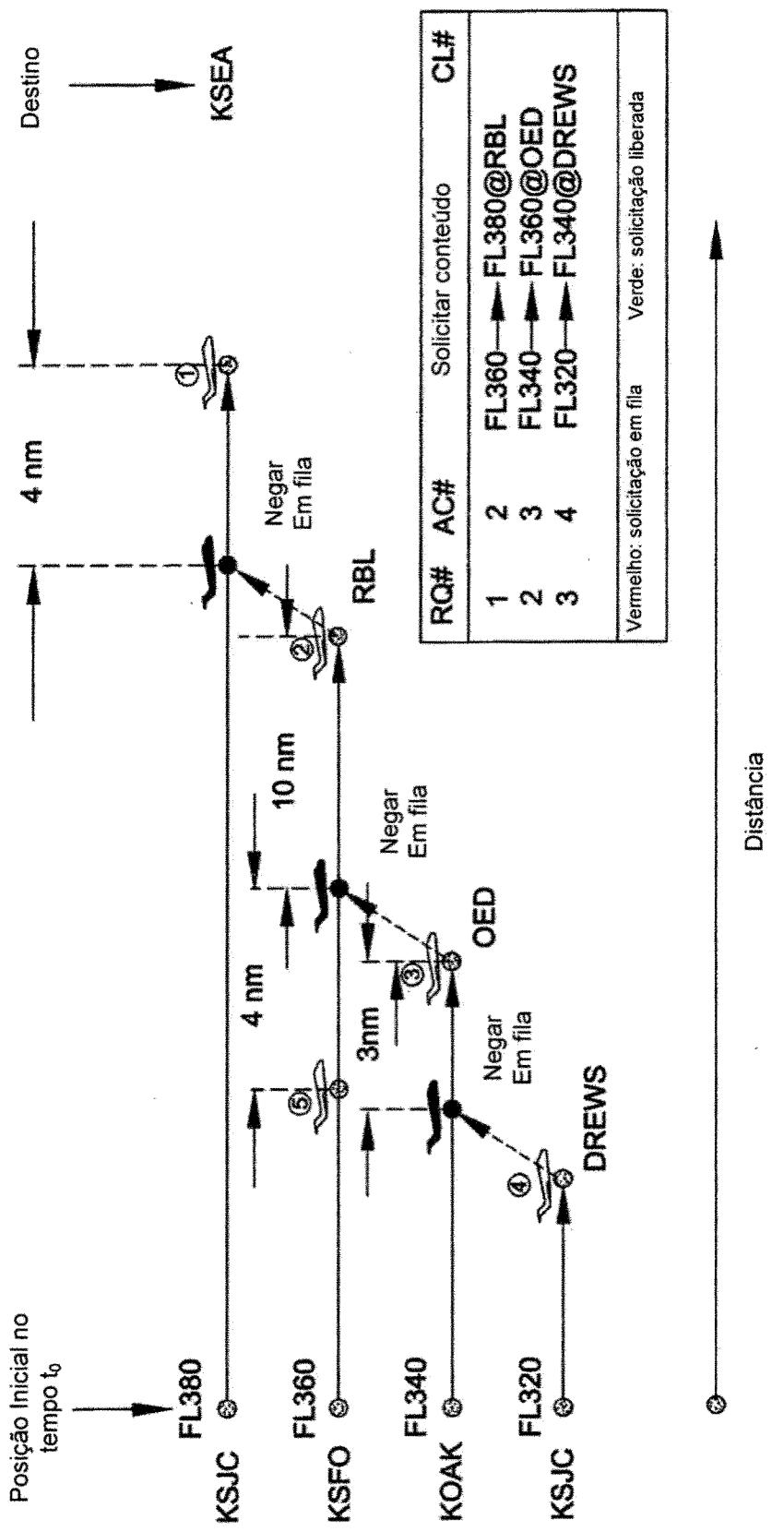


Fig. 8

Vôos – Solicitação 4

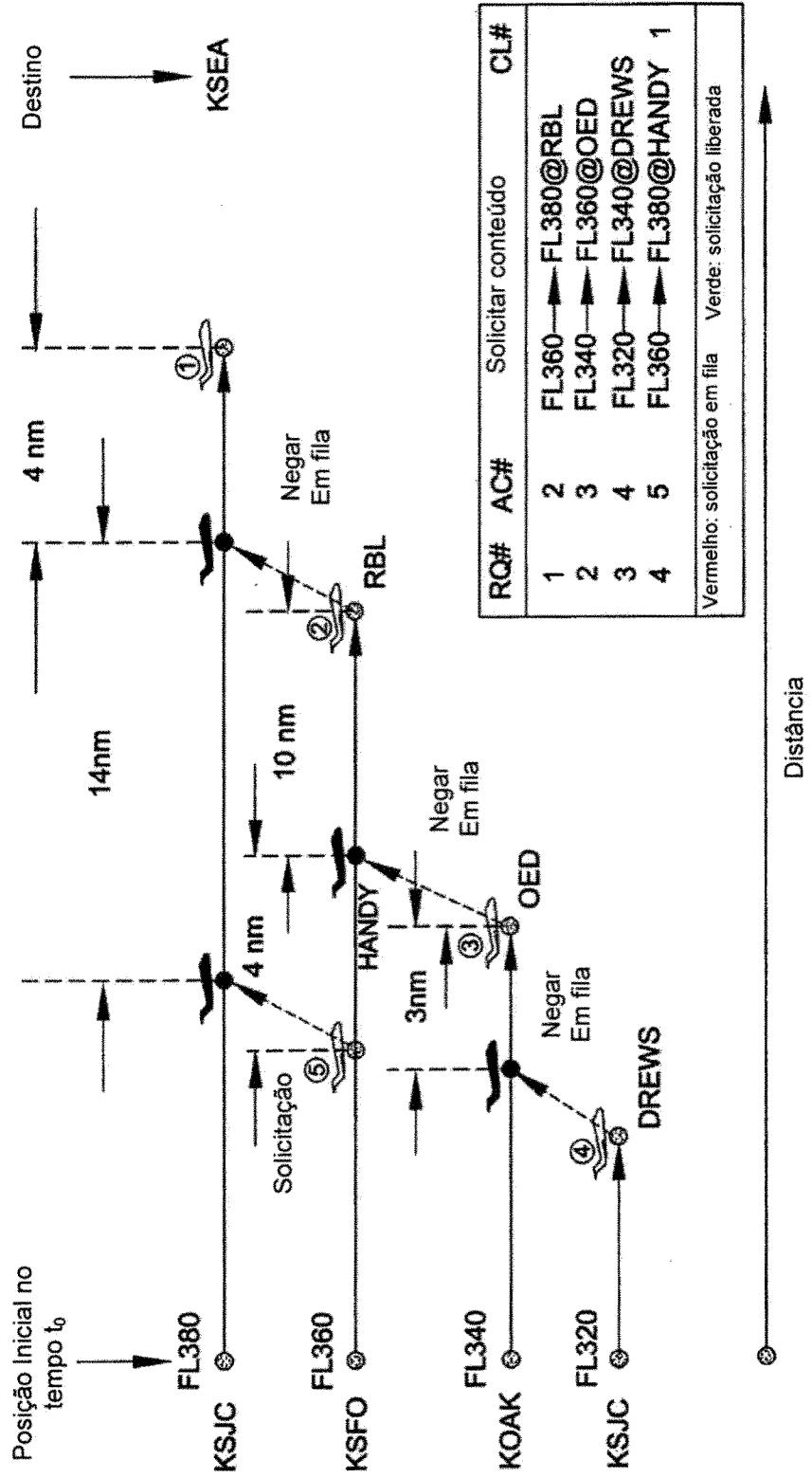


Fig. 9

Vôos – Cenário Final

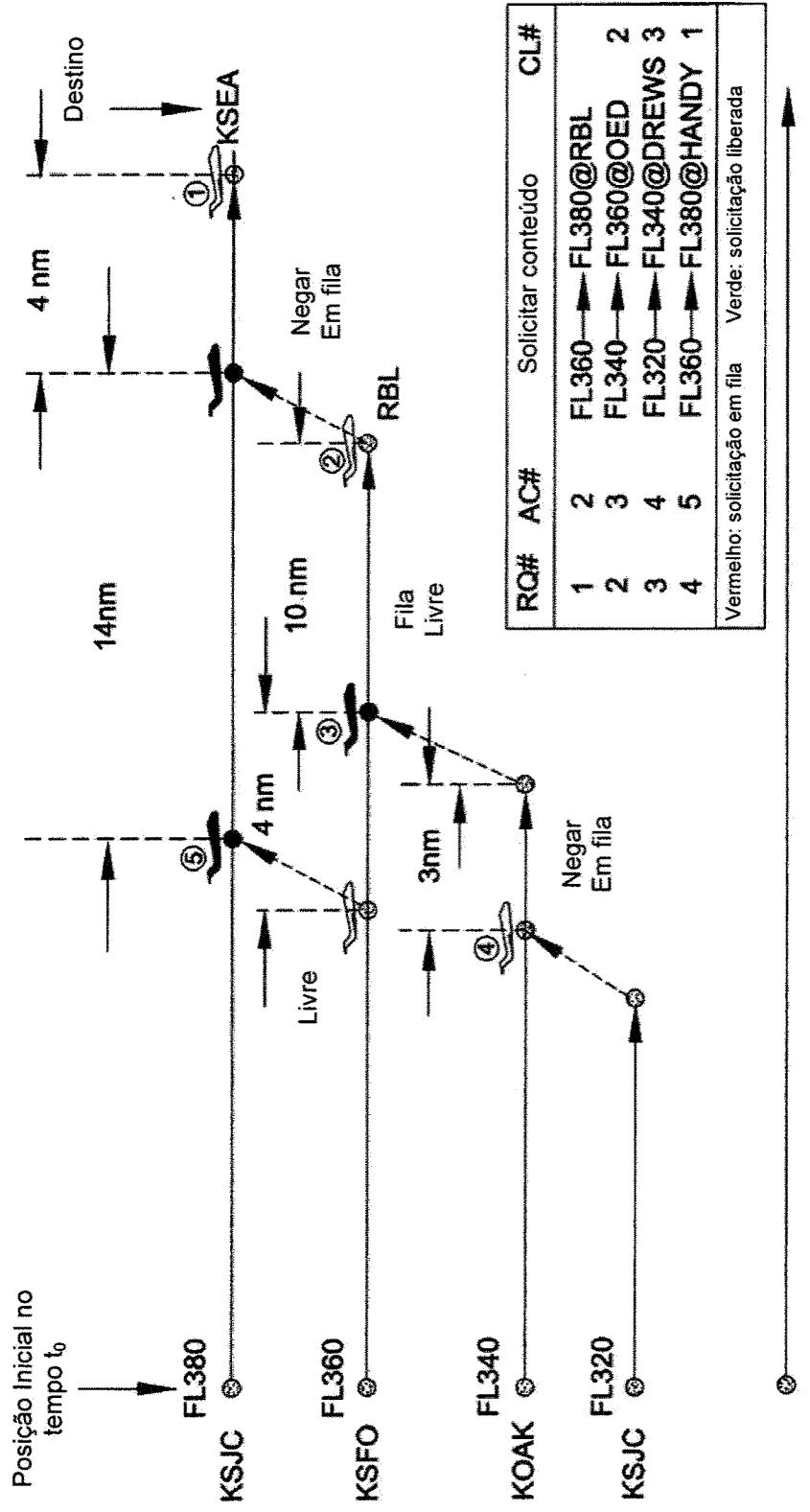
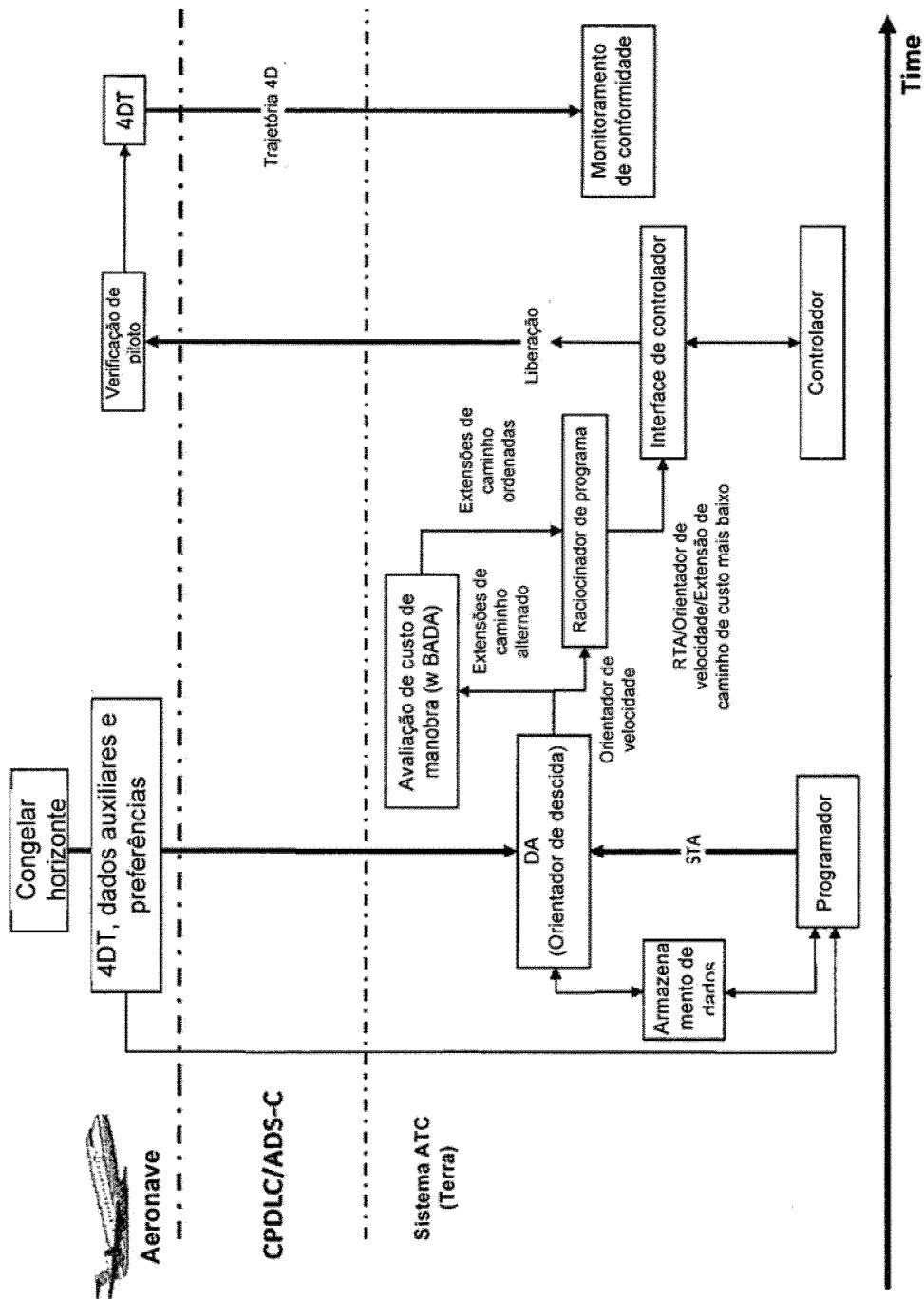


Fig. 10

Gerenciamento de programa

Fig. 11



Processo Gerenciamento de Programa

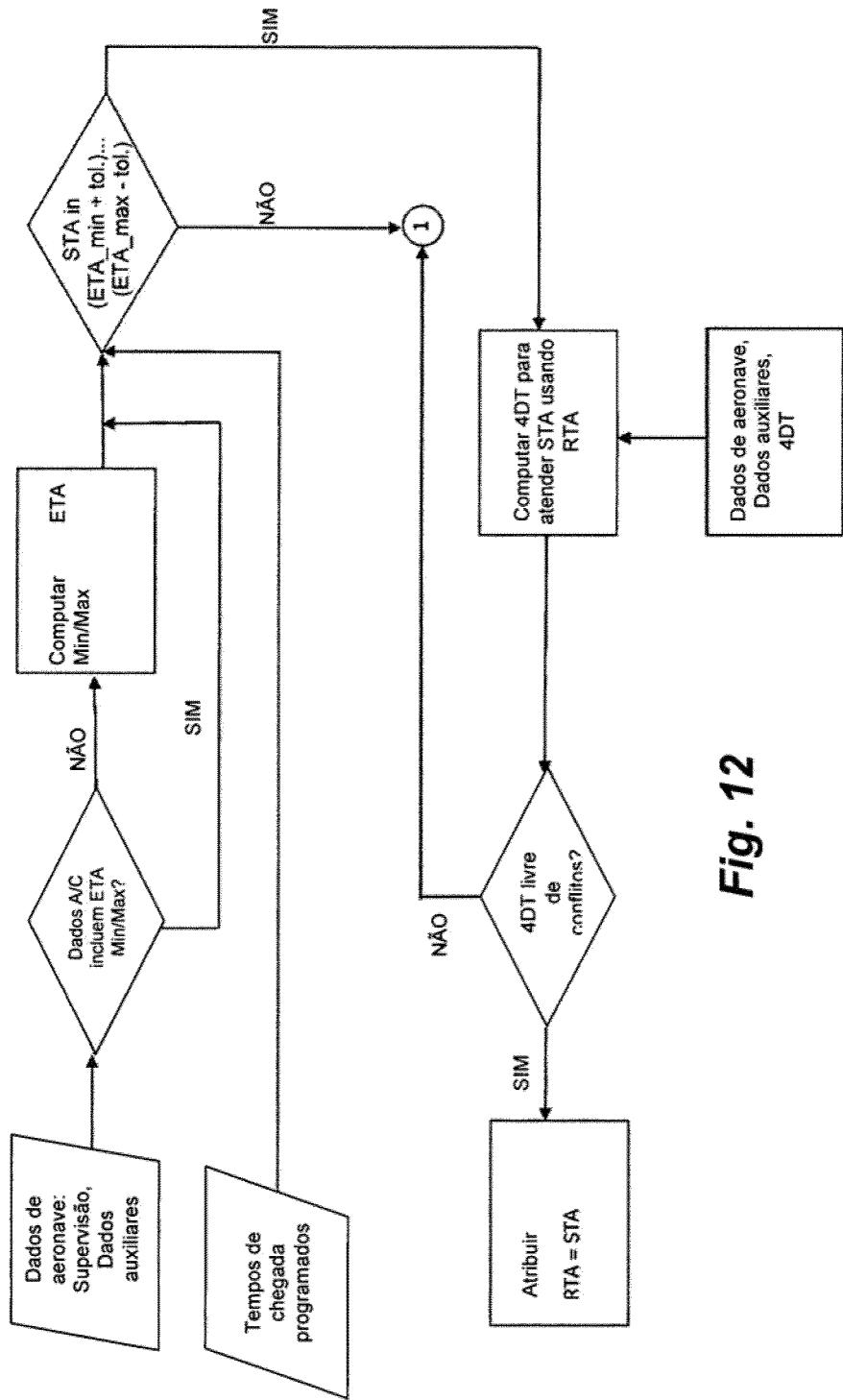


Fig. 12

Processo Gerenciamento de Programa

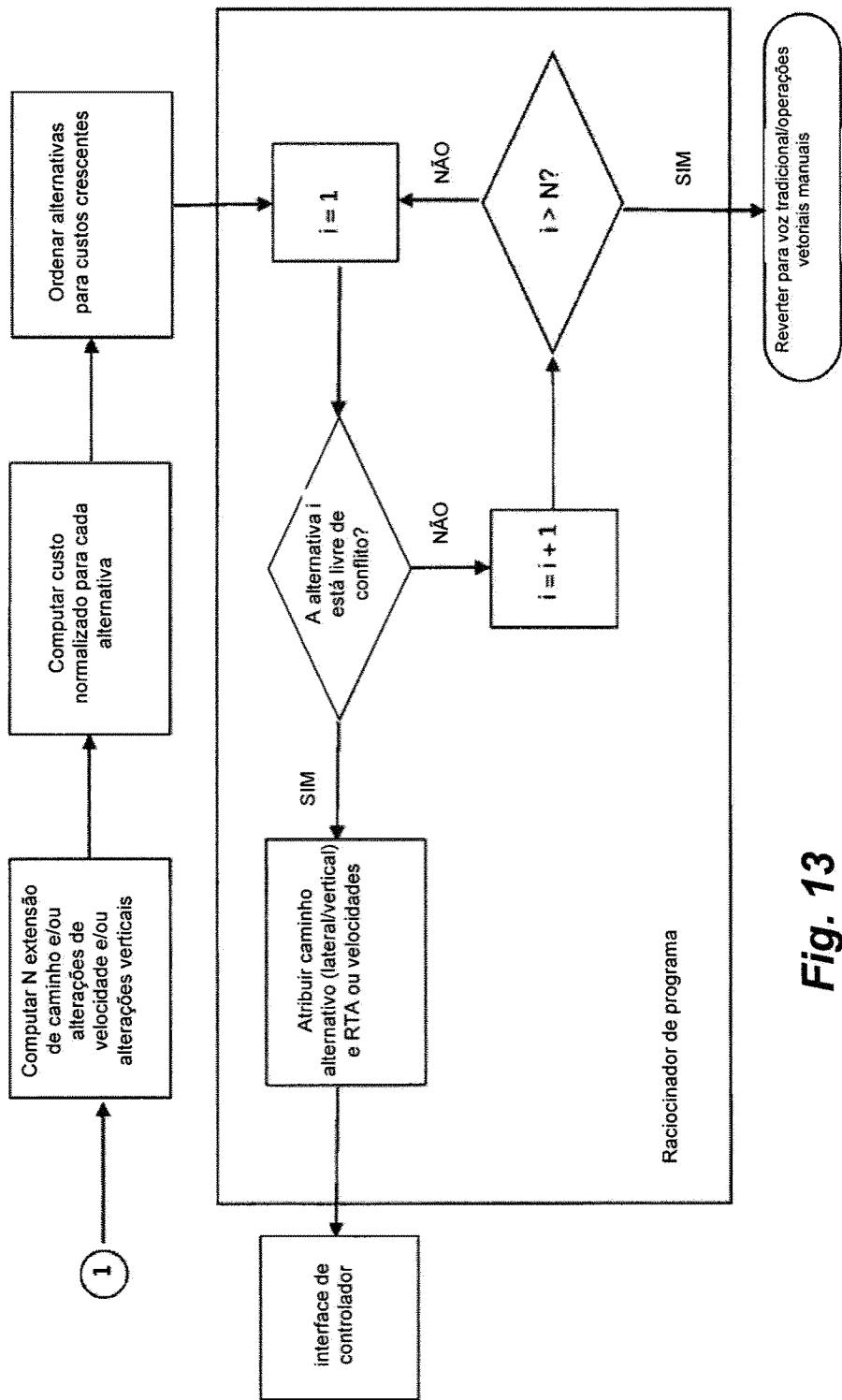
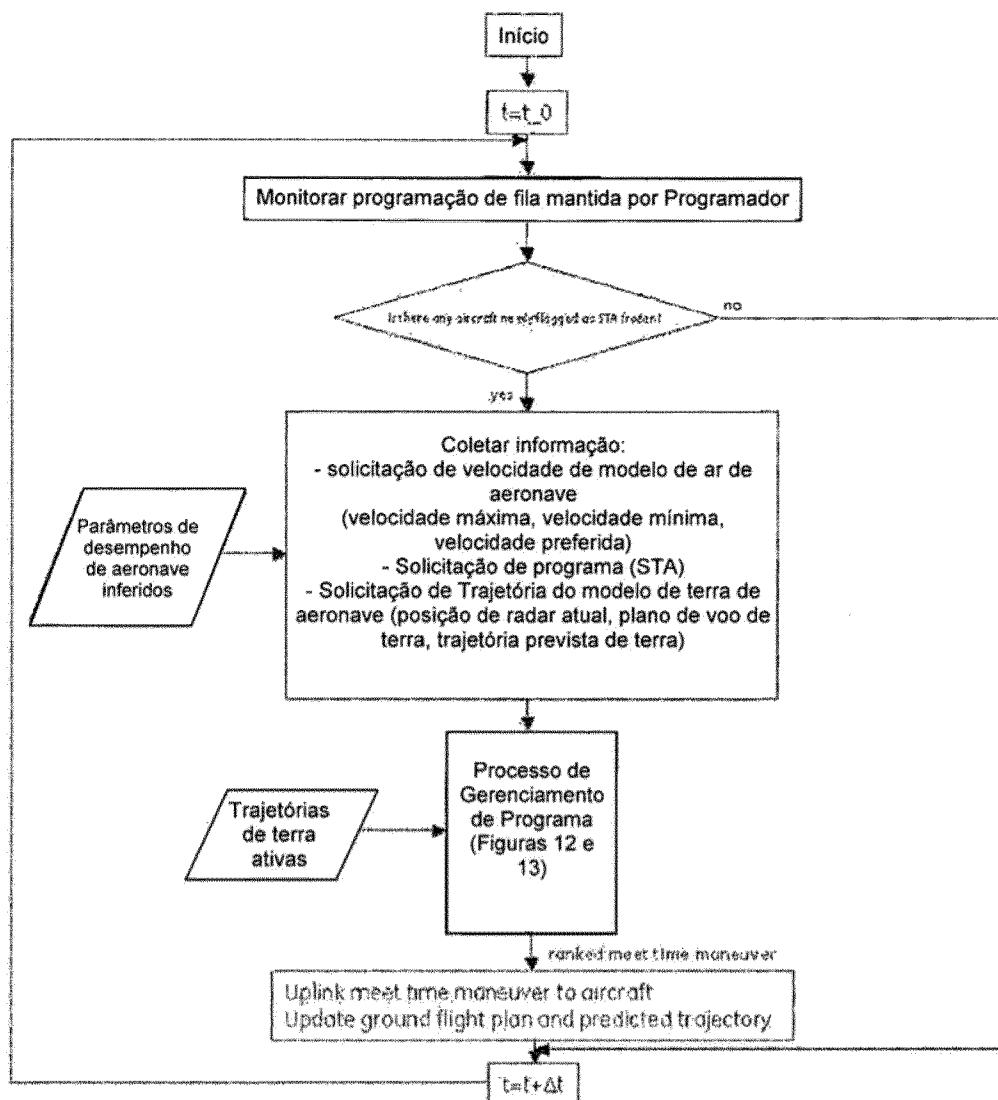


Fig. 13

**Fig. 14**

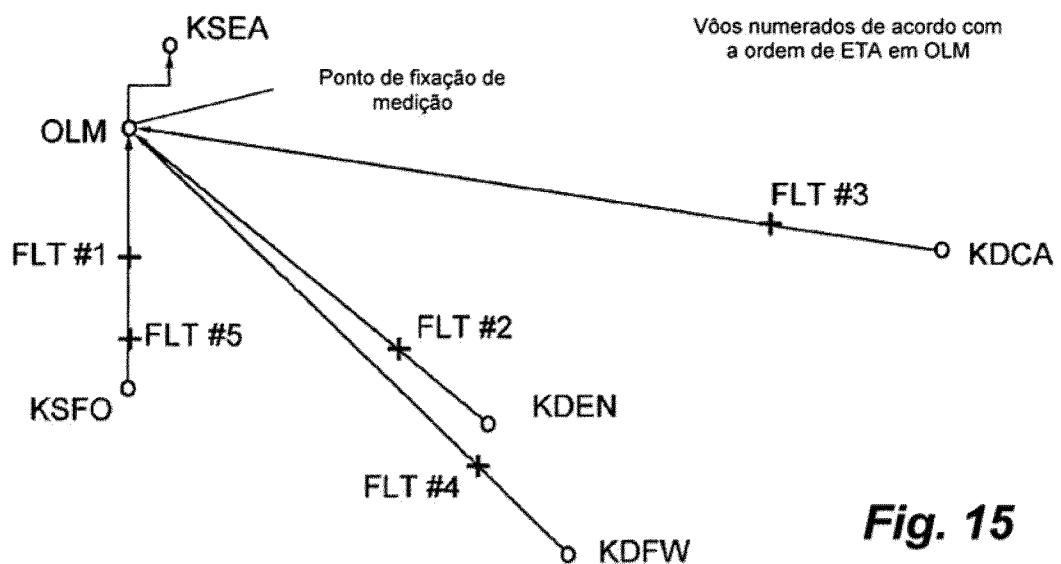


Fig. 15

RESUMO

“MÉTODO DE NEGOCIAÇÃO DE TRÁFEGO AÉREO E SISTEMA”

Trata-se de métodos e sistemas de programação e negociação de tráfego aéreo dentro de um espaço aéreo que circunda um aeroporto e programado para pouso no aeroporto. É usado um sistema de controle de tráfego aéreo (ATC) para monitorar as altitudes, velocidades e rotas laterais de aeronave à medida que entram no espaço aéreo. O sistema ATC gera um tempo de chegada programado (STA) para cada aeronave em um ou mais pontos de fixação de medição associados ao aeroporto, é armazenado o STA para cada aeronave, e os dados são recebidos ou inferidos com o sistema ATC para pelo menos uma primeira aeronave, incluindo uma velocidade de custo mínimo d combustível e parâmetros de trajetória previstos da primeira aeronave com base em valores atuais de seus parâmetros de trajetória existentes. Os dados auxiliares, incluindo o tempo de chegada avaliado mais antigo e o último ETA_{min} e ETA_{max} no ponto de fixação de medição, são gerados para a primeira aeronave usando os parâmetros de trajetória previstos. O sistema STC determina se o STA da primeira aeronave está dentro ou fora de uma variação ETA limitada por seu ETA_{min} e ETA_{max} . São transmitidas instruções para a primeira aeronave para assegurar sua chegada no ponto de fixação de medição no STA ou ETA_{min} da primeira aeronave, e o STA é atualizado para cada aeronave armazenada na fila.