



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Sistema de integração matemático e computacional das operações de Ground Handling do aeroporto

Patrick Kabongo Cisuaka

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador
Prof. Dr. Li Weigang

Brasília
2014

Universidade de Brasília — UnB
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Coordenador: Prof. Dr. Homero Luis Piccolo

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Li Weigang (Orientador) — CIC/UnB
Prof. Dr. Marcelo Ladeira — CIC/UnB
Prof. Dr. Camilo Chang Dórea — CIC/UnB

CIP — Catalogação Internacional na Publicação

Cisuaka, Patrick Kabongo.

Sistema de integração matemático e computacional das operações de Ground Handling do aeroporto / Patrick Kabongo Cisuaka. Brasília : UnB, 2014.

121 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

1. gestão aeroportuária, 2. operações de *ground handling*, 3. CDM,
4. sistema multi-agente

CDU 004.4

Endereço: Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte
CEP 70910-900
Brasília-DF — Brasil



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

Sistema de integração matemático e computacional das operações de Ground Handling do aeroporto

Patrick Kabongo Cisuaka

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Ciência da Computação

Prof. Dr. Li Weigang (Orientador)
CIC/UnB

Prof. Dr. Marcelo Ladeira Prof. Dr. Camilo Chang Dórea
CIC/UnB CIC/UnB

Prof. Dr. Homero Luis Piccolo
Coordenador do Bacharelado em Ciência da Computação

Brasília, 18 de dezembro de 2014

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Paul e Marie, pois sem eles, este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

Agradecimentos

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso primeiramente agradeço à todos de coração.

Agradeço ao Prof. Dr. Li Weigang, pela orientação, apoio e confiança. Aos meus pais, Paul e Marie, pela determinação e luta na minha formação. Ao meu irmão, Paulin, que por mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre teve paciência e confiança. À minha companheira, Antônia Lopes, que desde nosso encontro, nunca mediu esforços para me apoiar. À minha amiga, Keity Verônica da Cruz, que tirou as minhas dúvidas e sempre me ajudou. A todos os professores por exigir de mim muito mais do que eu supunha ser capaz de fazer. Ao Vitor Filincowsky Ribeiro, pela sua grande ajuda e paciência na realização desse trabalho. Aos colegas do TransLab, sempre cooperando para o crescimento do grupo. A Deus por seu eterno cuidado e fidelidade, sempre abundantes na minha vida. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

Resumo

O aumento do crescimento do tráfego aéreo mundial das últimas décadas tem gerado um desafio constante para autoridades de aviação civil, companhias aéreas e aeroportos para fornecer capacidade suficiente para prestar um serviço de transporte seguro, com padrões de qualidade aceitáveis. Novas práticas de gestão de tráfego, tal como o A-CDM, baseadas nos conceitos de tomada de decisão colaborativa e multi-agente foram introduzidas nos aeroportos. No entanto, dentro do processo de *turnaround* de aeronaves nos aeroportos, a gestão de *ground handling* da aeronave não foi desenvolvida especificamente na abordagem A-CDM, mesmo que tenha um papel importante na fluidez das operações das aeronaves nos aeroportos.

O principal objetivo deste trabalho é propor um sistema, que ainda está em desenvolvimento, de integração matemática e computacional das operações de *ground handling* do aeroporto que deve ser compatível com a abordagem CDM. A estrutura proposta introduz um coordenador de *ground handling* (GHC), que é considerado como uma interface de comunicação entre os parceiros da A-CDM e os diferentes gestores de *ground handling* (GHM). Essa estrutura hierárquica permite compartilhar informações com os parceiros da A-CDM, de um lado e, do outro lado, interagir com os gestores de *ground handling* (GHM).

Palavras-chave: gestão aeroportuária, operações de *ground handling*, CDM, sistema multi-agente

Abstract

The increase of the world air traffic of the last decades has generated a permanent challenge for civil aviation authorities, airlines and airports to supply sufficient capacity to provide a safe transportation service with acceptable quality standards. New traffic management practices, such as A-CDM, based on multi-agent and collaborative decision making concepts have been introduced at airports. However, within the turnaround process of aircraft at airports, ground handling management of aircraft has not been developed specifically in the A-CDM approach, even if it has an important role in the fluidity of aircraft operations at airports.

The main objective of this work is to propose a mathematical and computational integration system, that is still in development, of airport ground handling operations which must be compatible with the CDM approach. It consists of a structure to organize the ground handling management compatible with the A-CDM concept. The proposed structure introduces a ground handling coordinator (GHC) which is considered as an interface for communication between the partners of the A-CDM and the different ground handling managers (GHM). This hierarchical structure allows sharing information with partners in the A-CDM on the one side and on the other side, interacting with ground handling managers (GHM).

Keywords: airport management, ground handling operations, CDM, multi-agent system

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia	3
1.3.1	<i>Collaborative Decision Making</i>	3
1.3.2	Metodologia de pesquisa	3
1.4	Organização do documento	4
2	Procedimentos de <i>Ground Handling</i>	5
2.1	Considerações iniciais	5
2.2	Posição de <i>ground handling</i> em operações do sistema de aeroportos	6
2.3	Análise detalhada dos principais processos de <i>ground handling</i>	8
2.3.1	Processos de embarque/desembarque de passageiros	8
2.3.2	Processos de carga/descarga de bagagem	8
2.3.3	Processo de limpeza	9
2.3.4	Processo de catering	10
2.3.5	Processo de abastecimento de combustíveis	10
2.3.6	Processo de abastecimento de água potável e de saneamento	12
2.3.7	Processo de degelo	12
2.3.8	Push-back	12
2.4	<i>Ground handling</i> como um processo complexo multi-atividade	13
2.4.1	Exemplos de processos de <i>ground handling</i>	14
2.4.2	A dimensão temporal de <i>ground handling</i>	14
2.4.3	Análise do caminho crítico do processo de <i>ground handling</i>	18
2.5	Análise da organização da gestão de <i>ground handling</i> nos aeroportos	19
2.5.1	Os parceiros envolvidos em <i>ground handling</i>	20
2.5.2	Importância da gestão de <i>ground handling</i>	23
2.5.3	Escalas de tempo para gestão de <i>ground handling</i>	28
3	Ground Handling e Tomada Colaborativa de Decisão (CDM)	30
3.1	CDM e A-CDM	30
3.1.1	Princípios operacionais do A-CDM	33
3.1.2	Os níveis do A-CDM	33
3.2	A-CDM e Ground Handling	35
3.2.1	Coordenador de <i>ground handling</i> do Aeroporto (GHC)	35

4	Estado de Arte em gerenciamento de <i>Ground Handling</i>	38
4.1	Abordagem centralizada para o Problema de atribuição de <i>Ground Handling</i>	38
4.1.1	Descrição do problema	38
4.1.2	Formulação matemática	39
4.1.3	Abordagem de solução	40
4.1.4	Aplicação para a gestão de mão de obra de limpeza	41
4.2	Abordagens descentralizadas do Problema de Atribuição Global de <i>Ground Handling</i>	41
4.2.1	Abordagem de escalonamento multi-projeto	41
4.2.2	Abordagem de Tomada de Decisão distribuída	42
4.2.3	Problemas encontrados nas abordagens existentes	43
5	Modelagem e Implementação	44
5.1	Notações adotadas e Formulação do problema	44
5.2	Aplicação numérica	45
5.3	Implementação da aplicação	46
5.4	Resultados	47
6	Conclusão	49
6.1	Trabalho futuro	49
6.2	Considerações finais	50
	Referências	51

Lista de Figuras

2.1	Localização de <i>ground handling</i> dentro do processo de turnaround [16].	6
2.2	Operações relacionadas a aeronave em aeroportos [16].	7
2.3	Diferentes dispositivos para lidar com os passageiros nos processos de embarque e desembarque. [16]	9
2.4	Processos de carga/descarga de bagagem. [16]	9
2.5	Equipe de limpeza no estande de estacionamento de uma aeronave [16]	10
2.6	Processo de catering [16]	10
2.7	Diferentes processos de abastecimento de aeronave [16].	11
2.8	Processo de saneamento [16].	12
2.9	Processo de abastecimento de água potável [16].	12
2.10	Processo de degelo em curso [16].	13
2.11	Processo de Push-back [16].	13
2.12	arranjo de manutenção de aeronaves-Boeing 777-300ER [5]	14
2.13	Processo de <i>ground handling</i> para um Boeing B737 [5]	15
2.14	Processo de <i>ground handling</i> no Aeroporto Internacional de Belgrado [1]	15
2.15	Processo de <i>ground handling</i> no aeroporto de Estocolmo [3]	16
2.16	Turnaround com as atividades de <i>ground handling</i> soltas [11].	16
2.17	Turnaround com as atividades de <i>ground handling</i> proximas [11].	16
2.18	Durações típicas de operações de <i>ground handling</i> no Boeing 777-200 [5]	17
2.19	Durações típicas de operações de <i>ground handling</i> no Airbus 330-300 [2]	18
2.20	Caminhos críticos candidatos para o processo de assistência em escala [11].	19
2.21	Taxas de turnaround para um Airbus A320 em diferentes aeroportos [20].	24
2.22	cronograma de Gestão [7].	28
3.1	Parceiros dos aeroportos envolvidos na A-CDM	31
3.2	Ligação da A-CDM com <i>ground handling</i>	36
5.1	Estrutura e duração das atividades de <i>ground handling</i>	46
5.2	horários nominais de chegada e saída das aeronaves	46
5.3	Diagrama representando a implementação	46
5.4	Solução da atribuição	47
5.5	Solução da atribuição	48

Lista de Tabelas

2.1	Valor mínimo e máximo para o processo de <i>ground handling</i> [11].	19
2.2	Causas de atrasos de partida [11]	26

Capítulo 1

Introdução

Ao longo das últimas décadas do crescimento mundial do tráfego aéreo, o serviço de transporte aéreo (ATS) tem desenvolvido novos procedimentos operacionais baseados na tecnologia de processamento de informações disponíveis. Isso começou na década de 60, com a criação da AGIFORS (Airlines Group of IFORS) pelas principais companhias aéreas que utilizavam os primeiros computadores de grande porte disponíveis naquela época. Atualmente, na era da Internet, as operações do serviço de transporte aéreo envolvem diretamente atores globais (aeroportos, companhias aéreas, controle de tráfego aéreo(ATC), gestão do tráfego aéreo(ATM)) bem como atores locais (Ground handlers, fornecedores locais, etc)através de redes de informação interligadas [21].

A gestão dos aeroportos desempenha um papel importante dentro desse sistema complexo já que a demanda por transporte aéreo tem origem no aeroporto de referência (eles são, ao mesmo tempo, origem e destino para os vôos) e vários índices de eficácia são baseados em eventos ocorridos no aeroporto e nas estatísticas correspondentes. Além de proteção e segurança, que são questões prioritárias e que proporcionam um ambiente operacional nos aeroportos, atrasos no tráfego de aeronaves nos aeroportos e mais particularmente atrasos de partida de vôos são também vistos como questões permanentes de gestão aeroportuária. Além dos itens anteriores, outros objetivos principais da gestão do tráfego nos aeroportos são as melhorias de eficiência operacional reduzindo os atrasos de aeronaves, a otimização dos recursos aeroportuários para reduzir custos e o aumento da previsibilidade dos horários de partida de vôos efetivos [7].

De fato, há muitos anos, os atrasos de vôo são um dos problemas mais importantes no setor de transporte aéreo. Por exemplo, em 2007, 19% de todos os voos europeus estavam atrasados mais de 15 minutos na partida [11]. Estes atrasos recorrentes resultaram em uma menor qualidade de serviço aos passageiros, enquanto as companhias aéreas e os aeroportos também foram afetados com a perda de eficiência e, conseqüentemente, com perda de rendimentos. Ao mesmo tempo o desempenho ambiental da ATS é rebaixado pois o consumo de combustível e as emissões de partículas aumentaram. Se atrasos resultantes de mau tempo são inevitáveis, atrasos resultantes de desempenho insuficiente de gestão do tráfego no aeroporto podem ser reduzidos procurando por novas abordagens operacionais que visam melhorar o desempenho geral do aeroporto.

A Tomada de Decisão Colaborativa do Aeroporto (A-CDM) é um conceito recente que cria um terreno comum para as diferentes componentes da ATS. Este conceito é baseado

em uma melhor comunicação entre os diferentes atores do aeroporto (controle do tráfego aéreo, as autoridades aeroportuárias e companhias aéreas).

O *ground handling* é um termo comum para descrever as tarefas que são realizadas na ou em torno da aeronave enquanto ela está no solo, ou em outro caso, relacionado à partida ou chegada da aeronave. Isso pode incluir operações técnicas, tal como abastecimento de combustíveis, catering, limpeza, etc [9].

O objetivo principal desse trabalho é propor um sistema, que ainda está em desenvolvimento, de integração matemática e computacional para a organização da gestão de *ground handling*. Ele consiste em fornecer uma estrutura que organiza a gestão de *ground handling* usando o conceito A-CDM. A estrutura proposta introduz um coordenador de *ground handling* (GHC), que é considerado como uma interface para a comunicação entre os parceiros do A-CDM e os diferentes gestores de *ground handling* (GHM). Esta estrutura hierárquica permite compartilhar informações com parceiros da A-CDM, de um lado e interagir com os gestores de *ground handling* (GHM) por outro lado.

1.1 Motivação

A indústria da aviação está passando por desenvolvimento contínuo assim o tráfego aéreo se torna um fator cada vez mais importante em nossa sociedade, tanto para negócios e lazer. Como resultado, os aeroportos formam uma parte essencial da infra-estrutura e economia de qualquer centro populacional. Em 2004, 200 mil empregos foram diretamente custeados pela aviação no Reino Unido, e até 600 mil postos de trabalho foram custeados pela aviação indiretamente [4].

Os aeroportos estão cada vez mais liberalizando suas operações de *ground handling*. As operações de *ground handling* que têm sido tradicionalmente subsidiadas para as divisões corporativas do aeroporto ou da companhia aérea nacional estão agora sendo oferecidas em livre concorrência. Na União Europeia, a liberalização do mercado de *ground handling* pela Directiva 96/67/EC, provocou um aumento no número de empresas terceirizadas de *ground handling* de mais de 80% entre 1996 e 2007 [6]. Esse aumento da concorrência causou o aumento da necessidade de eficácia e minimização de custos.

A tomada de decisão colaborativa do Aeroporto (A-CDM) [9] é um conceito recente que cria uma base comum para as diferentes componentes da ATS. Esse conceito é baseado em uma melhor comunicação entre os diferentes atores do aeroporto (Controle de Tráfego Aéreo, Autoridades de Aeroporto e as Companhias Aéreas). O CDM já foi aplicado a alguns dos principais aeroportos europeus, onde tem melhorado seu desempenho e tem recebido uma boa aceitação por parte dos diferentes atores. No entanto, dentro do processo de turnaround de aeronaves nos aeroportos, a gestão de *ground handling* de aeronave não foi desenvolvida especificamente na abordagem CDM, mesmo que tenha um papel importante na fluidez dos movimentos no solo de aeronaves no aeroporto [10].

A maioria das pesquisas trata separadamente os problemas de *ground handling* de um complexo aeroporto, contudo, de acordo com o conhecimento até o momento adquirido, não foram encontradas pesquisas que modelem globalmente esse cenário matematicamente ou computacionalmente.

1.2 Objetivos

O *ground handling* aborda muitos serviços requeridos por uma aeronave de transporte enquanto ela estiver no solo, estacionada em um terminal ou em uma posição remota em um aeroporto, seja na chegada de um último voo ou na partida para um novo voo. Isso inclui o processamento de embarque e desembarque dos passageiros, bagagem e carga, bem como a própria aeronave (abastecimento, limpeza, saneamento, etc).

Este trabalho tem por objetivo é desenvolver um sistema de integração matemática e computacional das operações de *ground handling* do aeroporto que deve utilizar a abordagem CDM.

Os objetivos específicos são:

- Simular cenários encontrados nas operações de *ground handling* do aeroporto, de tal maneira que possam ser projetados os cenários a serem enfrentados sob distintas condições de demanda.
- Desenvolvimento de uma solução para o gerenciamento das operações de *ground handling* do aeroporto utilizando a abordagem CDM.

1.3 Metodologia

Os conceitos teóricos sob os quais o trabalho é desenvolvido consistem em uma principal técnica: o CDM. Esta seção expõe uma descrição sucinta dos métodos de pesquisa e desenvolvimento utilizados.

1.3.1 *Collaborative Decision Making*

O gerenciamento do *ground handling* deve contar com a atuação conjunta de todas as entidades impactadas, a fim de que esta operação seja realizada de maneira justa (com relação à distribuição dos atrasos). O compartilhamento de informação entre os agentes para a tomada de decisão é inerente a este cenário colaborativo. Assim sendo, é imprescindível a preocupação com a qualidade da informação disponibilizada, que deve ser completa e atualizada. Este processo colaborativo é efetivamente chamado de *Collaborative Decision Making*, ou, simplesmente, CDM.

1.3.2 Metodologia de pesquisa

O trabalho foi desenvolvido através da seguinte metodologia de pesquisa:

- *Levantamento de requisitos*: os requisitos são levantados junto aos usuários que são controladores. Também é feito o levantamento de recursos necessários para o desenvolvimento.
- *Levantamento de informações*: essas informações permitirão uma maior compreensão dos procedimentos utilizados pelos controladores na prática.

- *Levantamento de estado de arte:* é realizado um estudo de trabalhos que direta ou indiretamente estão relacionados a esta pesquisa, permitindo um melhor conhecimento dos problemas encontrados, as soluções propostas e observar o que não foi resolvido em outras pesquisas.
- *Definição da arquitetura:* nessa etapa será definida a linguagem de implementação, as classes e estruturas de dados utilizados.
- *Implementação:* a implementação segue as definições anteriores em busca de uma solução para o modelo.
- *Simulação:* Os casos de testes e os cenários que serão simulados pela aplicação são definidos e executados nessa fase.
- *Análise dos resultados:* os dados obtidos nas simulações são analisados e a eficiência do modelo é calculada.

1.4 Organização do documento

No capítulo 2, o processo de *ground handling* geral ao nível de um determinado voo é identificado e descrito. Em seguida, cada uma das atividades de *ground handling* clássico é detalhada. As principais questões gerenciais em relação à gestão de *ground handling* no aeroporto são consideradas: organização de gestão de *ground handling* com os possíveis papéis dos diferentes intervenientes, custos de *ground handling* e as questões de benefícios.

No capítulo 3, uma organização global de gestão de *ground handling* nos aeroportos, incluindo um coordenador de *ground handling* e compatível com a abordagem CDM é desenvolvida, analisada e discutida.

No capítulo 4, uma visão geral de abordagens quantitativas para resolver problemas de decisões de *ground handling* a nível das operações é realizada.

No capítulo 5, uma modelagem e implementação de uma aplicação numérica são desenvolvidas.

No capítulo 6, o resultado da aplicação numérica é discutido, uma abordagem de solução baseada em heurística dos problemas de operações principais encontrados em *ground handling* do aeroporto é proposta e finalmente a conclusão que fornece um resumo deste trabalho.

Capítulo 2

Procedimentos de *Ground Handling*

2.1 Considerações iniciais

De um aeroporto para outro, dependendo de sua condição física, composição do tráfego e muitos outros fatores, as atividades de *ground handling* podem ser realizadas de forma diferente.

O *ground handling* da aeronave é composto de um conjunto de operações aplicadas a uma aeronave para torná-la pronta para um novo voo comercial ou para finalizar um voo comercial que acabou de chegar. Em geral as atividades da tripulação técnica e comercial na chegada e partida são realizadas pelas companhias aéreas e não são consideradas como parte das atividades de processamento em solo. É o mesmo com as atividades de manutenção de aeronaves que são realizadas, de acordo com os regulamentos, durante a parada da aeronave, em paralelo com as atividades de *ground handling* [16].

Um processo típico de *ground handling* é composto das seguintes etapas: desembarque de passageiros, descarregamento de bagagens, abastecimento, catering, limpeza, saneamento, abastecimento de água potável, embarque de passageiros, carregamento de bagagens, de-icing e o push back da aeronave. As atividades de *ground handling* podem ser processadas em diferentes períodos de tempo e locais no aeroporto [16].

A tripulação técnica e comercial desembarca uma vez que todos os passageiros deixaram a aeronave. Enquanto isso, outras atividades de *ground handling* de chegada podem ser realizadas. Dependendo da característica de turnaround (short turnaround), eles podem permanecer a bordo para realizar o próximo voo. Caso contrário, a tripulação técnica e comercial irá embarcar na aeronave antes do início das atividades de *ground handling* de partida [16].

Na chegada do voo, o desembarque de passageiros e o descarregamento de bagagens deve ser realizado logo e devem ser estabelecidas condições de segurança para que os passageiros sofram menos atraso possível. Em seguida, de acordo com a proximidade do outro horário de partida atribuído a esta aeronave e a necessidade de estandes de estacionamento gratuitos, a aeronave pode ser conduzida até uma posição de estacionamento remoto. A descarga/carga pode ser realizada mais ou menos rapidamente de acordo com a urgência e disponibilidade de meios de descarga no estande de estacionamento de chegada ou na posição remota. As operações de manutenção de aeronaves, que estão no comando da companhia aérea e que não fazem parte de *ground handling* podem ocorrer, de acordo

com sua natureza, seja no estande de estacionamento ou na posição de estacionamento remoto [16].

A limpeza e o saneamento devem ser realizados sem muita demora para obter uma aeronave mais limpa possível. Eles podem ser feitos seja no estande de estacionamento de chegada, no estande de estacionamento de partida ou em uma posição de estacionamento remoto de acordo com as oportunidades livres e sem custos de atraso. É também interessante realizar o abastecimento de água potável, uma vez que se a aeronave estiver fora de horário, apenas um número mínimo de operações de *ground handling* continuará a ser realizado [16].

Quando o horário de partida correspondente ao voo atribuído a uma aeronave se aproxima, ela é conduzida, se necessário, para um estande de estacionamento de partida. Em geral, o abastecimento é realizado de acordo com a demanda da companhia aérea no estande de estacionamento de partida. O carregamento de bagagens pode começar depois ou ocorrer durante a hora do embarque de passageiros. Uma vez que o abastecimento, o carregamento de bagagens e o embarque de passageiros forem concluídos, a aeronave está pronta para deixar o estande de estacionamento e a liberação é solicitada pelo piloto à torre ATC. Uma vez que a liberação é concedida pelo ATC, o push back é realizado [16].

A principal característica de *ground handling* do aeroporto é o envolvimento de diversas atividades, equipamentos, veículos e habilidades de mão de obra. Outra característica importante de *ground handling* do aeroporto é a complexidade de todo o processo com atividades paralelas e seqüenciais acontecendo em estandes de estacionamento, ligações de transporte e bases de veículos de *ground handling* [16].

2.2 Posição de *ground handling* em operações do sistema de aeroportos

As atividades de *ground handling* interagem com as atividades de tráfego de aeronaves (Taxiing e manobras a ventar) e assistência de passageiros/carga em terminais.

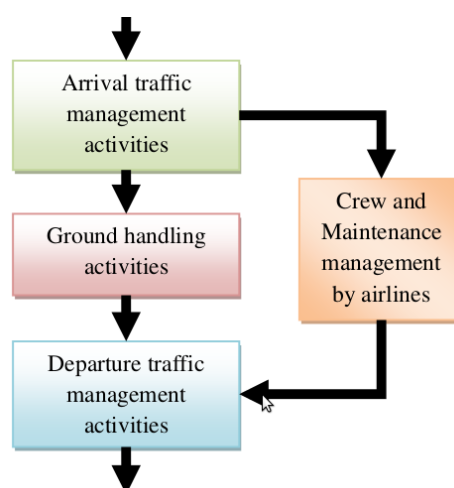


Figura 2.1: Localização de *ground handling* dentro do processo de turnaround [16].

A figura 2.1 fornece uma visão global do *ground handling* dentro do processo de turnaround enquanto a Figura 2.2 ilustra detalhadamente a posição do processo de *ground handling* dentro do sistema aeroportuário na interface entre o processamento de passageiros/carga e procedimentos de chegada/partida de aeronaves. .

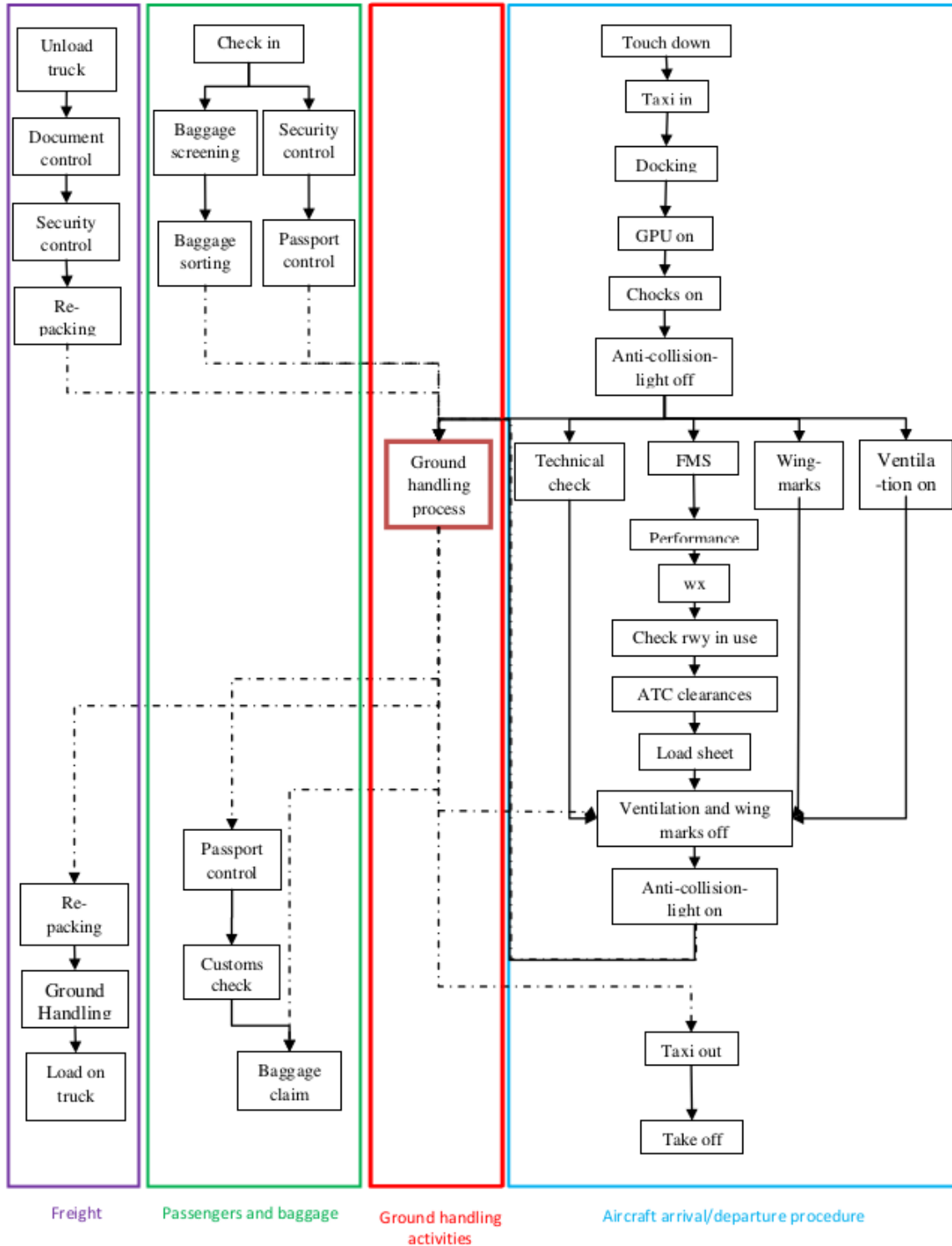


Figura 2.2: Operações relacionadas a aeronave em aeroportos [16].

2.3 Análise detalhada dos principais processos de *ground handling*

Aqui as atividades mais atuais de *ground handling* encontradas em aeroportos comerciais são introduzidas e analisadas considerando o equipamento e as frotas correspondentes, bem como as restrições aplicadas a elas.

2.3.1 Processos de embarque/desembarque de passageiros

Nos aeroportos comerciais, uma chamada de Embarque no sistema de anúncio público pede aos passageiros que avancem para o portão de saída e embarquem no avião. "Embarque" aqui é o termo para descrever a entrada de passageiros em uma aeronave. Ele começa permitindo a entrada de passageiros na aeronave e termina com a conclusão dos assentos de todos os passageiros e o fechamento das portas. Ao contrário das operações de embarque, as operações de desembarque são realizadas na ordem inversa. No entanto, em ambos os processos, são utilizadas escadas aéreas (*airstairs*) ou pontes aéreas (*airbridges*). Os aviões de pequeno porte podem carregar as suas próprias escadas [16].

Os processos de embarque e desembarque dependem da política das companhias aéreas (i.e. Low Cost Airlines, Flag Carrier Airlines) e os recursos disponíveis em um aeroporto específico (principal ou terminais remotos) [10].

Usando pontes aéreas, apenas a porta dianteira esquerda da aeronave (de acordo com o modelo) é utilizada enquanto por meio de escadas (escadas móveis ou escadas integradas), uma segunda escada para a porta traseira esquerda da aeronave pode ser utilizada de modo a acelerar o processo. Assim, a operação com escadas aéreas é mais rápida do que o processo com pontes aéreas, particularmente se elas são carregadas pela aeronave. No entanto, essa última afirmação é verdadeira apenas quando nenhum ônibus é necessário para carregar passageiros entre o estande de aeronaves e o terminal de passageiros. Caso contrário a operação com pontes aéreas é mais eficaz e mais rápida [16].

Essas operações são supervisionadas pelo pessoal de solo e a tripulação de cabine. Além disso, o embarque e desembarque podem ser realizados simultaneamente com o carregamento e descarregamento de bagagens uma vez que esses serviços não precisam da mesma área ao redor da aeronave (em geral, o lado esquerdo é dedicado aos passageiros enquanto o lado direito é dedicado as bagagens) [16].

A figura 2.3 apresenta exemplos dos diferentes meios para embarque/desembarque dos passageiros.

2.3.2 Processos de carga/descarga de bagagem

As bagagens podem ser arrumadas na aeronave de duas maneiras diferentes: em pilhas ou em recipientes pré-embalados. Como os recipientes podem ser embalados antes de a aeronave chegar ao aeroporto, o tempo de processo de *ground handling* para a carga de bagagem será menor com o carregamento do recipiente do que com pilhas se o número de bagagem for grande. As bagagens, em um voo, têm de ser sorteadas, a menos que seja um voo charter (ou outros vôos ponto-a-ponto), onde todas as bagagens têm a mesma prioridade e destino. Caso contrário, elas podem ser divididas em bagagens de transferência, bagagens de alta prioridade ou bagagens de tamanho ímpares e assim por diante [16].



Figura 2.3: Diferentes dispositivos para lidar com os passageiros nos processos de embarque e desembarque. [16]

A figura 2.4 mostra os processos de carga/descarga de bagagem.



Figura 2.4: Processos de carga/descarga de bagagem. [16]

2.3.3 Processo de limpeza

As companhias aéreas podem solicitar diferentes tipos de serviços de limpeza de aeronaves. Durante o dia, a limpeza pode levar de cinco minutos (tirar lixo) até 40 minutos (evacuação de lixo, limpeza de assento-bolsos, colocação de cintos, aspiração, etc.). Esse último só é realizado em aeronave com tempo de turnaround mais longos. A maior e mais cuidadosa limpeza é realizada durante o período noturno, quando a aeronave está no solo e permanece por um longo tempo [16].

Na maioria das aeronaves, a limpeza e o catering podem ser realizados ao mesmo tempo, mas para alguns aviões pequenos não há espaço suficiente para os dois ao mesmo tempo. Nesse último caso, não importa se a limpeza ou o catering é realizado primeiro.

As equipes de limpeza podem proceder diretamente de uma aeronave para outra, mas nos intervalos e quando eles precisam de material adicional (travesseiros e cobertores), elas têm que voltar para a base. Não há diferença significativa entre as atividades de limpeza em diferentes tipos de aeronaves, assim todas as equipes de limpeza podem ser atribuídas a qualquer tipo de aeronave [23].

A figura 2.5 mostra uma equipe de limpeza no estande de estacionamento de uma aeronave.



Figura 2.5: Equipe de limpeza no estande de estacionamento de uma aeronave [16]

2.3.4 Processo de catering

O catering envolve a retirada de sobras de alimentos e bebidas do voo anterior e o abastecimento das aeronaves com alimentos frescos e bebidas para o próximo voo. O catering pode começar quando todos os passageiros deixam o avião. As empresas de catering usam altos carregadores para colocar os armários de comida para dentro e para fora da aeronave. Eles não cabem em todos os tipos de aeronaves, por isso o planejamento de atribuição de altos carregadores para vôos é necessário [16].

O processo de catering leva entre cinco e 75 minutos dependendo de quanto alimento é necessário e da forma como é embalado. As equipes de catering precisam voltar para o depósito entre servir duas aeronaves, a fim de esvaziar o lixo e colocar novo alimento [8].

O coordenador de catering faz estimativas aproximadas da mão de obra necessária para realizar o catering ao longo de semanas e o planejamento detalhado, de que está servindo cada aeronave são realizados todos os dias [8].

A figura 2.6 representa dois exemplos do processo de catering.



Figura 2.6: Processo de catering [16]

2.3.5 Processo de abastecimento de combustíveis

O abastecimento pode ser realizado de duas maneiras diferentes. Em alguns estandes, há um sistema de hidrante com tubos de combustível no solo aos quais os caminhões distribuidores podem se conectar a fim de encher o avião. No estande da aeronave onde o sistema de hidrante não está disponível, o abastecimento é realizado por petroleiros [16].

Existem diferentes tipos de caminhões distribuidores: os tipos maiores podem servir todos os tipos de aeronaves, enquanto os menores só podem servir a pequenas aeronaves.

No entanto, os tipos menores podem ser preferidos quando a área em torno da aeronave é fortemente limitada. Além disso, os petroleiros variam em tamanho; em geral, a sua capacidade varia de 8 a 40 metros cúbicos de combustível [23].

O abastecimento não pode ser realizado simultaneamente com a carga e descarga de bagagem uma vez que esses serviços necessitam da mesma área ao lado do avião. Antes da empresa de combustível começar a encher, ela sempre verifica o teor de água no combustível. A área ao redor da aeronave tem que ser planejada para que o caminhão distribuidor ou petroleiro tenha um caminho livre para a evacuação. Há também algumas companhias aéreas com regras específicas sobre abastecimento enquanto os passageiros estão a bordo. A maioria das companhias aéreas permitem, mas apenas sob certas condições (por exemplo, deve haver extintor de incêndio pronto nas imediações da aeronave ou deve haver duas formas de comunicação entre o "apron" e da aeronave) [8].

O tempo de abastecimento depende da capacidade dos tubos na aeronave e, claro, a quantidade de combustível necessária. O piloto decide quanto combustível é necessário e deve informar para a empresa de abastecimento antes de poder começar a encher a aeronave [16].

Atualmente, não há nenhum horário pré-planejado para cada caminhão. Não até que um pedido de abastecimento seja emitido pelo piloto e o coordenador da empresa de abastecimento atribua uma equipe de abastecimento a ele. Isso quer dizer que uma vez que um serviço de abastecimento é solicitado, uma equipe de abastecimento será atribuída ao pedido e realizará o reabastecimento [8].

A figura 2.7 mostra os diferentes meios utilizados para realizar o processo de abastecimento.

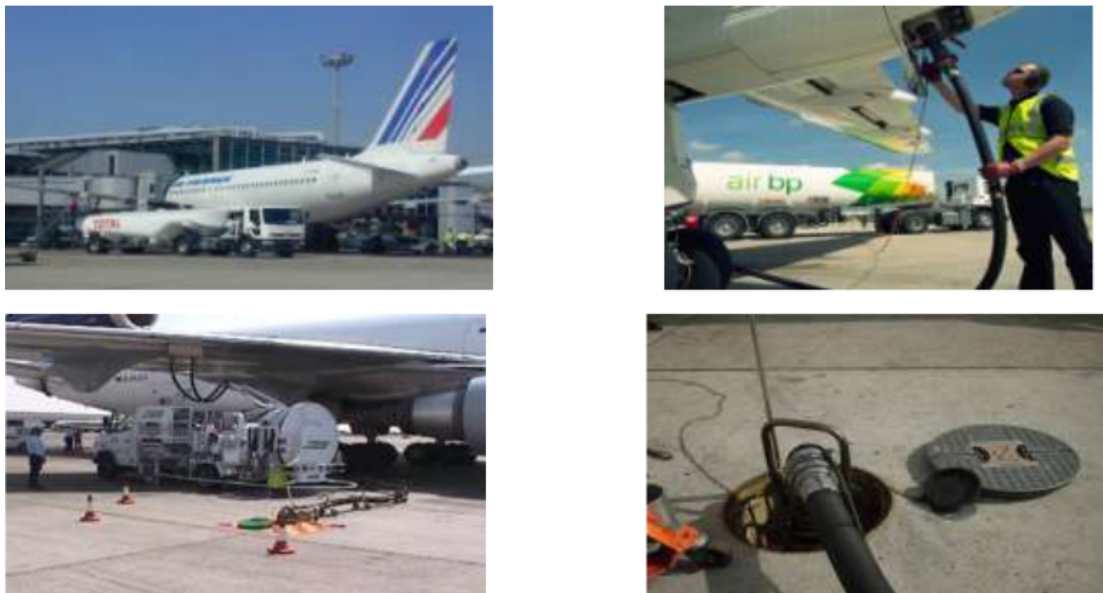


Figura 2.7: Diferentes processos de abastecimento de aeronave [16].

2.3.6 Processo de abastecimento de água potável e de saneamento

A aeronave deve liberar a água utilizada e ser reabastecida com água fresca para o próximo voo. Isso é realizado por dois diferentes veículos que mais frequentemente operam em uma aeronave ao lado oposto da carga/descarga de bagagem e do lado do abastecimento de combustíveis. Isso significa que a água e o saneamento podem ser realizados simultaneamente com a descarga/carga de bagagem ou o abastecimento de combustíveis, mas eles não devem ser realizados simultaneamente por restrições de segurança e de espaço [16].

A figura 2.8 mostra o processo de saneamento e a figura 2.9 mostra o processo de abastecimento de água potável.



Figura 2.8: Processo de saneamento [16].



Figura 2.9: Processo de abastecimento de água potável [16].

2.3.7 Processo de degelo

Uma vez que mesmo camadas muito finas de geada e gelo na aeronave possuem um efeito negativo sobre a força de elevação e de controle de uma aeronave, o degelo é necessário se qualquer parte da aeronave é coberta com neve ou gelo, ou se houver uma precipitação que poderia se transformar em gelo [16]. No Brasil, o processo de degelo não se aplica devido ao clima.

A figura 2.10 mostra como os caminhões realizam a operação de degelo.

2.3.8 Push-back

Quando o processo de turnaround se conclui, a aeronave já pode voar. Ela precisa então ser empurrada usando tratores específicos. As aeronaves em estandes exigem um



Figura 2.10: Processo de degelo em curso [16].

push-back que depende da configuração do estande. Em alguns estandes, a aeronave pode começar a caminhar sozinha uma vez que o motor pode ser iniciado no estande. O processo de push-back marca uma transição de interação com o operador aéreo de *ground handling* à interação aérea de ATC [8].

A figura 2.11 representa exemplos do processo de push-back.



Figura 2.11: Processo de Push-back [16].

2.4 *Ground handling* como um processo complexo multi-atividade

Cada uma das atividades que incluem processo de *ground handling* faz uso de equipamento especializado que deve ser disponibilizado no local de estacionamento de aeronaves no momento certo para evitar atrasos. Algumas das atividades de *ground handling* devem ser realizadas o mais cedo possível após a chegada da aeronave em seu estande de estacionamento e outras devem ser realizadas apenas em algum momento antes da partida a partir de seu estande de estacionamento [23].

Dependendo do funcionamento da aeronave, esses dois subconjuntos de atividades podem ser realizados em sequência imediata ou são separados por um período inativo de duração variável de acordo com os horários de chegada e de partida de uma dada aeronave. A Figura 2.12 mostra uma situação padrão de uma aeronave passando por um processo de turnaround (turnaround process), onde o espaço é um recurso bastante limitado e algumas tarefas não podem ser realizadas simultaneamente, principalmente por razões de segurança [8].

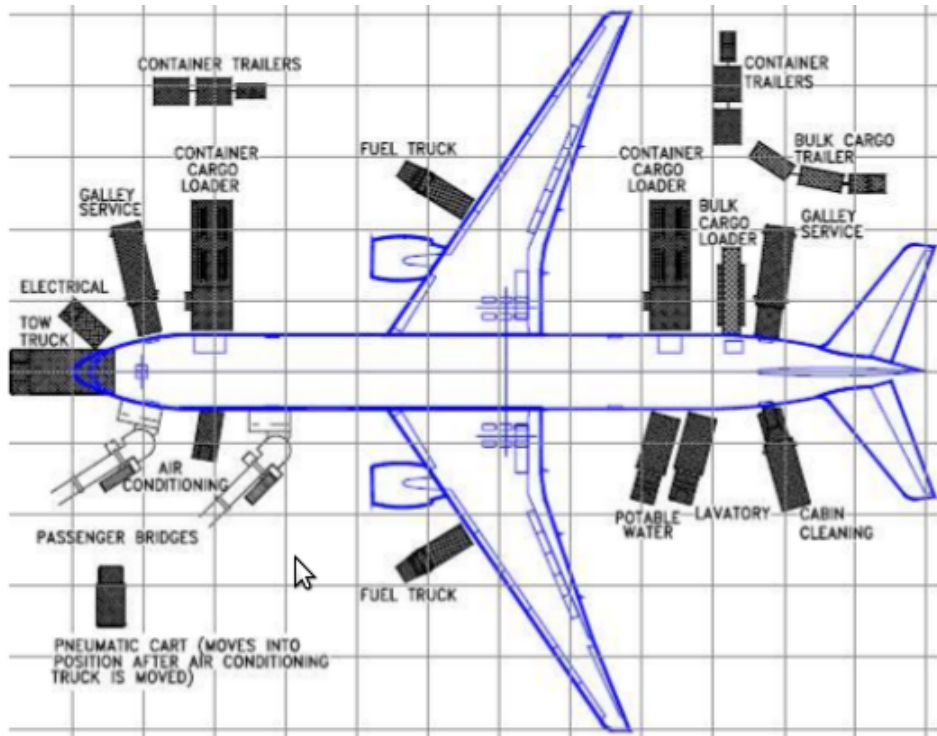


Figura 2.12: arranjo de manutenção de aeronaves-Boeing 777-300ER [5]

2.4.1 Exemplos de processos de *ground handling*

O processo de turnaround de *ground handling* pode variar de acordo com o arranjo de manutenção e as tarefas necessárias para diferentes tipos de aeronaves, diferentes operadores, necessidades específicas de algumas frotas, o layout do aeroporto e também a sua política de gestão aeroportuária [23]. A figura 2.13 mostra a composição padrão e a seqüência de atividades de *ground handling* para um B737. A Figura 2.14 mostra a composição e seqüência de atividades de *ground handling* para um avião de médio porte no Aeroporto Internacional de Belgrado enquanto a figura 2.15 mostra a composição e seqüência de atividades de *ground handling* para um A320 no Aeroporto Internacional de Estocolmo.

2.4.2 A dimensão temporal de *ground handling*

O turnaround (ou tempo de bloqueio) é o período de tempo em que o avião está na rampa do aeroporto, a partir do bloqueio na chegada de aeronave até o bloqueio na partida da aeronave. Ele inclui a posição do trator de push back e da barra de reboque para o processo de push back. Assim, o período de turnaround abrange todos os atrasos necessários para realizar as atividades de *ground handling*, bem como alguns tempos inativos(Figura 2.16). Em uma operação comercial apertada, o turnaround mínimo será igual ao período mínimo de tempo necessário para completar todas as atividades de *ground handling* (figura 2.17) organizadas em um processo em série/paralelo [11].

A duração do turnaround com relação ao *ground handling*, pode assumir diferentes valores, dependendo do:

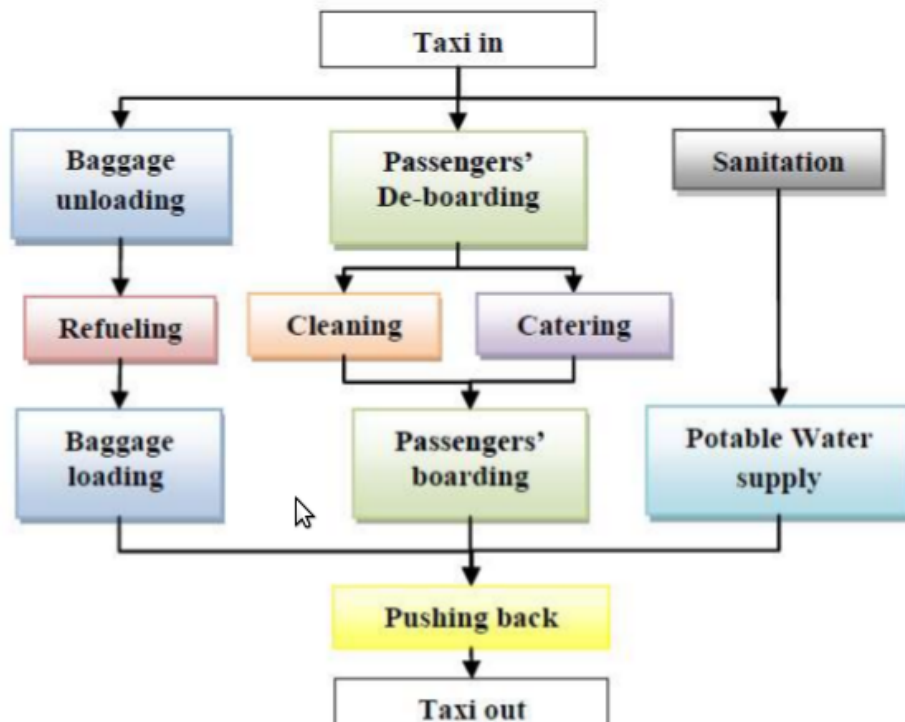


Figura 2.13: Processo de *ground handling* para um Boeing B737 [5]

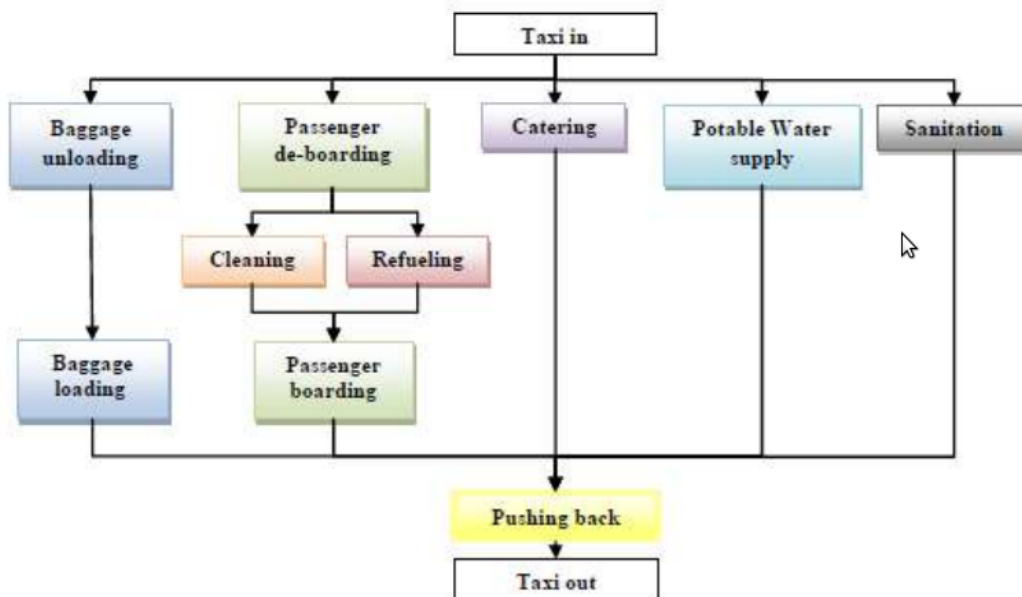


Figura 2.14: Processo de *ground handling* no Aeroporto Internacional de Belgrado [1]

- Tamanho da aeronave: aeronaves maiores precisam de tempo de turnaround mais longo. Por exemplo, de acordo com os manuais do Airbus o tempo mínimo de turnaround para um A320 é de 23 minutos, enquanto para um A340 é 43 minutos [2].
- Tipo de voo: voos de curta distância são operados com maior frequência do que os

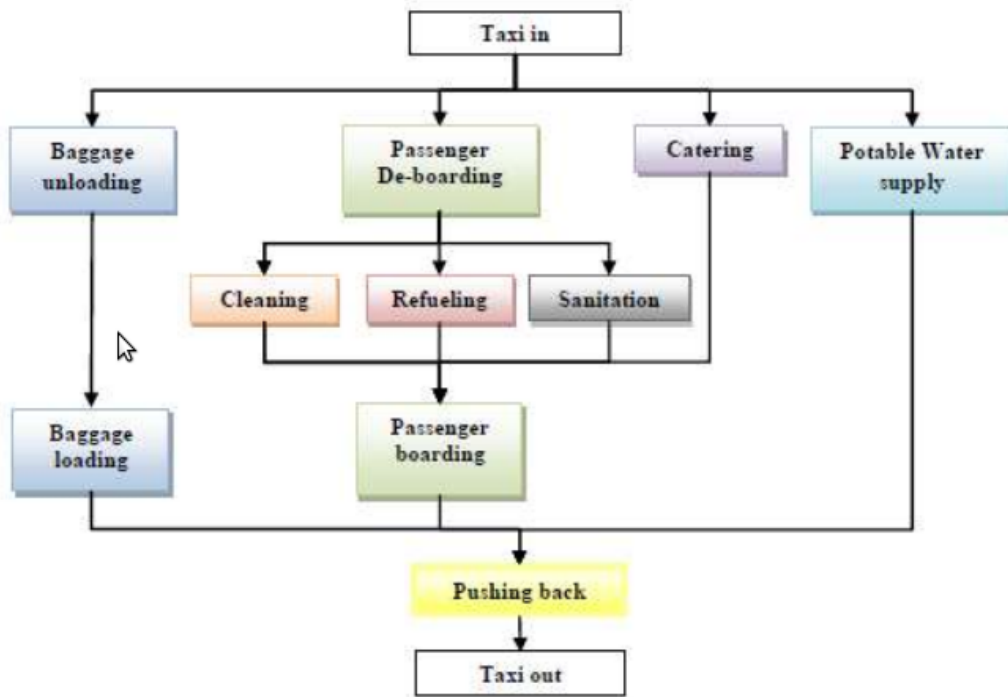


Figura 2.15: Processo de *ground handling* no aeroporto de Estocolmo [3]

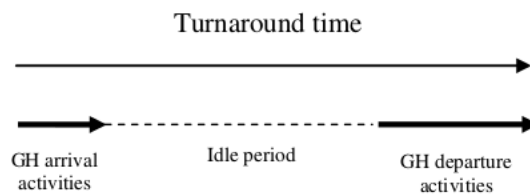


Figura 2.16: Turnaround com as atividades de *ground handling* soltas [11].

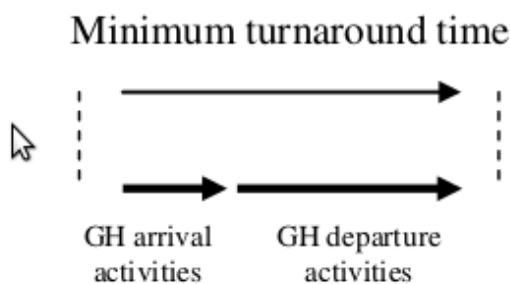


Figura 2.17: Turnaround com as atividades de *ground handling* próximas [11].

de longa distância. Os vôos de curta distância operam muitas vezes em condições apertadas, enquanto vôos de longo curso, que exigem mais tempo de manutenção pré-vôo, dispõem, em geral, de margens de tempo maiores [2].

- Número de passageiros ou do tamanho da carga a ser processada [2].

- Estratégia de companhia: algumas companhias aéreas podem decidir inserir um tempo de buffer ao planejar os turnarounds para que seus horários de chegada/partida sejam mais robustos para atrasos inesperados de *ground handling* [2].

Os construtores de aviões fornecem aos seus clientes (as companhias aéreas) para cada tipo de avião recomendado, procedimentos de *ground handling* tendo em conta as questões de segurança. Eles produzem, para cada atividade de *ground handling* diretamente relacionada com a aeronave, durações nominais, bem como valores mínimos e máximos. Os dados armazenados nesses gráficos assumem condições operacionais padrão. De fato, como foi mencionado antes, eles também são dependentes de regulamentos locais, sobre os procedimentos de companhias aéreas e condições reais de aeronaves [11].

A figura 2.18 apresenta durações nominais das atividades de *ground handling* de um B777-200 [5], enquanto a figura 2.19 apresenta durações nominais para as atividades de *ground handling* para um A330-300 [2].

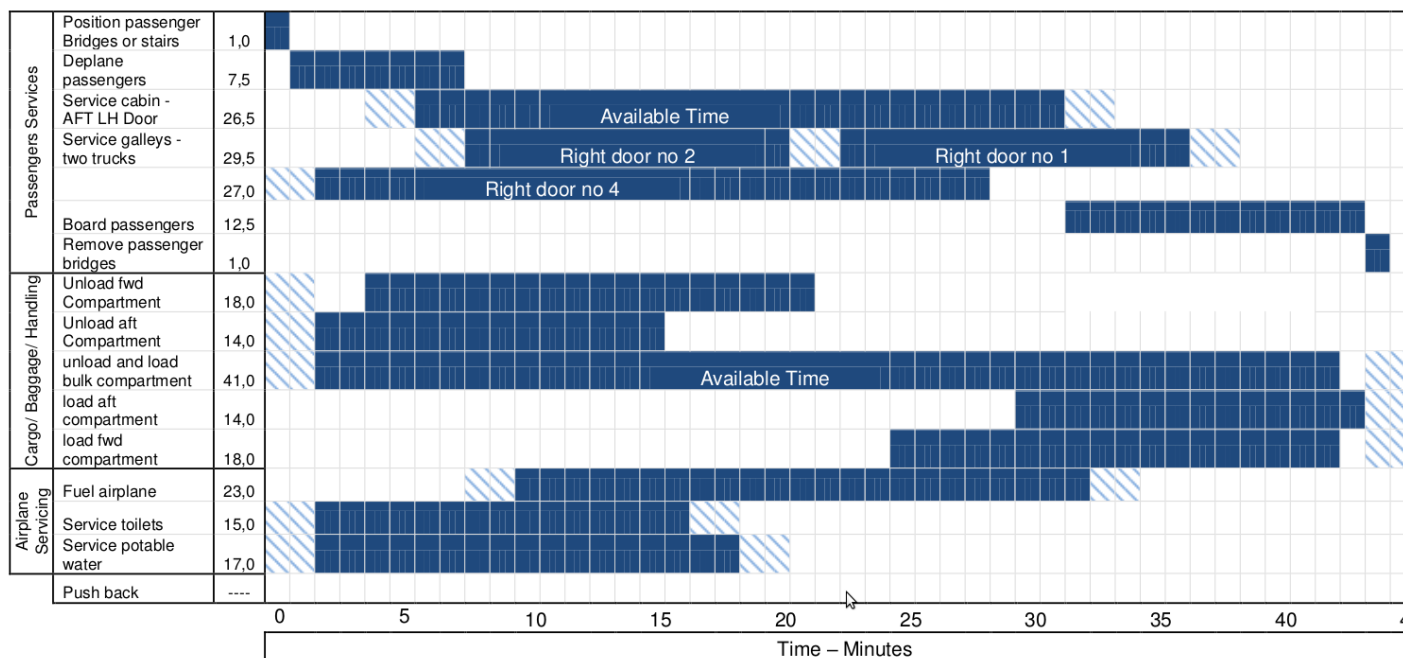


Figura 2.18: Durações típicas de operações de *ground handling* no Boeing 777-200 [5]

A figura 2.18 mostra que o tempo total de turnaround é de cerca de 45 minutos para o B777-200 e a figura 2.19 indica que o tempo total de turnaround é de cerca de 64 minutos para o A330-300.

Os valores acima são em relação a dois aviões projetados para voos de longo curso. Muitas tarefas são executadas simultaneamente de acordo com a seqüência de operações apresentada na seção anterior. Nas figuras, as avaliações são baseadas na configuração de classe mista dos passageiros. Supõe-se que todos os equipamentos estão funcionando corretamente e que as condições climáticas são normais. Como as atividades de aeronave e as condições em que essas operações são efetuadas são diferentes em cada aeroporto e companhia aérea, valores diferentes podem ser produzidos com respeito à duração dessas tarefas [11].

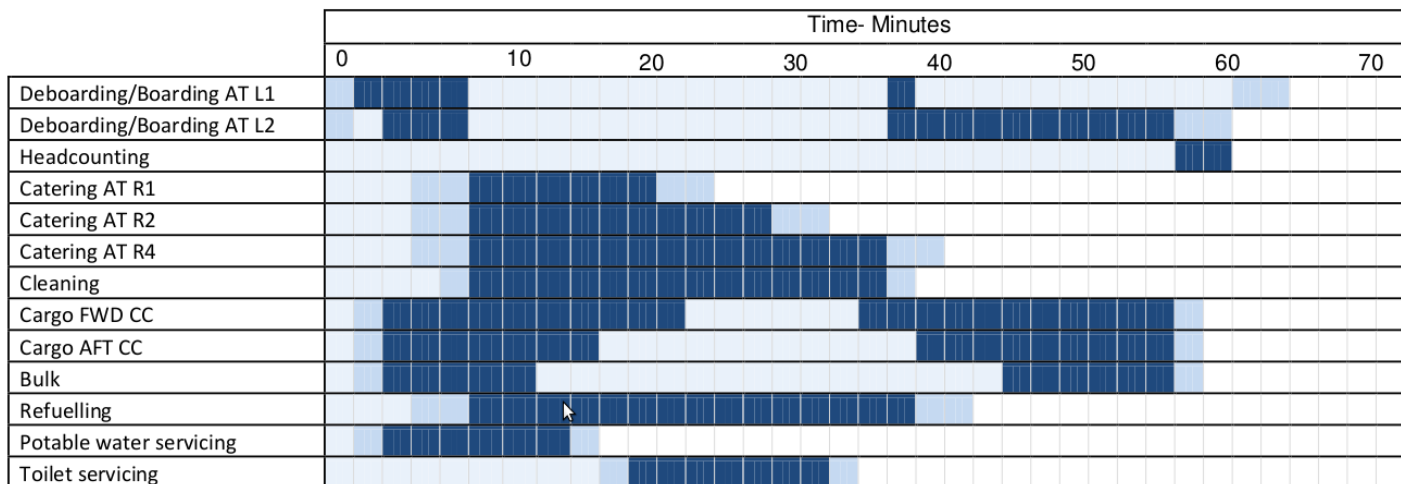


Figura 2.19: Durações típicas de operações de *ground handling* no Airbus 330-300 [2]

2.4.3 Análise do caminho crítico do processo de *ground handling*

Pode ser de interesse dos gestores saber, para cada tipo de aeronave envolvida em uma determinada operação de transporte aéreo, qual pode ser o melhor desempenho de *ground handling* com relação a atrasos. O caminho crítico é o conjunto de atividades que são críticas para a duração total da processo considerado. Atrasar uma atividade crítica imediatamente prolonga o tempo de parada. As análises estatísticas em [11] identificaram esses processos críticos como consistindo de desembarque, abastecimento em combustíveis, catering ou limpeza e finalmente embarque. De acordo com as mesmas análises estatísticas, parece que a frequência de ocorrência de abastecimento no caminho crítico é de 57%, 35% para o catering e 8% para a limpeza.

As atividades fora do caminho crítico podem ser adiadas de alguma forma, de acordo com as suas margens, sem influenciar a duração total do processo [11].

O caminho crítico do processo de *ground handling* varia de um voo para outro, uma vez que depende da duração e da sequência das operações. Considerando a sequência das operações de *ground handling* na figura 2.20, um caminho crítico poderia corresponder às seguintes seqüências [11]:

descarga bagagem - abastecimento - carga bagagem

ou para a seguinte seqüência:

desembarque de passageiros - catering/limpeza - embarque de passageiros

ou, finalmente, com a seguinte seqüência:

saneamento - abastecimento de água potável

Isto irá depender das respectivas durações totais desses três caminhos.

Na próxima tabela (Tabela 2.1), valores mínimos e máximos para o processo de *ground handling* são produzidos por diferentes tipos de aeronaves. Esses resultados mostram a grande variabilidade de atrasos de *ground handling* em operação nominal.

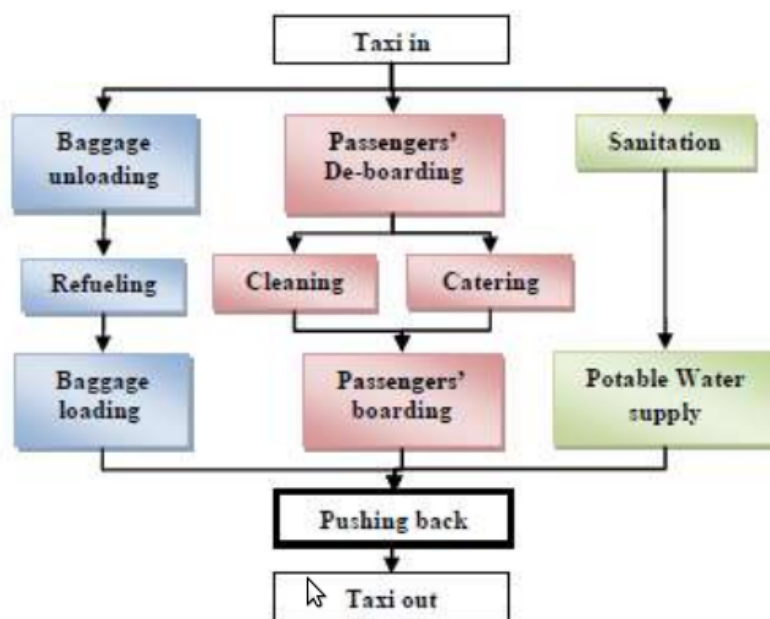


Figura 2.20: Caminhos críticos candidatos para o processo de assistência em escala [11].

Aeronave	Min (min)	Max (min)
A320 - 200	23	48
A330 - 200	44	60
A340 - 200	39	59
A380 - 800	90	126
B777 - 200LR	25	45
B767 - 200	20	30
B720	30	60
B757 - 200	25	40

Tabela 2.1: Valor mínimo e máximo para o processo de *ground handling* [11].

2.5 Análise da organização da gestão de *ground handling* nos aeroportos

De acordo com a seção anterior, parece que o *ground handling* representa uma das atividades críticas que está relacionada com a qualidade do serviço prestado pelos aeroportos no controle de congestionamento do tráfego de voo. As autoridades aeroportuárias, ciente desse fato, tentaram encontrar uma solução adequada para a organização e a operação de gestão de *ground handling*. Isso conduziu a uma grande diversidade de soluções propostas com respeito à organização de gestão de *ground handling*.

Assim, nessa seção, os atores envolvidos com a gestão de *ground handling* em diferentes aeroportos são identificados, enquanto os prós e contras de seus envolvimento com as atividades de *ground handling* são discutidos.

A importância relativa de *ground handling* no que diz respeito à gestão de um aeroporto é discutida em termos de custos e benefícios esperados.

Finalmente, as diferentes funções de gestão de *ground handling* são classificadas de acordo com diferentes escalas de tempo, permitindo definir as funções de gestão de *ground handling* em tempo estratégico, tático, operacional e real.

2.5.1 Os parceiros envolvidos em *ground handling*

Ao considerar diferentes aeroportos no mundo, parece que uma grande variedade de parceiros podem estar envolvidos com a gestão de *ground handling*. Para a distribuição das funções de *ground handling* entre os parceiros, não há um padrão geral ou uma regra que pode ser aplicada a aeroportos. As operações de *ground handling* podem ser realizadas sob a gestão direta ou indireta dos seguintes parceiros: as autoridades aeroportuárias, as companhias aéreas e as empresas de *ground handling* especializadas [6]. Portanto as operações de *ground handling* podem ser gerenciadas globalmente ou parcialmente:

- Diretamente pelos gestores de *ground handling* do aeroporto,
- Diretamente pelos gestores de *ground handling* das companhias aéreas,
- Pelas empresas de *ground handling* trabalhando para o aeroporto,
- Pelas empresas de *ground handling* trabalhando para as companhias aéreas,
- Ou por combinações dessas quatro situações.

Em todas essas situações subcontratantes especializadas podem ser chamadas para realizar atividades de *ground handling* específicas.

A organização da gestão de *ground handling* nos grandes aeroportos depende, muitas vezes, de sua estrutura operacional que pode incluir, além de áreas comuns para as companhias aéreas secundárias, terminais de hub para as companhias aéreas operacionais principais. Com relação às autoridades do aeroporto, eles estão principalmente preocupados com a gestão da infra-estrutura do aeroporto para fornecer capacidade de processamento de tráfego de aeronaves e dos fluxos de passageiros/carga [8].

Historicamente, os aeroportos e as companhias aéreas estavam envolvidos em atividades de *ground handling*, mas com o desenvolvimento do transporte aéreo e da necessidade de mais serviços de *ground handling* especializados, esses serviços foram delegados a empresas de *ground handling* especializadas. No entanto, em muitos aeroportos, o envolvimento de autoridades aeroportuárias em atividades de *ground handling* continua a ser importante [23].

Aeroportos, companhias aéreas e operadores de *ground handling*

A participação em atividades de *ground handling* de autoridades de aeroportos, companhias aéreas e empresas de *ground handling* especializadas apresenta para cada um deles várias vantagens e desvantagens que podem ser determinantes em muitos casos, resultando em uma organização de *ground handling* em um aeroporto específico.

Em geral, o negócio de *ground handling* não é uma área a partir da qual um lucro considerável pode ser esperado uma vez que os custos de pessoal e equipamentos de

ground handling são elevados enquanto a operação está sujeita a grandes variações durante um dia (horário de pico) e dentro de uma semana, com efeitos sazonais que podem ser muito pronunciados. No caso de uma gestão direta das atividades de *ground handling* nos aeroportos, as receitas mal cobrem os custos de *ground handling* e em muitos casos, elas podem ser menores do que os custos relacionados. Para o aeroporto, essas perdas podem ser cobertas pelas receitas de outras áreas, tais como taxas de aterragem ou diversas receitas de concessão. As mesmas circunstâncias acontecem quando uma companhia aérea cuida de seu próprio *ground handling* [20].

Aqui estão apresentados os prós e os contras do envolvimento de autoridades do aeroporto, companhias aéreas e empresas de serviços no setor de *ground handling* [20]:

O ponto de vista das autoridades aeroportuárias:

1. Vantagens de participar de *ground handling*:

- Dominar globalmente todos os processos de transferência seja para passageiros/bagagens ou cargas para garantir a ligação eficiente e a pontualidade.
- Fornecer uniformemente para os clientes a qualidade de serviço exigida pelo controle e otimização de todos os fluxos de processos e assim melhorar a competitividade no que diz respeito aos aeroportos concorrentes.
- Garantir que condições de segurança e de proteção globais dominem simultaneamente infra-estruturas e processos.
- Fornecer serviços de *ground handling*, quando nenhum outro stakeholder está fornecendo-o (por exemplo, o degelo que, por ser uma atividade sazonal não é atraente para os investidores).

2. Desvantagens de participar de *ground handling*:

- Dificuldade em atender de forma eficiente as necessidades específicas de *ground handling* das diferentes companhias aéreas que operam no aeroporto;
- Dificuldade de integrar e processar de forma eficiente o fluxo de informação adicional gerado por essa atividade;
- Dependendo do status comercial de alguns aeroportos (de propriedade pública), a dificuldade para impor uma organização eficaz das atividades de *ground handling*.

O ponto de vista das companhias aéreas:

1. Vantagens de participar de *ground handling*:

- Dominar globalmente os processos de transferência envolvendo seus clientes para garantir a continuidade e a pontualidade de passageiros, bagagem ou fluxos de carga.
- Controlar a qualidade do serviço (atrasos, ocorrências de bagagens perdidos, catering, limpeza ...) de *ground handling* prestado aos seus clientes para proteger ou melhorar a imagem comercial da companhia aérea.

- Controlar de custos de operações de *ground handling* que têm um impacto sobre os preços dos bilhetes aéreos.
- Cobrir a indisponibilidade de operadores de *ground handling* local ou a incapacidade do aeroporto para fornecê-lo com o nível de serviço aceitável.

2. Desvantagens de participar de *ground handling* para companhias aéreas:

- Isso significa localizar os equipamentos e o pessoal adicional em um aeroporto que pode ser uma mera escala em sua rede comercial.
- Isso significa estar envolvido em problemas logísticos complexos, incluindo a disponibilidade de produtos de *ground handling*.
- Penalizando restrições no que diz respeito à localização e ao tamanho de seus depósitos de *ground handling* podem ser impostos pelas autoridades aeroportuárias, considerando as superfícies aeroportuárias disponíveis para outros stakeholders.
- A falta de escala pode transformar a operação de *ground handling* para companhia aérea menor custo atraente do que quando fornecida por um operador de *ground handling* maior no aeroporto. Em alguns casos, as companhias aéreas podem se unir para prestar um serviço de *ground handling* comum.

O ponto de vista dos fornecedores independentes de *ground handling*:

1. Vantagens de participar de *ground handling* em um determinado aeroporto:

- Oportunidade de lucro em um grande aeroporto com altos níveis de demanda por serviços de *ground handling*.
- Adquirir uma grande fatia do mercado de *ground handling* em alguns aeroportos importantes ou em uma rede de aeroportos.
- Adquirir uma posição sólida em aeroportos com perspectivas de desenvolvimento elevados no futuro próximo.

2. Desvantagens de participar de *ground handling* em um determinado aeroporto:

- Perspectivas de lucro baixas no futuro próximo.
- Forte concorrência de fornecedores de *ground handling* já estabelecidos.
- Más condições operacionais oferecidas pelas autoridades aeroportuárias.

Em teoria, algumas vantagens de *ground handling* poderiam ser esperadas para as operações centralizadas de *ground handling*. A única empresa que opera em todo o aeroporto pode esperar lidar com mais níveis de atividade regulares durante o dia e deve minimizar a duplicação de equipamentos e frotas de veículos de serviço. No entanto, pode-se esperar que as vantagens serão equilibradas pelas desvantagens que vêm de operações centralizadas e falta de concorrência. De qualquer forma as dimensões e a organização em diferentes áreas de grandes aeroportos transforma em geral inviável a idéia de operar equipamento de terra a partir de uma base única. De fato, para esses grandes aeroportos, a função de *ground handling* deve ser subdividida em um número de organizações auto-suficientes ligadas aos terminais de grande porte [20].

A Comissão Europeia introduziu regulamentos (96/67/EC directive e outros) para desencorajar ou para evitar situações de monopólio para o *ground handling* no espaço europeu [6].

Situação atual em relação ao *ground handling*

Nos aeroportos importantes, como Frankfurt, Hong Kong e Génova, a autoridade aeroportuária é responsável pela maioria das atividades em pista, bem como para o controle de passageiros/bagagem [7]. Nesse caso, a autoridade aeroportuária é diretamente responsável do setor de *ground handling*.

Em outros aeroportos que apresentam grandes centros para as companhias aéreas, as principais atividades de *ground handling* são realizadas diretamente ou monitoradas por essas companhias aéreas. Assim, algumas dessas companhias aéreas podem cuidar de *ground handling* de outras companhias aéreas através de algum acordo entre elas [7]. Por exemplo, USAir realiza todo o seu *ground handling* no Aeroporto Internacional de Los Angeles e oferece serviços de *ground handling* a British Airways.

Em alguns outros aeroportos, empresas de *ground handling* têm substituído as companhias aéreas para fornecer um serviço que era economicamente inviável para as companhias aéreas [7]. Por exemplo, no Aeroporto Internacional de Manchester, Gatwick Handling realiza todas as funções de controle de terminal e rampa para um número de companhias aéreas.

A situação atual na Europa tem sido influenciada pela Diretiva 96/67/EC, cujo objetivo era promover a eficiência de *ground handling*, a qualidade e redução de preços reforçando a concorrência entre fornecedores de serviços de *ground handling*. Essa diretiva foi implementada progressivamente nos estados da comissão europeia e nos novos estados próximos. Os principais resultados dessa política têm sido, apesar de *ground handling* do aeroporto ainda manter a maioria das quotas de mercado, para diminuí-los [7]. Assim, alguns aeroportos decidiram vender as suas atividades de *ground handling* para as companhias aéreas e/ou aos fornecedores de *ground handling* especializados.

2.5.2 Importância da gestão de *ground handling*

Nesse parágrafo, os principais motivos para a pesquisa de uma organização eficiente e viável de *ground handling* nos aeroportos são revistos.

Custos de *ground handling*

Os custos de *ground handling* são suportados em última instância pelos passageiros e fretes através de tarifas de transporte. No entanto as companhias aéreas têm de pagar por serviços de *ground handling* que podem ser vistos por eles como custos fixos ligados a um voo [20].

Para as companhias aéreas, os custos de turnaround nos aeroportos incluem todos os custos diretamente relacionados com os serviços que as companhias aéreas devem pagar ou cobrir em um aeroporto para abordagem, taxiamento, *ground handling* na chegada,

estacionamento, *ground handling* na partida, taxiamento e decolar. Em seguida, os custos de turnaround de companhias aéreas incluem taxas de controle de tráfego aéreo, taxas de aterragem, taxas de estacionamento, taxas de *ground handling*, taxas sobre o ruído e emissões, e as taxas de passageiros. Elas variam de acordo com o tipo de aeronave e a organização aeroportuária do aeroporto [20].

A figura a seguir (Figura 2.1) mostra as taxas de turnaround suportados em diferentes aeroportos europeus (Londres (Aeroporto de Heathrow) - LHR, Frankfurt-FRA, Vienne-VIE, Munique (Fraizjosef Strauss) - MUC, Madrid Barajas-MAD, Milão Malpensa-MXP, Zurique-ZRH, Charles de Gaulle (Aeroporto de Paris) - CDG) por uma aeronave Airbus A320.

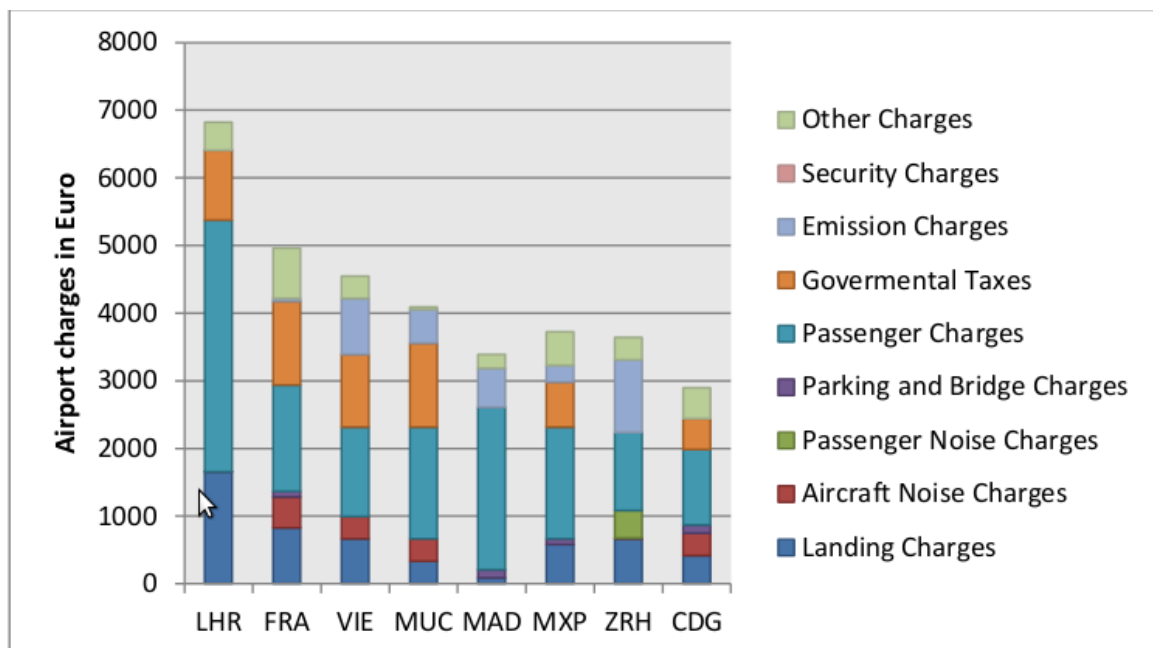


Figura 2.21: Taxas de turnaround para um Airbus A320 em diferentes aeroportos [20].

Parece que a estrutura e os valores das taxas de aeroporto apresentam uma grande variabilidade na Europa. Além disso, uma vez que a organização do *ground handling* é diferente nesses aeroportos, uma parte variável dessas taxas é destinada a cobrir os custos de *ground handling*. As taxas diretamente ou indiretamente ligadas aos custos de *ground handling* são: taxas de estacionamento e pontes, taxas de passageiros e taxas de segurança embora taxas de passageiros são principalmente envolvidas com o processamento de passageiros nos terminais. Então, pode-se considerar que, em média, não mais do que 15% das taxas de turnaround estão destinadas a cobrir os custos de *ground handling*. Esta parcela de taxas de turnaround é pequena, mas não pode ser negligenciada sob o ponto de vista das companhias aéreas [20].

Custos de atrasos em solo para companhias aéreas

O atraso pode ser definido como o período de tempo para adicionar à hora programada em que uma operação deve ser preenchida para obter o tempo real de conclusão da opera-

ção. Os valores de atraso exatos se tornam disponíveis somente após a operação ter sido executada, mas eles podem ser estimados com antecedência a partir de diferentes modelos probabilísticos quando as estatísticas estão disponíveis. Os atrasos na partida e o atraso na chegada de vôos são de maior interesse aqui uma vez que o *ground handling* pode ser uma causa direta para esses atrasos, enquanto ela pode ser esperada para contribuir para a compensação desses atrasos de vôos [20].

- (a) **Ground handling e atrasos de partida para as companhias aéreas:** O atraso na partida pode ser o resultado de muitos fatores, entre eles, o mal funcionamento do *ground handling*. O tempo de conclusão de *ground handling* atrasado pode resultar em atrasos adicionais quando uma janela de tempo para decolar, relacionada ou não com uma janela de tempo para o pouso na chegada, está perdida. Os atrasos de partida podem ser visto como um índice de qualidade para muitos passageiros quando se considera o serviço prestado pela companhia aérea e o aeroporto. Em voos de longa distância, os atrasos de partida podem ser em muitas situações compensados usando ventos favoráveis ou a um custo adicional de combustível. Em algumas outras situações, a esse atraso inicial, são somados atrasos decorrentes de condições adversas de vento [20].

Os atrasos de chegada resultam em um reescalonamento das atividades aeroportuárias ao redor da aeronave considerada. Essa é uma perturbação em qualquer calendário previsto para o *ground handling*, que resulta tanto na reprogramação de algumas atribuições do pessoal e equipamentos ou na ativação de recursos reservas de assistência em escala [20].

Há seis principais causas de atrasos de partida: rotação (chegadas tardias), ATFM/ATC mantendo a aeronave no estande de estacionamento até que uma liberação de tráfego esteja disponível, decisões específicas de autoridades aeroportuárias (por exemplo, a verificação de pessoa/bagagem adicional, por algum motivo de segurança), operações de *ground handling*, problemas técnicos com sistemas de aeronaves que necessitam de operações de manutenção/reparação extra e condições climáticas adversas [20].

A tabela abaixo é o resultado de um estudo estatístico dos atrasos de partida encontrados por um sistema de companhia aérea doméstica européia (Lufthansa City Line) em 2008.

Um estudo realizado no Aeroporto Gatwick de Londres em 1996 (Conferência Europeia da Aviação Civil, 1996) mostrou que o atraso devido ao *ground handling* foi a segunda maior causa de atrasos de vôo após o ATC: atrasos relacionados com o ATC foram diretamente responsáveis por 30% dos atrasos totais de partida, enquanto os serviços em solo para aeronaves/companhia aérea responderam por 25% destes atrasos (Tabela 3.1) [11].

Estudos globais foram realizados mais recentemente na Europa e nos EUA. As figuras abaixo mostram os resultados para o ano de 2004, onde a proporção de causas de atraso de partida são um pouco diferentes, mas demonstram a importância de atrasos

Razão	Exemplos	Porcentagem
Rotação	Ciclo de vôos atrasados	30%
ATFM/ATC	Restrições de acordo com setores ATC saturados, restrições de fluxo de tráfego	25%
Autoridades aeroportuárias	Problemas devidos à capacidade limitada de pista, disponibilidade limitada de posições de estacionamento, segurança, etc	15%
<i>Ground handling</i>	Processos tardios em solo (passageiros atrasados, etc)	10%
Problemas técnicos	Mal funcionamento de sistemas de aeronaves	3%
Condições climáticas	As condições climáticas adversas (chuva forte, neve, vento forte, etc)	2%
Outras	Danos na aeronave, greve, problemas de comunicação, etc	15%

Tabela 2.2: Causas de atrasos de partida [11]

em solo. Os atrasos de operações em solo aqui incluem atrasos de controle da linha aérea, operação de manutenção e operações de *ground handling*. As diferenças nas proporções de contribuição para atrasos de partida podem ser explicadas pela pouca diferente estrutura do espaço aéreo e a eficiência de ATFM/ATC, estrutura de rede das companhias aéreas e a organização das operações em solo [20].

De acordo com Ronchetto [20], a maioria dos atrasos de partida nos aeroportos dos Estados Unidos são causadas pelo ATC em primeiro lugar com 37,1% do total de atrasos de partida, as operações em solo em segundo lugar com 30,7%, o qual incluem as atividades de *ground handling*, a conexão entre vôos vem em terceiro lugar com 28,3% e o clima e as autoridades aeroportuárias vem em ultimo lugar com 3,6% e 0,2%. Mas não é o caso dos aeroportos europeus em que, de acordo com o mesmo estudo, a operação em solo vem no primeiro lugar com 58%, o qual incluem as operações de *ground handling*, o ATC em segundo lugar com 25%, as autoridades do aeroporto vem em terceiro lugar com 11%, e nos últimos lugares vêm a conexão entre vôos e o clima com 4% e 2%.

- (b) **Custo direto de atrasos em solo para companhias aéreas:** A avaliação dos custos adicionais para as companhias aéreas decorrentes de atrasos em solo é uma questão difícil e diferentes figuras foram produzidas. Quando uma aeronave está atrasada em um portão, com motores ligados ou desligados, as companhias aéreas suportam os custos operacionais adicionais e renunciam nas receitas. Os custos relacionados a atraso em solo global de companhias aéreas dependem da composição de sua frota

de aeronaves. Um estudo realizado pela ATA para operadoras americanas em 2004, produziu a seguinte distribuição média para as causas de atraso de partida e custo por minuto adicional: combustível (30%, 17,05 \$/min), a tripulação (29%, 16,77 \$/min), manutenção (18 %, 10,16 \$/min, o proprietário (17%, 9,74 \$/min) e outros (6%, 3.36 \$/min). Isto significa, por exemplo, que 18% dos atrasos de partida foi o resultado final das operações de manutenção com um custo de 10.16 \$ por minuto adicional [20].

Por exemplo *Janic et al.* [13] estimou que para as companhias aéreas europeias, o custo de um atraso em solo de uma hora é igual a 1.330 \$ para um avião médio, 2007 \$ para uma aeronave grande e 3022 \$ para uma aeronave pesada. Para o mercado de transporte aéreo dos Estados Unidos, *Richetta et al.* [19] estimou que o custo de um atraso em solo de uma hora é igual a 430 \$ para uma aeronave pequena, 1300 \$ para uma aeronave média e 2225 \$ para uma aeronave grande. A variação significativa entre esses números pode estar relacionada com a diferença de estrutura entre as redes domésticas européias e estadunidenses naquela época.

(c) **Custos de atraso relacionados a passageiros:** Atrasos suportados pelos passageiros representam também um custo para a companhia aérea de duas maneiras:

- Perda de imagem, oferecendo um serviço de transporte perturbado aos passageiros.

Em geral, o transporte é apenas um meio para os passageiros realizarem alguma classe de atividade (de profissional para atividades recreativas) e atrasos de transporte podem ter consequências importantes sobre essas atividades [10].

- Pagamento de multas de acordo com os regulamentos para os passageiros que produzem uma reivindicação.

O atraso é considerado importante, de acordo com a Portaria n261/2004 sobre os direitos de passageiros do Parlamento Europeu [9] e Conselho e assistência devem ser propostos aos passageiros, se o atraso de voo é de:

- duas horas ou mais para voos com menos de 1.500 km,
- três horas ou mais para todos (intra-comunidade) voos domésticos de mais de 1.500 km e para os outros voos com distância entre 1.500 km e 3500 km,
- quatro horas ou mais para outros voos.

Então, quando um voo foi adiado por um importante período de tempo, as companhias aéreas têm de prestar assistência de formas diferentes para os passageiros [11]:

- Possibilidade de recuperação, dependendo do tempo de espera.
- Quando a nova hora de partida prevista é adiada para o dia seguinte, um alojamento em hotel, a possibilidade de fazer duas chamadas de telefone/fax e a eventual transferência para um aeroporto alternativo tem que ser proposto aos passageiros pela companhia aérea.
- Seja qual for o itinerário, se o atraso for superior a cinco horas, o passageiro tem o direito de solicitar o reembolso sem penalização do preço do bilhete para a parte do voo que não fez ou para voo de volta para seu ponto inicial de partida o mais rápido possível .

2.5.3 Escalas de tempo para gestão de *ground handling*

Dependendo da organização das atividades aeroportuárias, a gestão de *ground handling* pode ser integrada para a gestão global do aeroporto ou pode ser realizada pelos gestores de *ground handling* específicos. Então, uma vez que o papel dos diferentes parceiros de *ground handling* foi definido, diferentes escalas de tempo podem ser consideradas para configurar o gerenciamento de *ground handling* [21]. A figura 2.22 apresenta uma linha do tempo clássica para a gestão de um sistema genérico.

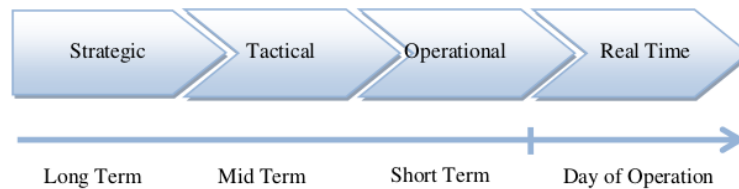


Figura 2.22: cronograma de Gestão [7].

(a) Planejamento estratégico para *ground handling*

Nas definições do parágrafo seguinte para o conteúdo de cada um desses horizontes de gestão um caso de *ground handling* é proposto.

A escala de tempo de planejamento estratégico corresponde em geral a tomada de decisão de longo prazo relativa à definição da filosofia geral adotada para o sistema planejado. No caso de *ground handling* do aeroporto, ela é realizada pelas autoridades do aeroporto e abrange decisões, como a escolha de suas principais características físicas e gerenciais. Por exemplo, a decisão de subdividir *ground handling* por terminais de passageiros algumas áreas remotas é uma decisão de planejamento estratégico. A distribuição das funções de gestão de *ground handling* entre aeroportos, companhias aéreas e prestadores de *ground handling* é outra. A estrutura de coleta de despesas de *ground handling* também será estabelecida a este nível (imputação direta pelos prestadores de serviços de *ground handling* com as companhias aéreas, cobrança indireta através de taxas aeroportuárias, etc) [21].

O planejamento estratégico é baseado em previsões de longo prazo de tráfego semelhantes às utilizadas para o planejamento do projeto do aeroporto ou atualização. O planejamento estratégico proporciona um ambiente de trabalho de *ground handling*, que deve permanecer mais ou menos semelhante, durante alguns períodos de operação (várias temporadas ou anos) para fornecer uma perspectiva estável para os seus parceiros industriais [7].

(b) Planejamento tático para *ground handling*

O planejamento tático de *ground handling* está preocupado com o planejamento dos principais recursos necessários para enfrentar a demanda durante o próximo período

de operações para o serviço de *ground handling*. Isto é feito pelos gestores responsáveis pelo *ground handling* dentro do ambiente criado pelas decisões de planejamento estratégico. Neste nível, as despesas de *ground handling* serão estabelecido em coordenação com as autoridades aeroportuárias e companhias aéreas. O planejamento tático é realizado antes do início do período alvo de operação (de três a seis meses), e com antecedência suficiente para permitir a efetiva disponibilidade dos recursos de *ground handling* planejados no início deste período de operação [21].

As decisões do planejamento tático são baseadas em previsão de demanda no médio prazo, análise de cenários e informações de desenvolvimento tecnológico (novo equipamento de *ground handling*, veículos e técnicas) [7].

As decisões de planejamento tático podem modificar significativamente o tamanho e a composição da força de trabalho do *ground handling* através da contratação direta ou sub-contratação de pessoal. Ele pode incluir a formação de pessoal com a operação de novos veículos e procedimentos [7].

(c) **planejamento operacional para *ground handling***

O planejamento operacional gera planos de execução detalhados para os próximos dias de operação (uma semana, etc). Dentro desse horizonte de tempo, o nível e a composição da demanda e os recursos disponíveis podem ser considerados conhecidos com confiabilidade suficiente para começar a atribuir cada recurso de *ground handling* disponível para diferentes demandas unitárias de *ground handling* (um voo de chegada, um voo de partida ou ambos) ao longo do período. O problema é, então, atribuir o trabalho de cada recurso individual de forma tão eficiente quanto possível sob as condições especificadas pelas etapas de planejamento anteriores. Isso geralmente significa que, realizando tantas tarefas quanto possível com o pessoal disponível, todas as restrições operacionais sejam satisfeitas. Enfim um planejamento para as operações de *ground handling*, alteráveis quando necessário, está configurado para os dias seguintes [21].

(d) **Gerenciamento em tempo real para *ground handling***

Finalmente, o gerenciamento em tempo real das operações de *ground handling* está preocupado com a adaptação do atual plano existente para o dia da operação para lidar com perturbações que devem ocorrer durante o dia. O gerenciamento em tempo real (ou dinâmico) reage on-line a eventos imprevistos através da reafetação de recursos disponíveis para cobrir a demanda perturbada por serviços de *ground handling*. Dependendo da importância e extensão das perturbações, esta reação pode ser uma adaptação limitada de um plano operacional nominal, denominada como regulação, ou uma redefinição completa do mesmo, denominado como gestão de ruptura [21].

Capítulo 3

Ground Handling e Tomada Colaborativa de Decisão (CDM)

Neste capítulo, o problema da organização de gestão de *ground handling* dentro de um ambiente de Tomada Colaborativa de Decisão de Aeroporto(A-CDM) é explorado. Em primeiro lugar, os princípios fundamentais de A-CDM são chamados e o nível de interação de informação de *ground handling* com toda a gestão aeroportuária através de A-CDM é discutido. Como as atividades de *ground handling* geram grandes fluxos de informação diferenciada e de acordo com a abordagem Marcos de Controle (*milestones*) do A-CDM, uma estrutura de dois níveis para a gestão de *ground handling*, onde o nível superior interage diretamente com os outros parceiros A-CDM, é investigada. Em seguida, as funções a serem desenvolvidas por um coordenador de *ground handling* (GHC) no primeiro nível e os gestores especializadas de *ground handling* (GHMs) no segundo nível são discutidos.

3.1 CDM e A-CDM

A Tomada Colaborativa de Decisão (CDM) é um esforço para dinamizar o gerenciamento de tráfego aéreo do compartilhamento de informação, adequação de procedimentos, desenvolvimento de ferramentas de suporte e equalização da percepção do cenário entre todas as entidades envolvidas [14].

A observância do CDM permite que a tomada de decisão seja feita de maneira colaborativa, uma vez que cada agente tenha pleno conhecimento de si mesmo e das demais entidades, sabendo quais são as capacidades, limitações, preferências e restrições das mesmas [15]. Para tanto, é imprescindível que toda a informação pertinente seja compartilhada entre os agentes, e que esta seja completa, precisa e atualizada. A tomada colaborativa de decisão pode ser também aplicada especificamente ao escopo aeroportuário, onde recebe a denominação de A-CDM (Airport Collaborative Decision Making).

A Tomada Colaborativa de Decisão (CDM) nos aeroportos melhora a forma como operadores de aeronaves, agentes de *ground handling*, operações aeroportuárias, ATC e Unidade de Gestão de Fluxo Central (CFMU) trabalham em conjunto a um nível operacional. É claro que a colaboração entre os diferentes parceiros da rede de transporte aéreo, em certa medida sempre existiu. No entanto, até agora, a colaboração tem sido

mais de um processo centrado no ser humano, especialmente em casos de interrupção. O Aeroporto-CDM (A-CDM) é uma cultura que enfatiza a importância da colaboração global no planejamento e gestão do tráfego aéreo [10].

Aqui, a metodologia é utilizada para aprimorar o gerenciamento de capacidade e de fluxo de tráfego a nível de aeroporto, com o objetivo de reduzir atrasos e aumentar a previsibilidade de eventos, o que consequentemente culmina na otimização da utilização dos recursos [10].

O objetivo do conceito de A-CDM, iniciado pela Comissão Europeia em 2008, é aumentar a eficiência global do sistema de transportes aéreos europeu. O Sucesso do A-CDM somente é obtido quando a informação relevante é tempestivamente compartilhada entre todos os parceiros. Estes dados devem possuir suficiente qualidade, para serem efetivamente considerados para a tomada de decisão dos agentes [21].

Os parceiros dos aeroportos envolvidos na A-CDM são então: Controle de Tráfego Aéreo (ATC), Operadores de aeronaves (principalmente companhias aéreas), gestão de *ground handling*, gerenciamento de rede de tráfego aéreo e gestores das operações aeroportuárias.

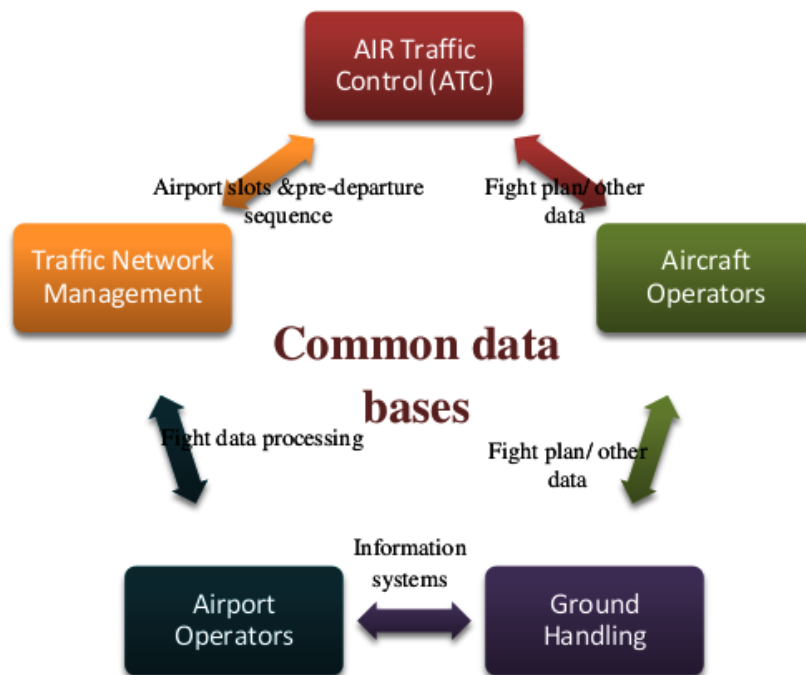


Figura 3.1: Parceiros dos aeroportos envolvidos na A-CDM

O conceito de A-CDM é baseado principalmente nos seguintes princípios gerais:

- Compartilhar, no momento certo, dados relevantes entre os diferentes parceiros.
- A qualidade dos dados trocados devem contribuir para a previsibilidade de eventos e a capacidade de planejamento dos tomadores de decisão.
- Decisões de interface são atribuídos a um dos parceiros envolvidos.
- Todos os parceiros são informados on-line das decisões adotadas.

A aplicação destes princípios deve melhorar a eficácia das decisões de cada tomador de decisão, onde os objetivos e restrições de outros tomadores de decisão são considerados junto com as suas situações reais e previstas [21].

Estes princípios são a base das funções principais do A-CDM, que poderiam ser resumidas nestas quatro pontos:

- Abordagem Milestone
- Avaliação de execução do processo de Aeronave
- A análise de tendência da seqüência de pré-partida
- Estado do processo de Aeronaves

A tomada de decisão por parte dos agentes somente é considerada eficiente se os mesmos possuem plena consciência da situação corrente do cenário. No que tange o cenário aeroportuário, o A-CDM é dividido em seis elementos. São eles:

- Compartilhamento de informação: atuação conjunta entre os monitores da utilização dos recursos de solo, torre de controle, órgãos ATC e companhias aéreas;
- Utilização de marcos de controle (milestones): observação de eventos significativos na operação da aeronave, como momento do taxi-in, início do embarque, fechamento das portas etc;
- Tempo variável de taxiamento: gerenciamento da aeronave desde o momento da aterrissagem até a completa parada, ou do trajeto desde a posição de embarque até a cabeceira da pista;
- Sequenciamento prévio de decolagens: elaboração de uma fila primária de decolagens na ordem FIFO (first in, first out), tendo como base os planos de voo dos indivíduos interessados;
- Identificação de condições adversas: condições meteorológicas impactantes (neblina, neve, chuva);
- Gerenciamento colaborativo de informações atualizadas dos voos ativos: conhecer e saber utilizar os dados disponíveis.

O uso do A-CDM dá umas certas vantagens para os parceiros envolvidos que são:

- Para os operadores de aeronaves, o A-CDM pode levar a uma melhoria na eficiência do uso de estandes/gatess e aumento de capacidade;
- Para os gestores de Ground handling, o A-CDM pode ajudá-los a determinar onde alocar recursos para reduzir os atrasos;
- Para prestadores de serviços de tráfego aéreo, o A-CDM pode melhorar o controle de fluxo e aumentar a capacidade do espaço aéreo;
- Para Controladores de Tráfego Aéreo. o A-CDM pode ajudar no desenvolvimento de pista melhorada e de planejamento de capacidade.

O A-CDM é suportado por um sistema de compartilhamento de informações, composto de redes de computadores, bancos de dados e interfaces de usuário. A estrutura e o escopo deste sistema de compartilhamento de informações depende da organização do aeroporto e seus stakeholders [10].

3.1.1 Princípios operacionais do A-CDM

A operação de A-CDM é baseada em dois princípios operacionais:

- **A gestão colaborativa de atualizações de voo:** a informação sobre a chegada do voo é fornecida pelo gerenciamento de rede de tráfego aéreo para o A-CDM que fornece simultaneamente informação sobre partida de voo para gerenciamento de rede de tráfego aéreo. A coordenação entre o fluxo de tráfego aéreo (ATF) e gerenciamento da capacidade e das operações aeroportuárias de A-CDM devem melhorar a eficiência do processo de gestão de slots ATFM para voos de partida [21].
- **A adoção de uma abordagem de marcos de controle (*milestone*):** observação de eventos significativos na operação da aeronave, como momento do *taxi-in*, início do embarque, fechamento das portas etc [15].

A adoção dessa abordagem deve aumentar a previsibilidade do tempo destes eventos para cada voo.

A adoção desses princípios operacionais deve permitir ao aeroporto lidar com a maior eficiência possível ou em situações normais (boas condições climáticas, sem limite de capacidade) ou em condições adversas [15].

3.1.2 Os níveis do A-CDM

Todo o espectro operacional do CDM no contexto aeroportuário é dividido em quatro níveis de aplicação, desde a implementação mais básica, focada no compartilhamento básico de informações, até a implementação mais sofisticada, onde a consciência do cenário (*situation awareness*) é estendida a parceiros de outros aeródromos. Cada nível de aplicação agrega ao cenário um benefício incremental. Naturalmente, o último nível somente é possível com a completa maturidade do processo como um todo [9].

Os quatro níveis da aplicação do A-CDM são definidos da seguinte forma:

Nível básico

O nível primordial do CDM tem como objetivo o estabelecimento de uma consciência global do cenário aeroportuário. Isto aumenta a previsibilidade da malha aérea, o que torna mais eficiente o planejamento sistêmico nos níveis pré-tático e tático. As principais tarefas executadas pelos parceiros envolvidos são justamente o compartilhamento de informações e a monitoramento dos marcos de controle [18].

Segundo nível

O segundo nível tem seu foco no aumento da pontualidade das operações por meio da incorporação de certa flexibilidade ao cenário. Esta flexibilidade é possível através da atualização constante dos dados, detectados na monitoração do tráfego aéreo e da utilização dos recursos do aeródromo. O envolvimento dos órgãos de controle de fluxo é essencial nesta etapa, sendo que a troca de mensagens entre o aeródromo e os órgãos de controle de fluxo é feita de maneira bidirecional: enquanto a torre tem a responsabilidade de enviar ao órgão ATC as informações de intenção de partidas, este órgão é responsável por prover os horários estimados de aterrissagem das aeronaves em rota [18].

Terceiro nível

O terceiro nível do CDM prossegue com o objetivo de aumentar a flexibilidade operacional do aeródromo através da otimização da utilização dos recursos. Neste momento, é importante que seja estabelecido um mecanismo de recuperação de situações adversas. A eventual diminuição da capacidade aeroportuária deve ser gerenciada de maneira colaborativa, uma vez que a fila colaborativa de decolagens torna flexível a distribuição de slots com base nas preferências dos parceiros.

A aplicação de CDM em condições adversas conta com o gerenciamento colaborativo de capacidade quando a mesma estiver reduzida. A principal tarefa desempenhada nesta etapa é a avaliação preditiva das inconformidades, com o subsequente acionamento dos programas de recuperação. Esta aplicação define estratégias sistemáticas de recuperação, a fim de que as condições normais de operação sejam restabelecidas mais rapidamente. Aqui se observa a nítida vantagem da aplicação do A-CDM com relação aos procedimentos ad hoc, colocados em prática somente após a ocorrência dos eventos impactantes [18].

Nível avançado

O quarto nível das aplicações CDM é uma evolução dos procedimentos CDM adotados nos passos anteriores. Tecnologias de transmissão de dados e monitoração via radar ou satélite, como por exemplo GPS, devem ser largamente utilizadas nos mecanismos de comunicação e acompanhamento. De fato, estas tecnologias são cruciais para o A-CDM avançado, uma vez que todos os parceiros interessados devem possuir total conhecimento do cenário a nível global e receber atualizações em tempo real. Órgãos de controle, operadores de linhas aéreas e outros aeroportos passam a compor este grupo de parceiros. Aqui, o processo está no auge do amadurecimento e toda a tecnologia já está implantada [18].

A divisão do CDM dentro destes quatro níveis de aplicação é feita de modo a facilitar a implantação gradual desta metodologia, permitindo que os usuários constantemente avaliem o seu nível de maturidade no processo de tomada colaborativa de decisão [18].

3.2 A-CDM e Ground Handling

Como resultado da melhoria da previsibilidade dos tempos de chegada da aeronave em estandes de estacionamento, o gerenciamento de *ground handling* pode esperar alcançar:

- Um pontualidade melhorada de operações de *ground handling*.
- O acordo com os níveis de serviços de *ground handling* necessário.
- A minimização dos custos de operações de *ground handling*.

A previsibilidade melhorada deve permitir que os gestores de *ground handling* antecipem os recursos necessários por uma aeronave chegando e mobilizem no momento certo os recursos certos de *ground handling* [10]. Aqui, a informação de *block-in* será fornecida no médio prazo pela gestão da rede de tráfego aéreo e no curto prazo pela torre ATC, enquanto o operador da aeronave irá informar sobre os serviços de *ground handling* específicos exigidos pelas aeronaves que chegam e partem [21].

No entanto, o processo de *ground handling* apresenta algumas características específicas importantes dentro da operação aeroportuária:

- É um processo que envolve diferentes recursos (equipamentos e mão de obra) geridos em geral separadamente.
- O processo de *ground handling* pode variar na composição de acordo com as características da sua operação.
- A duração das diferentes tarefas de *ground handling* pode variar até mesmo para o mesmo tipo de aeronave de acordo com a sua ocupação.

Em seguida, o processo de *ground handling* é o gerador potencial de um enorme fluxo de informações das quais apenas uma pequena parte é relevante para o objetivo geral de melhorar a fluidez e segurança do tráfego dentro do sistema de transporte aéreo [15]. Não parece conveniente de comunicar toda essa informação a todos os parceiros do aeroporto.

3.2.1 Coordenador de *ground handling* do Aeroporto (GHC)

Ao considerar o gerenciamento de *ground handling* em diferentes aeroportos, parece que esta organização depende fortemente do tamanho e da organização física do aeroporto, bem como do volume e composição de tráfego [21]. Então, como mostrado no capítulo 2, uma grande diversidade de organizações de *ground handling* atual é encontrada em aeroportos de tamanho grande e médio. Então não parece desejável propor um paradigma geral para organizar o *ground handling* do aeroporto uma vez a eficiência resultante pode ser bastante desigual de um aeroporto para o outro.

Aqui, são adotadas algumas hipóteses com relação às características de *ground handling* do aeroporto, que são freqüentemente encontradas em meio a grandes aeroportos. São as seguintes:

- Aqui é considerado o caso de aeroportos em que o *ground handling* é realizado por um conjunto de operadores especializados que trabalham em paralelo sob a gestão das autoridades aeroportuárias [21].

- Assume-se que o processo de *ground handling* segue sequenciamentos pré-estabelecidos e é executado nos estandes de estacionamento [21].
- Supõe-se que os estandes de estacionamento são atribuídos aos voos que chegam pelo aeroporto e comunicados através de ATC, enquanto o status do estande de estacionamento é monitorado por ATC, que é responsável pela condução da aeronave para fora da posição de estacionamento [21].
- Também Supõe-se que a posição de estacionamento de chegada é a sua posição de estacionamento de partida para o próximo voo. Esta última hipótese apresenta restrições sobre as atividades de *ground handling* [21].

A partir das considerações desenvolvidas no parágrafo anterior, parece interessante considerar que operadores de *ground handling* do aeroporto não interagem diretamente dentro do A-CDM, mas através de um coordenador de *ground handling* [21]. Esse coordenador irá estabelecer interfaces com os outros parceiros do aeroporto com os operadores de *ground handling* (ver figura 3.2).

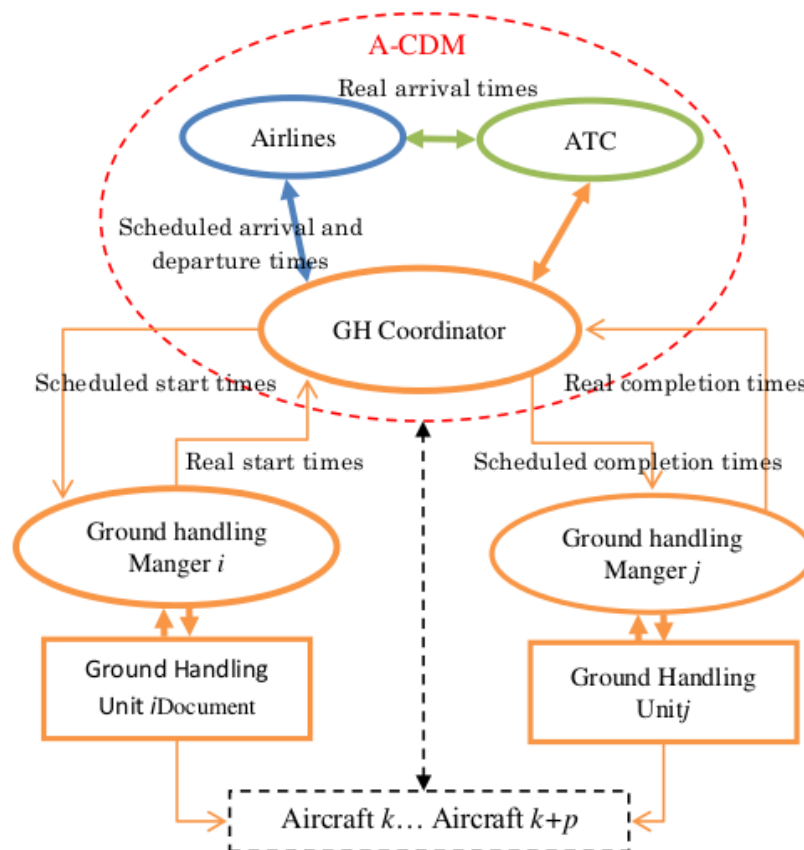


Figura 3.2: Ligação da A-CDM com *ground handling*

Nesta situação, o GHC deve trocar dados diretamente com os seguintes parceiros de A-CDM:

- ATC/ATM: para obter tempos previstos de chegada da aeronave na posição de estacionamento. Supõe-se que a escolha da posição de estacionamento foi resolvida

e informada através de uma troca direta entre ATC/ATM e a companhia aérea correspondente [10].

- **Companhias Aéreas:** para obter informações sobre as necessidades de *ground handling* de aeronaves que chegam ou partem. O GHC será capaz de fornecer à companhia aérea uma previsão do tempo de conclusão das atividades de *ground handling* da chegada ou partida de aviões. Em seguida, a companhia aérea será capaz de se comunicar com o ATC/ATM e negociar o tempo de partida, se necessário [10].

Capítulo 4

Estado de Arte em gerenciamento de *Ground Handling*

Atualmente, alguns autores têm considerado o problema de atribuição e programação global de *ground handling* em aeroporto. A abordagem global tem sido abordada de duas maneiras principais: uma abordagem totalmente centralizada e outra totalmente descentralizada.

O trabalho de *Dohn e al.* [8] tem se concentrado sobre a gestão da mão de obra do *ground handling* considerando que o *ground handling* é gerido por uma entidade central responsável para construir dinamicamente as equipes com as diferentes habilidades envolvidas, que estará a cargo de cada aeronave chegando ou partindo.

O conceito de solução descentralizada do problema de atribuição global de *ground handling* tem sido abordada de duas maneiras:

- considerando que o problema de programação global de *ground handling* é uma instância de um problema de programação multi-projeto,
- considerando que se trata de um problema de tomada de decisão distribuída.

4.1 Abordagem centralizada para o Problema de atribuição de *Ground Handling*

4.1.1 Descrição do problema

Aqui considera-se que cada demanda de *ground handling* (chegada, partida ou ambos) é processada por unidades compostas de equipamentos/veículos e mão de obra especializada. A prestação de serviços a chegada ou partida de aeronave obedece a restrições de tempo que podem ser expressas como restrições de janela de tempo. Então, seguindo uma equipe de *ground handling* particular, ela é atribuída sucessivamente a diferentes serviços em diferentes locais e realiza um passeio que abrange parte dos estandes de estacionamento com aeronave imobilizada. Em seguida, pode-se considerar que cada unidade de *ground handling* realiza um sub-passeio enquanto espera-se que toda a aeronave imobilizada será visitada pelas equipes requisitadas dos operadores de *ground handling*.

4.1.2 Formulação matemática

Dohn and al. [8] propôs uma formulação do problema de escalonamento de pessoal nos aeroportos, onde o objetivo é minimizar o número total de tarefas não atribuídas e minimizar o custo de operação de cada equipe. Assim, eles introduziram o problema de alocação de Mão de obra com janelas de tempo cuja formulação é a seguinte:

Seja $C = \{1, \dots, n\}$ um conjunto de n tarefas e considera um conjunto V de equipes heterogêneas de trabalhadores. Para cada tarefa, é associada uma duração, uma janela de tempo, um conjunto de habilidades e um local. Supõe-se que cada tarefa $i \in C$ tem de ser realizada em uma janela de tempo $[a_i, b_i]$ onde a_i e b_i corresponde aos primeiros e aos últimos tempos de partida para uma tarefa i . Cada tarefa i é dividida em r_i tarefas de divisão. O tempo t_{ij} é o tempo de transporte entre cada par de tarefas (i, j) e do tempo de serviço a tarefa i . Se a equipe k tem as qualificações necessárias para executar a tarefa i , então $g_{ik} = 1$ caso contrário $g_{ik} = 0$. Cada equipe $k \in V$ opera dentro de uma janela de tempo de trabalho $[e_k, f_k]$ a partir de um centro de serviço único no local 0, comum a todas as equipes.

O objetivo selecionado aqui é minimizar o número total de tarefas não atribuídas ao atribuir, a cada equipe, seqüências viáveis de atividades ao longo de caminhos. Tais caminhos viáveis são turnos começando e terminando no local 0 e obedecendo a janelas de tempo e restrições de requisitos de habilidade. Eles são definidos pela seqüência de tarefas que visitam. Seja $x_{ijk} = 1$ se a tarefa j é realizada logo após a tarefa i pela equipe k e $x_{ijk} = 0$ caso contrário. s_i é uma variável inteira, e define a hora de início da limpeza na aeronave i .

$$\text{Max} \quad \sum_{k \in V} \sum_{i \in C} \sum_{j \in N} x_{ijk} \quad (4.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq r_i, \quad \forall i \in C \quad (4.2)$$

$$x_{ijk} \leq g_{ik}, \quad \forall i \in C, \forall j \in N, \forall k \in V \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1, \quad \forall k \in V \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \quad \forall h \in N, \forall k \in V \quad (4.5)$$

$$e_k + t_{0j} - M(1 - x_{0jk}) \leq s_j, \quad \forall j \in C, \forall k \in V \quad (4.6)$$

$$s_i + t_{i0} - M(1 - x_{i0k}) \leq f_k, \quad \forall i \in C, \forall k \in V \quad (4.7)$$

$$s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ijk}) \leq s_j, \quad \forall i \in C, \forall j \in C, \forall k \in V \quad (4.8)$$

$$a_i \leq s_i \leq b_i, \quad \forall i \in C \quad (4.9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in V \quad (4.10)$$

$$s_i \in Z^+ \cup \{0\}, \quad \forall i \in C \quad (4.11)$$

O objetivo (4.1) é o de maximizar o número de tarefas atribuídas. Uma tarefa é contada várias vezes, se for processada por mais do que uma equipe ($r_i \geq 2$). As restrições (4.2) garantem que a cada tarefa é atribuída, no máximo, o número certo de equipes ou possivelmente menos, se algumas das suas tarefas de divisão ficam sem atribuição. Somente equipes com a habilidade necessária podem ser atribuídas a uma tarefa específica (4.3). Além disso, a restrição (4.4) é usada para garantir que todos os turnos comecem no centro de serviço. As restrições (4.5) garantem que nenhum turno seja segmentado. Qualquer tarefa visitada por uma equipe deve ser deixada novamente. As próximas quatro restrições lidam com as janelas de tempo. Primeiro, uma equipe só pode ser atribuída a uma tarefa durante suas horas de trabalho (4.6) - (4.7). Em seguida, o tempo necessário para se deslocar entre tarefas está disponível (4.8). Se um cliente não é visitado, o escalonador M , que foi escolhido arbitrariamente grande, faz com que as restrições correspondentes não sejam vinculadas. As restrições (4.9) fazem cumprir as janelas de tempo de tarefas. Finalmente, as restrições de (4.10) - (4.11) são as restrições de integralidade. A introdução de uma hora de início de serviço elimina a necessidade de restrições de eliminação de sub-passeio, uma vez que cada cliente só pode ser atendido uma vez durante o horizonte de programação porque t_{ij} é positivo. O problema formulado é NP-difícil.

4.1.3 Abordagem de solução

Dohn et al. [8] consideraram que este problema está perto do problema de roteamento de veículos com janelas de tempo. Então eles adotaram uma técnica de geração de colunas (*Column Generation technique*) associado a uma técnica *Branch and Bound*, resultando em uma abordagem *Branch and Pricing* [12].

Aqui a abordagem da solução baseia-se na consideração de caminhos viáveis, em que um caminho viável é um turno que começa e termina na base de mão de obra. Um problema mestre inteiro foi introduzido para atribuir a cada equipe um caminho viável de modo que o número total de tarefas atribuídas seja maximizado, mas a sincronização entre as tarefas não pode ser diretamente abordada. O objetivo selecionado aqui é minimizar o número total de tarefas não atribuídas ao atribuir a cada equipe seqüências viáveis de atividades ao longo de caminhos. Tais caminhos viáveis são turnos começando e terminando no local 0 e obedecendo a janelas de tempo e restrições de requisitos de habilidade. Eles são definidos pela seqüência de tarefas que visitam.

Quando uma solução ótima não é obtida (solução não é inteira ou restrições de sincronização de tarefas não são cumpridas) uma ramificação é realizada de acordo com a solução de um problema de preços. Aqui o problema de preços resulta em um problema elementar do caminho mais curto com janelas de tempo para cada equipe, que são resolvidos usando um algoritmo de ajuste da etiqueta.

4.1.4 Aplicação para a gestão de mão de obra de limpeza

A limpeza de aeronave é essencial para manter os elevados padrões de qualidade do serviço prestado a bordo da aeronave pelas companhias aéreas aos passageiros. Dependendo da forma como o avião é operado (voos de longa distância, conexões rápidas para as aeronaves nacionais / regionais) o serviço necessário pode ser fortemente condicionado por intervalos de tempo ou não, e estas restrições de tempo podem ser conhecidas com uma grande antecipação ou não. Em geral, a limpeza é realizada uma vez que passageiros deixaram o avião e antes que os outros passageiros cheguem. Em geral, o pessoal de solo da companhia aérea verifica se a limpeza foi concluída antes de permitir que os passageiros embarquem a bordo da aeronave. Dependendo da posição de estacionamento de aeronaves (na porta ou remoto) veículos terrestres são necessários para transportar as equipes de limpeza para a aeronave.

Dohn et al. [8] ilustraram sua abordagem para otimizar a alocação de mão de obra para *ground handling* com o caso da mão de obra de limpeza de aeronaves em um aeroporto. Para avaliar esta abordagem de eficácia, os conjuntos de dados de teste tirados de situações da vida real enfrentadas por empresas de limpeza de avião em dois grandes aeroportos europeus foram usados. O conjunto de dados de teste foi organizado em quatro tipos de problemas diferentes e cada tipo foi composto de três instâncias de problemas que abrangem períodos de 24 horas. De 10 equipes e 100 tarefas até 20 equipes com 300 tarefas foram consideradas. Os autores relataram que a abordagem da solução exata acima tem proporcionado resultados efetivos para as menores ocorrências após tempos de computação que medem de segundos a horas, enquanto situações de tempo esgotado ou de memória esgotada têm sido obtidos com instâncias maiores. Então esta abordagem de solução exata, que leva a dificuldades numéricas na situação off-line, não será de interesse no contexto on-line, a menos que os procedimentos heurísticos sejam introduzidos para substituir seus processos de pesquisa exata.

4.2 Abordagens descentralizadas do Problema de Atribuição Global de *Ground Handling*

4.2.1 Abordagem de escalonamento multi-projeto

Uma obra representativa para esta abordagem é a de *Mao et al.* [22], que propuseram uma solução para resolver o problema de programação de *ground handling* no aeroporto sob incerteza considerando que o problema de programação global de *ground handling* é uma instância de um problema de programação multi-projeto (MPSP), por isso, eles consideraram a aeronave como um agente de projeto que é composto por um conjunto de atividades e de fornecedores de *ground handling* como agentes de recursos, cada um é responsável por um recurso que realizou um tipo específico de atividade.

Como um primeiro passo, eles forneceram uma descrição formal desta instância, tendo em conta a incerteza no nível do tempo de execução das operações. O segundo passo, a fim de lidar com a incerteza, eles propuseram uma abordagem de programação multi-agente online. Nesta abordagem, eles apresentaram uma agenda on-line com base em um esquema cooperativo. Tem-se observado que esta abordagem poderia apenas lidar com

a incerteza ao nível do tempo de libertação e foi difícil aplicá-la no caso da presença de perturbação na duração de processamento. Isso porque, na terceira etapa, a fim de lidar com os diferentes tipos de perturbações, eles propuseram usar a mesma estrutura (MPSP) para inserir o tempo de folga entre as atividades. Este tempo de folga seria uma garantia, em caso de aparecimento de qualquer incidente, os recursos ainda funcionariam como o planejado.

A primeira abordagem foi aplicada em um ambiente determinístico, usando 10 tipos de procedimentos de resposta da aeronave, para cada procedimento haviam 10 instâncias de aeronave idêntica. Os resultados obtidos com a aplicação das duas abordagens de escalonamento multi-agente: não-cooperativo e cooperativa, foram sendo comparados com 3 métodos heurísticos centralizados: *First Come, First Served (FCFS)*, *Maximum Total Travel Work Content First* e *Shortest Activity from the Shortest Project*. Os resultados mostraram que para as cinco abordagens de programação, o atraso total de projeto (tempo de *turnaround*) diminuiu com o aumento do custo de atraso por unidade de tempo.

Do ponto de vista de tempo de processamento, os métodos heurísticos *Maximum Total Travel Work Content First* e o *Shortest Activity from the Shortest Project* tiveram o tempo de processamento mais curto. No caso das medidas de nivelamento de recursos, têm-se observado que o agendamento multi-agente com o esquema cooperativo utilizado para realizar os processos de *ground handling* o menor recurso de nivelamento. Assim, de acordo com os resultados, o esquema de agendamento on-line cooperativo foi uma das melhores heurísticas de agendamento centralizado.

Para a segunda abordagem proposta, a fim de calcular o tempo de inatividade adequado para inserir no final de cada atividade, um algoritmo de aprendizagem genético foi empregado. Essa abordagem foi aplicada para os problemas dinâmicos (recursos ineficientes). Os resultados mostraram que essa abordagem foi capaz de absorver os atrasos ao nível do tempo de execução de atividades, para convergir para uma situação estável e para evitar o reescalonamento dos recursos.

4.2.2 Abordagem de Tomada de Decisão distribuída

Seguindo esta abordagem, *Garcia et. al.* [17] consideraram os processos de *ground handling* como um sistema de apoio à decisão distribuída. Para lidar com esse problema, eles criaram um novo sistema Multi-Agent teórico e experimental chamado MAS-DUO. A arquitetura deste novo MAS foi baseada em uma combinação de muitas metodologias existentes. O MAS-DUO é uma divisão do modelo de organização em duas plataformas: sistema de modelo de informação e modelo físico. Cada plataforma foi tratada de forma independente para compreender melhor o sistema e para facilitar a criação e o desenvolvimento do MAS. Essa divisão permitiu políticas estratégicas para se refletir sobre as decisões físicas e informando ao sistema de informação superior sobre a distribuição física também.

A comunicação entre as duas plataformas foi assegurada por meio de um protocolo de interação com base em parâmetros de partilha da função recompensa de Markov. Essa

nova organização foi testada para gerenciar as operações de *ground handling* no aeroporto Ciudad Real Central na Espanha.

4.2.3 Problemas encontrados nas abordagens existentes

As aplicações de pesquisa operacional consideradas para resolver os problemas de operações de *ground handling* ao nível de operações, tratam de um problema nominal geral, sem perturbação com o cronograma de chegada de aeronaves ou para as operações das diferentes frotas terrestres. Mesmo neste caso nominal, os problemas de programação matemática correspondentes são de classe de complexidade forte com grandes dificuldades para obter soluções exatas para problemas de tamanho real.

Na primeira classe de estudos, uma organização descentralizada baseada em atividades de *ground handling* é adotada implicitamente, mas nenhum esquema de coordenação é proposto. Na segunda classe de estudos, a intensidade dos fluxos de informação necessária para processar mecanismos baseados no mercado ou executar tomada de decisão baseada em multi-agente é tal que uma abordagem centralizada parece preferível.

Capítulo 5

Modelagem e Implementação

O primeiro problema de decisão considerado aqui é em relação ao dimensionamento de recursos realizados pelo coordenador de *ground handling* (GHC) para ter certeza de que, durante as operações diárias, os diferentes gestores de *ground handling* (GHMs) terão os recursos necessários em equipamentos, veículos e pessoas para lidar com operações nominais, bem como em situações de perturbação. Esse problema, o qual aborda globalmente as diferentes atividades de *ground handling*, é suposto ser resolvido de forma independente pelo GHC.

Hipóteses:

- As chegadas de voos ocorrem de acordo com os horários nominais,
- as atividades de *ground handling* de todas as aeronaves que chegam e partem são realizadas somente em portões de estacionamento.
- as atividades de *ground handling* seguem as mesmas sequências para cada aeronave considerada,
- o GHC conhece as características técnicas dos diferentes equipamentos e frotas,
- cada unidade de *ground handling* somente pode executar uma tarefa de cada vez.
- o GHC tem valores de referência para os tempos de viagem e atrasos de *ground handling* elementar,
- assume-se pelo GHC que todas as rotas para cada tipo de veículo inicia e termina na base correspondente.

5.1 Notações adotadas e Formulação do problema

Usaremos a abordagem da Salma [21] para formular nosso problema.

Aqui está as variáveis e parâmetros considerados conforme Salma:

- K : o conjunto de aeronaves envolvidas nas atividades de GH durante um período de tempo considerado ($|K|$ é o número dele).

- N_F : o número de diferentes frotas de serviços envolvidos em GH.
- n_i : $i = \{1, 2, \dots, N_F\}$ quantidade de veículos de tipo i disponível.
- m_i : $i = \{1, 2, \dots, N_F\}$ número de tarefas que um veículo do tipo i pode executar sucessivamente em um estande de aeronave.
- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{tot}\}$ conjunto de estandes de aeronave disponíveis (p_{tot} é o número dele).
- $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{tot}\}$ conjunto de diferentes tipos de aeronave (h_{tot} é o número dele).
- δ_j^{ih} : duração da tarefa, o atraso de tempo que demora para executar a tarefa j sobre a aeronave de tipo h usando veículo do tipo i .
- d_k^A : hora de início prevista das operações de GH para a aeronave k em seu estande de estacionamento.
- d_k^D : hora de conclusão prevista das operações de GH para a aeronave k em seu estande de estacionamento.
- T_k : data de partida da aeronave k do estande de estacionamento previsto em d_k^D .
- L_i^l : comprimento do percurso l percorrido pelo veículo de tipo i .
- S_k : estande de estacionamento da aeronave k . $S_k \in P$
- K_k^i : conjunto de aeronaves em concorrência com a aeronave k para usar o veículo i .
- Δ_{pq}^i : tempo médio de viagem. O tempo que leva para dirigir com veículo do tipo i do estande de estacionamento p para o estande de estacionamento q .
- Δ_p^i : tempo médio de viagem que leva para dirigir do estande de estacionamento da aeronave p para a base do veículo do tipo i com $p \in P$ e $i = \{1, 2, \dots, N_F\}$.
- V^i : velocidade média do veículo do tipo i .
- C_j^{ik} : data de início da tarefa j realizada pelo veículo do tipo i sobre a aeronave k .

As premissas acima levaram à formulação de um problema de otimização global nominal. Aqui, a função adotada considera a minimização de uma mistura da soma de atrasos de partida da aeronave e da distância total percorrida pelos veículos de *ground handling*:

$$Min \quad \left(\lambda \sum_{k=1}^k (T_k - d_k^D) + (1 - \lambda) \sum_{i=1}^{N_F} \sum_{l=1}^{n_i} L_i^l \right) \quad (5.1)$$

onde $\lambda = 1 - \epsilon$ e $0 \leq \epsilon \ll 1$

5.2 Aplicação numérica

Por exemplo, um caso com 5 aeronaves envolvidas em 5 voos com 3 operadores de *ground handling* diferentes realizando 4 diferentes atividades de *ground handling* tem sido considerado numericamente.

Na figura 5.1 está apresentada a estrutura e a duração assumida para as atividades de *ground handling* e a figura 5.2 fornece os horários nominais de chegada e saída das aeronaves.

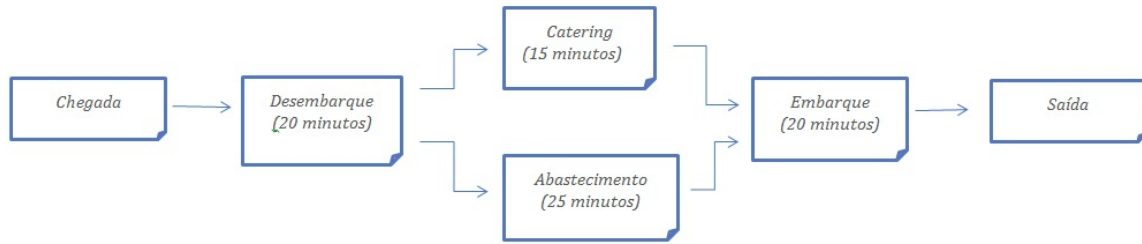


Figura 5.1: Estrutura e duração das atividades de *ground handling*

Nome_Aeronave	Horar_cheg	Horar_saida
zb1775	Sáb Nov 01 09:15:55 BRST 2014	Sáb Nov 01 11:09:25 BRST 2014
pm9577	Sáb Nov 01 09:38:36 BRST 2014	Sáb Nov 01 11:16:55 BRST 2014
ox2828	Sáb Nov 01 09:16:33 BRST 2014	Sáb Nov 01 11:17:03 BRST 2014
ym2435	Sáb Nov 01 09:38:41 BRST 2014	Sáb Nov 01 11:13:03 BRST 2014
je1197	Sáb Nov 01 09:31:35 BRST 2014	Sáb Nov 01 11:15:59 BRST 2014

Figura 5.2: horários nominais de chegada e saída das aeronaves

5.3 Implementação da aplicação

A figura 5.3 apresenta a modelagem do sistema implementado. O sistema foi implementado em linguagem Java devido ao fato de permitir uma abordagem simples e direta para o problema e uma maior eficiência por ser uma linguagem orientada a objetos.

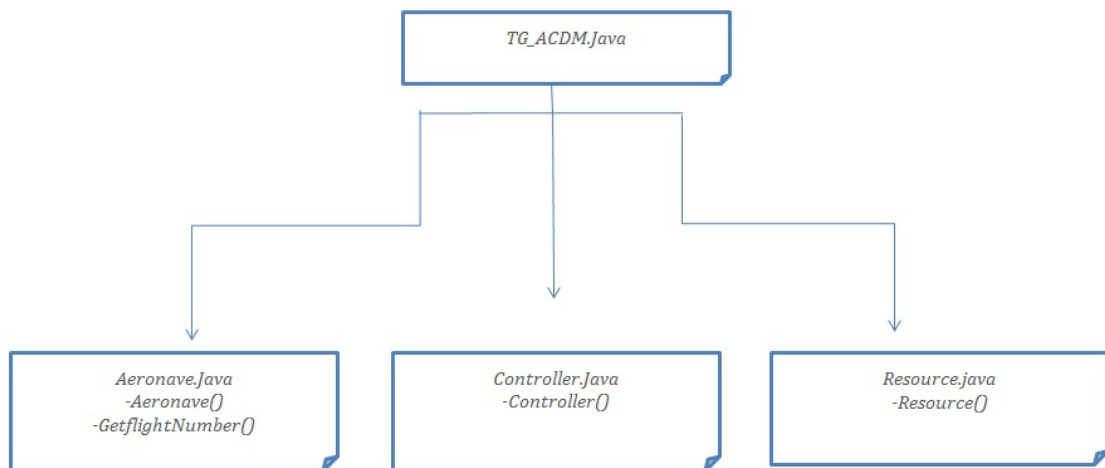


Figura 5.3: Diagrama representando a implementação

Módulo TG-ACDM

Foi implementado em TG-ACDM.java, este módulo é responsável pela leitura de dados referentes ao número de aeronaves no solo. Ele gera o horário de chegada e partida da

aeronave. No final, ele imprime os resultados.

Módulo Aeronave

Implementado em Aeronave.java, o nome da aeronave é gerado aqui e esse nome é retornado para TG-ACDM com o método *getflightNumber()*.

Módulo Controller

Implementado em Controller.java, recebe uma aeronave, seu horário de chegada e partida. A partir desses dados, ele define uma prioridade para a aeronave e manda todos os dados para o Módulo Resource. A prioridade é definida considerando o horário de chegada da aeronave, isto é, a primeira aeronave a chegar vai ser a primeira na fila. O Controller atribui recursos (Abastecimento, catering etc) às aeronaves e libera elas para decolagem.

Módulo Resource

Implementado em Resource.java, ele recebe a aeronave e coloca ela em uma fila conforme a prioridade. Com todas as aeronaves na fila, ele retorna a fila para o Controller que vai atribuir recursos (Abastecimento, catering etc) para as aeronaves. Depois de receber todos os recursos, o Controller tira a aeronave da fila e libera ela para decolagem. Quando não houver mais recursos disponíveis, as aeronaves na fila esperam até as outras terminarem de usar.

5.4 Resultados

Aeronave	Hor_Cheg_Pr	Tarefa	Temp_in_T	Temp_fi_T	Hor_Sai_Pr
zb1775	09:15:55	1	0	20	11:09:25
		2	20	35	
		3	20	45	
		4	45	65	
ox2828	09:16:33	1	23	43	11:17:03
		2	43	58	
		3	48	73	
		4	73	93	
je1197	09:31:35	1	46	66	11:15:59
		2	66	81	
		3	76	101	
		4	101	121	

Figura 5.4: Solução da atribuição

A soma dos atrasos na partida para a aeronave de acordo com esta solução é igual a 2 horas 28 minutos e 55 segundos exatamente. O que tende a indicar que os recursos

pm9577	09:38:36	1	69	89	11:16:55
		2	89	104	
		3	104	129	
		4	129	149	
ym2435	09:38:41	1	92	112	11:13:03
		2	112	127	
		3	131	156	
		4	156	176	

Figura 5.5: Solução da atribuição

do *ground handling* foram, neste caso, insuficientes para enfrentar de forma eficiente a programação nominal de chegada/partida.

A solução para este problema muito pequeno executou em 1,37 minutos. Ao considerar muitas aeronaves (maior que 10, por exemplo), o tempo de computação aumenta muito rapidamente para valores excessivos (dezenas de minutos e em breve, horas de computação). Então, esta abordagem de solução exata não parece adequada para tratar problemas de atribuição de tamanho real.

Assim, devemos considerar o desenvolvimento de uma abordagem heurística que pode ser capaz de produzir soluções viáveis num curto espaço de tempo de computação. Isso permitirá que o gerente, aqui o GHC, reiniciar a solução deste problema quando as condições operacionais atuais se tornam bastante diferentes do que as anunciadas.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Trabalho futuro

Proporemos uma heurística do GHC. Vamos considerar, durante um período de operações, um conjunto K de aeronaves de chegadas e partidas de/para os estandes. Vamos desenvolver uma heurística gananciosa centralizada que irá garantir a viabilidade de todas as operações de *ground handling*. A idéia da heurística centralizada é classificar as aeronaves que chegam e partem de acordo com seu tempo de início previsto das operações terrestres correspondentes (ou tarefas de *ground handling* de chegada ou tarefas de *ground handling* de partida). Então, o planejador central irá processar nesta ordem cada atividade de *ground handling* da aeronave, ligando cada tarefa para uma rota para construir uma função de *ground handling*:

- Para cobrir a tarefa j na aeronave k , ele irá procurar entre as rotas já criadas do tipo j , o que se pode lidar com ele, dentro do prazo previsto e no custo de transporte menor.
- Se nenhuma das rotas existente fornecerem uma solução viável:
 1. e há capacidade de tipo j restante na base correspondente, uma nova rota do tipo j começando nesta base é criada com a primeira parada na aeronave k .
 2. e não há capacidade de transporte restante na base do tipo j , adicione esta tarefa na rota do tipo j que minimiza a mistura de resultante de atraso para aeronave k e da distância percorrida para atingi-lo com o peso λ .

Então repita com todas as tarefas j esperadas do *ground handling*.

Isto irá produzir conjuntos viáveis de funções (rotas) a serem executadas pelas diferentes frotas de *ground handling*. Então, esses dados serão utilizados pelo coordenador de *ground handling* para calcular, o nível de recursos que cada gerente de *ground handling* deverá fornecer a cada período de tempo. Estes recursos serão depois ou efetivamente utilizados para processar a aeronave e os passageiros ou permanecerá como reserva para enfrentar perturbações e incidentes.

6.2 Considerações finais

O crescimento econômico global sustentado das últimas décadas foi viabilizado pelo desenvolvimento de melhores meios de comunicação e de transporte de pessoas e bens. Tem sido particularmente o caso com o transporte aéreo, onde, durante os últimos quarenta anos, o número de passageiros foi multiplicado por sete. Este aumento do volume de passageiros foi possível graças a um aumento correspondente de tráfego de aeronave que é um desafio constante para autoridades de aviação civil, companhias aéreas e aeroportos para fornecer capacidade suficiente para prestar um serviço de transporte seguro, com padrões de qualidade aceitáveis. Então, na última década, novas práticas de gestão de tráfego, tal como o A-CDM, baseadas nos conceitos de tomada de decisão colaborativa e multi-agente foram introduzidas. Entre as muitas actividades que contribuem para a segurança e eficiência do transporte aéreo, o *ground handling* do aeroporto desempenha um papel importante, mesmo que não tenha sido muito mediatizado.

Neste trabalho, o *ground handling* do aeroporto foi descrito e analisado, demonstrando a diversidade e a complexidade das actividades de *ground handling* realizadas em uma aeronave no solo, as quais são organizadas em uma estrutura serial-paralelo onde qualquer atraso em uma determinada atividade pode ter um forte impacto sobre o seu desempenho global. Parece que, para evitar atrasos gerados pelas actividades de *ground handling*, existe uma necessidade para uma sincronização apertada para processar o fluxo de aeronaves que chegam/partem. Em seguida, introduz-se a necessidade de uma estrutura de gestão eficiente para manter todo este processo em termos de eficiência e contribuir positivamente para o desempenho do aeroporto.

Referências

- [1] V. Tosić A. Vidosavljević. Integrating optimization and simulation to gain more efficient airport logistics. 2010. [vii](#), [15](#)
- [2] Airbus. Axxx airplane characteristics for airport planning. *The Airbus Company*, 2005. [vii](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#)
- [3] P. Vabrand D. Yuan A. Norin, T. Andersson Granberg. Modeling of turnaround process using petri nets, division of airports and air traffic safety (apatc). *Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM)*, 2009. [vii](#), [16](#)
- [4] BAA. Economic benefits of aviation. issue brief. 2004. [2](#)
- [5] Boeing. Bxxx airplane characteristics for airport planning. *The Boeing Company*, 2009. [vii](#), [14](#), [15](#), [17](#)
- [6] A. R. Center. Study on the impact of directive 96/67/ec on ground handling services 1996-2007. 2009. [2](#), [20](#), [23](#)
- [7] Tommy Clausen. Airport ground staff scheduling, 2011. [vii](#), [1](#), [23](#), [28](#), [29](#)
- [8] A. Dohn and E. Kolind. Optimizing manpower allocation for ground handling tasks in airports using column generation. *Proceedings 43 rd Annual Conference of the Operation Research Society of New Zealand*, 2008. [10](#), [11](#), [13](#), [20](#), [38](#), [39](#), [40](#), [41](#)
- [9] EUROCONTROL. *Airport CDM Applications Guide*. Eurocontrol, 2003. [2](#), [27](#), [33](#)
- [10] EUROCONTROL. Airport cdm implementation - the manual for collaborative decision making. 2010. [2](#), [8](#), [27](#), [31](#), [33](#), [35](#), [37](#)
- [11] H. Fricke and M. Schultz. Delays impacts onto turnaround performance optimal time buffering for minimizing delay propagation. *Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM)*, 2009. [vii](#), [viii](#), [1](#), [14](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#), [25](#), [26](#), [27](#)
- [12] J. Desrosiers G. Desaulniers and M. Solomon. *Column Generation*. Springer-Verlag, 2005. [40](#)
- [13] M. Janic. The flow management problem in air traffic control: a model of assigning priorities for landings at a congested airport, transportation planning and technology 20. *Transportation Planning and Technology 20*, 1997. [27](#)

- [14] D. Knorr J. Wetherly M. Ball, R. Hoffman and M. Wambsganss. Assessing the benefits of collaborative decision making in air traffic flow management. *3rd USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, Abril 2000. 30
- [15] R. Paglieri M. Groppe and D. Harris. Field observations during airport-cdm turn-round process: Study on airline's approach to tobt assignment. *EUROCONTROL Experimentation Centre*, 2010. 30, 33, 35
- [16] C.A. Moore P. Coutu J.R. Beasley N.J. Ashford, H.P. Martin Staton. *Airport Operations*. McGraw Hill, 2013. vii, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
- [17] J.M. Pastor F.J. Otamendi P. Garcia Ansola, A. Garcia Higuera. Agent-based decision-making process in airport ground handling management, logist. 2011. 42
- [18] Vitor Filincowsky Ribeiro. Decisão colaborativa com utilização de teoria dos jogos para o sequenciamento de partidas em aeroportos, 2013. 33, 34
- [19] O. Richetta and A.R. Odoni. Solving optimally the static ground holding policy problem in air traffic control. *Transportation Science* 27, 1993. 27
- [20] C. Ronchetto. The costs of delays and cancellations- analysis and means for cost reductions. *AGIFORS, Dubai*, 2006. vii, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
- [21] Salma Fitouri Trabelsi. Contribution a l'organisation des operations d'escale dans une plateforme aeroportuaire, 2013. 1, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 44
- [22] N. Roos X. Mao and A. Salden. Stable multi-project scheduling of airport ground handling services by heterogeneous agents. *P8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent System*, 2009. 41
- [23] Q. Chen Y. Du, Q. Zhang. Aco-ih: An improved ant colony optimization algorithm for airport ground service scheduling. *EEE International Conference on Industrial Technology*, 2008. 9, 11, 13, 14, 20