MARCOS SIMAS MAGALHÃES

Configuração de uma rede de distribuição e de serviços na indústria aeronáutica

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia de

Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro

FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcos Simas Magalhães Configuração de uma rede de distribuição e de serviços na indústria aeronáutica

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Logísticos

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.		
Instituição:	Assinatura:	
Prof. Dr.		
Instituição:	Assinatura:	
Prof. Dr.		
Instituição:	Assinatura:	

DEDICATÓRIA

Às minhas filhas Teresa, Laura e Alice.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

À minha esposa Carolina pela paciência durante os períodos em que precisei me dedicar ao desenvolvimento da dissertação.

Ao colega João Umbiruçu, pela grande ajuda que me deu na utilização do sistema ARENA.

Ao colega Paulo Henrique Sabbadin, pelas informações passadas sobre o cenário estudado no trabalho.

À Escola Politécnica da USP, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

RESUMO

A empresa estudada desenvolve, fabrica e suporta aeronaves para os mercados comercial, executivo e de defesa, e está no processo de desenvolvimento de novos aviões executivos. Para suportar esta frota no mercado americano, está sendo desenvolvida uma nova rede de distribuição de peças de reposição e de serviços de manutenção. Este trabalho tem como objetivo definir a quantidade e localização dos centros de serviço (CS) e a localização do centro de distribuição (CD). Para isso foram considerados os níveis de estoque de peças de reposição em cada local, de modo a minimizar os custos de transporte e manutenção de estoque e atender os níveis de serviço estabelecidos de forma alinhada à estratégia competitiva e à de cadeia de suprimentos. Os métodos empregados foram simulação, para avaliação de cada alternativa, e meta-heurísticas, para busca das melhores soluções.

ABSTRACT

The evaluated company develops, manufactures and supports aircraft for the commercial, executive and military markets, and is developing new products for the executive market. In order to support this fleet in the American market, a new spare parts distribution and maintenance services network is being developed. This work has the objective of defining the quantity and location of service centers and the location of the distribution center of this network. To do that the spare parts inventory levels in each location were taken in consideration in order to minimize transportation and inventory carrying costs and attend the established service levels in an alignment with the competitive and supply chain strategies. The methods employed were simulation, to evaluate each alternative, and meta-heuristics, to search for the best solutions.

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	2
DEDICATÓRIA	3
AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
SUMÁRIO	7
1 Introdução	
1.1 Resumo do problema	8
1.2 Cenário do problema	9
1.2.1 Indústria aeronáutica	10
1.2.2 Aviação executiva	14
1.2.3 A empresa	15
1.3 Objeto estudado	16
2 Formulação do problema	21
2.1 Abrangência do problema	21
2.2 Relevância do problema	21
2.3 Objetivo	22
2.4 Restrições	22
2.5 Variáveis de decisão	28
2.6 Hipóteses da pesquisa	28
2.7. Soluções para o problema	
3 Fundamentação teórica	33
3.1 Abordagens atuais	
3.1.1 Estratégia competitiva e estratégia funcional	34
3.1.2 Modelos de localização	47
3.1.3 Heurísticas.	56
3.1.4 Planejamento de peças de reposição	
3.1.5 Modelos de Simulação	
3.2 Discussão sobre literatura	67
4 Método	71
4.1 Método utilizado	
4.2 Procedimento experimental	
4.3 Preparação dos dados de entrada	
5 Resultados e discussão	86
5.1 Resultados numéricos	86
5.1.1 Cenário 1: centro de distribuição em Louisville	
5.1.2 Cenário 2: centro de distribuição em Memphis	
5.1.3 Cenário 3: centro de distribuição em Indianapolis	
5.2 Discussão dos resultados.	
6 Conclusões	
6.1 Síntese dos resultados	
6.2 Extensões da pesquisa	
6.3 Considerações finais	
7 Referências bibliográficas	
APÊNDICE A – Modelo de simulação construído no sistema ARENA	
ANEXO A – Rede de distribuição de peças de reposição atual da empresa	111

1 Introdução

1.1 Resumo do problema

O problema avaliado neste trabalho consiste em definir a localização do centro de distribuição e a quantidade e localização dos centros de serviço para suporte, nos Estados Unidos, à frota de novos aviões executivos sendo desenvolvidos por uma indústria aeronáutica. Tanto o centro de distribuição como os centros de serviço irão conter estoques de peças de reposição, cujos níveis serão também avaliados para que esta informação possa suportar as decisões de localização. Esses estoques serão utilizados para disponibilizar peças que deverão repor componentes defeituosos retirados das aeronaves. As decisões deverão ser tomadas de tal forma que, atendendo a um nível de serviço mínimo estipulado, os custos de transporte, de carregamento de estoque e fixos dos centros de serviço utilizados sejam minimizados.

A principal motivação desta pesquisa foi oferecer, utilizando fundamentação teórica robusta e atualizada, uma proposta de método de solução viável, realista e eficaz para um problema concreto, relevante e extremamente complexo enfrentado por diversas empresas atualmente, qual seja o de definir quais devem ser as instalações e onde devem estar localizadas para que se tenha alta performance na rede de suporte ao produto no pós-venda.

No tópico seguinte será exposto o cenário do problema, para que ele possa ser devidamente contextualizado, e depois se prossegue com um detalhamento de diferentes aspectos do problema. No item 3 é feita pesquisa bibliográfica em tópicos relacionados para fornecer embasamento teórico ao método proposto para determinar a solução. Por fim, os resultados obtidos são discutidos para se chegar às conclusões do trabalho.

1.2 Cenário do problema

Para contextualizar adequadamente o problema, será apresentado o cenário em que ele se insere, começando com a indústria aeronáutica de uma forma geral, e depois detalhando os aspectos mais específicos ao trabalho, que são a aviação executiva e a empresa estudada.

1.2.1 Indústria aeronáutica

Conforme BRITO JUNIOR (2004), apesar de historicamente o trafego aéreo, medido pelo número de quilômetros voados por passageiros pagantes (RPK), crescer mais que o PIB mundial, esta diferença vem caindo:

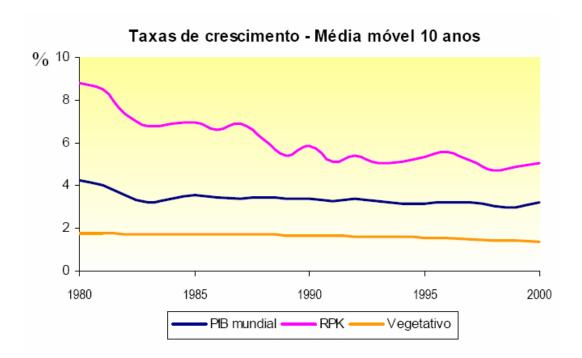


Figura 1. Taxas de crescimento do PIB, RPK e vegetativo nos últimos 10 anos Fontes:

PIB: FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL 1 (2001 apud BRITO JUNIOR, 2004)

RPK: IATA² (1999 apud BRITO JUNIOR, 2004)

Crescimento vegetativo: U.S. CENSUS BUREAU³ (2003 apud BRITO JUNIOR, 2004)

The Air Cargo Tariff – TACT Rates Worldwide (except North America): emissão 134. Amsterdam: Autor, 1999.

³ U.S. CENSUS BUREAU. Apresenta dados sobre o crescimento vegetativo mundial. Disponível em: http://www.census.gov/ipc/www/worldpop.html>. Acesso em: 13 jul. 2003.

¹ FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. Apresenta dados sobre o PIB mundial. Disponível em: http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2001/01/data/. Acesso em: 14 jul. 2003.

² IATA. *The Air Cargo Tariff – TACT Rates North America*: emissão 137. Amsterdam: Autor, 1999.

Além disso, a indústria aeronáutica caracteriza-se como cíclica, pois é altamente sensível a flutuações na economia, e requer uso intensivo de capital e mão-de-obra especializada. A necessidade de respostas rápidas a este cenário conflita com ciclos longos de entregas de novas aeronaves. Uma boa representação disso é a variação dos lucros operacional e líquido das companhias aéreas:

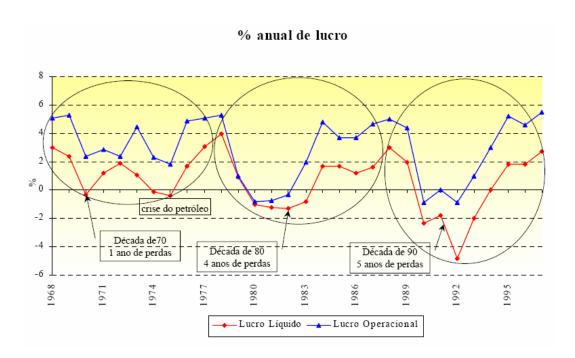


Figura 2. Porcentagem anual de lucros das companhias aéreas Fontes:

OAG, Back Aviation Solutions⁴ (2003 apud BRITO JUNIOR, 2004) FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL⁵ (2001 apud BRITO JUNIOR, 2004) COSTA ET AL., Rethinking the aviation industry⁶ (2002 apud BRITO JUNIOR, 2004)

Segundo BRITO JUNIOR (2004) estes ciclos podem ser divididos nas seguintes fases:

OAG. Apresenta horários de vôos e tipos de aeronaves. Disponível em: http://www.oag.com (https://secure.oag.com/oag_com/jump/freetrial.asp). Acesso em: 14 jul. 2003

⁵ FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. Apresenta dados sobre o PIB mundial. Disponível em: http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2001/01/data/. Acesso em: 14 jul. 2003.

⁶ COSTA, P.R.; HARNED, D.S.; LUNDQUIST, J.T. *Rethinking the aviation industry*. The McKinsey Quaterly,

^{2002.} Disponível em: http://www.mckinseyquaterly.com/article page.asp>. Acesso em 02 jun. 2003.

- Bolha: Nesta etapa do ciclo ocorre um pico de rentabilidade com altos faturamentos e RPK crescente. Os lucros começam a cair devido a ações trabalhistas que elevam os custos. Um novo pico de pedidos de aeronaves ocorre aproximadamente um ano após os maiores lucros.
- 2. <u>Colapso</u>: Nesta fase o crescimento interno bruto é reduzido, os faturamentos caem e as linhas aéreas tentam manter o *market share*; e ocorre uma redução drástica nos lucros. E ainda, pedidos de novas aeronaves são cancelados ou adiados, e as aeronaves pedidas na fase "bolha" chegam às companhias aéreas.
- 3. Estabilização: Nesta fase do ciclo o Produto Interno Bruto se recupera e ocorre elevação do RPK. Medidas de redução de custos aliviam as perdas, entretanto, as entregas de novas aeronaves proporcionam um excesso de capacidade. Os lucros continuam apresentando queda.
- 4. <u>Retomada</u>: Nesta fase há um forte crescimento econômico que alimenta a demanda; os lucros sobem com o aumento da renda e os custos se estabilizam. A capacidade é equilibrada com a redução nas entregas de novas aeronaves e ressurge a disciplina dos preços.

Conforme BRITO JUNIOR (2004), outras características gerais da indústria aeronáutica, que a distingue de outros setores da economia, são:

- Pequena base de clientes: atualmente existem menos de 100 grandes companhias aéreas, que adquirem poucas unidades por ano.
- <u>Baixo volume de produção</u>: enquanto algumas indústrias produzem, anualmente, dezenas de milhares de produtos, a indústria aeronáutica produz um volume bem mais reduzido, como por exemplo, a Boeing, que conforme BOEING COMPANY

- Annual Report 2002 Financials⁷ (2002 abud BRITO JUNIOR, 2004) em 2003 entregará 280 aeronaves comerciais.
- Necessidade intensiva de capital: devido a esta característica, existem neste mercado poucos montadores e fabricantes de componentes de maior complexidade.
- Arquitetura dos componentes: uma aeronave possui uma arquitetura "integral" de seus componentes. Isto significa que o projeto do produto deve ser integrado entre a montadora e seus fornecedores para desenvolvimento dos sistemas.
- Importância do conteúdo tecnológico: nenhum produto comercial possui tanto refinamento das técnicas de metalurgia, eletrônica e computação como uma aeronave a jato.
- <u>Criticidade dos equipamentos</u>: as falhas de equipamentos aeronáuticos podem levar a catástrofes e perda de vidas humanas. Os fabricantes de aeronaves e componentes devem obedecer a uma série de regras de segurança e qualidade de seus produtos.
- Compensações: como a indústria aeronáutica está ligada à estratégia de desenvolvimento dos países, são comuns as práticas de compensações, acordos de co-produção, transferência de tecnologia, subsídios governamentais escondidos e devoluções.

⁷ BOEING COMPANY *Annual Report 2002 – Financials.* Disponível em: http://www.boeing.com/companyoffices/financial/finreports/annual/02annualreport/. Acesso em: 03 nov. 2003.

1.2.2 Aviação executiva

Uma previsão de mercado para aviação executiva elaborado por empresa do ramo para a próxima década, entre os anos de 2008 e 2017, é de 13.150 aeronaves, o que representa aproximadamente US\$ 201 bilhões. Como base de comparação para mostrar a relevância deste mercado no contexto da aviação, a previsão para todo mercado de aviação regional, entre 30 e 120 assentos, na próxima década é de 3150 aeronaves, o que representa aproximadamente US\$ 100 bilhões, pouco menos da metade da aviação executiva.

Além disso, a esta previsão da aviação executiva deve-se ainda somar um novo mercado de táxi aéreo que está surgindo, e que deverá representar entre 3.500 e 4.400 aviões adicionais na faixa dos *very light jets* (VLJ) na próxima década. Tudo isto se deve em grande parte aos crescentes procedimentos de segurança em aeroportos para vôos comerciais, o que resulta em desperdício maior de tempo nas viagens e faz com que tanto executivos de empresas como indivíduos da camada mais rica da sociedade busquem a flexibilidade, exclusividade e nível de conforto proporcionados pela aviação executiva. Some-se a isso o crescimento da economia global e a prosperidade que traz consigo, pelo menos para certa parcela da população, e a forte tendência de globalização da economia, que demanda viagens freqüentes dos funcionários e executivos das empresas.

O mercado da aviação executiva pode ser dividido nos seguintes segmentos, de acordo com o tamanho das aeronaves, usando aviões da Embraer como exemplos para cada segmento:

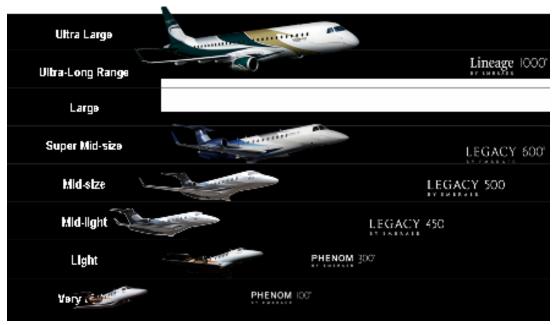


Figura 3. Aviões da Embraer em cada segmento de mercado da aviação executiva Fonte: Embraer S.A.

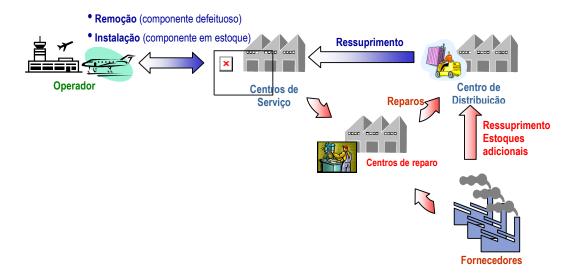
1.2.3 A empresa

Como estratégia para minimizar as crises passadas em fases de contração da indústria aeronáutica, a empresa estudada tem procurado diversificar seu portfolio de produtos para atuar em diversos mercados de modo que a crise em um deles possa ser compensada pelas vendas nos demais. Com isso, além do mercado de aviação regional em que tradicionalmente atua, a empresa vem tentando aumentar o porcentual de faturamento obtido dos mercados militar, e sobretudo executivo e de serviços. Como parte dessa estratégia, a empresa está desenvolvendo novos aviões executivos, que se situam nos segmentos dos *Very Light Jets* (VLJ) e *Light Jets* (LJ) com capacidade entre 6 e 11 lugares.

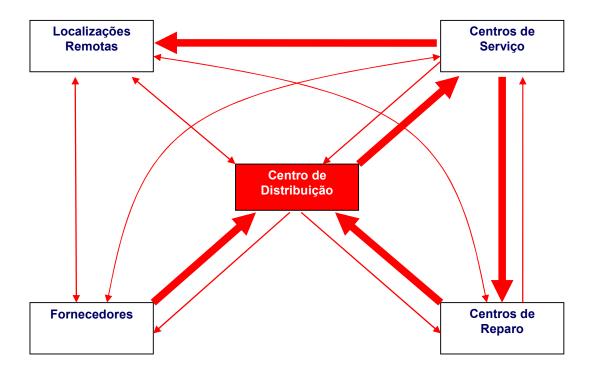
A empresa avalia que estas aeronaves exigirão um suporte totalmente diferenciado em relação ao que ela está acostumada a prestar para aviação civil e militar. Isto pelo fato dos futuros donos destas aeronaves executivas serem sobretudo particulares sem infra-estrutura disponível de suporte de manutenção, logística de peças, treinamento de pilotos, etc. Ao mesmo tempo, este mercado tem sinalizado que um fator decisivo na compra será a percepção sobre a capacidade da empresa em prover um suporte adequado à frota em operação, e que esta percepção ainda não está firme para os consumidores americanos, sendo estes considerados o principal mercado potencial. Para responder a esta demanda, é necessário, entre outras coisas, estabelecer uma rede adequada de logística e serviços, já que a atual, exposta no ANEXO A, não atende aos requisitos deste novo mercado por assumir a existência de uma infra-estrutura mínima de suporte nos operadores das aeronaves. Uma primeira decisão já tomada é a de que será utilizado um provedor logístico terceirizado para armazenar e transportar as peças, já que não existe mais espaço no armazém da empresa nos EUA, situado na Flórida, em Fort Lauderdale, e não se deseja efetuar investimentos em novos armazéns próprios.

1.3 Objeto estudado

O objeto estudado será a rede de distribuição e de serviços nos EUA para os novos aviões executivos sendo desenvolvidos, caracterizada nos seguintes esquemas:



Esquema 1. Fluxo de materiais no suporte à frota de aviões



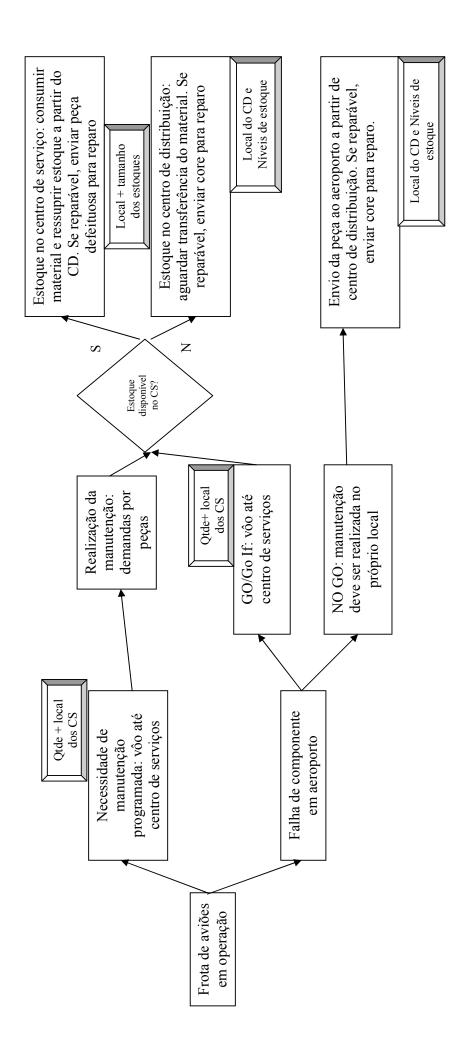
Esquema 2. Fluxos principais de materiais no suporte à frota de aviões

No primeiro esquema observa-se o fluxo padrão de materiais esperado para o atendimento de necessidade de peças de reposição em aeronaves que apresentem falhas,

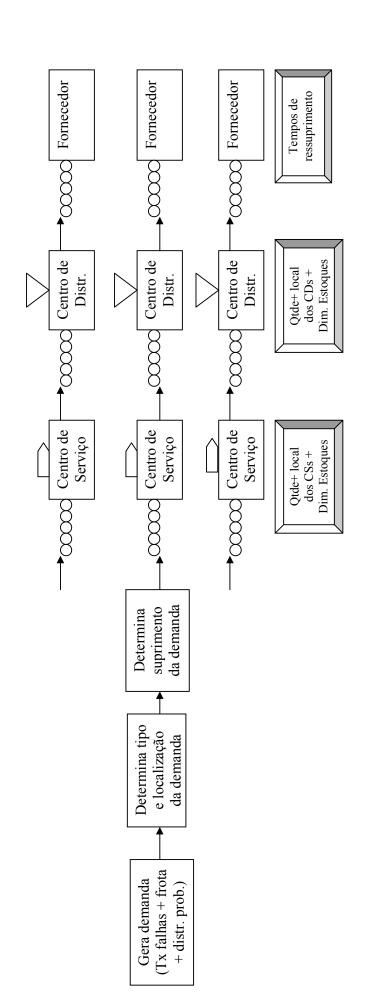
enquanto que no segundo esquema, além do fluxo padrão representado pelas setas largas, incluem-se alternativas que poderão ocorrer na operação real em casos de exceção.

O processo se inicia quando uma falha é detectada na aeronave durante sua operação ou durante a realização de uma tarefa de manutenção. Identificado e removido o componente defeituoso, uma peça de reposição é obtida do CD no caso de falhas ocorridas durante operação, ou do próprio CS onde a manutenção está sendo realizada. Ou seja, os CSs servem também nesta rede como centros de distribuição regionais para rápido atendimento das demandas.

No caso do componente removido ser do tipo consumível, ou seja, que não pode ser reparado, o material retirado do CS é reposto a partir do CD, e este por sua vez é reabastecido pelo fornecedor do item. Já no caso de peças reparáveis, o componente removido também é reposto a partir do CD, porém neste caso o mesmo é enviado para um centro de reparos a fim de que seja restabelecida sua condição de uso, após o que ele é enviado ao centro de distribuição. Existem situações em que a peça reparável não pode ser reparada por motivos técnicos ou comerciais, e quando isso acontece, ela é descartada e o fornecedor envia uma nova ao CD.



Fluxograma 1. Fluxo Lógico do Problema



Fluxograma 2. Fluxo de Operação

2 Formulação do problema

2.1 Abrangência do problema

O problema abrange a configuração (quantidade e localização) dos seguintes elementos da rede de distribuição e serviços:

- Centro de distribuição de peças de reposição (neste caso o problema considera apenas a localização de um único CD).
- Centros de serviço, que além de prestar serviços de manutenção poderão servir como estoques avançados de peças de reposição.
- Dimensionamento dos estoques de peças de reposição (serão considerados, no que se refere à formação de estoques, os componentes mais críticos de duas classes de item: os que impedem e os que não impedem a realização de um vôo).

2.2 Relevância do problema

Problema se situa em nível estratégico, portanto tem impactos de longo prazo nos resultados da operação de uma empresa, já que afeta parcela significativa dos seus custos em suportar e prestar serviços aos clientes, e impacta de forma direta o nível de satisfação dos clientes com os serviços prestados.

2.3 Objetivo

O objetivo é minimizar o custo necessário para suportar, com determinado nível de serviço, a frota de aviões pronta para vôo nos Estados Unidos. Este custo é composto por três valores:

- Custo de manutenção do estoque de peças formado para repor componentes defeituosos das aeronaves.
- 2. Custo de transporte das peças de reposição.
- 3. Custo fixo dos centros de serviço utilizados

2.4 Restrições

As restrições do problema são:

- Disponibilidade da frota deve ser igual ou maior que a meta estabelecida pela estratégia competitiva da empresa. A disponibilidade da frota será o indicador utilizado para medir o nível de serviço prestado aos clientes, no caso de peças que possam impedir o vôo da aeronave.
 - A disponibilidade da frota é medida através do porcentual de tempo em que as aeronaves estão disponíveis para vôo. Um avião será considerado indisponível quando estiver sofrendo manutenção ou sendo transportado para um centro de manutenção.
 - Na figura abaixo, o tempo de obtenção das peças de reposição está representado pela parcela "Processo logístico" do tempo necessário para

efetuar a manutenção da aeronave. É esta a parcela que pode ser influenciada pelo desenho da rede de suporte.

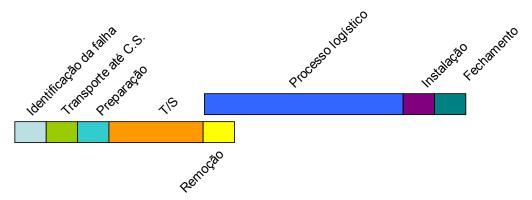


Figura 4. Segmentação do tempo de manutenção de uma aeronave Fonte: Embraer S.A.

- Identificação da falha: Identificação da necessidade de manutenção (corretiva ou preventiva) da aeronave.
 - o Exemplo: Uma das luzes da asa do avião não acende
 - o Tempo médio: Imediato
- Transporte até CS: Transporte da aeronave até o Centro de Serviço para realização da manutenção
 - Exemplo: Problema identificado quando aeronave estava no aeroporto de Miami, portanto o avião precisa voar até o centro de serviços localizado em Fort Lauderdale para que a manutenção seja realizada.
 - o Tempo médio: 1 hora
- Preparação: Preparação da aeronave para início da manutenção
 - Exemplo: Colocação da aeronave no local apropriado no hangar e disponibilização dos mecânicos e equipamentos necessários.
 - Tempo médio: 2 horas

• T/S: *Troubleshooting*, ou seja, determinação de qual é exatamente o problema na aeronave.

 Exemplo: problema pode ser no comando da luz, na fiação ou na própria lâmpada. Neste caso, vamos considerar que a lâmpada estava queimada.

Tempo médio: 2 horas

Remoção: Remoção do componente defeituoso para reparo ou descarte

 Exemplo: Abertura do compartimento e retirada da lâmpada.

Tempo médio: 1 hora

 Processo logístico: tempo necessário para obtenção de peça para substituir aquela que foi retirada da aeronave.

 Exemplo: a lâmpada estava disponível no próprio centro de serviços, ou precisou ser obtida do centro de distribuição

 Tempo médio: depende da configuração da rede de distribuição e dos níveis de estoque de peças de reposição.

• Instalação: instalação da peça obtida na aeronave em manutenção

Exemplo: colocação da nova lâmpada na asa do avião.

Tempo médio: 2 horas

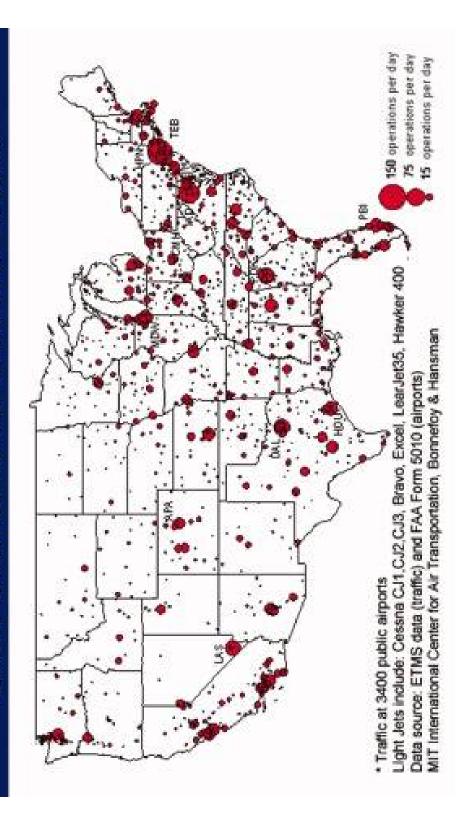
• Fechamento: encerramento do processo de manutenção

 Exemplo: Fechamento do compartimento da lâmpada e disponibilização da aeronave ao proprietário.

o Tempo médio: 1 hora

 No mapa abaixo se pode visualizar os aeroportos nos Estados Unidos com pousos e decolagens de aviões executivos. Os tempos de vôo entre o aeroporto onde o avião se encontra e o centro de serviço que irá efetuar sua manutenção impactam no indicador de disponibilidade do avião.

LIGHT BUSINESS JET TRAFFIC* IN 2003



Mapa 1. Concentração de pousos e decolagens de aviões executivos nos Estados Unidos Fonte: MIT International Center for Air Transportation

- 2. Para peças que não impedem a realização de um vôo, será utilizado o *fill rate* como medida de nível de serviço, ou seja, a porcentagem de demandas atendidas dentro de um intervalo de tempo estabelecido. Apesar destas peças não impedirem o vôo, podem ter forte impacto sobre a satisfação dos clientes, sendo, por exemplo, itens de conforto no interior da aeronave, e por isso seu atendimento será considerado também como restrição.
- 3. Aderência ao padrão de atendimento estabelecido para clientes executivos sobre distância máxima correspondente a duas horas de viagem entre base do cliente e centro de serviço mais próximo. Esta restrição adicional à de disponibilidade da frota é necessária porque na disponibilidade considera-se um nível de atendimento médio, enquanto que aqui se trata de estabelecer um limite máximo de distância para evitar que clientes tenham atendimento abaixo do adequado.
- 4. Os centros de serviço devem conter pelo menos uma peça para itens classificados como *Aircraft On Ground* (AOG), de acordo com o que está sendo divulgado pela empresa ao mercado. Este tipo de peça é aquele onde o avião não pode realizar um vôo caso a peça esteja defeituosa.
- 5. A rede de suporte deve conter no mínimo 1 peça para aquelas classificadas como não AOG. Aqui, novamente, a preocupação novamente não é o nível médio de atendimento, mas sim evitar situações onde o prazo de atendimento se estenda além de um nível máximo aceitável, mesmo que em situações específicas.

2.5 Variáveis de decisão

As variáveis de decisão são:

- 1. Localização do centro de distribuição
- 2. Quantidade e localização dos centros de serviço
- Quantidade a ser armazenada de cada peça em cada localização (centro de distribuição ou centro de serviços)

2.6 Hipóteses da pesquisa

As hipóteses da pesquisa são:

- A localização do centro de distribuição assim como a quantidade e localização dos centros de serviço atuais da empresa podem não ser as ideais.
- Os custos de armazenagem e transporte considerados baseiam-se no provedor logístico escolhido para armazenar as peças de reposição no centro de distribuição.
- 3. Soluções para os problemas apresentados dependem da estratégia competitiva da empresa e seu desdobramento na estratégia da cadeia de suprimentos de serviços para aviação executiva, já que ela provê referências de nível de serviço desejado.
- 4. Problemas apresentados são inter-relacionados, e portanto deveriam ser resolvidos simultaneamente ao invés de sequencialmente. Segue levantamento das relações de dependência para a rede de distribuição e serviços, incluindo o impacto do planejamento estratégico:

- Quantidade e localização de centros de serviços dependem de:
 - Estratégia de serviço para aviação executiva em termos de nível de serviço desejado, pois a localização impacta os tempos de atendimento de demandas de peças de reposição.
 - Níveis de estoque no centro de distribuição e nos centros de serviço, pois podem alterar a ponderação dos custos de armazenagem e de transporte na busca de minimização do custo total. Por exemplo, níveis muito elevados de estoque tanto no centro de distribuição como nos centros de serviço podem fazer com que sejam necessários menos centros de serviço para se atender a restrição de nível de atendimento, pois fazem com que a ocorrência de uma falta de peça de reposição no centro de serviço mais próximo da demanda aconteça em uma porcentagem muito reduzida.
 - Estoque adotado em cada localização.
- o Localização do centro de distribuição depende de:
 - Quantidade e localização dos centros de serviço, pois estes afetam cálculo de minimização de custos logísticos.
 - Escolha do provedor logístico, que irá determinar custos logísticos.

2.7. Soluções para o problema

Será considerada uma solução para o problema ter o centro de distribuição e os de serviços definidos em termos de quantidade e localização, além do estoque de peças

dimensionado, de modo que com o menor custo possível o suporte à frota de aviões nos Estados Unidos garanta os índices de disponibilidade almejados.

Como a decisão de terceirizar a armazenagem e transporte das peças de reposição já está tomada em função de questões estratégicas da empresa, as possíveis localizações dos centros de distribuição estão restritas às utilizadas pelos possíveis provedores logísticos da operação, cada um com seus respectivos custos. Além disso, como os clientes da nova aeronave sendo desenvolvida serão pessoas de elevado poder aquisitivo, é fundamental que os centros de serviço estejam situados em áreas nobres e com excelente infra-estrutura para clientes que exigem luxo nos serviços que lhes são prestados.

Os seguintes critérios de seleção são considerados pela empresa:

- Experiência
- Reputação
- Capacidade
- Estabilidade financeira
- Aparência
- Serviço de atendimento remoto

Uma lista preliminar de localizações para centros de serviço é a seguinte:

#	Provedor de serviço	Aeroporto	Cidade	Estado
1	Embraer, AZ	Williams Gateway Airport (IWA)	Mesa	AZ
2	Embraer, CT	Bradley Intl. Airport (BDL)	Windsor Locks	CT

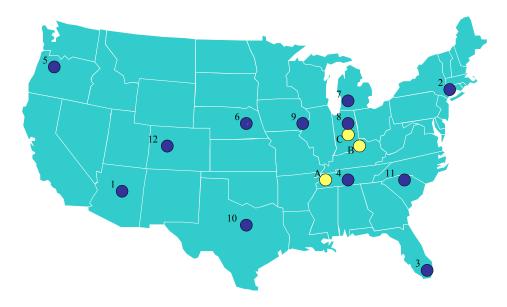
3	Embraer, FL	Fort Lauderdale Intl. Aiport (FLL)	Fort Lauderdale	FL
4	Embraer, TN	Nasville International Airport (BNA)	Nashville	TN
5	Aero Air	Portland-Hillsboro Airport (HIO)	Hillsboro	OR
6	Duncan Aviation	Lincoln Airport (LNK)	Lincoln	NE
7	Duncan Aviation	Battle Creek Airport (BTL)	Battle Creek	MI
8	Eagle Creek Aviation Services	Eagle Creek Airport (EYE)	Indianapolis	IN
9	Elliott Aviation	Quad City Intl. Airport (MLI)	Moline	IL
10	Premier Air Center	Dallas Love Field Airport (DAL)	Dallas	TX
11	Stevens Aviation	Donaldson Center Airport (GYH)	Greenville	SC
12	West Star Aviation	Walker Field Airport (GJT)	Grand Junction	СО

Tabela 1. Lista preliminar de localizações para centros de serviço

Para centros de distribuição, uma lista preliminar de possíveis localizações é:

- A Memphis,TN
- B Louisville, KY
- C Indianapolis, IN

Segue mapa com as localizações:



- Centros de Distribuição
- Centros de Serviço

Mapa 2. Alternativas de localização para CD e CS

Note-se que os centros de distribuição considerados estão localizados um pouco ao leste do que pode se considerar o centro dos Estados Unidos, utilizando-se apenas da percepção visual. Isto se deve ao fato de haver uma maior concentração populacional e econômica no leste dos Estados Unidos, o que faz com que o centro de gravidade, e consequentemente os centros de operações dos principais provedores logísticos, se movam nessa direção. Já em relação aos centros de serviço, a lista de alternativas procurou cobrir toda a extensão do território americano para viabilizar solução para o problema respeitando o nível de serviço desejado.

3 Fundamentação teórica

No tópico 3.1 serão apresentadas as abordagens atuais no meio acadêmico para os assuntos diretamente relacionados à pesquisa enquanto que no item seguinte, 3.2, será discutido como esta literatura avaliada pode ajudar a fundamentar o estudo específico desta dissertação.

3.1 Abordagens atuais

Como a principal restrição do problema diz respeito ao nível de serviço oferecido aos clientes, é fundamental um bom embasamento na teoria existente sobre estratégia competitiva e estratégia funcional para que, em um processo de desdobramento, seja possível definir de forma estruturada como chegar a quais valores devem servir de restrição nesse parâmetro. Assim, o nível de serviço oferecido aos clientes no pós-venda, e os custos associados, estarão alinhados à estratégia da cadeia de suprimentos como um todo e à estratégia da empresa para competir no mercado e atingir altos níveis de rentabilidade.

O levantamento de modelos de localização, heurísticas e modelos de simulação insere-se no núcleo da pesquisa pois dará os subsídios necessários para definição do método a ser utilizado para solução do problema proposto.

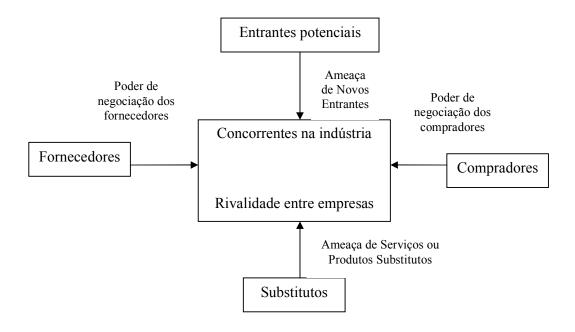
Os níveis de estoque em cada centro de distribuição e centro de serviços impactam a decisão de localização dos mesmos dentro de uma visão sistêmica da rede de distribuição em que, como demonstrado anteriormente, as decisões estão inter-relacionadas. Assim, como os

cenários encontrados quando se trata de peças de reposição são peculiares e complexos, foi necessário incluir um tópico específico sobre planejamento de peças de reposição.

3.1.1 Estratégia competitiva e estratégia funcional

Segundo PORTER (1990), as duas questões centrais relacionadas à estratégia competitiva são a atratividade das indústrias em termos de rentabilidade a longo prazo e a posição competitiva de uma determinada empresa dentro de sua respectiva indústria. Ambas as questões são dinâmicas, precisando ser reavaliadas constantemente, e mutuamente complementares, ou seja, precisam ser avaliadas em conjunto para orientar a escolha da estratégia competitiva. No âmbito da análise das indústrias, deve-se considerar as cinco forças competitivas que determinam sua atratividade, quais sejam:

- Poder de negociação dos compradores;
- Poder de negociação dos fornecedores;
- Rivalidade entre empresas existentes.
- Ameaça de produtos ou serviços substitutos;
- Ameaça de novos entrantes;



Esquema 3. Forças competitivas.

Fonte: PORTER (1990)

É o vigor coletivo destas forças que irá determinar o nível de rentabilidade inerente porque influencia os elementos de retorno sobre investimento, que são preços, custos e investimentos necessários. Este vigor é dado pela forma como a indústria está estruturada, sendo que os determinantes estruturais são:

- o Determinantes do poder do comprador
 - Alavancagem de negociação: concentração de compradores versus concentração de empresas, volume do comprador, custos de mudança do comprador em relação aos custos de mudança da empresa, informação do comprador, possibilidade de integração para trás, produtos substitutos.
 - Sensibilidade ao preço: preço/compras totais, diferenças dos produtos, identidade de marca, impacto sobre qualidade/desempenho, lucros do comprador e incentivos dos tomadores de decisão.
- Determinantes do poder do fornecedor: diferenciação de insumos, custos de mudança dos fornecedores e das empresas na indústria, presença de insumos

substitutos, concentração de fornecedores, importância do volume para o fornecedor, custo relativo a compras totais na indústria, impacto dos insumos sobre custo ou diferenciação, ameaça de integração para frente em relação à ameaça de integração para trás pelas empresas da indústria.

- Determinantes da rivalidade: crescimento da indústria, custos fixos/valor adicionado, excesso de capacidade crônica, diferença de produtos, identidade de marca, custos de mudança, concentração e equilíbrio, complexidade informacional, diversidade de concorrentes, interesses empresariais e barreiras de saída.
- Determinantes da ameaça de substituição: desempenho do preço relativo dos substitutos, custos de mudança e propensão do comprador a substituir.
- Barreiras de entrada: economia de escala, diferenças de produtos patenteados, identidade de marca, custos de mudança, exigências de capital, acesso à distribuição, vantagens de custo absoluto, política governamental e retaliação esperada.

Apesar da estrutura das indústrias ser relativamente estável, ela pode modificar-se à medida que uma indústria se desenvolve, podendo inclusive ser influenciada pelas ações das empresas participantes. Portanto, é importante não somente que os líderes das empresas tenham uma boa compreensão das forças competitivas de suas indústrias, mas que saibam como suas decisões irão afetá-las para que possam tirar bom proveito disso. Estas decisões determinam também o segundo elemento da estratégia competitiva, que é a posição relativa de uma empresa dentro de sua indústria, ou seja, como está sua rentabilidade em relação à média da indústria. Neste ponto, o bom desempenho no longo prazo é determinado pela vantagem competitiva sustentável, que pode ser obtida tanto pelo baixo custo como pela

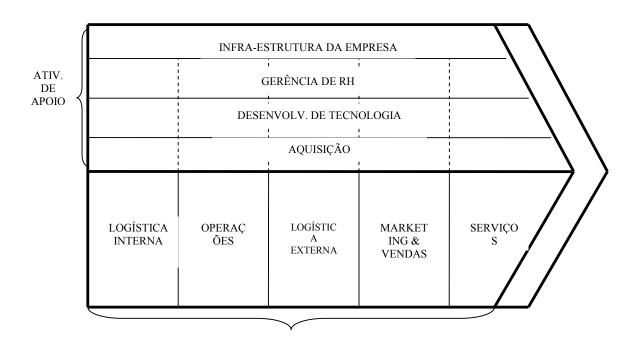
diferenciação. Com isso, as estratégias competitivas genéricas que uma empresa pode adotar são:

- Liderança de custo: Custo dos produtos inferior aos dos concorrentes em um limite amplo de segmentos industriais. As fontes desta vantagem podem incluir economias de escala, tecnologia patenteada ou acesso preferencial a matériasprimas. Se a empresa não for a única buscando diferenciação neste fator, as consequências para a rentabilidade poderão ser extremamente danosas.
- O Diferenciação: Atributos diferenciados em relação aos concorrentes em um limite amplo de segmentos industriais. Os atributos podem ser do próprio produto, do sistema de entregas, do método de marketing, do suporte pós-venda e outros.
- Enfoque: Liderança de custo ou diferenciação em um segmento industrial estreito,
 que pode apresentar necessidades específicas, não aplicáveis a um escopo mais
 amplo de mercado.

Nesta proposta de estratégias competitivas genéricas está embutido o conceito de que a empresa deve fazer uma opção fundamental em sua estratégia pelo tipo de vantagem competitiva que almeja alcançar, pois querer ser "tudo para todos" na maioria dos casos não resultará em uma vantagem sustentável no longo prazo, pois a performance sempre tende a ser equiparada ou ultrapassada pelos concorrentes.

A vantagem competitiva tem origem nas diversas atividades executadas por uma empresa, que podem ser organizadas em cadeias de valor para melhor entendimento de como contribuem para a estratégia da empresa. É importante que sejam compreendidas tanto as relações entre as cadeias de valor de uma mesma empresa quanto com as cadeias de valor de fornecedores e clientes que integram a cadeia de suprimentos. As cadeias de valores são

constituídas pelas atividades de valor, que podem ser atividades primárias, que ocupam lugar central na entrega dos produtos e serviços aos clientes, e atividades de apoio, que têm a função de prover apoio às atividades primárias. As atividades primárias podem ser divididas nas categorias: logística interna, operações, logística externa, marketing e vendas, e serviços. Já as categorias das atividades de apoio são: aquisição, desenvolvimento de tecnologia, gerência de recursos humanos e infra-estrutura da empresa.



ATIVIDADES PRIMÁRIAS

Esquema 4. Atividades executadas pelas empresas.

Fonte: PORTER (1990)

Segundo CHOPRA (2001), a cadeia de suprimentos consiste em todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de cliente, o que inclui não apenas fabricantes e fornecedores, mas também transportadores, depósitos, revendedores e os próprios clientes. Em cada organização todas as funções envolvidas no atendimento aos pedidos de clientes, como desenvolvimento de produtos, marketing, operações, distribuição,

finanças e serviços aos clientes, fazem parte da cadeia de suprimentos. O objetivo de uma cadeia de suprimentos deve ser maximizar a lucratividade global da cadeia, seja promovendo aumento no faturamento com altos níveis de disponibilidade do produto ou reduzindo os custos incorridos em todos os estágios da cadeia.

Para CHOPRA (2001), a estratégia competitiva de uma empresa define o conjunto de necessidades de clientes que deseja atender através de seus produtos e serviços, seja com foco na liderança em custos ou em diferenciação. Para que a estratégia competitiva seja executada, as diferentes funções da empresa devem cumprir seu próprio papel, conforme sua estratégia específica que define em que aspecto deve desempenhar particularmente bem. Partindo do princípio estabelecido pela metodologia de cadeia de valores onde as funções da empresa estão intimamente interligadas no objetivo de satisfazer as necessidades dos clientes de forma lucrativa, é fundamental que as estratégias funcionais estejam alinhadas com a estratégia competitiva da empresa e que se suportem mutuamente. Isso é necessário para que exista consistência entre o que se deseja alcançar e a forma como as operações da empresa estão de fato ocorrendo.

Para alcançar o alinhamento desejado entre a estratégia competitiva e a estratégia da cadeia de suprimentos, é necessário entender as necessidades dos clientes para cada segmento alvo da estratégia competitiva, entender a própria cadeia de suprimentos então alcançar o alinhamento entre ambos. Primeiramente então, deve-se definir em forma de atributos as necessidades dos clientes que, se acordo com a estratégia competitiva, se deseja atender, e que podem ser classificados em preço ou atributos de diferenciação. Os atributos de diferenciação podem ser: quantidade das quantidades requeridas e sua variabilidade, tempo de atendimento, variedade de produtos, número de canais de distribuição, taxa de inovação e nível de serviço.

Uma medida proposta para dar uma visão consolidada de como estes atributos estão configurados em um determinado segmento é o nível de incerteza contida na demanda. O nível de incerteza aumenta conforme:

- A variabilidade das quantidades requeridas aumenta: aumento na variabilidade da demanda;
- o O tempo de atendimento diminui: tempo menor para reagir aos pedidos;
- o Variedade de produtos aumenta: demanda por produtos se torna mais desagregada;
- Número de canais de distribuição aumenta: demanda por canal de distribuição se torna mais desagregada;
- Taxa de inovação aumenta: produtos novos tendem a apresentar uma incerteza maior na demanda;
- Nível de serviço aumenta: maior necessidade de ter que lidar com demandas incomuns.

Para entender, em um segundo passo, a cadeia de suprimentos, CHOPRA (2001) propõe uma metodologia similar à utilizada para entender a demanda: utilizar uma medida de quão responsiva a cadeia de suprimento é para dar uma visão consolidada de como os atributos da cadeia estão configurados. Estes atributos também apresentam similaridade aos atributos utilizados para caracterizar a demanda, sendo eles a capacidade de: responder a variações nas quantidades demandadas, atender tempos de atendimentos curtos, lidar com grande variedade de produtos, construir produtos altamente inovadores e atender altos níveis de serviço. O grande ponto de atenção aqui é que quanto mais responsiva uma cadeia de suprimentos for, menos eficiente ela tenderá a ser, com eficiência significando o custo incorrido para produzir e entregar produtos.

Finalmente, para alcançar o alinhamento desejado entre a estratégia competitiva e a estratégia da cadeia de suprimentos, ambas devem ser direcionadas para que a empresa se situe na chamada zona de alinhamento estratégico, onde o nível em que a cadeia de suprimentos é responsiva aumenta de acordo com o nível de incerteza contida na demanda. Como uma cadeia de suprimentos mais responsiva inevitavelmente irá se traduzir em custos maiores, isto se alinha com e reforça o que PORTER (1990) propõe como decisão estratégica fundamental que uma empresa deve fazer: liderança em custos ou diferenciação.

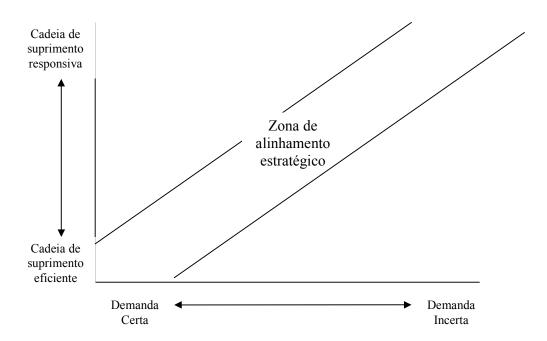


Gráfico 1. Zona de alinhamento estratégico Fonte: CHOPRA (2001)

Uma estratégia funcional poderá ser executada com sucesso caso seus processos e

recursos estejam estruturados de forma apropriada para prover esta capacidade. A estratégia da cadeia de suprimentos especifica que foco deverão ter operações, distribuição e serviços, o que por sua vez irá direcionar as decisões relativas a estoques, transportes, instalações e

fluxos de informação. As diferenças entre cadeias responsivas e as eficientes podem ser as seguintes:

	Cadeia eficiente	Cadeia responsiva
Objetivo principal	Suprir demanda no menor	Responder rapidamente à
	custo	demanda
Estratégia de design	Maximizar performance no	Criar modularidade para
	menor custo possível	permitir postergação da
		diferenciação de produto
Estratégia de preços	Baixas margens	Altas margens
Estratégia de manufatura	Baixos custos através de	Flexibilidade na
	alta utilização	capacidade para atender
		demanda
Estratégia de estoques	Minimizar estoques para	Manter estoque de
	reduzir custos	segurança para atender
		demandas inesperadas
Estratégia de tempo de	Reduzir sem que isso	Reduzir agressivamente,
suprimento	impacte em custos	mesmo que impacte em
		custos
Estratégia de	Selecionar baseado em	Selecionar baseado em
fornecedores	custo e qualidade	velocidade, flexibilidade e
	-	qualidade
Estratégia de transporte	Foco em modais de baixo	Foco em modais
	custo	responsivos
Estratégia de localização	Locais de baixo custo, com	Ampla rede de distribuição,
-	centralização de	com instalações próximas
	instalações.	aos clientes

Tabela 2. Diferenças entre cadeia de suprimento responsiva e eficiente

Fonte: CHOPRA (2001)

No caso de uma empresa que atue em segmentos que demandem tipos diferentes de cadeias de suprimentos, uma possível estratégia poderá ser compartilhar elementos da cadeia para obter a melhor eficiência possível na operação, porém ao mesmo tempo manter a capacidade de diferenciar padrões de cadeia responsiva ou eficiente para cada segmento.

A estratégia para a cadeia de suprimentos poderá variar de acordo com a fase do ciclo de vida em que o produto se encontra. Na fase de introdução do produto, a demanda

tende a ser incerta e margens de lucro são altas levando a um alto custo de perda de venda e resultando com isso na necessidade de altos níveis de disponibilidade. Ao contrário, em produtos maduros, a demanda é menos incerta e as margens são menores. Assim, alterando "Demanda certa/Demanda incerta" no gráfico de alinhamento estratégico exibido anteriormente por "Produto maduro/Introdução de produto", pode-se visualizar a faixa onde a empresa deve se posicionar.

De acordo com COHEN (2006), o negócio ligado a serviços passou a se tornar estratégico para as empresas a partir de 1990 devido à redução na demanda, intensificação da competição e conseqüente impacto nas margens de lucro obtidas com a venda de produtos. Com isso, o foco passou a ser não mais empurrar os produtos para os clientes, mas maximizar o valor obtido pelos clientes com o uso do produto, que no fim é o que realmente se espera obter de retorno ao reembolso efetuado no momento da compra, e em obter lucros ao fazer isso. O negócio de serviços engloba venda de peças de reposição e serviços como reparos, instalação de *upgrades*, recondicionamento, inspeção e manutenção de equipamento, suporte técnico, consultoria e treinamento.

Apesar do alto potencial de retorno ligado a serviços, as empresas nunca deram a devida atenção às atividades relacionadas devido à sua característica dificuldade de gerenciamento. Neste ponto destaca-se a parte relativa à disponibilidade de peças de reposição, onde os estoques representam altos investimentos necessários para as empresas (na média 10% do faturamento total), giram pouco (normalmente em torno de uma a duas vezes ao ano), se tornam rapidamente obsoletas (em torno de 23% ao ano) e no fim não oferecem a disponibilidade adequada para prover um bom atendimento aos clientes. Estes fatos se devem ao alto grau de complexidade envolvido na operação ligada a peças e requer uma abordagem

diferenciada da utilizada em ambientes produtivos. A seguinte tabela ilustra as diversas diferenças existentes entre os dois tipos de cadeia de suprimentos:

Parâmetro	Cadeia de Suprimentos	Cadeia de Suprimentos
	de Manufatura	de Serviços
Natureza da demanda	Previsível	Imprevisível, esporádica
Resposta requerida	Padrão, pode ser	Tão cedo quanto possível
	programada	(mesmo dia ou dia
		seguinte)
Número de SKUs	Limitado	De 15 a 20 vezes maior
Portfolio de produtos	Homogêneo	Heterogêneo
Rede de distribuição	Múltiplas redes para	Uma única rede capaz de
	diferentes naturezas de	entregar diferentes
	produtos	produtos de serviço
Objetivo da gestão de	Maximizar a velocidade	Pré-posicionar recursos
estoques	dos recursos	
Logística reversa	Não gerencia	Gerencia retorno, reparo e
		eliminação e componentes
		defeituosos
Métrica de performance	Nível de atendimento (fill	Disponibilidade do produto
	rate)	(uptime)
Giro de estoque	De 6 a 50 ao ano	De 1 a 4 ao ano

Tabela 3. Diferenças entre cadeias de suprimento de manufatura e de serviços Fonte: COHEN (2006)

Para melhorar os níveis de qualidade no serviço prestado, reduzir investimentos em ativos e cortar custos de operação, as empresas devem utilizar a seguinte abordagem sistemática:

- Identificar quais produtos suportar: Suportar todos os produtos, alguns, complementares ou também competidores.
- Criar portfolio de produtos de serviço: Posicionar produtos de serviço de acordo com tempos de resposta e preços.
- 3. Selecionar modelos de negócio para suportar os produtos de serviço: usar modelos diferentes para diferentes produtos e estágios de ciclo de vida.

- 4. Modificar estruturas organizacionais no pós-venda: Prover visibilidade, incentivos e foco em serviços.
- Desenhar e gerenciar cadeia de suprimentos de serviços no pós-venda: Decidir localização de recursos, priorizar utilização de recursos e planejar contingências.
- Monitorar performance continuamente: avaliar de acordo com benchmarks e feed-backs de clientes.

Além disso, para prestar um serviço de boa qualidade, é fundamental que as empresas entendam as necessidades dos diferentes segmentos de mercado, façam promessas coerentes aos clientes (possíveis de cumprir e que permitam lucratividade adequada) e percebam as diferenças existentes entre a cadeia de suprimentos de manufatura e a de serviços.

No desenho e gerenciamento da cadeia de suprimento de serviços, é fundamental uma definição correta de onde localizar os estoques de peças de reposição, já que estes envolvem altas somas monetárias, sua ausência pode ocasionar grandes prejuízos aos clientes, e a demanda é em grande parte difícil de prever. Este último ponto leva à necessidade de se trabalhar com probabilidades de demanda, onde decisões de estocagens são como investimentos em ações em que se espera maximizar o retorno sobre capital investido. Além disso, é fundamental a consideração de que a decisão de colocar estoque em um determinado nível da cadeia impacta as decisões de estocagem em outros níveis da cadeia. Se uma peça é armazenada em um armazém central, a necessidade por estoques em armazéns regionais tende a diminuir, e vice-versa.

No monitoramento de performance, é importante utilizar métricas relacionadas ao ponto de vista dos clientes, e não do fornecedor. Por exemplo, isto significa utilizar na medida do nível de serviço oferecido o tempo de espera por peças de reposição, que irá em grande parte determinar o índice de utilização do produto (porcentagem do tempo em que o produto estava disponível para uso), ao invés do indicador tradicional de *fill rate* (porcentagem de pedidos atendidos dentro de um prazo estabelecido), que dá para o fornecedor uma visão interna de como a empresa está utilizando seus ativos.

HUISKONEN (2001) propõe que apesar dos avanços obtidos na modelagem matemática na localização e dimensionamento de estoques em redes complexas de distribuição de peças de reposição, o uso de decisões gerenciais baseadas em conhecimento da gerência e objetivos estratégicos ainda é dominante devido ao maior controle que proporciona aos gerentes responsáveis. Nestas escolhas estratégicas, é fundamental o uso correto de segmentação das peças de reposição de acordo com critérios que sejam significativos para a rede de suporte logístico em questão. De modo geral, como características relevantes das peças de reposição o autor sugere em primeiro lugar o nível de criticidade, que pode ser definido a partir do impacto que a sua falta causa no uso do produto. Um exemplo desta característica sendo utilizada em uma decisão estratégica de localização dos estoques é a alocação de peças mais críticas em locais descentralizados que estejam mais próximos dos clientes, enquanto itens menos críticos ficam em estoques centralizados. Outras características relevantes das peças são preço, especificidade (se a peça é utilizada por apenas uma empresa ou por várias) e padrão de demanda.

3.1.2 Modelos de localização

BALLOU (1998) defende a hierarquização das decisões relativas à cadeia de suprimento tendo como referência o horizonte de tempo a que elas estão atreladas. Assim, decisões em nível estratégico envolvem longos horizontes de tempo, geralmente maiores que um ano, e trabalham com dados agregados. Exemplos são decisões de número e localização de centros de distribuição. Decisões em nível tático envolvem entre alguns meses e um ano, e um exemplo pode ser a definição do nível de estoque de cada peça de reposição a ser mantido em cada centro de distribuição. Já decisões em nível operacional envolvem normalmente algumas semanas e trabalham dados detalhados, muitas vezes em tempo real. Bons exemplos deste nível hierárquico são decisões de ressuprimento de peças de reposição em um determinado centro de distribuição, incluindo a determinação da fonte de suprimento a ser utilizada. Outro ponto relevante mencionado por Ballou é a existência de *trade-offs* nas decisões da cadeia de suprimento, tanto no mesmo nível hierárquico quanto em níveis distintos, como localização de depósitos, níveis de estoque e tamanho de lotes a serem utilizados nos ressuprimentos.

As abordagens atuais, segundo BALLOU (1998), são:

- Métodos de otimização Modelos matemáticos que, a partir da definição de variantes, constantes e restrições buscam resultados ótimos para o objetivo pretendido.
- Métodos de simulação através da modelagem do sistema, se faz a replicação de sua operação buscando a configuração com melhores resultados medidos.

- Métodos analíticos baseados na análise de dados e na experiência de profissionais.
- Métodos heurísticos utilização de conjunto de regras que tentam simular raciocínio de um analista.
- Expert Systems uso de inteligência artificial que combina elementos quantitativos e qualitativos
- Os métodos mais frequentemente utilizados nos estudos de localização e configuração de redes logísticas são os heurísticos e os de otimização. Os métodos de otimização são comumente utilizados pela característica de garantir o encontro da melhor solução possível do problema. Entretanto, como os métodos de otimização apresentam aumento exponencial de complexidade à medida que o número de alternativas testadas aumenta, procedimentos heurísticos são executados, anteriormente à execução dos modelos matemáticos de otimização, para gerar um número limitado de alternativas a serem testadas durante a otimização e propiciar assim uma redução no tempo de processamento necessário.

HALE et al. (2003) oferece uma perspectiva histórica sobre o desenvolvimento da pesquisa relacionada a localização de instalações. Ele faz uma seleção de artigos que inquestionavelmente contribuíram neste desenvolvimento: Weiszfeld, 1937; Weber, 1909; Chrystal, 1885; Hotelling, 1929; Hakimi, 1964; Cooper, 1963. WEISZFELD⁸ (1937 apud HALE, 2003) e WEBER⁹ (1909 apud HALE, 2003) propuseram o algoritmo de mediana

_

⁸ Weiszfeld, E. (1937). "Sur le point pour lequel la somme des distances de n points donnes est minimum." Tohoku Mathematical Journal 43, 355–386.

⁹ Weber, A. (1909). Ueber den Standort der Industrien. Erster Teil. Reine Theorie der Standorte. Mit einem mathematischen Anhang von G. Pick. Tübingen, Germany: Verlag J.C.B. Mohr.

euclidiana espacial. CHRYSTAL¹⁰ (1885 apud HALE, 2003) forneceu a solução geométrica para o problema de localização de um centro para cobertura de pontos em um plano. HOTELLING¹¹ (1929 apud HALE, 2003) foi quem primeiro investigou a nocão de localização de instalações com fator competição. Já HAKIMI¹² (1964 apud HALE, 2003) foi quem primeiro propôs o problema de p-mediana em uma rede. Por fim, COOPER¹³ (1963) apud HALE, 2003) propôs tanto equações exatas como métodos heurísticos para problemas de localização e alocação.

OWEN et al. (1998) chama a atenção para a importância de considerar fatores estocásticos e dinâmicos ao avaliar a localização de instalações. Como essas decisões se situam em nível estratégico, impactam os resultados da empresa por longos períodos de tempo, onde mudanças de cenário são altamente prováveis e podem tornar decisões que no presente são boas em decisões inadequadas no cenário futuro.

Dentre os métodos de otimização para localização de instalações, podemos distinguir 3 tipos principais segundo OWEN et al. (1998):

- o Modelos de mediana: Têm como objetivo minimizar a distância média viajada por quem visita as instalações, ponderada pelo volume de viagens realizadas, respeitando restrição de número de instalações. São normalmente utilizados para localizar centros de distribuição de mercadorias.
- o Modelos de cobertura: Têm como objetivo, respeitando restrição de número de instalações, maximizar demanda coberta dentro de distância máxima estipulada.

¹² Hakimi, S.L. (1964). "Optimum Locations of Switching Centres and the Absolute Centres and Medians of a Graph." Operations Research 12, 450–459.

13 Cooper, L. (1963). "Location–Allocation Problems." Operations Research 11, 331–343.

¹⁰ Chrystal, G. (1885). "On the Problem to Construct the Minimum Circle Enclosing n Given Points in the Plane." Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society 3, 30–33.

¹¹ Hotelling, H. (1929). "Stability in Competition." Economic Journal 39, 41–57.

São normalmente utilizados para localizar serviços públicos como livrarias e escolas.

Modelos de distância máxima: Têm como objetivo minimizar o número de instalações necessárias para que a distância máxima estipulada seja respeitada para todas as possíveis demandas. São normalmente utilizados para localizar serviços de emergência, como por exemplo corpo de bombeiros.

KLOSE et al. (2003) faz uma revisão das principais contribuições para o que se considera estado da arte em termos de modelos de localização. Ele procura classificar os modelos de acordo com os seguintes critérios:

- A forma das potenciais localizações das plantas (modelos no plano, modelos de localização de rede, localização discreta ou programação inteira mista).
- Objetivos de minimização da soma de distâncias (comuns em empresas privadas)
 ou minimização da distância máxima (comuns em empresas públicas).
- Modelos com ou sem restrição de capacidade.
- Modelos de estágio único ou multi-elo.
- Modelos de produto único (produtos homogêneos o bastante para serem consolidados em um único) ou modelos multi-produto
- Modelos de demanda elástica ou inelástica
- Modelos estáticos ou dinâmicos
- Modelos determinísticos ou probabilísticos
- Modelos com alocação de demanda isolada para cada demanda-suprimento e modelos combinados de localização/roteirização.

BALLOU (1984) chama atenção para a interdependência entre decisões de quantidade e localização de instalações e decisões de níveis de estoque. Segundo ele, os modelos atuais ou ignoram esta interdependência ou a tratam como linear, o que não ocorre na maioria dos problemas. O artigo propõe que, para escolher o modelo a ser utilizado (simulação, heurística ou modelos exatos), seja feita uma avaliação nas necessidades daqueles que irão implantar os resultados obtidos. Além disso, é importante que o modelo escolhido tenha as seguintes características, em ordem de importância:

- Considere os custos relevantes associados a uma decisão de localização de modo fidedigno ao ambiente operacional em que o problema está inserido para que os implantadores dos resultados tenham segurança de que o modelo representa o problema de modo adequado. Estes custos são:
 - Custos de compra/produção.
 - Custos de carregamento de estoque (armazenagem, capital, seguro e impostos).
 - Custos de pedidos (de cliente e de ressuprimento).
 - Custos de processamento do depósito (recebimento e envio de materiais).
 - Custos relacionados ao nível de serviço aos clientes, que devem ser tratados como restrição no modelo.
- Apresente necessidade de dados e custos de execução aceitáveis do ponto de vista dos usuários.
- o Foque mais na descrição correta e precisa do problema do que na garantia da solução ótima. Neste ponto, métodos heurísticos levam vantagem sobre os exatos porque possibilitam a consideração de todos os custos relevantes, e a possível diferença de custo entre sua solução e a ótima é quase sempre irrelevante.

 Facilitar à gerência da empresa uma boa compreensão do problema através de análises de sensibilidade e da direção em que o sistema de distribuição poderia ser alterado para alcançar ganhos de custos.

Com estas considerações, o autor propõe o uso de um método misto de heurística com programação linear, chamado DISPLAN, para uma solução adequada do problema. Nele iterações sucessivas da programação linear intercaladas com procedimentos heurísticos são efetuadas para cada produto separadamente, tendo os custos de estoque e armazenagem atualizados e linearizados para valores unitários em cada uma delas (na iteração inicial é considerado que todos os possíveis armazéns são utilizados). Neste método, os custos fixos podem ser subestimados, porém isto resulta em erro tipicamente não superior a 0,1%. Os níveis de estoque são definidos pelo fluxo de materiais elevado a 0,7 em cada depósito de peças. O autor alega que o método já foi utilizado com sucesso em diversos tipos de problemas, incluindo localização de estoques de peças de reposição de dutos de combustível.

GOETSCHALCKX et al. (2002) menciona ganhos significativos experimentados ao considerar decisões em nível tático, como níveis de estoque e fluxos de materiais, na solução de problemas em nível estratégico, como localização de instalações.

NOZICK et al. (2001) aponta o fato de que o desenho de um sistema logístico eficiente impacta diversos fatores, como custo operacional, nível de atendimento a clientes e níveis de carregamento de estoque. Estes fatores podem representar objetivos conflitantes que forcem a utilização de trade-offs para o alcance de objetivos globais, o que demonstra a importância de serem considerados conjuntamente. O artigo propõe a consideração dos níveis de estoque no modelo de programação linear utilizado para decisão de localização, porém

chamando atenção de que a forma utilizada para estimar o estoque só pode ser aplicada para problemas onde o número de centros de distribuição é grande e portanto o estoque de segurança pode ser aproximado por função linear.

Para SHEN et al. (2005), ao desenhar seus supply chains, as empresas devem buscar a otimização de três custos principais, que estão fortemente inter-relacionados: custos fixos das instalações, custos relacionados a estoques e custos de distribuição. Apesar de haver uma extensa teoria sobre localização de instalações, apenas recentemente a consideração conjunta dos problemas de localização e determinação dos níveis de estoque começou a ser pesquisada. Estudos recentes de DASKIN (2002) e SHEN et al. (2007) indicam, entretanto, que modelos tradicionais de localização, que não incluem os custos dos estoques, sempre subestimam o custo total e com isso sugerem a abertura de mais centros de distribuição do que o modelo de localização-estoque. Outra consideração fundamental que não pode ser ignorada no desenho de supply chains é o balanceamento entre custo total e nível de serviço, já que a localização dos centros de distribuição irá impactar diretamente os tempos de atendimento aos clientes, dadas as distâncias entre demanda e ponto de suprimento. A proposta do artigo para tratar esta gama de fatores no problema de localização é a utilização de modelo discreto não linear de localização multi-objetivo. Dentre os vários tipos deste modelo citados, o artigo menciona a utilização de simulação como ferramenta de validação destes modelos. As abordagens de solução propostas pelo artigo são o método de balanceamento de pesos (weighting) e, como alternativa para problemas complexos em que o tempo computacional é proibitivo, a heurística de algoritmo genético. Para levar em consideração de forma não linear o estoque de segurança, a demanda em cada distribuidor é assumida como tendo uma distribuição normal, os estoques em cada localização são determinados de forma independente das demais localizações e os tamanhos de lote são calculados com a fórmula de lote econômico. O nível

de serviço é determinado pela fração de demanda que é atendida até um limite de uma determinada distância.

Para resolver problema estratégico de localização de unidades produtivas e de distribuição na cadeia de suprimentos, SHEN et al. (2007) propõe o uso de programação inteira não linear junto com o método de relaxação lagrangeana. Os estoques são determinados a partir do desvio padrão da demanda, que é assumida como apresentando distribuição normal.

Para SYAM (2002) os custos logísticos, como de carregamento de estoque, de pedido e de transporte, estão altamente relacionados com os custos relativos a localização de depósitos, e portanto ambos deveriam ser considerados conjuntamente. O autor propõe modelo utilizando relaxação lagrangeana e heurística de *Simulated Annealing* para resolver o problema, já que a extrema dificuldade do modelo exato o torna quase impossível de ser resolvido.

POWEL (2005) aponta vantagens e desvantagens de uso dos métodos de simulação e de otimização através de programação linear. Por um lado, métodos de otimização tendem a ser privilegiados por acadêmicos pela inteligência envolvida na solução dos problemas e a garantia de se encontrar a melhor solução. Acontece que esta melhor solução é dada assumindo diversos fatores como previamente definidos, sendo que eles nem sempre são plenamente conhecidos no mundo real. Já na simulação é possível representar com bastante aderência, através de regras, a alta complexidade e as diversas incertezas envolvidas em uma operação. Como essas regras estabelecidas podem ser ajustadas e testadas com relativa facilidade, as pessoas envolvidas diretamente nas operações sendo avaliadas costumam

preferir a simulação devido a esta flexibilidade. O artigo sugere que, para problemas de alocação de recursos, os dois tipos de métodos possam ser utilizados conjuntamente buscando se utilizar das vantagens de cada um deles.

HINOJOSA et al. (2008) afirma que a consideração dos níveis de estoques é fundamental para definir de forma realista uma rede de distribuição. Como método de solução foi utilizado programação linear inteira mista com relaxação lagrangeana e outros dois algoritmos heurísticos (PCAPACITY e *Interchange*) para reduzir o tempo de processamento computacional. A heurística *neighborhood search* é também sugerida para este tipo de problema. O autor argumenta que o tempo de processamento é relevante porque análises estratégicas tipicamente envolvem execuções sucessivas do modelo quantitativo intercaladas com análises envolvendo fatores qualitativos. O artigo não deixa claro como foram determinados os níveis de estoque e seu conseqüente custo de carregamento.

PIRKUL et al. (1998) utilizam programação linear inteira mista junto com procedimento heurístico baseado em relaxação lagrangeana para resolver problema de localização multiproduto, multiplanta com restrição de capacidade.

KESKIN et al. (2007) utilizam um algoritmo heurístico baseado em *scatter search*, incluindo também rotinas de *local search* e *path-relinking*, para resolver problema de localização de dois estágios e com restrição de capacidade. A comparação com método exato mostrou gap inferior a 1% em relação à solução ótima, sendo que significativos ganhos de performance computacional foram obtidos. Segundo sua pesquisa bibliográfica, os métodos heurísticos utilizados em problemas de localização de p-mediana são: heurística *interchange*,

algoritmos genéticos, pesquisa tabu, *simulated annealing*, *scatter search*, *greedy randomized adaptive search*, e uma heurística baseada em programação dinâmica.

Segundo ROBINSON (1994), o uso nas empresas de pesquisa operacional para decisões de quantidade e localização de centros de distribuição é pequeno, sendo o uso do método de cenários mais freqüente. O motivo mais relevante para isto é a complexidade dos métodos exatos e o tempo e recursos requeridos para sua utilização. Além disso, o nível de complexidade dos problemas tem crescido muito, tornando sua representação em modelos ainda mais difícil, e os gerentes tendem a confiar em suas habilidades cognitivas e de estruturação. O artigo conclui que a performance das análises humanas está diretamente ligada ao tamanho dos problemas considerados.

3.1.3 Heurísticas

Segundo GLOVER (2003), meta-heurísticas são métodos que organizam uma interação entre procedimentos de melhoria local com estratégias de alto nível para criar um processo capaz de escapar de ótimos locais e realizar uma busca robusta no espaço de soluções. Estes métodos têm sido bastante utilizados ultimamente para resolver diversos tipos de problemas complexos, de forma particular aqueles de natureza combinatória, pois têm se mostrado extremamente eficazes ao prover soluções próximas de ótimas em tempos de processamento razoáveis. Apesar de não garantirem soluções ótimas para os problemas como acontece em modelos exatos, estes últimos frequentemente resultam em tempos de processamento que inviabilizam sua utilização. Além disso, algumas aplicações bem sucedidas de modelos exatos incorporam estratégias meta-heurísticas.

De acordo com SUCUPIRA (2004), existe uma enorme variedade de problemas onde meta-heurísticas podem ser utilizadas com os devidos ajustes a cada situação específica. Assim, este método é composto por uma estrutura algorítmica geral que pode ser aplicada a diferentes problemas após algumas customizações. Alguns exemplos de meta-heurísticas são: simulated annealing, busca tabu, iterated local search, algoritmos evolutivos e ant colony optimization. Por descreverem métodos adaptáveis, as meta-heurísticas fornecem idéias que podem ser aplicadas aos problemas de otimização para os quais não são conhecidos algoritmos. Os diferentes tipos de meta-heurísticas são:

- Meta-heurísticas construtivas: Uma meta-heurística construtiva estabelece estratégias para a construção de uma solução através da definição, de forma meticulosa, do valor de cada uma de suas componentes. A estratégia mais clássica utilizada é a chamada gulosa, que em processo iterativo adiciona um elemento à solução parcial de forma a obter os melhores resultados imediatos possíveis. Um exemplo de meta-heurística construtiva que utiliza essa estratégia é a GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure), que parte de solução parcial vazia e só adiciona elementos que não tornam a solução inviável.
- Meta-heurísticas de relaxação: As meta-heurísticas de relaxação realizam alterações na modelagem original do problema a ser resolvido, construindo, desta maneira, um problema mais simples problema relaxado -, cuja solução pode ser encontrada com eficiência, fornecendo informações que guiarão o algoritmo na busca da solução do problema original. Um exemplo é a relaxação lagrangeana, que transfere restrições para função objetiva aplicando multiplicador Lagrangeano sem alterar o ótimo do problema.
- Meta-heurísticas de busca por entornos: Estas podem ser definidas como procedimentos que percorrem espaços de busca (compostos por soluções) levando

fundamentalmente em conta, em cada passo, a vizinhança da solução em mãos. Seguem exemplos:

- Meta-heurística hill-climbing (básica): não garante ótimo global pois corre
 o risco de se restringir um espaço limitado das soluções possíveis.
- Meta-heurísticas de partida múltipla, ou Variable Neighborhood Search
 (VNS): varia os contornos para aumentar chance de alcançar ótimo global.
- Busca Local Guiada (Guided Local Search): é uma extensão dos métodos de hill-climbing que penaliza componentes recursivos.
- Simulated Annealing: Permite entornos com custo superior, podendo determinar a probabilidade de essa escolha acontecer.
- Threshold Accepting: variação do Simulated Annealing.
- Busca Tabu: é uma meta-heurística de busca não-monotônica cuja principal característica é a capacidade de exploração do histórico do processo de busca, organizado em estruturas que compõem o que se chama de memória adaptativa.
- Meta-heurísticas evolutivas: lidam com uma população de soluções (possivelmente inviáveis) que evolui através da interação entre seus elementos, procurando preservar as características desejáveis (de forma a melhorar, ao longo das gerações, a qualidade média das soluções), sem comprometer a diversidade dentro da população. Exemplos de meta-heurísticas evolutivas são:
 - Algoritmos genéticos: cada elemento da população é chamado cromossomo e uma solução é composta por uma sequência de símbolos chamados genes. De modo similar à que ocorre na genética, a evolução das soluções ocorre pela mutação de um dos genes, o que tem baixa probabilidade de ocorrer, e pela recombinação de informações genéticas de

- duas soluções distintas, onde aquelas que apresentam baixos resultados têm baixa probabilidade de ser escolhidas.
- Algoritmos meméticos: Derivam dos algoritmos genéticos, incorporando processos de busca por entornos de soluções individuais.
- Algoritmos de estimação de distribuição: inicialmente constrói população de soluções aleatoriamente. Depois, realiza seqüência de iterações onde: seleciona elementos mais aptos da população, estima a freqüência com que cada característica possível das soluções aparece no conjunto de soluções, e substitui a população atual por uma nova de acordo com a probabilidade calculada através dessas freqüências.
- Busca dispersa (*scatter search*): emprega técnicas sistemáticas (não aleatórias) na substituição de uma população por outra, promovendo intensificação e diversificação através de mecanismos que se assemelham à busca tabu. É interessante mencionar que conforme GLOVER (1995), a busca dispersa apresenta características complementares aos algoritmos genéticos que podem melhorar sua performance, fazendo com que não se limitem necessariamente à metáfora genética.
- *Path relinking*: é uma extensão da busca dispersa.
- Outros tipos de meta-heurísticas (utilização de algum recurso computacional especial ou por incorporarem intensamente elementos de mais de um tipo de metaheurística):
 - Meta-heurísticas de decomposição: misto de métodos construtivos e de relaxação.
 - Redes neurais artificiais: adaptação de função de acordo com dados de entrada e de saída.

- Ant Colony Optimization: "formigas" artificiais deixam rastros nas soluções pelas quais passam para que se saiba as mais frequentemente utilizadas.
- Otimização Extrema: em cada iteração, remove pior componente.
- Particle Swarm Optimization (pássaros em revoada): ponderação entre individualidade (melhor solução do componente) e sociabilidade (melhor solução dos outros componentes).
- Fuzzy Adaptive Neighborhood Search: Generalização do Simulated
 Annealing com critério de aceitação de novas soluções.
- Hiper-heurística: Uma hiper-heurística tem a função de viabilizar a utilização inteligente de diversos métodos heurísticos no mesmo processo de resolução de um problema. Mais especificamente, uma hiper-heurística é uma heurística que é ativada a cada ponto de decisão de um algoritmo, determinando a melhor heurística a ser utilizada no próximo passo da resolução.

Para JONES et al. (2002), as meta-heurísticas possuem as vantagens de serem naturalmente discretas, e portanto pouparem recursos computacionais em problemas complexos, e de apresentarem grande flexibilidade na resolução de diversos tipos de problemas encontrados no mundo real. Por outro lado, possuem as desvantagens de não garantirem o encontro de solução ótima, e requererem ajustes de diversos parâmetros até que se encontre solução razoável para um problema específico. À luz destas considerações, a validade de seu uso deve ser avaliada em cada situação particular.

3.1.4 Planejamento de peças de reposição

Segundo MUCKSTADT (2004), existem diversos tipos de políticas de estoque, que variam desde o clássico ponto de reabastecimento/quantidade de reabastecimento para uma localização específica (s,S), onde quando quantidade de estoque subtraída da quantidade em ordens de venda abertas e somada da quantidade em pedidos de ressuprimento abertos for inferior a s uma quantidade igual a S é sugerida para ressuprimento, até modelos que consideram o estoque disponível no elo como a soma daqueles disponíveis na própria localização considerada mais os das localizações de elos inferiores da cadeia de ressuprimento. Uma consideração importante a ser feita é se os modelos são contínuos ou periódicos, ou seja, o nível estoque é checado a cada certo intervalo de tempo que deve estar contido no tempo de ressuprimento total do item.

Uma classe de política de estoques para qual MUCKSTADT (2004) dá grande foco é a chamada de estoque base (s-1, s), onde toda vez que ocorre consumo de material a mesma quantidade é ressuprida. Segundo o autor demonstra em seu livro, esse é o modelo mais indicado para os itens de demanda rarefeita e grande valor agregado, onde o custo de pedido é irrelevante quando comparado ao valor das peças consideradas.

Para MUCKSTADT (2004) o estoque de segurança de uma política de estoque deve ser determinado tanto em função da variabilidade da demanda como da variabilidade do tempo de ressuprimento, pois ele tem função de absorver ambas.

MUCKSTADT (2004) faz críticas ao *fill rate* (porcentagem de pedidos atendidos dentro de um prazo estabelecido) sendo a medida de performance tradicionalmente mais

utilizada porque não avalia por quanto tempo o porcentual de ordens perdido ficou sem ser atendido, o que impacta em grande parte o nível de satisfação dos clientes, e porque mistura em uma mesma medida os mais variados tipos de itens, sendo que uma média de 95% poderia resultar de uma classe de itens com 100% de atendimento e outra classe com 0%. Uma medida mais útil seria o porcentual médio de equipamentos operacionais.

Segundo demonstrado por MUCKSTADT (2004), a definição dos níveis ótimos de estoque em uma rede de dois elos com demanda rarefeita que se comporta como distribuição de probabilidades Poisson utilizando modelos exatos é inviável do ponto de vista computacional. Como alternativa, o autor sugere o uso do clássico modelo METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) ou suas variações, baseado em aproximação do modelo exato de resolução computacional mais fácil. Esse modelo foi construído inicialmente para a força aérea americana, onde além de um depósito central existe um conjunto de bases contendo estoques de peças de reposição para suportar a operação de aviões. Quando um equipamento, chamado de Line Replaceable Unit (LRU) falha, ele é removido do avião e uma nova unidade é posta no lugar. A peça removida é então reparada na própria base ou no depósito central. Como o custo das peças e alto e a demanda é baixa, o modelo de estoque base é utilizado tanto nas bases como no depósito central, e é assumido que as peças podem sempre ser reparadas. A demanda é considerada com tendo distribuição de probabilidade Poisson. O objetivo definido para o modelo é a minimização da quantidade média de demandas por peças pendentes, pois segundo o autor demonstra isto equivale com um alto grau de aderência a maximizar a média de aeronaves operacionais, que pode ser considerado o indicador de disponibilidade da frota.

O modelo METRIC apresenta dois métodos diferentes de solução do problema de minimização da média de demandas pendentes de peças sujeito a restrição de nível de investimento, que são o algoritmo de análise marginal, que é uma heurística construtiva do tipo *greedy* (gulosa), e a relaxação lagrangeana. A idéia do algoritmo de análise marginal é: dado um estoque no depósito central, deve-se adicionar a próxima unidade em estoque para a base onde a redução no nível de *back order*, ou pedidos de cliente que não encontram a peça disponível em estoque, se mostrar maior, sendo que a rotina se inicia com nível de estoque zero. O autor demonstra matematicamente que o estoque ótimo do depósito central fica quase sempre no intervalo $[(\lambda_i D_i, 2 * (\lambda_i D_i)^{1/2} + \lambda_i D_i]$, onde λ_i é a taxa de demanda para o item i no depósito central e Di é o tempo de ressuprimento no depósito central. Este será portanto o intervalo onde o método de busca irá buscar a melhor solução.

Segundo WONG et al. (2005) a indústria de aviação carrega algo em torno de US\$ 32 bilhões em estoques de peças de reposição para manter os aviões voando. Uma forma de reduzir os investimentos em estoques de peças de reposição é o *multi-item approach*, como apontado por SHERBROOKE (2004), quando as decisões de estoque são tomadas para todas as peças conjuntamente ao invés de individualmente, e a formação de pool de peças, que são centralizadas em uma localização e pode sofrer transferências em um mesmo elo da cadeia. Segundo o autor, o uso da abordagem multi-item pode resultar em ganhos entre 10% e 25% e o uso da prática de *pooling* resulta em ganhos na ordem de 25%.

WONG et al. (2005) avaliam quatro diferentes heurísticas para definir políticas de estoques próximas do ótimo para sistema de peças de reposição reparáveis multi-item, multi-localizações e com modelo de revisão contínuo. A heurística do tipo *greedy*, utilizada para

inicialização, combinada com a heurística de *local search*, foi a que se saiu melhor em termos de tempo de processamento e custos totais.

LEE et al. (2005) propõe o uso de simulação dinâmica para avaliar políticas de estoques de peças de reposição reparáveis, sendo que um modelo de otimização é utilizado para determinar as políticas a serem testadas.

BATCHOUN (2003) utiliza um algoritmo genético para alocar quantidades de peças de reposição de aeronaves em aeroportos, sendo estes supridos por um estoque central.

ZANONI et al. (2005) utilizam simulação dinâmica no software ARENA em conjunto com o recurso OptQuest da mesma ferramenta para buscar variáveis ótimas de decisão. De acordo com Kelton et al (2002), além de programação inteira este recurso utiliza diversos tipos de heurística, como busca tabu, *scatter search* e redes neurais, para definir os valores das variáveis.

3.1.5 Modelos de Simulação

DIAS et al. (1998) propõem o uso de simulação dinâmica atrelada a um método de busca para determinar políticas de estoque de peças de reposição. A simulação é a tentativa de replicação de um sistema real, onde se procura:

- o Imitar uma situação real matematicamente.
- o Estudar seu comportamento.
- o Tirar conclusões e tomar decisões com base na simulação.

A simulação oferece as seguintes vantagens:

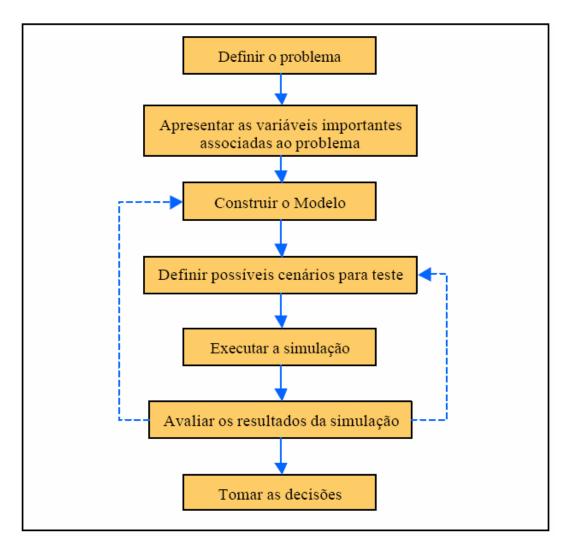
- A modelagem de sistemas reais obriga a organização a entender o papel de cada componente do sistema e as possíveis interações entre elas.
- O desenvolvimento do modelo de simulação ajuda a organização a separar os parâmetros controláveis daqueles que não são controláveis e estudar a influencia de cada um deles sobre os sistemas.
- O resultado da simulação permite que a gerência avalie os recursos necessários, ou ainda como os recursos disponíveis devem ser alocados.
- o É uma técnica flexível com relação às limitações impostas aos modelos.
- Aplica-se à análise de problemas de grande escala e complexidade que não podem ser resolvidos por técnicas tradicionais de gestão de operações.
- Particularidades da situação real podem ser consideradas, como por exemplo a utilização de qualquer curva de probabilidade que o problema exija, e que seja diferente do padrão assumido por técnicas analíticas.
- o Permite a análise de longos períodos num curto espaço de tempo.
- Permite a análise de sensibilidade do tipo what-if (o que aconteceria se...). Várias
 políticas de decisão podem ser testadas e comparadas rapidamente.
- A simulação possibilita o estudo individual de cada componente ou variável do modelo para determinar qual é realmente importante.
- Em suma, para aqueles problemas que na prática são resolvidos por regras intuitivas (*rules of the thumb*) a simulação é uma ferramenta forte para o apoio a decisão permitindo que soluções potencialmente boas sejam encontradas.

Por outro lado, a simulação apresenta as seguintes desvantagens:

- Um bom modelo de simulação pode se tornar caro e levar vários meses para desenvolvimento, especialmente quando os dados são de difícil obtenção.
- Apesar dos novos softwares de simulação possuírem ferramentas de busca que podem ajudar na obtenção de bons resultados, a simulação não é uma técnica otimizante.
- A simulação não gera bons resultados sem inputs adequados. A construção e a alimentação do modelo requerem um trabalho árduo e criterioso.
- Cada modelo de simulação é único. Geralmente não é possível a utilização de um modelo em diferentes situações, prejudicando a possibilidade de ganhos de escala.

De acordo com HEIZER; RENDER (1999) o uso de simulação deve seguir as seguintes etapas:

- 1. Definir o problema;
- 2. Apresentar as variáveis importantes associadas ao problema;
- 3. Construir o modelo;
- 4. Definir possíveis cenários para teste;
- 5. Executar a simulação;
- 6. Analisar os resultados da simulação (ajustar o modelo);
- 7. Tomar as decisões;



Esquema 5. Etapas de um Processo de Simulação Fonte: HEIZER e RENDER (1999)

3.2 Discussão sobre literatura

A literatura avaliada oferece os fundamentos necessários para realização do trabalho, porém de forma segmentada. Isto significa que todos os elementos conceituais e metodológicos estão presentes, mas de forma desagrupada em relação ao conjunto de temas abordado nesta dissertação.

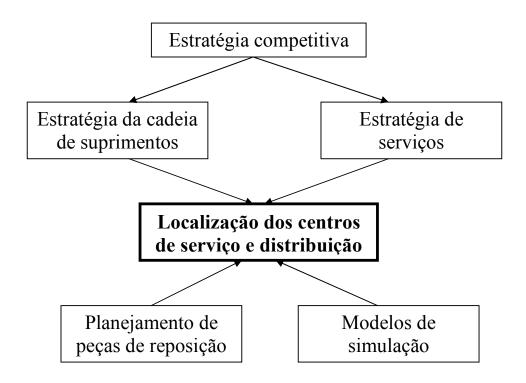
A estratégia competitiva e seus desdobramentos para estratégia funcional de cadeia de suprimentos, provendo os parâmetros de performance desejados para suportar a visão estratégica da empresa, possuem uma teoria com estrutura clara. Ao mesmo tempo, muito tem sido pesquisado sobre o papel estratégico que a área de serviços, com sua cadeia de suprimentos peculiar, está assumindo para as empresas devido ao seu potencial de oferecer diferenciação e altos níveis de lucratividade. Ainda assim, a conexão entre os assuntos, abrangendo o desdobramento da estratégia competitiva na estratégia da cadeia de suprimentos específica de serviços ainda não apresenta um nível de profundidade adequado. Neste estudo, a entrada em um novo mercado, o de aviões executivos, com um esforço de diferenciação faz parte de forma muito clara da estratégia competitiva da empresa. Como neste mercado onde os produtos possuem altíssimo valor agregado a qualidade dos serviços pós-venda oferecidos é crucial para a satisfação dos clientes e a diferenciação da empresa em relação aos seus concorrentes, justifica-se o uso como restrição de níveis de serviço que estejam entre os maiores do mercado durante a definição da solução do problema. Além disso, estamos tratando de um produto novo em um mercado onde a demanda apresenta grande variabilidade, dois fatores que segundo CHOPRA (2001) sugerem a necessidade de uma cadeia de suprimentos responsiva. Assim, a rede de distribuição e serviços será definida de forma alinhada à estratégia da empresa.

Foi encontrada extensa literatura, na maior parte relativamente recente, sobre modelos de localização que consideram na sua formulação custos logísticos como custos de carregamento de estoques, de transporte e de processamento de pedidos. Com isso, espera-se obter resultados mais aderentes à realidade operacional do cenário considerado no problema de localização, e assim ganhar mais credibilidade frente aos usuários dos modelos. Da mesma

forma acontece com modelos de planejamento de peças de reposição, que têm recebido grande atenção nos últimos anos devido às suas inerentes complexidade, peculiaridade (sobretudo por causa da demanda tipicamente rarefeita e difícil de prever) e relevância para o negócio das empresas. Entretanto, não foi encontrado artigo ou referência de modelos de localização que levassem em consideração níveis de estoque de peças de reposição, o que naturalmente representa uma complexidade adicional já que pelos motivos comentados os níveis de estoque não poderiam ser estimados do modo tradicional, mesmo considerando não-linearidade.

Na literatura foram encontrados modelos distintos para instalações prestadoras de serviço e centros de distribuição de material, porém não para ambos conjuntamente. E este será o caso estudado, pois os centros prestadores de serviços de manutenção a aeronaves também serão utilizados para armazenagem de peças.

Assim, do ponto de vista conceitual e metodológico, a dissertação estará fundamentada em um encadeamento da teoria avaliada sobre estratégia competitiva e seu desdobramento para estratégia funcional de cadeia de suprimentos, relevância estratégica da área de serviços, modelos de localização que consideram custos logísticos, modelos de localização de centros prestadores de serviço e modelos de planejamento de peças de reposição. De forma esquemática, pode-se representar este encadeamento de assuntos, onde localização destaca-se como tema central, do seguinte modo:



Esquema 6: Encadeamento de assuntos da dissertação

4 Método

4.1 Método utilizado

O método que se pretende utilizar para resolver o problema é o de simulação dinâmica em conjunto com uma heurística de busca para que, dentro do cenário de grande complexidade do problema, sejam obtidos ao mesmo tempo um alto nível de aderência do modelo à operação real do sistema e tempos de processamento que viabilizem a análise de diferentes alternativas. Esta proposta está baseada nas constatações feitas a partir da revisão de literatura, expostas a seguir.

De acordo com literatura avaliada até então, que trata da importância da consideração dos níveis de estoque em problemas de localização, o uso de métodos tradicionalmente aplicados em problemas de localização, onde se destaca o de programação inteira mista (OWEN, 1998; HALE, 2003 e KLOSE, 2003), não é adequado para tratar a complexidade da interdependência entre decisões de localização e de estoque (BALLOU, 1984; SHEN et al., 2005; SHEN et al., 2007; POWEL, 2005; NOZICK et al., 2001; SYAM, 2002; GOETSCHALCKX, 2002; HINOJOSA et al., 2008).

Além disso, existem diversas incertezas envolvidas na operação, sobretudo no que se refere ao comportamento da demanda. Isto é intensificado pelo fato dos estoques considerados serem de peças de reposição, que possuem demanda errática e altamente imprevisível, e portanto demandarem modelos específicos de planejamento, quase sempre baseados em métodos heurísticos, para determinar seus níveis ideais, como propuseram

COHEN (2006), MUCKSTADT (2004), WONG et al. (2005), SHERBROOKE (2004), LEE et al. (2005), BATCHOUN et al. (2003), ZANONI et al. (2005) e DIAS et al. (1998). De fato, alguns autores de artigos com modelos de localização que consideram custos de carregamento de estoque chamam atenção para as simplificações que tiveram que fazer para tornar o modelo viável e os casos específicos onde essas simplificações podem ser aplicadas (NOZICK et al., 2001 e SHEN et al., 2007).

Diversos artigo, como BALLOU (1984), SHEN et al. (2005), SHEN et al. (2007), SYAM (2002), HINOJOSA et al. (2008), PIRKUL et al. (1998), KESKIN et al. (2007) propõem o uso de métodos heurísticos para contornar tempos computacionais proibitivos de modelos exatos, resultantes do alto nível de complexidade do problema de localização considerando custos de carregamento de estoque. Os tipos de heurística utilizadas nos artigos pesquisados foram:

- Relaxação lagrangeana em conjunto com programação linear ou não linear: SHEN
 et al. (2007), SYAM (2002), HINOJOSA et al. (2008), PIRKUL et al. (1998)
- o Simulated Annealing: SYAM (2002).
- o Local/Neighborhood search: HINOJOSA et al. (2008) e KESKIN et al. (2007)
- o *Interchange*: HINOJOSA et al. (2008)
- o Scatter search: KESKIN et al. (2007)
- o Path-relinking: KESKIN et al. (2007)
- Iterações de programação linear com método heurístico específico: BALLOU
 (1994)
- De acordo com pesquisa feita por KESKIN (2007), os métodos mais utilizados por este tipo de problema são: heurística *interchange*, algoritmos genéticos, pesquisa tabu, *simulated annealing*, *scatter search*, *greedy randomized adaptive search*.

Os tipos de métodos de programação inteira mista utilizados em conjunto com métodos heurísticos foram:

- o Programação não linear: SHEN et al. (2005) e SHEN et al. (2007).
- Programação linear: BALLOU (1984), SYAM (2002), HINOJOSA et al. (2008),
 PIRKUL et al. (1998)

SHEN (2005) e POWEL (2005) sugerem o uso de simulação para avaliar os resultados de cada alternativa considerada, já que assim é possível garantir aderência à não linearidade e às incertezas da variedade de condições operacionais presentes no cenário avaliado.

4.2 Procedimento experimental

Para aplicar o método definido de simulação com heurística de busca será utilizado o sistema ARENA na versão 10.00.00 da empresa americana Rockwell Software. Nele é possível modelar uma operação de forma bastante realista considerando tamanho da frota, níveis de estoque, tempos, custos e suas respectivas distribuições de probabilidade para cada etapa do processo. Os resultados da simulação podem ser obtidos através da criação de variáveis. O modelo construído pode ser visualizado no APÊNDICE A — Modelo de simulação construído no sistema ARENA.

O modelo de simulação é construído no ARENA utilizando-se diferentes tipos de "processos", como são chamados no sistema, que permitem, por exemplo, criação de entidades dentro do modelo, representação de tempos incluindo consideração suas

variabilidades, atribuição de valores a variáveis e testes de condição que direcionam o encaminhamento de cada situação. O funcionamento do modelo específico desenvolvido para esta dissertação se dá da seguinte forma:

- Cada demanda por peça de reposição representa uma entidade gerada dentro do modelo. Esta geração se dá em intervalos de tempo determinados de acordo com a taxa de falha das peças, sua distribuição de probabilidade, o tamanho da frota e quantidade de peças usada em cada aeronave.
- Tendo a entidade sido gerada, o próximo passo é caracterizar a demanda em termos de para qual peça ela foi criada, o local, a prioridade e tipo (demanda programada ou não programada).
- 3. No caso de demanda ocorrida em aeroporto, o tempo de envio da peça a partir do centro de distribuição é simulado (no caso da peça não estar disponível em estoque, é contado também o tempo até a sua chegada).
- 4. No caso da realização de manutenção programada, o tempo de vôo da aeronave até o centro de serviços é simulado.
- 5. Com a demanda tendo ocorrido em um centro de serviços, se a peça estiver disponível em estoque nele mesmo, seu consumo é imediato, caso contrário o tempo de envio da peça a partir do CD é contato. Se a peça também não estiver no CD, o tempo até sua chegar é contado da mesma forma.
- 6. Assim que cada peça é consumida e a demanda é atendida, o processo de ressuprimento é iniciado. Se o estoque é consumido no CS, ele é reabastecido do CD e, sendo consumido do CD, é reabastecido a partir do fornecedor ou de um centro de reparo. No caso de peças reparáveis, com o atendimento de uma demanda também é iniciado o processo de envio da peça defeituosa para o centro de reparo.

7. Durante toda a simulação, os tempos de indisponibilidade das aeronaves, os custos de transporte e os níveis de estoque são monitorados para fornecer dados que propiciem a avaliação da performance da alternativa considerada.

Além da simulação propriamente dita, o sistema possui um módulo chamado Optquest que utiliza heurísticas de busca, como a busca dispersa (*scatter search*) exposta em GLOVER (1995), para determinar alguns parâmetros pré-determinados de modo que um objetivo seja maximizado ou minimizado. Conforme explicado no tópico sobre escolha do método, apesar das heurísticas de busca não garantirem matematicamente que se tem a melhor solução possível, neste problema é o método mais adequado para lidar com toda a complexidade existente.

Para o problema proposto nesta dissertação, foram modelados no ARENA os processos de deslocamento das aeronaves até centros de serviço para realização de procedimentos de manutenção, o atendimento de demandas de peças de reposição e o de ressuprimento dos estoques tanto no centro de distribuição como nos centros de serviço, conforme modelos expostos no tópico 1.3 Objeto estudado. As variáveis que passarão pelo processo de busca do Optquest serão a abertura e fechamento dos diferentes centros de serviço que podem ser utilizados na rede de distribuição e de serviços, assim como os parâmetros de estoque base (nível abaixo do qual o estoque deve ser reabastecido) de cada peça para o centro de distribuição e para cada centro de serviços. Conforme mencionado anteriormente, o objetivo será minimizar o custo de operação respeitando restrições de nível de serviço.

Para avaliar as três alternativas de localização para o centro de distribuição, serão realizadas diferentes execuções do modelo com as devidas alterações de distância e custo de transporte. Como cada localização é específica de um provedor logístico, ela está associada a valores diferenciados cobrados por cada provedor.

Na parametrização do modelo, cada simulação será feita para um período de 1 ano utilizando como resultado a média de 3 replicações. Para cada cenário de centro de distribuição diferente serão executadas 500 simulações dentro do Optquest na busca da melhor solução, número este definido a partir da verificação de que nesse momento não são obtidos ganhos significativo nos resultados (vide item 5.1 Resultados numéricos).

No centro de distribuição todas as peças deverão ter estoque base no intervalo $[(\lambda_i D_i)^{1/2} + \lambda_i D_i]$, onde λ_i é a taxa de demanda para o item i e Di é o tempo de ressuprimento no depósito central. Conforme mencionado na revisão de literatura, MUCKSTADT (2004) demonstrou que o nível ótimo de estoque no depósito central quase sempre fica nessa faixa. Os estoques bases dos centros de serviço poderão varia entre 0 e a mesma quantidade máxima definida para o centro de distribuição no caso de peças não críticas. Para as peças críticas, a quantidade mínima em estoque será de uma unidade dos centros de serviço.

Seguem as regras para determinar tipo e localização da demanda:

Tipo de remoção

- Em média, 80% das remoções serão efetuadas durante a realização de manutenções programadas.
- Em média, 20% das remoções serão efetuadas durante a realização de manutenções não programadas.

Prioridade da demanda

- As demandas de peças que impedem a realização de um vôo serão consideradas como prioridade de atendimento AOG, pois afetam a disponibilidade da aeronave.
- As demandas de peças que não impedem a realização de um vôo serão consideradas como prioridade de atendimento Crítica, com tempo máximo de atendimento de 48 horas.

Localização da demanda

- As demandas de manutenção não programada poderão ocorrer nos aeroportos americanos com pousos e decolagens de aviões executivos. A probabilidade da demanda ocorrer em cada um deles será considerada como proporcional ao seu volume de pousos e decolagens.
- As demandas de manutenções programadas poderão ocorrer nos centros de serviço sendo utilizados em uma determinada simulação, de acordo com a distribuição da frota. Os centros de serviços considerados como possíveis de serem utilizados fazem parte de uma lista levantada daqueles que possuem condições de atender aos Phenom.

A regra que se pretende utilizar para determinar suprimento da demanda é:

- No caso de manutenção realizada em um centro de serviços, este mesmo é obviamente o
 primeiro local onde será procurado o estoque. Se ele não estiver disponível, então a peça
 será obtida do centro de distribuição.
- Se a demanda tiver ocorrido em um aeroporto, no caso de um AOG, ela será suprida a
 partir do centro de distribuição, que é o local onde existe infra-estrutura adequada para
 realizar embarques urgentes.

- Se o estoque não estiver disponível em nenhum centro de serviço ou centro de distribuição, deverá ser checado se existe alguma peça em processo de reparo para que seja aguardada, então, a sua chegada.
- Caso nenhuma das alternativas acima seja possível, o material deverá ser obtido junto a seu respectivo fornecedor, respeitando-se o lead time da peça.

As simplificações que estão sendo adotadas no modelo construído no ARENA são as seguintes:

- Dentro de um total de 1278 aeroportos com pousos e decolagens de aviões executivos nos Estados Unidos, foram selecionados os 100 com maior número de operações por dia.
- o Foram consideradas apenas 10 peças do avião para simular atendimento de demanda e reposição de estoques. Este tamanho de amostra foi definido com o objetivo de obter tempos razoáveis de simulação e de parametrização do modelo. Segundo a Ajuda do sistema, a performance da busca do Optquest fica comprometida quando se utiliza a partir de 100 controles. Como o número de peças é multiplicado pelo número de centros de serviço, que neste caso é 12, foi necessário adotar essa simplificação. As peças foram selecionadas de modo a obter uma amostra significativa do universo total, por exemplo incluindo peças de alto e baixo valor, reparáveis e não reparáveis, críticas ou não críticas para vôo da aeronave. Os custos finais foram multiplicados pela mesma proporção do valor representado pelos itens da amostra em relação ao universo total de peças.
- Não foram consideradas as possibilidades de transferência de peças entre centros de serviço nem de atendimento de uma demanda AOG em aeroporto a

partir de um centro de serviços. Apesar de improváveis, estas são alternativas

possíveis de serem adotadas na operação real de suporte à frota de aviões.

A localização das demandas foi estimada de acordo com o número de pousos e

decolagens de aviões executivos em aeroportos americanos e não de acordo

com a localização real da frota sendo suportada.

4.3 Preparação dos dados de entrada

Os dados mencionados neste tópico foram obtidos na empresa que está sendo

estudada e tiveram que ser alterados por questões de sigilo de informações da empresa e de

seus provedores logísticos.

Os parâmetros relacionados ao nível de atendimento oferecido aos clientes foram

definidos tendo como base os fundamentos teóricos sobre desdobramento de estratégia

competitiva em estratégia de serviços e estratégia da cadeia de suprimentos (item 3.1.1),

assim como os cenários específicos do mercado e da empresa em questão (item 1.2). A

conclusão da análise realizada no item 3.2 Discussão sobre literatura é de que o foco da

estratégia da cadeia de suprimentos deve ser muito mais na diferenciação do serviço oferecido

do que ter custos reduzidos. O nível de serviço oferecido deve, portanto, apresentar resultados

iguais ou superiores aos melhores encontrados no mercado. Com base nisso, os parâmetros a

serem utilizados como restrições nas simulações serão:

Disponibilidade mínima da frota: 98%

o Fill rate mínimo para itens não críticos: 95%

Porcentual mínimo de vôos até um centro de serviços realizados em menos de 2 horas:
 99% (existem locais específicos como Havaí e Alasca onde a meta de 2 horas não é economicamente viável, por isso a não utilização de 100% como parâmetro)

Seguem abaixo os materiais incluídos na simulação e seus atributos, que levam em consideração uma frota de 500 aeronaves.

No	Descrição do Componente	Tempo entre demandas (Dias)	Freqüência por dia
1	Dual Static Port-LH	100.00	0.0110000
2	Pressure Transducer	60.21	0.0166090
3	Oil Filler & Indicator Assembly	18.94	0.5900000
4	Switch - Oil Filter Impending Bypass	18.94	0.5900000
5	Ignition Exciter	7.17	0.2200000
6	Electrical Wiring Harness	19.63	0.0991176
7	T6 Thermocouple Wiring Harness	5.85	0.1539412
8	Brake life (cycles)	0.35	2.7230000
9	Fuel Metering Unit (FMU)	3.85	0.2129412
10	Switch - Fuel Filter Impending Bypass	25.94	0.0876451

Tabela 4. Atributos dos materiais I Fonte: Empresa pesquisada

No Estoque **Estoque** Custo Código Código do Lead base base unitário reparador Time do Mínimo Máximo [US\$] fornece [dias] no CD no CD dor 823.30 4,229.66 250.00 4,341.59 2,500.00

59,322.00 7,400.00 7,300.00 14,830.35 830.00 Tabela 5. Atributos dos materiais II

Fonte: Empresa pesquisada

No	MTBUR	Criticidade	Tipo (Reparável/ Consumível)	Tempo de reparo	Quantidade por aeronave
1	130000	Crítico	Consumível	23	1
2	154500	Crítico	Consumível	17	2
3	6000	Não Crítico	Reparável	15	5
4	31250	Não Crítico	Consumível	17	2
5	13000	Não Crítico	Reparável	15	1
6	26500	Crítico	Reparável	15	2
7	23250	Crítico	Consumível	17	3
8	1900	Crítico	Reparável	17	2
9	26250	Não Crítico	Reparável	15	6
10	48250	Não Crítico	Consumível	17	2

Tabela 6. Atributos dos materiais III

Fonte: Empresa pesquisada

MTBUR corresponde a *Mean Time Between Unscheduled Removal*, ou Tempo Médio entre Remoções não Programadas medido em número de horas de vôo, ou seja, é a taxa de falhas de cada componente.

Os centros de serviço e distribuição considerados são aqueles já mencionados no item 2.7 Soluções para o problema.

Seguem agora os 100 aeroportos americanos com maior número de operações de aviões executivos considerados, que representam 50% do total de pousos e decolagens de todos os aeroportos que atendem o mercado executivo nos Estados Unidos:

#	Código	Cidade	Estado	Operações	Latitude	Longitude
	aeroporto			(pousos e		
				decolagens)		
1	TEB	NEW YORK	NY	148.8	40.8	74.07
2	IAD	WASH; DC	VA	108.3	38.9	77.45
3	HPN	WHITE PLAINS	NY	82.8	41.1	73.7
4	PDK	DECATUR	GA	70.3	33.9	84.3
5	DAL	DALLAS	TX	69.5	32.9	96.85
6	LAS	LAS VEGAS	NV	64.8	36.1	115.2

7	MDW	CHICAGO	IL	52.0	41.8	87.75
8	PBI	WEST PALM BEACH	FL	50.8	26.7	80.1
9	HOU	HOUSTON	TX	49.3	29.6	95.28
10	BHM	BIRMINGHAM	AL	46.8	33.6	86.77
11	SNA	COSTA MESA	CA	44	33.7	117.9
12	SJC	SAN JOSE	CA	43	37.4	121.9
13	ICT	WICHITA	KS	42.75	37.6	97.42
14	SDL	SCOTTSDALE	AZ	42	33.6	111.9
15	SAT	SAN ANTONIO	TX	41.25	29.5	98.48
16	PTK	PONTIAC	MI	41	42.7	83.42
17	BED	E BOSTON	MA	40	42.5	71.3
18	PWK	WHEELING	IL	39.5	42.1	87.9
19	RDU	RDU AIRPORT	NC	37.75	35.9	78.8
20	SFO	SAN FRANCISCO	CA	37.5	37.6	122.4
21	BOS	BOSTON	MA	37.25	42.4	71
22	APF	NAPLES	FL	36.75	26.1	81.77
23	SUS	CHESTERFIELD	MO	36.25	38.7	90.65
24	GSO	GREENSBORO	NC	35.75	36.1	79.94
25	APA	ENGLEWOOD	CO	35	39.6	104.9
26	BFI	SEATTLE	WA	34.75	47.5	122.3
27	VNY	LOS ANGELES	CA	33	34.2	118.5
28	PHX	PHOENIX	AZ	32.75	33.4	112
29	СМН	COLUMBUS	ОН	32.25	40	82.9
30	ADS	ADDISON	TX	32	33	96.84
31	IND	INDIANAPOLIS	IN	31.75	39.7	86.32
32	MMU	MORRISTOWN	NJ	31.75	40.8	74.42
33	MEM	MEMPHIS	TN	31.25	35	89.97
34	LUK	CINCINNATI	ОН	30	39.1	84.42
35	MSP	MINNEAPOLIS	MN	30	44.9	93.22
36	OAK	OAKLAND	CA	29	37.7	122.2
37	AUS	AUSTIN	TX	28.75	30.2	97.65
38	MIA	MIAMI	FL	28.5	25.8	80.3
39	FTY	ATLANTA	GA	27.75	33.8	84.52
40	SMO	SANTA MONICA	CA	27.75	34	118.5
41	PHL	PHILADELPHIA	PA	27.5	39.9	75.25
42	RIC	RICHMOND	VA	27.5	37.5	77.32
43	PDX	PORTLAND	OR	27.25	45.6	122.6
44	BNA	NASHVILLE	TN	27	36.1	86.68
45	MKC	KANSAS CITY	MO	27	39.1	94.59
46	TUL	TULSA	OK	26.75	36.2	95.87
47	SJT	SAN ANGELO	TX	26.25	31.3	100.5
48	CGF	CLEVELAND	ОН	25.25	41.6	81.49
49	ASE	ASPEN	CO	25	39.2	106.9

50	GRR	GRAND RAPIDS	MI	25	42.9	85.54
51	CLT	CHARLOTTE	NC	24.75	35.2	80.94
52	TPA	TAMPA	FL	24.75	28	82.54
53	STP	MINNEAPOLIS	MN	24.5	44.9	93.07
54	SLC	SALT LAKE CITY	UT	23.75	40.8	112
55	BDL	NEWINGTON	CT	23.25	41.9	72.69
56	СНА	CHATTANOOGA	TN	23.25	35	85.2
57	MKE	MILWAUKEE	WI	23.25	42.9	87.91
58	RNO	RENO	NV	23	39.5	119.8
59	FLL	FT LAUDERDALE	FL	21.75	26.1	80.16
60	FTW	FORT WORTH	TX	21.75	32.8	97.35
61	LEX	LEXINGTON	KY	21.75	38	84.61
62	BWI	BWI AIRPORT	MD	21.25	39.2	76.69
63	LIT	LITTLE ROCK	AR	21.25	34.7	92.23
64	MLU	MONROE	LA	21.25	32.5	92.04
65	SDF	LOUISVILLE	KY	21.25	38.2	85.72
66	MAF	MIDLAND	TX	21	31.9	102.2
67	DPA	WEST CHICAGO	IL	20	41.9	88.25
68	OMA	OMAHA	NE	19.75	41.3	95.89
69	TYS	ALCOA	TN	19.5	35.8	84
70	CRQ	EL CAJON	CA	19	33.1	117.3
71	EGE	EAGLE	CO	19	39.6	106.9
72	SLN	SALINA	KS	19	38.8	97.64
73	DTW	DETROIT	MI	18.25	42.2	83.38
74	NEW	NEW ORLEANS	LA	18.25	30.1	90.02
75	ORD	CHICAGO	IL	18.25	42	87.91
76	PVD	WARWICK	RI	18.25	41.7	71.43
77	BUR	BURBANK	CA	18	34.2	118.4
78	FXE	FORT LAUDERDALE	FL	18	26.2	80.17
79	IAH	HOUSTON	TX	18	30	95.35
80	SRQ	SARASOTA	FL	18	27.4	82.56
81	TUS	TUCSON	AZ	18	32.1	110.9
82	ATL	ATLANTA	GA	17.75	33.6	84.44
83	LGB	LONG BEACH	CA	17.75	33.8	118.2
84	MCO	ORLANDO	FL	17.75	28.4	81.27
85	SAN	SAN DIEGO	CA	17.75	32.7	117.2
86	JAX	JACKSONVILLE	FL	17.25	30.5	81.69
87	AGC	PITTSBURGH	PA	17	40.4	79.94
88	AVL	FLETCHER	NC	17	35.4	82.54
89	PNE	PHILADELPHIA	PA	16.75	40.1	75.02
90	FRG	ALBANY	NY	16.5	40.7	73.42
91	MGM	MONTGOMERY	AL	16.5	32.3	86.4
92	ORF	NORFOLK	VA	16.25	36.9	76.2

93	OSU	COLUMBUS	ОН	16.25	40.1	83.07
94	JAN	JACKSON	MS	16	32.3	90.07
95	TLH	TALLAHASSEE	FL	15.75	30.4	84.35
96	ACK	NANTUCKET	MA	15.5	41.2	70.07
97	LRD	LAREDO	TX	15.5	27.6	99.45
98	SUA	STUART	FL	15.25	27.2	80.22
99	DTS	CRESTVIEW	FL	15	30.4	86.47
100	SAV	SAVANNAH	GA	15	32.1	81.22

Tabela 7. Operações de aviões executivos em aeroportos

Fonte: Empresa pesquisada

As distâncias de cada aeroporto para os centros de serviço e distribuição assim como as distâncias entre os próprios centros de serviço e distribuição foram obtidas através dos dados de latitude e longitude de cada um deles.

Segue a localização dos fornecedores das peças consideradas, que neste caso são também os reparadores das peças:

Código do fornecedor	Latitude	Longitude
228752	36.10	95.85
340423	41.05	81.49
723152	33.92	118.41

Tabela 8. Localização dos fornecedores

Fonte: Empresa pesquisada

Os custos de transporte dependem da localização do centro de distribuição, pois em cada caso existe um provedor de serviço diferente sendo considerado com taxas também diferentes. Seguem os valores utilizados:

Centro de Distribuição	Prioridade	US\$/Milha	US\$/Envio
Louisville	Crítica	0.27	8

	Rotina	0.05	5
Memphis	Crítica	0.24	8
_	Rotina	0.06	3
Indianapolis	Crítica	0.22	6
- -	Rotina	0.07	3

Tabela 9. Custos de transporte por prioridade

Fonte: Empresa pesquisada

Outros dados considerados foram:

- Velocidade do avião (para vôo até centro de serviço): 380 ktas
- Custo fixo anual por cada centro de serviço aberto: US\$ 100.000,00
- No caso de demanda de peça ocorrendo em um centro de serviço, o tempo médio de reposição a partir do centro de distribuição é de 18 horas, com desvio padrão de 12 horas. Estes dados consideram que nesta situação o tipo de transporte adotado é o chamado Next Day, em que a peça é enviada no vôo do próximo dia, às 10 horas da manhã, estando o envio sujeito a um cut-off time, ou seja, um horário limite até o qual é possível enviar a peça no dia seguinte.
- Foi estimada uma duração média de 24 horas para serviços de manutenção programada realizados nas aeronaves.
- No caso de demandas AOG em aeroportos, o tempo de atendimento depende da distância do aeroporto ao centro de distribuição, já que neste caso é utilizado o tipo de transporte chamado *next flight out*, em que a peça é enviada ao seu destino no primeiro vôo comercial disponível.
- O tempo de ressuprimento do estoque nos centros de serviço a partir do centro de distribuição é de 7 dias, considerando transporte terrestre.

5 Resultados e discussão

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos nas diferentes execuções do modelo construído no ARENA e, em seguida, estes resultados serão discutidos e interpretados.

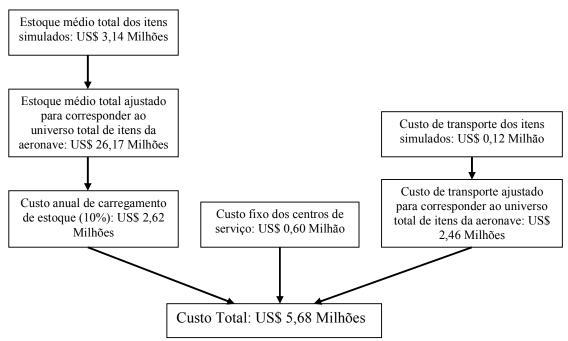
5.1 Resultados numéricos

Foram executadas buscas no Optquest para 3 cenários diferentes, sendo cada um deles referente a um centro de distribuição em uma localização diferente. A seguir serão apresentados os principais resultados obtidos em cada um destes cenários para, no item seguinte de discussão dos resultados, fazer uma comparação entre eles.

5.1.1 Cenário 1: centro de distribuição em Louisville

O primeiro cenário avaliado foi o que utiliza o centro de distribuição em Louisville. Após as 500 simulações previstas no item 4.2 Procedimento Experimental realizadas em um período de 32 minutos, os resultados foram os seguintes:

Simulação com melhor resultado: 462



Esquema 7: Resultados do cenário 1

A evolução do valor correspondente ao melhor custo total obtido foi a seguinte:

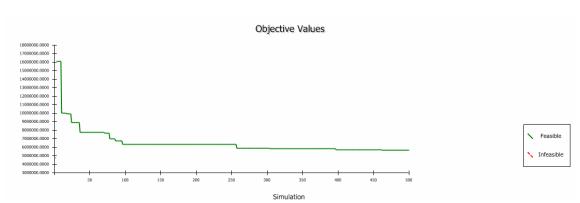


Gráfico 2. Evolução do custo total no cenário 1

Os centros de serviço selecionados foram 6 dentre os 12 possíveis:



- Centro de Distribuição
- Centros de Serviço

Mapa 3. Centros de serviço selecionados no cenário 1

Tanto o indicador de disponibilidade da frota, obtido a partir dos itens críticos que impedem a aeronave de realizar o vôo caso apresentem falha, como o indicador de *fill rate*, obtido a partir de itens não críticos, ficaram dentro dos limites estabelecidos como restrição para o problema (respectivamente 98% e 95%).:

Disponibilidade: 98,6%

Fill rate: 99,9%

Além disso, 100% dos vôos realizados até um centro de serviço dentro da simulação tiveram duração inferior a 2 horas, atendendo portanto à restrição de que 99% dos vôos sejam realizados dentro desse período de tempo.

Os estoques bases para cada peça em cada localização que resultaram no nível de estoque mencionado foram:

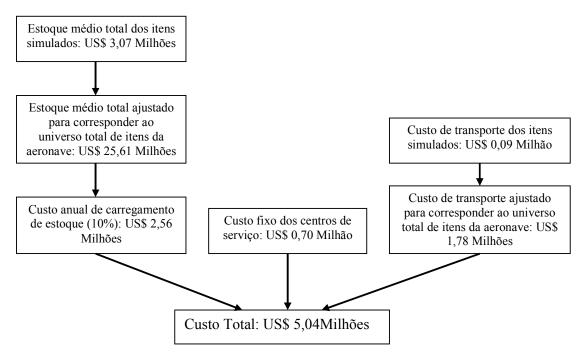
Local \ Peça	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estoque mínimo no CD	10	8	288	6	5	4	3	48	4	6
Estoque mínimo no CS	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
Estoque máximo	17	14	322	11	10	7	6	62	8	11
CD	14	8	310	8	7	7	6	56	8	8
CS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2	12	0	48	6	4	3	3	5	1	0
CS3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS5	5	2	217	4	1	5	3	34	3	6
CS6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS8	10	1	183	3	3	1	1	15	3	7
CS9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS10	9	2	31	6	8	2	2	54	5	6
CS11	10	2	22	5	5	1	3	23	1	0
CS12	7	2	234	3	6	4	2	16	4	3

Tabela 10. Estoques bases – Cenário 1

5.1.2 Cenário 2: centro de distribuição em Memphis

O segundo cenário avaliado foi o que utiliza o centro de distribuição em Memphis. Após as 500 simulações previstas no item 4.2 Procedimento Experimental realizadas em um período de 35 minutos, os resultados foram os seguintes:

Simulação com melhor resultado: 488



Esquema 8: Resultados do cenário 2

A evolução do valor correspondente ao melhor custo total obtido foi a seguinte:

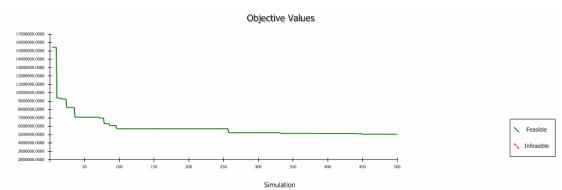


Gráfico 3. Evolução do custo total no cenário 2

Os centros de serviço selecionados foram 7 dentre os 12 possíveis:



- Centro de Distribuição
- Centros de Serviço

Mapa 4. Centros de serviço selecionados no cenário 2

Tanto o indicador de disponibilidade da frota, obtido a partir dos itens críticos que impedem a aeronave de realizar o vôo caso apresentem falha, como o indicador de *fill rate*,

obtido a partir de itens não críticos, ficaram dentro dos limites estabelecidos como restrição para o problema (respectivamente 98% e 95%).:

Disponibilidade: 98,6%

Fill rate: 99,9%

Além disso, 100% dos vôos realizados até um centro de serviço dentro da simulação tiveram duração inferior a 2 horas, atendendo portanto à restrição de que 99% dos vôos sejam realizados dentro desse período de tempo.

Os estoques bases para cada peça em cada localização que resultaram no nível de estoque mencionado foram:

Local \ Peça	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estoque mínimo no CD	10	8	288	6	5	4	3	48	4	6
Estoque mínimo no CS	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
Estoque máximo	17	14	322	11	10	7	6	62	8	11
CD	14	10	307	8	7	5	6	56	6	10
CS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2	4	0	83	4	8	3	2	11	1	0
CS3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS5	5	10	131	5	7	4	5	16	3	6
CS6	4	7	160	7	1	2	4	6	0	1
CS7	11	7	96	0	8	3	3	21	6	4
CS8	10	5	118	0	3	1	2	15	2	7
CS9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS11	10	4	26	3	3	1	2	33	1	1
CS12	5	11	138	8	6	2	5	16	1	6

Tabela 11. Estoques bases – Cenário 2

5.1.3 Cenário 3: centro de distribuição em Indianápolis

O terceiro cenário avaliado foi o que utiliza o centro de distribuição em Indianápolis. Após as 500 simulações previstas no item 4.2 Procedimento Experimental realizadas em um período de 36 minutos, os resultados foram os seguintes:

Simulação com melhor resultado: 462 Estoque médio total dos itens simulados: US\$ 3,17 Milhões Estoque médio total ajustado para corresponder ao Custo de transporte dos itens universo total de itens da simulados: US\$ 0.14 Milhões aeronave: US\$ 26.42 Milhões Custo de transporte ajustado Custo anual de carregamento para corresponder ao universo Custo fixo dos centros de de estoque (10%): US\$ 2.64 total de itens da aeronave: US\$ serviço: US\$ 0,6 Milhão Milhões 2,89 Milhões Custo Total: US\$ 6.13 Milhões

Esquema 9: Resultados do cenário 3

A evolução do valor correspondente ao melhor custo total obtido foi a seguinte:

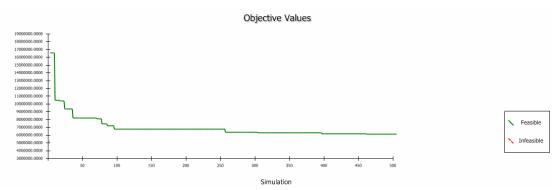
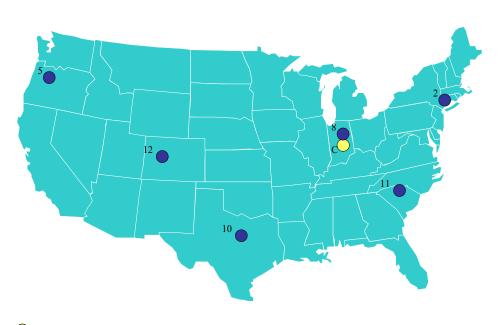


Gráfico 4. Evolução do custo total no cenário 3

Os centros de serviço selecionados foram 6 dentre os 12 possíveis:



- O Centro de Distribuição
- Centros de Serviço

Mapa 5. Centros de serviço selecionados no cenário 3

Tanto o indicador de disponibilidade da frota, obtido a partir dos itens críticos que impedem a aeronave de realizar o vôo caso apresentem falha, como o indicador de *fill rate*,

obtido a partir de itens não críticos, ficaram dentro dos limites estabelecidos como restrição para o problema (respectivamente 98% e 95%):

Disponibilidade: 98,6%

Fill rate: 99,9%

Além disso, 100% dos vôos realizados até um centro de serviço dentro da simulação tiveram duração inferior a 2 horas, atendendo portanto à restrição de que 99% dos vôos sejam realizados dentro desse período de tempo.

Os estoques bases para cada peça em cada localização que resultaram no nível de estoque mencionado foram:

Local \ Peça	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estoque mínimo no CD	10	8	288	6	5	4	3	48	4	6
Estoque mínimo no CS	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
Estoque máximo	17	14	322	11	10	7	6	62	8	11
CD	14	8	310	8	7	7	6	56	8	8
CS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS2	12	0	48	6	4	3	3	5	1	0
CS3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS5	5	2	127	4	1	5	3	34	3	6
CS6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS8	10	1	183	3	3	1	1	15	3	7
CS9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS10	9	2	31	6	8	2	2	54	5	6
CS11	10	2	22	5	5	1	3	23	1	0
CS12	7	2	234	3	6	4	2	16	4	3

Tabela 12. Estoques bases – Cenário 3

5.2 Discussão dos resultados

Os tempos necessários para as busca realizadas pelo Optquest apresentaram pouca variação entre os 3 cenários avaliados, sendo que as diferenças (variação de 12%) provavelmente podem ser explicadas por mais programas abertos no computador durante a execução do segundo e terceiro cenários, o que ocasiona um aumento no uso de memória RAM. Considerando que o computador utilizado, um *notebook* Toshiba Satellite com processador Intel Pentium de 1.73 GHz e 1 GB de memória RAM, tem configuração padrão hoje no mercado, a performance pode ser considerada bastante satisfatória (tempos entre 32 e 36 minutos).

Deve-se lembrar, entretanto, que simplificações significativas foram adotadas, como por exemplo a inclusão de apenas 10 peças na simulação. Para avaliar a sensibilidade do modelo, foi feita uma execução dobrando o número de peças, ou seja, adicionando mais 10. O resultado foi que o tempo de simulação pulou para 1 hora e 15 minutos, tempo ainda bastante razoável. Isto sugere que no caso de aplicação real do modelo poderia ser considerado um número maior de peças e centros de serviço simulados, porém a inclusão do total de itens provavelmente não seria viável. Como o nível de estoque das peças não é decisão final a ser tomada, mas sim um fator relevante considerado na decisão principal que é de localização das instalações, isto não chega a ser preocupante.

Para facilitar a avaliação comparativa entre os 3 cenários, segue tabela com um resumo dos principais resultados:

Valores em US\$ Milhões	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Custo de carregamento de estoque	2.62	2.56	2.64
Custo fixo dos centros de serviço	0.6	0.7	0.6
Custo de transporte	2.46	1.78	2.89
Custo total	5.68	5.04	6.13

Tabela 13. Principais resultados

Como se pode notar, o cenário 2 foi o que apresentou o menor custo total, sendo portanto a solução definida como a melhor para o problema. É interessante notar que ela foi a única, dentre os cenários, onde foram utilizados 7 centros de serviço, um a mais portanto que os outros 2. Apesar disso, o nível de estoque foi ligeiramente inferior ao encontrado nos demais cenários. Isto reforça a não linearidade do estoque em problemas deste tipo, conforme exposto no item 4.1 Método utilizado, e um dos motivos pelos quais foi adotado o método de simulação com modelos heurísticos de busca. O custo de transporte menor do cenário 2 pode ser explicado pelos custos menores oferecidos pelo provedor logístico associado à localização Memphis (lembrar que os dados foram alterados também para preservar sigilo de informação dos provedores logísticos).

A evolução do valor correspondente ao melhor custo observada nos gráficos incluídos na exposição dos resultados numéricos justifica o uso de 500 diferentes simulações para cada busca, já que fica claro que nesse momento já não são obtidos ganhos significativos nos resultados. As buscas começam com solução inviável devido ao não atendimento do indicador de disponibilidade da frota, logo após passam para uma solução viável ainda que com custos extremamente elevados (na casa dos US\$ 16,5 Milhões), em seguida são obtidos ganhos enormes na redução do custo total, e finalmente o valor se estabiliza passando a sofrer reduções apenas marginais em sua magnitude.

Na seleção dos centros de serviço a serem utilizados, o modelo privilegia uma distribuição mais ou menos uniforme pelo território americano para atender à restrição de que os vôos dos clientes com suas aeronave até os centros de serviço não devem ultrapassar 2 horas.

Com relação aos estoques base definidos para cada peça em cada localização, é interessante notar que os valores dificilmente foram iguais aos limites inferior e superior definidos, o que valida a regra utilizada para defini-los, ou seja, mostra que eles não restringiram, ao menos de forma significativa, a performance do modelo. Outro fato que chama a atenção é que, mesmo para peças não críticas onde é permitido pelo modelo não colocar estoque nos centros de serviço, isto raramente ocorreu, provavelmente por ser necessário para atingir os altos níveis de atendimento definidos.

6 Conclusões

6.1 Síntese dos resultados

A solução final para o problema, encontrada após 500 simulações realizadas em um período de 35 minutos, foi a localização do centro de distribuição em Memphis e a utilização de 7 centros de serviço localizados, conforme mapa abaixo, em:

- 2 Windsor Locks (CT)
- 5 Hillsboro (OR)
- 6 Lincoln (NE)
- 7 Battle Creek (MI)
- 8 Indianapolis (IN)
- 11 Greenville (SC)
- 12 Grand Junction (CO)



- Centro de Distribuição
- Centros de Serviço

Mapa 6. Centros de serviço selecionados na solução do problema

As restrições de nível de serviço (disponibilidade da frota, *fill rate* e limite de tempo de vôo até o centro de serviço) são todas atendidas com esta solução. O maior custo operacional corresponde ao de carregamento de estoque (resultante de um estoque médio de US\$ 25,61 Milhões), seguido do custo de transporte e por último do custo fixo dos centros de serviço, conforme segue:

Valores em US\$ Milhões	Cenário 2
Custo de carregamento de estoque	2.56
Custo fixo dos centros de serviço	0.7
Custo de transporte	1.78
Custo total	5.04

Tabela 14. Principais resultados

O fato de o maior custo ser o de carregamento de estoque está coerente com o tipo de problema tratado, comumente chamado *asset intensive*, ou seja, onde o montante investido

em ativos, no caso estoques de peças de reposição, costuma ser superior a outros custos operacionais como, por exemplo, o de transporte. Este resultado reforça a necessidade da consideração do custo de carregamento de estoque em problemas deste tipo.

Resumindo, esta solução obtida como resultado do modelo proposto permite o alcance dos níveis de serviço definidos, de modo a garantir uma diferenciação da empresa no mercado em que participa, ao mesmo tempo em que busca reduzir dentro do possível os custos de operação, levando em conta o conceito de custo logístico total.

6.2 Extensões da pesquisa

Possíveis extensões desta pesquisa são

- Aprofundamento maior nas meta-heurísticas que, no caso específico de problemas de localização considerando níveis de estoques de peças de reposição, apresentem melhor performance. Isto possibilitará uma maior performance e consequente aceitação do método proposto neste trabalho para o tipo de problema aqui tratado.
- Construção de modelos de simulação que resultem em menos simplificações do que as adotadas neste trabalho. Será sempre possível incluir novas considerações no modelo de simulação para que se assemelhe cada vez mais à realidade.
- Estudos comparando a performance do método adotado com métodos tradicionais de otimização. Aqui, seria necessária a avaliação de resultados obtidos em aplicações reais dos métodos para que as conclusões não sejam distorcidas pelas diferentes simplificações realizadas em cada caso.

Aprofundamento no estudo do conceito de disponibilidade da frota como medição de nível de serviço para o mercado de aviação executiva. Atualmente, esta medida é utilizada sobretudo para a aviação militar, sendo que nos demais mercados ainda predomina a medida de *fill rate*. Como medida de satisfação de clientes de aviões executivos, parece fazer mais sentido utilizar a porcentagem do tempo em que o avião está disponível para utilização do que a porcentagem de peças que foram entregues dentro de um determinado período. Inclusive, a utilização da medida de disponibilidade permite incluir o tempo de translado das aeronaves para os centros de serviço, tempo este em que o avião não fica disponível para o proprietário.

6.3 Considerações finais

Considerando a motivação desta dissertação mencionada na Introdução, conseguiuse atender ao propósito inicial de propor um método de solução viável, realista e eficaz. O
método é viável porque se demonstrou sua utilização em um problema concreto com tempos
de processamento razoáveis. Foi possível fazer com que sua aplicação fosse realista porque, a
despeito das simplificações utilizadas, o modelo de simulação reproduziu com grande
fidelidade o ambiente operacional do suporte à frota de aeronaves. Sua eficácia vem tanto do
alinhamento da solução com a estratégia competitiva da empresa como da correta
consideração dos custos e tempos envolvidos para que, atendendo ao nível de serviço definido
com um conceito que de fato reflete aquilo impacta a satisfação de clientes de aeronaves
executivas, fosse minimizado o custo total de operação do suporte à frota. Neste último ponto,
é necessário fazer a ressalva da necessidade mencionada no item anterior de estender esta

pesquisa comparando o método proposto com outros existentes e possíveis de aplicar a este tipo de problema.

7 Referências bibliográficas

BALLOU, Ronald H. (1984). DISPLAN: A Multiproduct Plant/Warehouse Location Model with Nonlinear Inventory Costs. Journal of Operations Management Vol. 5. No. I, 75-90.

BALLOU, Ronald H. (1998). Business Logistics Management. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.

BATCHOUN, P., J. A. Ferland, & CLÉROUX, R. (2003). Allotment of aircraft spare parts using Genetic Algorithms. Pesquisa Operacional 23(1):141–159.

BRITO JUNIOR, Irineu de (2004). Análise do impacto logístico de diferentes regimes aduaneiros no abastecimento de itens aeronáuticos empregando modelo de transbordo multiproduto com custos fixos. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CHOPRA, Sunil & MEINDL, Peter (2001). Supply Chain Management, Strategy, Planning and Operation. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

COHEN, Morris A., AGRAWAL, Narendra & AGRAWAL, Vipul (2006). Winning in the Aftermarket. Harvard Business Review OnPoint 4311. 129-138.

DIAS, George Paulus Pereira & CORRÊA, Henrique Luiz (1998). Uso de simulação para dimensionamento e gestão de estoques de peças sobressalentes. Anais do SIMPOI 1998, FGVP.

GLOVER, F. (1995). Scatter Search and Star-Paths: Beyond the Genetic Metaphor. OR Spektrum, vol. 17, 125-137.

GLOVER, F. & KOCHENBERGER, G., editors, Handbook of Metaheuristics (2003). Boston: Kluwer's International Series.

GOETSCHALCKX, Marc, VIDAL, Carlos J. & DOGAN, Koray (2002). Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. European Journal of Operational Research 143, 1–18.

HALE, Trevor S. & MOBERG, Christopher R. (2003). Location Science Research: A Review. Annals of Operations Research 123, 21–35.

HEIZER, J; RENDER, B. (1999). Operations Management. Prentice Hall, New JerseyHINOJOSA, Y., KALCSICS, J., NICKEL, S., PUERTO, J. & VELTEN, S. (2008). Dynamic supply chain design with inventory. Computers & Operations Research 35, 373 – 391.

HUISKONEN, Janne (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. Int. J. Production Economics 71, 125-133.

JONES, D.F., MIRRAZAVI, S.K., TAMIZ, M. (2002). Multi-objective meta-heuristics: An overview of the current state-of-the-art. European Journal of Operational Research 137, 1-9.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P. & SADOWSKI, D. A. (2002). Simulation with Arena, McGraw-Hill, Boston.

KESKIN, Burcu B. & ÜSTER, Halit (2007). A scatter search-based heuristic to locate capacitated transshipment points. Computers & Operations Research 34, 3112–3125.

KESKIN, Burcu B. & ÜSTER, Halit (2007). Meta-heuristic approaches with memory and evolution for a multi-product production/distribution system design problem. European Journal of Operational Research 182, 663–682.

KLOSE, Andréas & DREXL, Andréas (2003). Facility location models for distribution system design. European Journal of Operational Research.

LEE, Loo Hay, TENG, Suyan, CHEW, Ek Peng, LYE, Kong Wei, LENDERMANN, Peter, KARIMI, I. A., CHEN & Yankai, KOH, Choon Hwee (2005). Application of multi-objective simulation-optimization techniques to inventory management problems. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.

MUCKSTADT, John A. (2004). Analysis of Service Parts Supply Chain Systems. School of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University. Ithaca, NY 14853.

NOZICK, Linda K. & TURNQUIST, Mark A. (2001). Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. European Journal of Operational Research 129, 362-371.

OWEN, Susan Hesse & Daskin, Mark S. (1998). Strategic facility location: A review. European Journal of Operational Research, 111, 423-447.

PIRKUL, Hasan & JAYARAMAN, Vaidyanathan (1998). A Multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution. Computers & Operations Research Vol. 25, No 10, 869-878.

PORTER, Michael E. (1990). Vantagem Competitiva, Criando e Sustentando um Desempenho Superior. Rio de Janeiro: Editora Campus.

POWEL, Warren B. (2005). The Optmizing-Simulator: Merging Simulation and Optimization Using Approximate Dynamic Programming. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.

ROBINSON, E. Powell & SWINK, Morgan (1994). Reason based solutions and the complexity of distribution network design problems. European Journal of Operational Research 76, 393-409.

SHEN, Zuo-JunMax & QI, Lian (2007). Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. European Journal of Operational Research 179, 372–389.

SHEN, Zuo-Jun Max & DASKIN, Mark S. (2005). Trade-offs Between Customer Service and Cost in Integrated Supply Chain Design. Manufacturing & Service Operations Management 7(3), 188-207.

SHERBROOKE, Craig C. (2004). Optimal Inventory Modeling of Systems. Boston: Kluwer.

SUCUPIRA, Igor Ribeiro (2004). Métodos Heurísticos Genéricos: Metaheurísticas e Hiper-Heurísticas. Monografia sobre meta-heurísticas e hiper-heirísticas para o Instituto de Matemática e Estatística da USP.

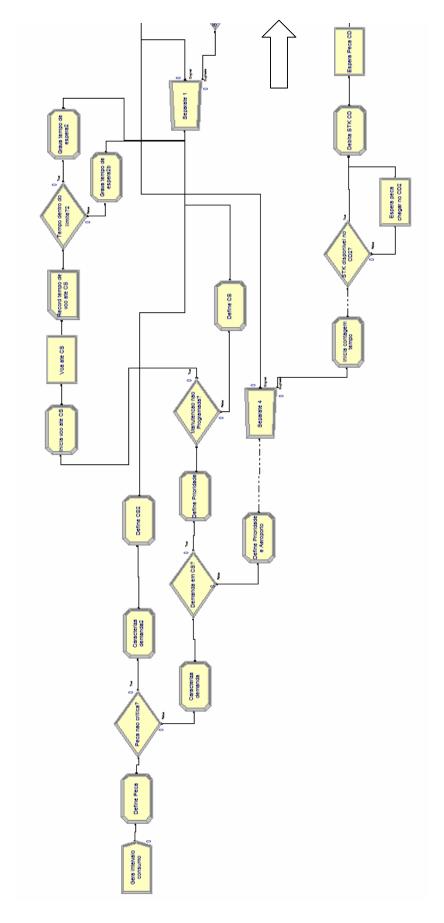
SYAM, Siddhartha S. (2002). A model and methodologies for the location problem with logistical components. Computers & Operations Research 29, 1173-1193.

WONG, H., HOUTUM, G.J., CATTRYSSE, D. & OUDHEUSDEN, D. Van (2005). Simple, efficient heuristics for multi-item multi-location spare parts systems with lateral transshipments and waiting time constraints. Journal of the Operational Research Society 56, 1419–1430.

ZANONI, Simone, FERRETTI, Ivan & ZAVANELLA, Lucio (2005). Multi echelon spare parts inventory optimization: a simulative study. Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation.

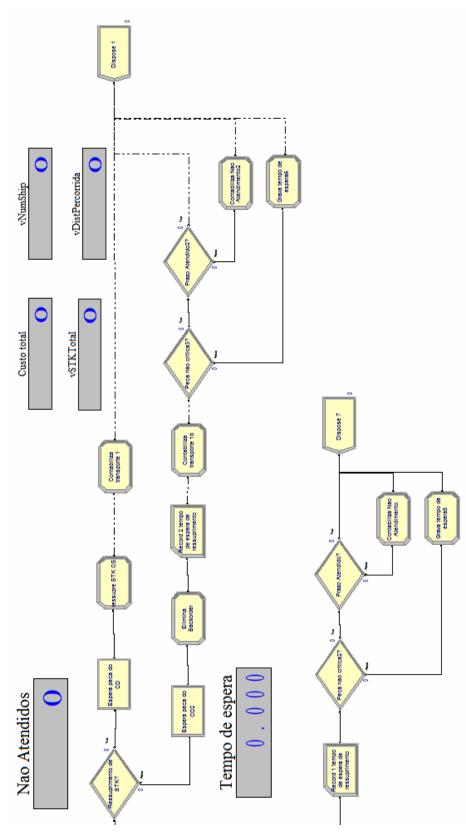
APÊNDICE A – Modelo de simulação construído no sistema ARENA

Processo de atendimento da demanda – Parte I



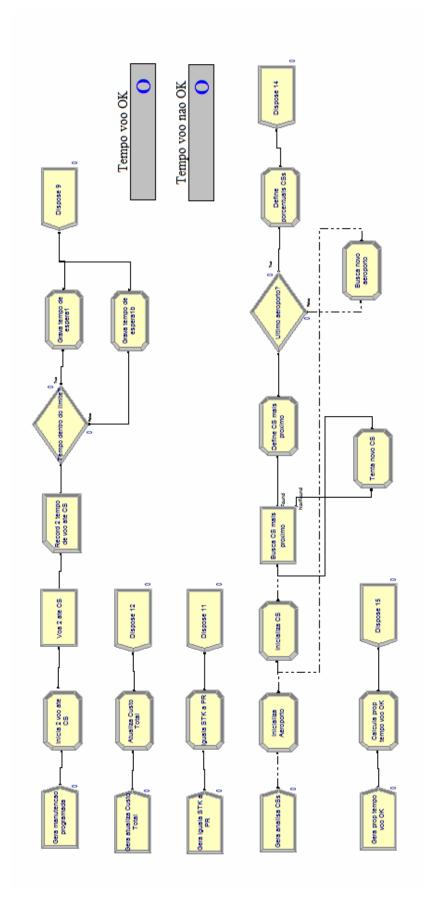
Dispose 3 Espera peca chegar no CD Contabiliza transporte 2b Espera peca chegar no CS Seize 1 controls fils de espera Demands no CS? Dispose 5 STK CD 10 STK CD 9 Define tipo Ressupr BO Define tipo Ressupristic Define tipo Ressupr BO 2 Pecs volts do reparo Contabiliza transporte 3 0 STK CD 7 STK CD 8 Pecs chegs no 0 STK CD 6 STK CD 5 Peca entra em reparo Espera compra da peca 0 STK CD 3 STK CD 4 Dispose 10 Debits STK CS Peca pode ser reparada? edita Backon CS Grava tempo de espera4 STK CD 2 STK CD 1

Processo de atendimento da demanda – Parte II



Processo de atendimento da demanda – Parte III

Processos auxiliares



China Pequim República Popular da China Cingapura Cingapura **Europa** Villepinte França América do Norte Fort Lauderdale, Florida Pittsburgh Estados Unidos Matriz São José dos Campos, SP Brasil

ANEXO A - Rede de distribuição de peças de reposição atual da empresa