



Análise Operacional e Engenharia Logística: Apoio à Decisão

Modelagem da Cadeia Logística de Reposição de Componentes Aeronáuticos no contexto do System Dynamics

Modeling the Logistics Chain of Aeronautical Components Replacement in the context of System Dynamics

Samuel Bloch da Silva, Marcelo Dias Ferreira, Mischel Carmen Neyra Belderrain e Anderson Ribeiro Correia
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos – SP – Brasil)

Article Info

Article History:

Received	09 April	2021
Revised	28 Jun	2021
Accepted	09 August	2021
Available online	30 September	2021

Palavras Chave:

**System Dynamics
Cadeia Logística
Componentes Aeronáuticos**

Keywords:

**System Dynamics
Logistics Chain
Aeronautics Components**

E-mail addresses:

samuel@ita.br (S.B. Silva),
marcelo.dias@bndes.gov.br (M.D. Ferreira),
carmen@ita.br (M.C.N. Belderrain),
correia@ita.br (A.R. Correia).

Resumo

Desde a década de 60, a metodologia conhecida como Dinâmica de Sistemas (System Dynamics - SD) vem se destacando como ferramenta para analisar a dinâmica dos sistemas produtivos e logísticos. Através de diversos tipos de diagramas (causais, estoque e fluxo) é possível expressar graficamente um sistema, possibilitando representar a complexidade dinâmica das relações entre as partes ao longo do tempo. Isto envolve desde a análise estrutural até a definição de políticas de tomada de decisão em determinado ambiente produtivo. O presente trabalho apresenta resultados relativos ao apoio à tomada de decisão de uma cadeia genérica de reposição de componentes aeronáuticos MRO, tendo como objetivo a melhoria no planejamento através da simulação do seu comportamento dinâmico.

Since the 1960s, the methodology known as System Dynamics (System Dynamics - SD) has been highlighted as a tool to analyze the dynamics of production and logistics systems. Through various types of diagrams (causal, stock and flow) it is possible to graphically express a system, making it possible to represent a dynamic complexity of the relations between the parts over time. This involves from a structural analysis to the definition of decision-making policies in a given productive environment. The present work presents results related to the support to the decision making of a generic chain of formation of aeronautical components MRO, having as objective the improvement in the planning through the simulation of the dynamic behavior.

I. INTRODUÇÃO

Conforme relatório Anual da Embraer 2012, para uma receita líquida de R\$ 12,2bi apontada no período, os estoques representaram um custo de R\$ 4,4bi para a companhia [1]. Isto significa que 36% do faturamento líquido da empresa foram materializados na forma de estoques nos mais diversos estágios. Por outro lado este, é um problema que afeta a todos os fabricantes aeronáuticos mundiais. Mesmo a Boeing, com uma base de fornecedores bem mais próxima do que a Embraer, vivenciou em 1997 um sério problema advindo da gestão ineficiente de sua Cadeia [2]:

“A Boeing Aircraft anunciou uma desvalorização de US\$ 2,6 bilhões, em Outubro de 1997, devido à ‘falta de matéria-prima’, falta de componentes fabricados internamente e vindos de fornecedores”

A BAe Systems, outro gigante da área de aeronáutica, defesa e segurança com sede em Londres, considera que seus fornecedores representam cerca de 70% dos custos totais de seus produtos e serviços; e que este motivo já é necessário para gerenciar sua cadeia [3]. Além disto, a BAe Systems considera que o nível de serviço perante seus clientes finais é de sua responsabilidade e não de seus fornecedores. Isto está muito relacionado ao conceito proposto por Anderson, Sweeney e Willians [4] que trata dos custos decorrentes de uma gestão inadequada dos estoques aos quais os clientes não estão dispostos a pagar.

Ou seja, o custo total de carregamento dos estoques dos fabricantes aeronáuticos para atender aos clientes internos/externos não depende apenas do cálculo de reposição dos materiais, mas de como as quantidades compradas atenderão as demandas planejadas para o período. A Tabela I apresenta uma adaptação do conceito proposto pelos autores:

TABELA I - CUSTO TOTAL DE CARREGAMENTO DOS ESTOQUES

Quantidade Ordem de Compra	A perda ocorre quando	Possibilidade de Perdas (\$)	Probabilidade de ocorrer a perda
Q_1	Demanda real (D) abaixo do esperado para Q_1	C_1 (custo em função de se ter comprado à mais. Impacto: armazenagem, movimentação, mão de obra, <i>surplus</i> , outros)	$P_1(D \leq Q_1)$
Q_2	Demanda real (D) acima do esperado para Q_2	C_2 (Custo decorrente de falta de estoque. Impacto: reprogramação, transporte extra, canibalização de componentes, outros)	$P_2(D > Q_2)$

Fonte: adaptado de [4] (pg.535)

De acordo com a Tabela I, há evidências no sentido de que a imprevisibilidade na reposição/demanda (D) de componentes aeronáuticos pode criar em ambos os casos custos adicionais (C_1 ou C_2); uma vez que a quantidade de compra (Q_1 ou Q_2) pode não ser suficiente ($D > Q_1$) ou sobrar desnecessariamente ($D < Q_2$). Sob a ótica da operação, estas questões estão relacionadas diretamente ao ciclo operacional do avião. Segundo Ackert [5], existem três ciclos principais pelos quais o avião passa ao longo de sua vida útil:

- *First-Run* (4 a 6 anos): o avião está novo com pouco/quase nenhuma necessidade de manutenção. Teoricamente baixa demanda por peças de reposição fora da rotina, porém alta probabilidade de falhas precoces (Curva da Banheira) resultando em AOG (*aircraft on ground*).

- *Mature-Run* (6 a 12 anos): tipicamente acontece após a primeira grande parada do avião para verificações, onde componentes poderão ser substituídos preventivamente e/ou em função do LLP (*Life Limited Parts*). Sinais da operação começam a ser perceptíveis nos custos operacionais. Algumas substituições de componentes fora do LLP, resultando eventualmente em AOG.

- *Aging-Run* (> 12 anos): começa após o encerramento do primeiro ciclo de manutenções do avião. Os efeitos da operação são mais aparentes e as rotinas de manutenção menos previsíveis. Paradas AOG tendem a ser mais frequentes.

Sintetizando as três fases propostas por Ackert [3] em relação ao comportamento dos estoques (Fig. 1):

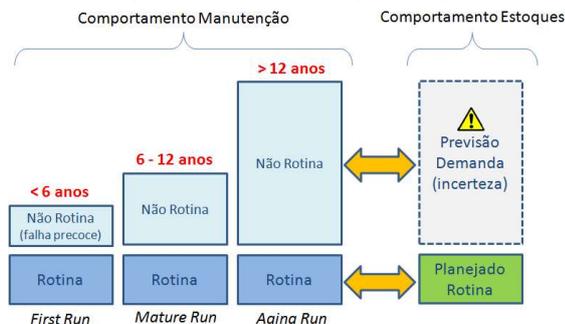


Fig. 1 - Comportamento dos Estoques em relação ao Ciclo do Avião
Fonte: adaptado de [3]

De acordo com a Fig.1, a entrada em operação de um novo avião (*first run*) pode inserir instabilidades e consequentes probabilidades de perdas (P_1 ou P_2 na Tabela I), principalmente pela falta de dados operacionais e/ou por falhas precoces em determinados componentes [6]. Nesta fase as informações sobre os componentes são oriundas dos fabricantes e suas taxas esperadas de falhas (MTBF - *mean time between failures*). Consequentemente o planejamento dos estoques necessários para suportar a operação em *First Run* considera os dados MTBF, a experiência da empresa em outros programas, bem como informações do sistema de prognóstico das aeronaves (PHM- *Prognostic and Health Monitoring*) quando existente.

Neste sentido o presente artigo abordará como a Dinâmica de Sistema poderá ser útil no planejamento preliminar de reposição de componentes de interior (mobiliário) de aviões em *first run*, não cobertos pelos sistemas de monitoramento. Adicionalmente, o escopo será limitado ao entendimento dos mecanismos básicos de planejamento que acentuam e/ou atenuam a formação dos estoques para estes itens, cujas taxas de falhas inesperadas são elevadas em função da operação. Os valores apresentados nas simulações serão meramente ilustrativos.

II. CONTEXTUALIZAÇÃO

De um modo geral, a reposição de componentes não é uma ciência exata, mesmo se utilizando sistemas avançados de RUL (*Remaining Useful Life*) presentes nos sistemas de prognóstico das aeronaves [7]. Para que este sistema apresente uma abrangência maior e consequentemente um maior controle, milhares de componentes precisariam ser monitorados, o que na prática seria economicamente inviável. Além disto, Montgomery [8] alerta para o fato de que:

“Em qualquer processo... independente de quão bem planejado ou cuidadosamente mantido ele seja, uma certa quantidade de variabilidade inerente ou natural sempre existirá. Essa variabilidade natural ou “ruído de fundo” é o efeito cumulativo de muitas pequenas causas, essencialmente inevitáveis”

Isto significa que os sistemas de prognóstico de saúde da aeronave são algoritmos que podem orientar determinadas ações, mas não eliminam a imprevisibilidade inerente a operação do avião ou de qualquer outro processo periférico à sua manutenção. Para Rodrigues e Yoneyama [9], independente do fabricante, a cadeia logística orientada ao MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*) de itens não reparáveis continuará dependente de estoques distribuídos para suportar a operação da frota mundial.

Neste contexto surgem tecnologias inovadoras em hardware e software capazes de influenciar e modificar as esferas operacionais atuais, agindo e modificando os sistemas produtivos convencionais, catalisando inovações nos mais variados processos empresariais [10]. Por outro lado, apenas aplicar tecnologia não é suficiente para suportar decisões, principalmente, as de cunho estratégico.

Analisando esta questão sob a ótica das competências logísticas propostas por Ballou [11], aspectos relacionados a Transporte, Localização e Estoques são permeados por um conjunto de processos, procedimentos e sistemas complexos, bem como executado por pessoas com diferentes formações e experiências profissionais.

A modelagem desta cadeia complexa através da Dinâmica de Sistema poderá ser útil no entendimento destas nuances e seus impactos sobre as estratégias deste fabricante aeronáutico nacional; sem que ocorra investimento em qualquer tecnologia adicional.

III. METODOLOGIA

A disciplina Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*) é uma linguagem que permite expressar as cadeias de eventos circulares (*loops*) existentes na natureza [12]. Através de diversos tipos de diagramas (causais, estoque e fluxo) é possível expressar graficamente um sistema, possibilitando ver claramente a complexidade dinâmica das relações entre as partes ao longo do tempo [13]. Isto significa construir simuladores gerenciais, permitindo que os profissionais emulem o desempenho dinâmico de sistemas complexos com auxílio de computadores em aplicativo específico. O exercício nestes simuladores permitirá testar situações novas em relação ao comportamento dos sistemas atuais, antes de colocá-las em prática [14]. Considerando a complexidade dos sistemas e dos processos empresariais, poucos profissionais têm condições de entender integralmente os reais impactos das mudanças implementadas, principalmente no que tange a dinâmica dos estoques globais. Isto está relacionado principalmente pela dificuldade em se conectar todas as variáveis e parâmetros presentes neste tipo de sistema. Além disto, os modelos mentais das pessoas fortalecem crenças, mitos e dogmas dificultando a visualização de soluções inovadoras. Neste sentido Keeney [15] reforça a oportunidade de utilizar *Value-Focused Brainstorming* como uma forma de se aproveitar diferentes modelos mentais na construção cenários na Dinâmica de Sistemas.

Ao se aplicar a Dinâmica de Sistemas em uma cadeia logística de reposição de componentes aeronáuticos do tipo MRO não reparáveis, podem-se antecipar problemas referentes a lead-time produtivos, rupturas e excessos de estoques, dimensionamento produtivo adequado com base no comportamento dinâmico e nas causas essenciais destas relações. Neste contexto, as percepções dos problemas e suas correlações podem resultar em uma melhoria no desempenho desta cadeia, impactando a distribuição dos estoques em diferentes partes do mundo sem que isto represente um aumento nos valores globais. Isto está relacionado diretamente com a minimização do Custo Relevante Global dos estoques proposto por Ballou [11]. Dentro deste contexto o trabalho foi modelado em três partes (Fig.2):



Fig.2-Modelagem Proposta
Fonte: adaptado de [13]

A seguir cada parte será detalhada para o contexto do artigo.

IV. MODELO CONCEITUAL

Com base na caracterização da Cadeia Aeronáutica proposta pelo Auto-ID Lab da Universidade de Cambridge [16], o trabalho se concentrou nas questões relacionadas aos estoques de reposição de um determinado componente de interior (móveis) entre a unidade produtiva no Brasil e a unidade de serviço na França (Fig. 3).

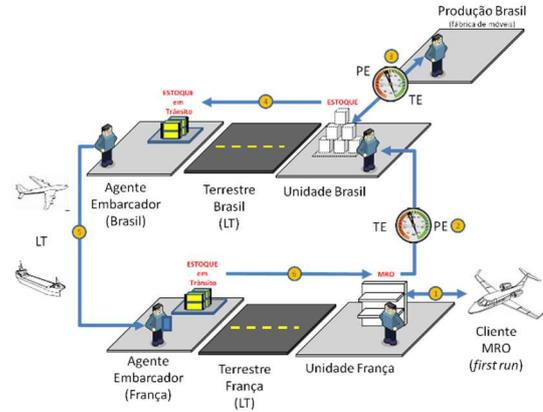


Fig.3- Visão Esquemática de uma Cadeia MRO genérica
Fonte: adaptado de [16]

Pela Fig.3 observa-se que o componente em análise é fabricado no Brasil para depois ser enviado à unidade na França, sendo o mesmo dependente de *Targets* de Estoque (TE) e Políticas de Estoque (PE) em ambos os locais. Ou seja, na França o (TE) regula o ponto de reposição do estoque, enquanto a (PE) o tamanho do lote de reposição. O mesmo racional vale para a unidade Brasil.

V. CAUSAL LOOPS

Tem por objetivo explicar de forma simplificada um sistema complexo, sem que haja a necessidade de qualquer formulação matemática [17]. Isto significa buscar uma visão holística do sistema considerando uma estrutura e suas variáveis. Estas variáveis serão conectadas por setas as quais apresentarão um sinal positivo ou negativo dependendo do contexto. O sinal positivo indica um aumento na variável enquanto o sinal negativo apresenta o comportamento oposto. Traduzindo isto para o trabalho proposto, temos (Fig. 4):

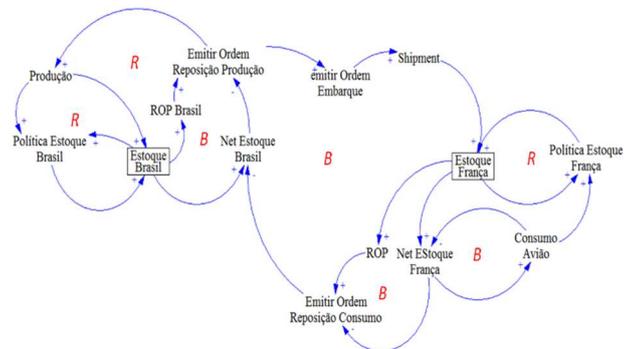


Fig.4- Causal loops Cadeia Aeronáutica MRO

Segundo a Fig.4 os estoques no Brasil e na França são reforçados e/ou atenuados por eventos específicos e integrados. O <consumo avião> dentro do *causal loop* é que deflagra uma baixa no <net estoque França>, que por sua vez influencia o <emitir ordem reposição consumo>; fornecendo assim importantes dados para a definição da <política estoque França>. Este processo de feedback reflete a influência de um elemento em outros elementos através dos relacionamentos estabelecidos. Segundo Sterman [13] os processos dinâmicos são compostos basicamente por dois tipos de feedback: positivo (loop de reforço <R>) e negativo (loop de balanço). Um loop de reforço <R> representa uma situação de consequências crescentes. Por exemplo na Fig. 4, a < emissão ordem reposição produção> leva a um aumento na <produção>, que por sua vez aumentam os <estoques Brasil>, que evitam assim que o ponto de reposição <ROP Brasil> seja acionado e uma nova < ordem reposição produção> seja emitida. Já um loop de balanço busca a estabilidade do sistema. Por exemplo na Fig. 4, o <consumo avião> reduz o <net estoque França>, que por sua vez é alimentado pelo < estoque França>.

VI. STOCKS & FLOWS

A Dinâmica de Sistemas define que todo o comportamento dinâmico é um sistema baseado no princípio da acumulação, onde tudo está conectado com todas as coisas [13]. Em relação ao objetivo proposto, este princípio ocorre quando os fluxos de materiais em diferentes estados se acumulam formando assim os estoques ao longo da cadeia produtiva aeronáutica. Com base no *causal loops* da Fig. 3 foi modelado o comportamento dinâmico do sistema proposto pelo trabalho (Fig. 5):

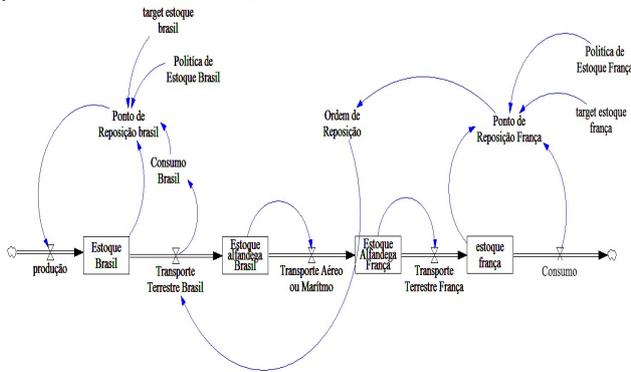


Fig.5-Causal Loops da Cadeia Logística MRO - Aplicativo VenSim

VII. RESULTADOS

Com base na Fig. 5, foi desenvolvida uma modelagem utilizando-se o software VenSim de maneira a capturar os comportamentos e assim simular o processo de constituição do estoque global de reposição para o componente (Fig. 6):

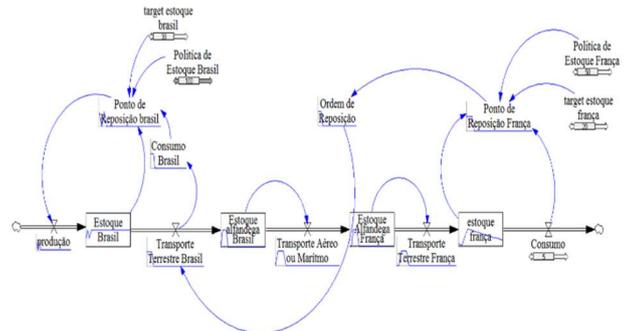


Fig.6 - Modelo de simulação da Cadeia Logística MRO-Aplicativo VenSim

Os valores inseridos no modelo proposto na Fig. 6 foram arbitrados, não representando a realidade da empresa em questão. Como proposto anteriormente, o simulador objetiva criar ambiente exploratório para um determinado componente de interior (mobiliário) oriundo de um avião *first run*.

Como observação resultante do modelo, podemos destacar alguns resultados:

- O estoque do componente na unidade França pode aumentar ao longo do tempo se o consumo for inferior à política de estoques planejada para a unidade (Fig.7).

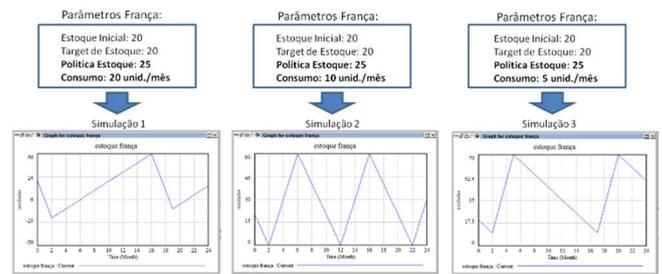


Fig.7 - Modelo de simulação

Simulando três cenários inicialmente, os estoques planejados sobem de 50 peças para 70 peças, se as demandas esperadas diminuïrem no período (ver simulação 1,2 e 3 da Fig.7). Como o componente em análise é oriundo de um avião em *first run*, uma situação inversão também caracterizaria um problema ao planejamento. Se um consumo inesperado acontecesse muito próximo a política estabelecida, uma ruptura de estoque seria verificada já no segundo mês de operação da unidade (ver simulação 1 da Fig. 7). Se a empresa optar por manter a mesma política, o problema se repetirá no mês "19" (ver simulação 1 da Fig.7);

O processo de reposição da unidade Brasil para atender a unidade França é diretamente afetado pelas variações no consumo da unidade no exterior (Fig.8):

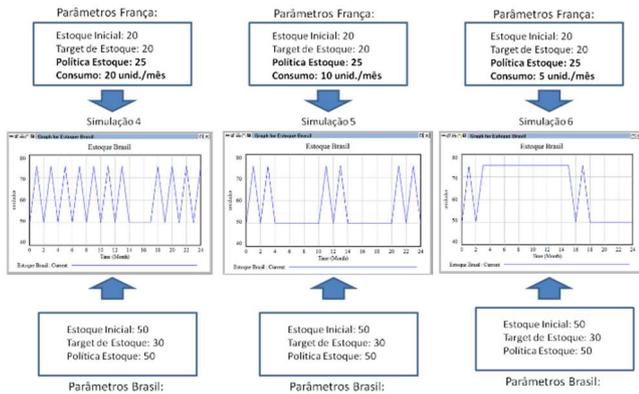


Fig.8 - Modelo de simulação

Ou seja, simulando demandas MRO recorrentes muito próximas a política de estoque na unidade França, as mesmas poderiam ocasionar reposições mais frequentes pela unidade Brasil (ver simulação 4 da Fig.8). Este possível nervosismo seria resultante da proximidade entre a demanda, o <target de estoque> (ponto reposição) e a <política de estoque> (lote reposição) da unidade demandante. Na simulação 4,5 e 6 o somatório do tempo total de reposição (*lead times*) foi considerado fixo em 1 mês. Para componentes de operação *Mature run* e *Aging run* este fenômeno talvez seja mais remoto (ver simulação 6 da Fig.8). Para aviões em *first run* é bem possível que isto ocorra em função da falta de maturidade do produto. Como a simulação considera um componente de interior (mobiliário), falhas precoces inesperadas podem ocorrer em função da operação. Outro fator relevante é em relação a velocidade com que tais políticas são revisadas em sistemas do tipo ERP. Vale lembrar que estes dados de planejamento são tratados como estáticos (determinístico) pelo sistema enquanto a demanda é um elemento dinâmico (estocástico) [18].

•Políticas descentralizadas e desconectadas entre as unidades tendem a aumentar os estoques globais (Fig.9).

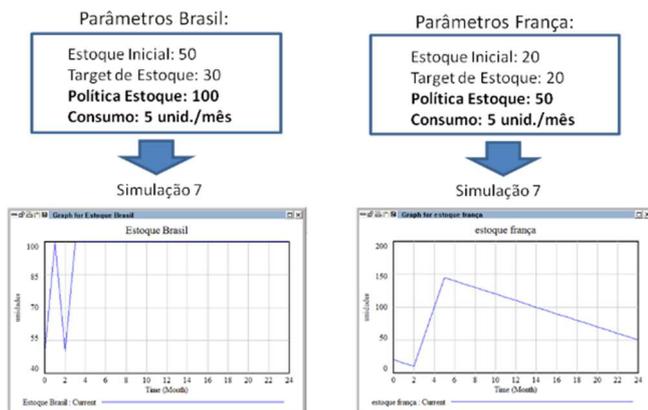


Fig. 9 - Modelo de simulação

A Fig.9 apresenta simulação onde cada unidade definiu sua própria política de reposição de estoque, de maneira a atender apenas suas necessidades. Neste caso a unidade Brasil estaria preocupada com lote maiores para otimizar seu parque fabril, enquanto a unidade França interessada apenas no nível de serviço aos clientes. Mantendo-se a demanda de reposição estável e comparando-se os resultados das simulações, temos (Tabela II):

TABELA II - CARREGAMENTO DOS ESTOQUES

Local Estoque	Simulações 3 & 6 (pico estoque)	Simulação 7 (pico estoque)
França	70 unid.	150 unid.
Brasil	75 unid.	100 unid.

A quantidade em estoque aumenta de forma significativa nas unidades, porém se mantendo elevada principalmente no Brasil por pelo menos 20 meses (Fig.9). Como se trata de avião *first run*, qualquer alteração de engenharia no componente para se corrigir eventuais desvios criará uma potencial sucata de 100 peças na unidade Brasil, e de até 50 peças na unidade França.

VIII. CONCLUSÃO

A concorrência impele as empresas a se tornar eficientes e lucrativas em todos os aspectos operacionais. Para atingir este objetivo é comum as empresas buscarem reduções em seus custos diretos e indiretos. Para isto são necessários conhecimentos que possibilitem gerenciar toda a cadeia logística como um sistema integrado, onde a interdependência entre as partes impacta o todo. A proposta deste artigo foi avaliar de forma preliminar, o impacto da metodologia de *System Dynamics* no desempenho de uma cadeia de reposição de componentes de mobiliário aeronáuticos. Para abordar estes temas foi desenvolvido um modelo que permitisse enxergar toda a estrutura organizacional desta cadeia, e assim analisar o seu comportamento dinâmico através das variações nos parâmetros básicos presentes na visão de *stock & flow*. Desta forma, foi possível verificar a eficácia da metodologia em relação ao objetivo proposto, bem como obter através de simulação a visão de redução/aumento dos estoques da empresa em questão. As melhorias obtidas na simulação do modelo poderão ser comprovadas no desempenho físico desta cadeia, através da inserção de novos indicadores de desempenho pela empresa em questão.

Como trabalhos futuros ficam as sugestões de novas simulações com dados reais das políticas de estoque (lote reposição), *target* de estoque (ponto de pedido), tempos de reposição (*lead times*), inserção do MTBF e custos envolvidos; a fim de se identificar os parâmetros mais adequados ao modelo e sua consequente operacionalização no sistema de informação da empresa.

APÊNDICE

Dados do sistema VenSim PLE para o modelo desenvolvido:

- (01) Consumo = 5 Units: unidades
- (02) Consumo Brasil= Transporte Terrestre Brasil Units: unidades
- (03) Estoque alfandega Brasil = INTEG (Transporte Terrestre Brasil-Transporte Aéreo ou Marítimo, Units: unidades

- (04) Estoque Alfandega França= INTEG (Transporte Aéreo ou Marítimo-Transporte Terrestre França,Units: unidades
- (05) Estoque Brasil= INTEG (produção-Transporte Terrestre Brasil, Units: unidades
- (06) estoque França= INTEG (Transporte Terrestre França-Consumo, 20) Units: unidades
- (07) FINAL TIME = 24 Units: Month
The final time for the simulation.
- (08) INITIAL TIME = 0 Units: Month
The initial time for the simulation.
- (09) Lead Times= 2 Units: Month
- (10) Ordem de Reposição= Ponto de Reposição França*Lead Times Units: unidades
- (11) Política de Estoque Brasil= 100 Units: unidades
- (12) Política de Estoque França=50 Units: unidades
- (13) Ponto de Reposição Brasil= IF THEN ELSE((Estoque Brasil-Consumo Brasil)<target estoque Brasil, Política de Estoque Brasil , 0)Units: unidades
- (14) Ponto de Reposição França=IF THEN ELSE((estoque França-Consumo)<target estoque França, Política de Estoque França , 0) Units: unidades
- (15) produção=Ponto de Reposição Brasil Units: unidades
- (16) SAVEPER = TIME STEP Units: Month [0,?] The frequency with which output is stored.
- (17) target estoque Brasil=30 Units: units
- (18) target estoque França= 20 Units: units
- (19) TIME STEP = 1 Units: Month [0,?] The time step for the simulation.
- (20) Transporte Aéreo ou Marítimo= Estoque alfandega Brasil Units: unidades
- (21) Transporte Terrestre Brasil= Ordem de Reposição Units: unidades
- (22) Transporte Terrestre França = Estoque Alfandega França Units: unidades.

REFERÊNCIAS

- [1] EMBRAER. Demonstrativo de Resultado 2013. Disponível em <http://www.relatoweb.com.br/embraer/12/#.Ujw1q8aThXo>. Consultado em 2 de Março de 2016
- [2] COLE, J. Boeing Suppliers as feeling the heat as Jet maker pushes to boost output. The Wall Street Journal, September 16, 1997
- [3] BAESYSTEMS, Corporate Responsibility. Disponível em <http://www.baesystems.com> Consultado em 10 de Dezembro de 2015
- [4] ANDERSON, D., SWEENEY, D., & WILLIAMS, T. (2001). Quantitative Methods for Business. Mason, Ohio: South-Western College Publishing
- [5] ACKERT, S. (2011). The Relationship between an Aircraft's Value and its Maintenance Status. Acesso em 20 de Junho de 2015, disponível em http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/the_relationship_between_an_aicrafts_value_its_maintenance_status__v1.pdf
- [6] PEROTE FILHO, J. (2014). Proposta de modelo de previsão de custos de reparo em um serviço de disponibilidade de componentes de aeronaves. Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, área Produção. 91 pg. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)-São José dos Campos.
- [7] RODRIGUES, L. R. (2013). Gerenciamento de Estoques Auxiliado por um Sistema de Prognóstico e Monitoramento de Saúde de Sistemas Aeronáuticos. Tese de Doutorado - Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Produção - Instituto Tecnológico de Aeronáutica , p. 100 pag.
- [8] MONTGOMERY, D. (2004). Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. Rio de Janeiro: LTC
- [9] RODRIGUES, L. R., & YONEYAMA, T. (2013). Maintenance Planning Optimization Based on PHM Information and Spare Parts Availability. Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society , p. 7 pag.
- [10] ZHU, X., MUKHOPADHYAY, S. K., & KURATA, H. (2012). A Review of RFID Technology and its Managerial Applications in different industries. Journal of Engineering and Technology Management, vol. 29 , pp. 152-167 pag.
- [11] BALLOU, R. H. (2004). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. Porto Alegre: ArtMed S.A.
- [12] SASAKI, F. A.. Avaliação de Desempenho da Gestão da Cadeia de Suprimentos usando a Dinâmica de Sistemas. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica do Paraná. 2009. Disponível em <http://www.pucpr.br/posgraduacao/engproducao/sistemas/tesesdissertacoes.php>
- [13] STERMAN, J. D.. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. California Management Review.VOL. 43, NO. 4 Summer 2001
- [14] SANTOS, A.M.. Aplicação de um modelo de Simulação para o Gerenciamento de Projetos: Um estudo de caso utilizando a Dinâmica de Sistemas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. USP.2006. Disponível em <http://www.teses.usp.br/>.
- [15] KEENEY, R. L. (1992). Value focused thinking. A path to creative decision making. Cambridge, MA: Harvard University Press
- [16] KELEPOURIS, T. , BAYNHAM, T., McFARLANE, D.. Track and Trace Case Studies Report. Aero-ID 2008. Disponível em http://www.aero-id.org/research_reports/AEROID-CAM-008-TrackTrace.pdf
- [17] EDEN, C.. Analyzing Cognitive Maps to help structure Issues or Problems. European Journal of Operational Research 159. 2004. pág. 673-686.
- [18] LOULY, M.; DOLGUI, A.. Optimal MRP parameters for a single item inventory with random replenishment lead time, POQ policy and service level constraint. Int. J. Production Economics. Vol. 143. 2013. pág. 35-40
- [19] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [20] A. Sheth, C. Henson, e S. S. Sahoo, "Semantic Sensor Web", IEEE Internet Computing, July/August 2008. Disponível em: <<http://www.computer.org/internet/>>. Acesso em: 11/03/2009.