

Soft Systems Methodology na Decisão de Desativação de Aeronave Militar: Um *Framework* para as Dimensões Logística, Orçamentária e Operacional

Amilton Oliveira Ferreira Junior¹, Roberto Renato Lima da Silva¹, Jorge Luiz Viana da Cruz Junior¹, Mischel Carmen Neyra Belderrain¹ e Níssia Carvalho Rosa Bergiante¹,

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo—A decisão de desativar uma frota de aeronaves militares envelhecidas é um problema estruturalmente complexo, caracterizado por múltiplos atores com perspectivas conflitantes, intangíveis relevantes e incertezas sobre o horizonte de transição. Este artigo aplica o *Soft Systems Methodology* (SSM) clássico de Checkland à desativação de uma frota hipotética da Força Aérea Brasileira, estruturada a partir da Diretriz de Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais do Comando da Aeronáutica (DCA 400-6). A aplicação produz três Sistemas de Atividades Humanas — projeção de disponibilidade futura, identificação do ponto de inflexão financeiro e sincronização da transição operacional —, interligados por cinco conexões de dependência analítica. As três dimensões não são sequenciais, mas formam um ciclo que exige tratamento iterativo e integrado; sua desarticulação tende a expor a decisão a julgamentos discricionários. Propõe-se ainda que o *framework* seja transferível a domínios de capital intensivo que enfrentam decisões análogas de desativação de ativos complexos.

Palavras-Chave—*Soft Systems Methodology*, desativação de aeronaves, Ciclo de Vida de Sistemas

I. INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira (FAB) tem vivenciado, em sua história recente, decisões críticas sobre o ciclo de vida de suas frotas de aeronaves. A modernização da aeronave de instrução T-27 [1], a transição do C-130 para o KC-390 [2] e a chegada do F-39 Gripen como substituto das aeronaves que atualmente compõem a primeira linha da aviação de caça (A-1M [3] e F-5M [4]) ilustram momentos em que a FAB precisou decidir entre estender a vida operacional de uma frota ou desativá-la e substituí-la.

Esse desafio é formalizado pela Diretriz do Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais do Comando da Aeronáutica (DCA 400-6), que, durante a Fase de Utilização de um Sistema ou Material, ao identificar limitações logísticas ou degeneração das capacidades operacionais, exige a elaboração de estudos formais para decisão de Ampliação da Vida Útil ou Desativação [5]. Trata-se de um ponto de inflexão crítico, com implicações técnicas, financeiras e estratégicas, para o qual a Engenharia de Sistemas (ES) oferece suporte ao antecipar os impactos das fases finais, a saber, a retirada de operação

e o descarte, em vez de restringir a decisão ao projeto ou à aquisição [6].

A decisão de Ampliação da Vida Útil ou Desativação de um sistema é um problema estruturalmente complexo — ou *wicked problem*, na definição de Rittel e Webber [7] — caracterizado pela presença de múltiplos atores com perspectivas legítimas e conflitantes, intangíveis importantes e incertezas-chave. Embora os resultados possíveis sejam identificáveis, como a extensão da vida útil, a modernização ou a desativação (com ou sem substituição), o problema transcende a escolha entre alternativas. Questões como quando desativar, como conduzir o processo de transição, quanto tempo ele demandará, como manter a prontidão operacional durante esse período e como conciliar os custos crescentes da frota com os investimentos exigidos pelo sistema substituto são, em si mesmas, situações não estruturadas que resistem a respostas objetivas e únicas. É precisamente essa dimensão, a da estruturação do problema antes da decisão, que motiva a adoção do SSM como método central deste artigo.

Este artigo aplica o *Soft Systems Methodology* (SSM) clássico de Checkland [8] ao problema de desativação de uma frota hipotética de aeronaves militares com vida operacional avançada que apresenta limitações logísticas crescentes e desempenho operacional aquém do projetado em seu Conceito de Operações (CONOPS), cenário construído a partir dos processos formais de desativação da FAB.

O objetivo do artigo é propor um *framework* estruturado de apoio à decisão que torne explícitas as interdependências entre as dimensões do problema e que seja metodologicamente fundamentado. Como objetivo complementar, propõe-se que o *framework* seja transferível para contextos civis análogos, como linhas aéreas comerciais, usinas de energia e operadores de logística marítima.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Gestão do Ciclo de Vida de um Sistema e a Decisão de Desativação

A ES fornece o arcabouço para gerir sistemas complexos da necessidade operacional ao descarte. Kossiakoff et al. [9] observam que o avanço tecnológico reduz progressivamente o valor operacional de um sistema, mas que essa obsolescência costuma ser localizada em subsistemas, permitindo restaurar a efetividade por modernizações parciais a custo muito inferior

A. O. Ferreira Junior, junioraofj@ita.br; R. R. L. Silva, renator-rls@fab.mil.br; J. L. V. Cruz Junior, vianajlvj@fab.mil.br; M. C. N. Belderrain, carmen@ita.br; N. C. R. Bergiante, nissia.bergiante@gp.ita.br. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

ao da substituição total. Quando a obsolescência se generaliza ou componentes críticos deixam de ser fabricados (*Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages* — DMSMS), a modernização deixa de se justificar e o sistema entra em desativação. Kasser [10] propõe tratar essa fase como um projeto em si, um descomissionamento planejado (*undevelopment* na terminologia original), voltado a remover o sistema de serviço com impacto mínimo sobre as operações e sobre a instalação do substituto. A Defense Acquisition University (DAU) [11] acrescenta a perspectiva militar: mudanças no ambiente de ameaças ou na orientação estratégica podem tornar insuficiente o sistema atual, ainda que tecnicamente sustentável, exigindo um substituto de maior capacidade.

Na FAB, a Diretriz de Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais do Comando da Aeronáutica (DCA 400-6) formaliza o processo de gestão do ciclo de vida, tornando o Estudo da Ampliação da Vida Útil ou Desativação o evento decisório central para a continuidade ou encerramento de um Sistema e/ou Material. A decisão é tomada pela Autoridade Decisória (AD), assessorada pelos Gerentes Temáticos, podendo ser submetida ao Comandante da Aeronáutica quando de relevância estratégica ou impacto potencial sobre a capacidade operacional. O estudo formal é determinado pelo Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER) ao identificar limitações logísticas ou degeneração de capacidades, e conduz a três cursos de ação: modificação do sistema, desativação, ou continuidade da operação nas condições correntes com reavaliação periódica. No caso de desativação, a norma exige que o impacto operacional na transição entre frotas seja considerado [5].

Esse desafio não é exclusivo do contexto militar: em linhas aéreas comerciais a decisão de renovação de frota pondera custos crescentes de manutenção e perda de desempenho operacional [12]; em logística marítima, equilibra custos acumulados, valor residual do ativo e disponibilidade de substitutos [13]; e em usinas nucleares não há relação simples entre a idade da instalação e o momento da desativação, dada a influência de fatores econômicos, políticos, de manutenção e de mercado [14]. Em todos esses contextos, a decisão compartilha a estrutura do problema aqui estudado, o que motiva a adoção de um PSM como o SSM.

B. Problemas complexos, PSM e SSM

A decisão de desativar uma frota não se enquadra em problemas estruturados. Ackoff [15] denomina *messes* as situações compostas por sistemas complexos de problemas em interação, e é nesse tipo de situação que os Métodos de Estruturação de Problemas (*Problem Structuring Methods* — PSM) operam [16]: sua filosofia central é que a dificuldade essencial com a complexidade não está em resolvê-la, mas na abordagem para enfrentá-la [17], oferecendo representações que permitem aos atores clarificar seu predicamento e acordar compromissos que ao menos parcialmente o resolvam [18].

O SSM foi desenvolvido por Peter Checkland na Universidade de Lancaster na década de 1970, evoluindo ao longo de quatro décadas em diferentes configurações [19]; a mais tradicional é a de sete estágios, que organiza o processo em um ciclo de aprendizagem iterativo, dividido entre o mundo real e o sistêmico [8].

Os Estágios 1 e 2 expressam a situação problemática por meio da Figura Rica, um representação gráfica livre de

estruturas, processos, atores e tensões, e de três Análises complementares: de Intervenção (agentes envolvidos), Social (papéis, normas e valores) e Política (como o poder é exercido e distribuído) [8], [19]. No Estágio 3, constroem-se as Definições Raiz dos sistemas relevantes com o auxílio do mnemônico CATWOE — clientes (C), atores (A), transformação (T), visão de mundo ou *Weltanschauung* (W), donos (O) e restrições (E) —, sintetizadas em um enunciado único que integra esses elementos, estruturado em torno do que o sistema faz, como e por quê (PQR). No Estágio 4, as Definições Raiz são operacionalizadas em Modelos Conceituais, ou Sistemas de Atividades Humanas (HAS), que descrevem o conjunto mínimo de atividades necessárias a cada transformação; os HAS não descrevem a realidade, mas o sistema ideal derivado do CATWOE, e sua utilidade está em tornar visíveis as atividades ausentes ou parciais quando confrontados com a prática [17].

Os Estágios 5 a 7 retornam ao mundo real: comparam-se os modelos com a realidade observada, com o propósito não de validá-los, mas de estruturar um debate informado sobre o que existe, falta ou está incompleto. Desse debate derivam mudanças sistemicamente desejáveis e culturalmente viáveis (estruturais, procedimentais ou atitudinais) e as ações concretas que compõem o plano de intervenção [8], [19].

Dentre os PSMs disponíveis, o SSM destaca-se como o mais amplamente utilizado [18] e o mais desenvolvido em termos de fundamentos teóricos e filosóficos [20]. Para Georgiou [17] é o único que oferece planejamento sistêmico para problemas sistêmicos, traduzindo a desordem da complexidade em um plano de ação integrado que espelha a própria complexidade que endereça. Aplicado a este problema, o SSM oferece, portanto, um framework que estrutura essas visões de mundo em modelos comparáveis com a realidade, tornando a decisão mais fundamentada e transparente para os atores institucionais envolvidos.

III. MÉTODO E RESULTADOS

O artigo adota abordagem qualitativa exploratória, aplicando o SSM clássico de sete estágios de Checkland [8] à decisão de desativar uma frota hipotética de aeronaves militares com vida operacional avançada, estruturada a partir da DCA 400-6 [5]. O cenário hipotético é uma escolha deliberada: preserva as características estruturais da situação real sem expor especificidades institucionais sensíveis, garantindo rigor analítico sem comprometer informação restrita.

Em aplicações convencionais do SSM, as perspectivas dos *stakeholders* são capturadas por entrevistas, oficinas e observação participante [8], [19]. Aqui, elas são reconstituídas a partir da experiência dos autores e de documentos normativos públicos do Comando da Aeronáutica (COMAER), que expressam formal e legitimamente a visão de cada Gerente Temático previsto na DCA 400-6, abordagem justificada pela natureza documental e normativa da situação estudada. A base documental reuniu diretrizes doutrinárias e estratégicas [21]–[24], que fundamentam os valores institucionais de soberania e continuidade operacional, e normativos de ciclo de vida e desativação [3], [5], [25]–[29], que estruturaram as dimensões técnico-logística e orçamentária dos CATWOEs; a experiência dos autores no COMAER orientou essa interpretação, e a ausência de entrevistas ou validação direta com os atores é reconhecida como limitação da reconstrução.

A. Expressão da situação problemática (Estágios 1 e 2)

A aplicação do SSM teve início com a expressão da situação problemática por meio da Figura Rica e das três Análises complementares. A Figura Rica, apresentada na Fig. 1, representa graficamente a complexidade da situação. Sua análise revela três dimensões interdependentes: a técnico-logística, que concentra as preocupações com disponibilidade da aeronave e capacidade de manutenção; a orçamentária, que reúne as tensões entre o custo crescente de sustentação da frota e as restrições do ciclo orçamentário; e a estratégico-operacional, que expressa as preocupações com soberania e continuidade da capacidade operacional. O nó normativo central é a DCA 400-6, documento que formaliza e estrutura o processo decisório, conectando todas as dimensões e atores envolvidos.



Fig. 1. Figura Rica — Ampliação da Vida Útil ou Desativação de Aeronave

As três Análises complementam a Figura Rica ao sistematizar os elementos humanos e institucionais da situação. Para melhor fluidez do texto, os agentes serão referenciados por seus papéis institucionais. A Análise de Intervenção identificou os agentes físicos e abstratos envolvidos, conforme a Tabela I.

TABELA I
AGENTES DA SITUAÇÃO PROBLEMÁTICA

Agente	Papel
<i>Agentes físicos</i>	
Alto-Comando	Autoridade Decisória
EMAER	Gerente Conceitual (Planejamento)
COMPREP / COMAE	Gerente Operacional
COMGAP	Gerente Logístico e de Infraestrutura
DCTA	Gerente Técnico e Industrial
SEFA	Gerente Orçamentário
<i>Agentes abstratos</i>	
DCA 400-6	Nó normativo central do processo decisório
Ciclo orçamentário federal (PPA/LDO/LOA)	Arcabouço orçamentário da Força
Segurança de voo, soberania, dissuasão, economicidade	Valores institucionais que orientam os julgamentos
Sociedade brasileira	Beneficiária última da capacidade de defesa

Os agentes físicos correspondem aos Gerentes Temáticos previstos na DCA 400-6, representantes dos interesses institucionais de seus órgãos no processo de Desativação ou Ampliação da vida útil de um sistema. A Secretaria de Economia, Finanças e Administração da Aeronáutica (SEFA), embora não citada nominalmente como Gerente Temático, é aqui incluída por exercer o papel de Coordenador da Ação Orçamentária previsto na DCA 400-6. As competências de cada órgão foram extraídas

dos regulamentos organizacionais [30]–[33] e dos manuais técnicos de manutenção e suprimento [34]–[36].

A Análise Social mapeou os papéis, normas e valores institucionais listados na Tabela I (segurança de voo, soberania, dissuasão, economicidade), que se manifestam nos elementos W dos três CATWOEs a seguir. A Análise Política identificou que, embora a autoridade decisória final caiba ao Alto Comando, o poder está distribuído entre quem decide e quem fundamenta a decisão, já que a qualidade da deliberação depende da integração das perspectivas especializadas dos demais atores. Essa distribuição se reflete nos CATWOEs pela recorrência do Alto-Comando como Dono (O) das três transformações.

B. Os três sistemas e suas Definições Raiz (Estágio 3)

A modelagem sistêmica identificou três sistemas relevantes, cada um expressando o *Weltanschauung* de um Gerente Temático: a Sustentabilidade Técnica e Logística da Frota (Gerente Logístico, que prioriza a sustentação da cadeia de suporte), a Viabilidade Financeira e Orçamentária da Frota (Gerente Orçamentário, que prioriza a economicidade na aplicação de recursos públicos) e a Continuidade da Capacidade Operacional da Força (Gerente Operacional, que prioriza a prontidão e a soberania). São perspectivas parciais e legítimas, que competem entre si por recursos e horizonte temporal: o que é prudente sob uma pode ser inviável sob outra. É essa competição que, na prática institucional, tende a ser resolvida de forma fragmentada, com cada órgão otimizando sua dimensão sem internalizar os impactos sobre as demais, e que a modelagem a seguir busca tornar explícita e tratável.

Para cada dimensão, foram identificadas pelos autores transformações candidatas, resultando em quatorze ao todo. Dessas transformações, três foram selecionadas para desenvolvimento completo neste artigo (Tabela II) — T1, T2 e T3 —, por cobrirem, de forma não sobreposta, o aspecto prospectivo central de cada dimensão: a projeção da trajetória de disponibilidade futura da frota, a modelagem dos custos futuros em horizonte de ciclo de vida, e a sincronização entre o cronograma de desativação e a maturação operacional do sistema substituto.

As demais onze transformações cobrem aspectos complementares a cada dimensão: na técnico-logística, aeronavegabilidade e vida estrutural, pontos de ruptura por DMSMS, riscos de segurança de voo e capacidade industrial de suporte; na orçamentária, custos futuros de operação e manutenção, alocação orçamentária entre frota atual e substituto, e custo da desativação; e na operacional, avaliação da capacidade frente ao CONOPS, risco de hiato de capacidade, integração ao PEMAER e ao Planejamento Baseado em Capacidades, e transição de pilotos e operadores.

Para cada transformação selecionada foi construído um CATWOE, apresentados nas Tabelas III, IV e V, e derivada uma Definição Raiz.

1) *Projeção de Disponibilidade Operacional Futura (T1):*

DR1: “Um sistema que atende ao Gerente Operacional, à FAB e à sociedade brasileira, operado pelo Gerente Logístico e de Infraestrutura, assessorado pelo Gerente Técnico, que transforma a disponibilidade operacional futura da frota, incerta e não projetada, em uma trajetória de disponibilidade futura quantificada para diferentes cenários de continuidade, em

TABELA II

TRANSFORMAÇÕES SELECIONADAS PARA DESENVOLVIMENTO (UMA POR DIMENSÃO)

Cód.	Transformação
T1	Disponibilidade operacional futura incerta e não projetada → Trajetória de disponibilidade futura quantificada para diferentes cenários de continuidade
T2	Ponto de inflexão financeiro sem critério formal → Ponto de inflexão identificado, documentado e adotado como critério objetivo para a decisão
T3	Cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto não sincronizados → Cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto explicitamente sincronizados entre si

TABELA III

CATWOE — PROJEÇÃO DE DISPONIBILIDADE OPERACIONAL FUTURA

Elemento	Conteúdo
C	Gerente Operacional, FAB e sociedade brasileira
A	Gerente Logístico e de Infraestrutura, assessorado pelo Gerente Técnico
T	Disponibilidade operacional futura incerta e não projetada → Trajetória de disponibilidade futura quantificada para diferentes cenários de continuidade
W	A decisão de ciclo de vida requer projeção da disponibilidade futura, não apenas monitoramento do presente
O	Autoridade Decisória
E	Normas de aeronavegabilidade e segurança de voo; disponibilidade de peças e suporte logístico da indústria fornecedora; arcabouço normativo do COMAER

função de que a decisão de ciclo de vida requer projeção da disponibilidade futura, e não apenas monitoramento do presente, que pertence ao domínio da Autoridade Decisória e opera sob as restrições de aeronavegabilidade e segurança de voo, do suprimento de peças e do arcabouço normativo do COMAER.”

TABELA IV

CATWOE — IDENTIFICAÇÃO DO PONTO DE INFLEXÃO FINANCEIRO

Elemento	Conteúdo
C	FAB e sociedade brasileira
A	Gerente Conceitual (Planejamento), assessorado pelo Gerente Orçamentário
T	Ponto de inflexão financeiro sem critério formal → Ponto de inflexão identificado, documentado e adotado como critério objetivo para a decisão
W	A ausência de um critério formal para o ponto de inflexão financeiro expõe a decisão de ciclo de vida a julgamentos discricionários, incompatíveis com a exigência de economicidade na aplicação de recursos públicos
O	Autoridade Decisória
E	Ciclo orçamentário federal; teto de gastos e prioridades concorrentes no orçamento de defesa; variação cambial; qualidade e disponibilidade dos dados históricos de custo nos sistemas de gestão do COMAER

2) Identificação do Ponto de Inflexão Financeiro (T2):

DR2: “Um sistema que atende à FAB e à sociedade brasileira, operado pelo Gerente Conceitual (Planejamento), assessorado pelo Gerente Orçamentário, que transforma um ponto de inflexão financeiro sem critério formal em um ponto de inflexão identificado, documentado e adotado como critério objetivo para a decisão, porque a ausência de critério formal expõe a decisão de ciclo de vida a julgamentos discricionários incompatíveis com a exigência de economicidade na aplicação de recursos públicos, que pertence ao domínio da Autoridade Decisória e opera sob as restrições do ciclo orçamentário federal, da concorrência por recursos no orçamento de defesa e da qualidade dos dados históricos de custo do COMAER.”

TABELA V

CATWOE — SINCRONIZAÇÃO DA TRANSIÇÃO OPERACIONAL ENTRE FROTAS

Elemento	Conteúdo
C	Gerente Operacional, FAB e sociedade brasileira
A	Gerente Conceitual (Planejamento), assessorado pelo Gerente Operacional
T	Cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto não sincronizados → Cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto explicitamente sincronizados entre si
W	A desativação sem sincronização com a maturação do substituto gera hiato de capacidade operacional inaceitáveis para a soberania nacional
O	Autoridade Decisória
E	Cronograma de entrega e maturação operacional do sistema substituto; tempo de qualificação e conversão de pilotos e operadores; arcabouço estratégico do COMAER

3) *Sincronização da Transição Operacional entre Frotas (T3):* **DR3:** “Um sistema de planejamento de transição operacional que atende ao Gerente Operacional, à FAB e à sociedade brasileira, operado pelo Gerente Conceitual (Planejamento), assessorado pelo Gerente Operacional, que transforma cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto não sincronizados em cronogramas de desativação da frota atual e de maturação operacional do substituto explicitamente sincronizados entre si, porque a desativação sem essa sincronização gera hiato de capacidade operacional inaceitáveis para a soberania nacional, que pertence ao domínio da Autoridade Decisória e opera sob as restrições do cronograma de maturação do substituto, da qualificação de pilotos e operadores e do arcabouço estratégico do COMAER.”

A análise conjunta das três Definições Raiz revela um ciclo de dependência analítica, não uma cadeia linear: T1 fornece a trajetória projetada de disponibilidade futura como dado de entrada para T2, pois a degradação da disponibilidade é um dos vetores que determina o ponto em que o custo de sustentação deixa de ser justificável. T2, ao formalizar esse ponto como critério objetivo, delimita o horizonte em que a transição planejada por T3 deve se concluir. T3, por fim, retroalimenta ambos: reancora as projeções de T1 ao fixar o horizonte temporal e, ao definir o cronograma de maturação do substituto, condiciona o custo de substituição que integra o ponto de inflexão de T2, fechando o ciclo. Por isso, o tratamento precisa ser iterativo, com as três dimensões revisitadas até convergirem; sem essa circularidade explicitada, a tendência é a fragmentação decisória, com cada dimensão analisada isoladamente.

C. Modelos Conceituais e Supersistema (Estágio 4)

Os três HAS são apresentados de forma integrada na Fig. 5 e detalhados a seguir.

HAS 1 — Projeção de Disponibilidade Operacional Futura (Fig. 2). As atividades 1.1 e 1.2 estabelecem o estado atual e os dados históricos de disponibilidade; 1.3 a 1.5 avaliam os condicionantes futuros (peças, sustentabilidade da cadeia logística e pontos de ruptura por DMSMS) que alimentam a atividade-produto 1.6: as projeções de disponibilidade futura sob diferentes cenários, base sobre a qual o HAS 2 estima o Custo do Ciclo de Vida.

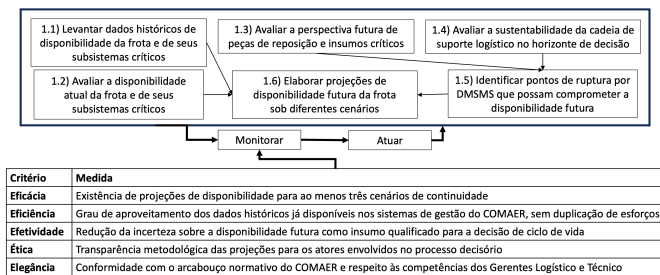


Fig. 2. HAS 1 — Projeção de Disponibilidade Operacional Futura

HAS 2 — Identificação do Ponto de Inflexão Financeiro (Fig. 3). As atividades 2.1 a 2.6 constroem a base de dados financeiros (custos históricos, projeções de Custo do Ciclo de Vida, estimativas de ampliação e de substituição, disponibilidade orçamentária e impacto sobre projetos concorrentes), sintetizada em 2.7 e culminando na atividade-produto 2.8: a identificação e documentação do ponto de inflexão financeiro como critério objetivo.

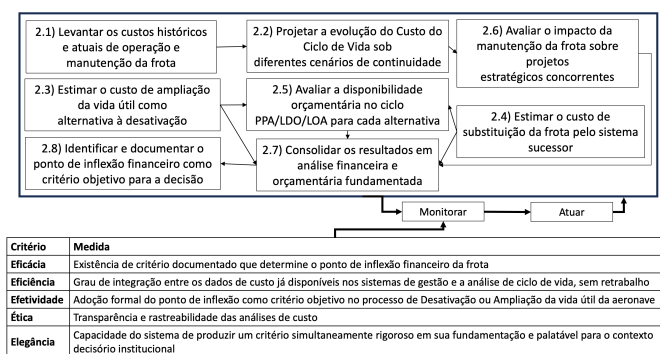


Fig. 3. HAS 2 — Identificação do Ponto de Inflexão Financeiro

HAS 3 — Sincronização da Transição Operacional entre Frotas (Fig. 4). As atividades 3.1 e 3.2, que compreendem o cronograma de maturação do substituto e o tempo de qualificação e conversão de pilotos e operadores, alimentam 3.3 (cenários de transição para diferentes momentos de desativação); 3.4 e 3.5 avaliam o risco de hiato; consolidadas em 3.6, culminam na atividade-produto 3.7: a sincronização explícita entre o cronograma de desativação e a maturação operacional do substituto.

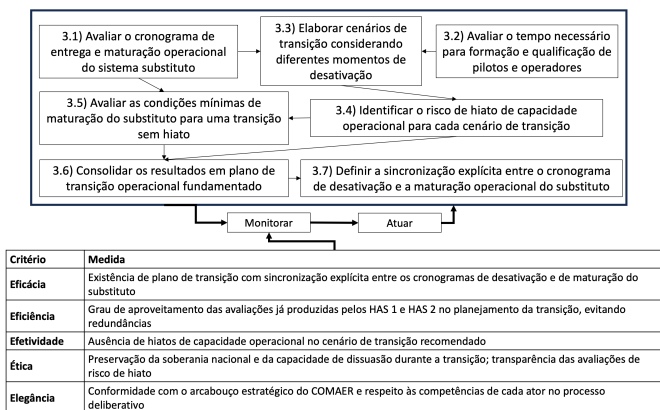
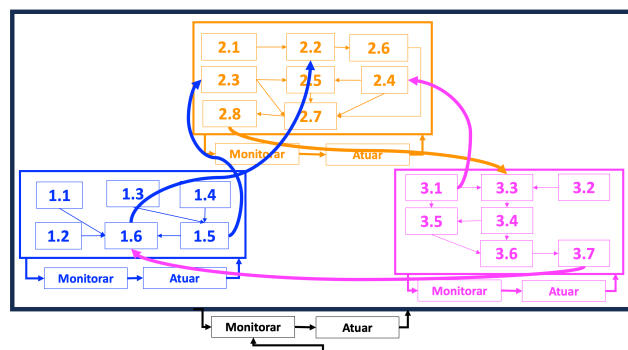


Fig. 4. HAS 3 — Sincronização da Transição Operacional entre Frotas

Cada HAS é fechado por um subsistema de monitoramento e controle (monitorar—definir critério—agir) avaliado pelos cinco

Es. No HAS 2, por exemplo, a *eficácia* verifica a existência de um critério documentado que determine o ponto de inflexão financeiro da frota; a *eficiência*, o grau de integração entre os dados de custo já disponíveis nos sistemas de gestão e a análise de ciclo de vida, sem retrabalho; a *efetividade*, a adoção formal do ponto de inflexão como critério objetivo no processo de desativação ou ampliação da vida útil da aeronave; a *ética*, a transparência e a rastreabilidade das análises de custo; e a *elegância*, a capacidade do sistema de produzir um critério simultaneamente rigoroso em sua fundamentação e compreensível e aceitável no contexto decisório institucional.

Segundo Georgiou [17], os três HAS foram interligados em um supersistema (Fig. 5) por cinco conexões entre atividades de sistemas distintos, que concretizam, no nível das atividades, o ciclo já descrito entre as Definições Raiz. No sentido *feedforward*: as projeções de disponibilidade (1.6) alimentam a modelagem do Custo do Ciclo de Vida (2.2); os pontos de ruptura por DMSMS (1.5) informam o custo de ampliação da vida útil (2.3); e o ponto de inflexão (2.8) delimita o horizonte dos cenários de transição (3.3). Na retroalimentação: o cronograma de maturação do substituto (3.1) condiciona o custo de substituição (2.4); e a sincronização dos cronogramas (3.7) reancora temporalmente as projeções de disponibilidade (1.6), integrando os produtos dos três HAS em uma recomendação única para o processo da DCA 400-6.



Critério	Medida
Eficácia	Existência de um documento integrador que consolide os produtos dos três HAS (projeção de disponibilidade futura (1.6), ponto de inflexão financeiro (2.8) e plano de sincronização da transição (3.7)) em uma recomendação única, rastreável e fundamentada para o processo de Desativação ou Ampliação da vida útil da aeronave.
Eficiência	Grau em que as cinco conexões entre os HAS eliminam retrabalho — em especial: cenários de disponibilidade alimentando as projeções de Custo do Ciclo de Vida; pontos de ruptura por DMSMS informando o custo de ampliação da vida útil; ponto de inflexão financeiro delimitando o horizonte dos cenários de transição; e cronograma do substituto condicionando simultaneamente as projeções de disponibilidade e o custo de substituição.
Efetividade	Alinhamento entre a recomendação do supersistema e os três critérios simultaneamente: trajetória de disponibilidade futura quantificada; ponto de inflexão financeiro formalmente identificado; e transição planejada sem hiato de capacidade operacional
Ética	Grau em que as três perspectivas são efetivamente integradas na recomendação final, sem que a pressão orçamentária suprima a avaliação técnica, a inércia operacional postergue a decisão financeiramente justificada, ou critérios estratégicos sejam ignorados por conveniência logística
Elegância	Grau em que o processo do supersistema é compatível com o arcabouço normativo da DCA 400-6.

Fig. 5. Supersistema — Interdependências entre os três HAS

D. Comparação, Mudanças Desejáveis e Ações (Estágios 5, 6 e 7)

Os Estágios 5 a 7 compreendem a comparação dos modelos conceituais com a realidade observada, a identificação de mudanças sistemicamente desejáveis e culturalmente viáveis, e a definição de ações concretas para implementá-las. Para não expor quais atividades são ou não executadas na prática institucional, estes estágios são conduzidos de forma ilustrativa sobre uma única atividade-produto, a 2.8 do HAS 2, coerente com o caráter hipotético do cenário adotado, construído a partir de situações reais, mas sem correspondência direta com a frota de qualquer sistema específico. O procedimento para as demais atividades seria análogo.

Estágio 5 — Comparação: No cenário hipotético adotado, admite-se que a atividade 2.8 esteja ausente do processo decisório, para ilustrar a mudança proposta nos Estágios 6 e 7. Os custos históricos de operação e manutenção estão disponíveis nos sistemas de gestão, e a análise de impacto orçamentário aparece fragmentada nas peças de planejamento anual, mas o ponto de inflexão financeiro não é identificado nem documentado como critério formal, expondo a decisão a julgamentos discricionários.

Estágio 6 — Mudança desejável: A partir da lacuna hipotética admitida no Estágio 5, propõe-se formalizar o ponto de inflexão como critério objetivo e obrigatório do processo. É sistemicamente desejável porque, sem ele, o HAS 3 não possui horizonte financeiro dentro do qual construir os cenários de transição. É culturalmente viável porque a exigência de economicidade já está inscrita nos princípios constitucionais que regem a aplicação de recursos públicos. Sua adoção em um caso real dependeria de validação junto aos Gerentes Temáticos responsáveis.

Estágio 7 — Ação concreta: Incluir, na regulamentação da DCA 400-6, requisito explícito de que o Estudo de Ampliação da Vida Útil ou Desativação contenha, como produto obrigatório, a identificação documentada do ponto de inflexão financeiro, com metodologia rastreável, elaborada pelo Gerente Conceitual (Planejamento) em coordenação com o Gerente Orçamentário e com insumos de custo providos pelo Gerente Logístico e de Infraestrutura.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo aplicou o SSM clássico de Checkland ao problema de desativação de uma frota hipotética de aeronaves militares da FAB, estruturado a partir dos processos formais da DCA 400-6, com o objetivo de tornar explícitas as interdependências entre as dimensões do problema. O *framework* resultante descreveu três Sistemas de Atividades Humanas interligados em um supersistema por cinco conexões de dependência analítica: o HAS 1 projeta a disponibilidade futura da frota; o HAS 2 identifica o ponto de inflexão financeiro como critério objetivo para a decisão; e o HAS 3 sincroniza explicitamente o cronograma de desativação com a maturação operacional do substituto, retroalimentando os dois sistemas anteriores.

A aplicação sugere a capacidade do SSM para estruturar perspectivas institucionais distintas — técnico-logística, financeira e estratégico-operacional — em modelos conceituais que tornam visíveis interdependências antes implícitas na prática decisória. O supersistema resultante evidencia que as três dimensões formam uma interdependência cíclica, a ser analisada de forma iterativa e integrada, e não sequencial ou fragmentada.

A principal limitação do estudo é a natureza hipotética do cenário, que impede a validação empírica dos modelos junto aos atores institucionais. Permanecem como hipóteses a confirmar em trabalhos futuros: a efetiva melhoria do processo decisório e a operacionalização do ponto de inflexão financeiro, mediante aplicação do *framework* a frotas reais da FAB em processo de transição, com validação junto aos Gerentes Temáticos da DCA 400-6; a extensão às demais transformações candidatas identificadas; e a transferibilidade da lógica do supersistema a outros domínios de capital intensivo que enfrentem decisões análogas de descomissionamento.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. AFA realiza primeiro voo solo a bordo da aeronave T-27 modernizada. Acesso em: 17/04/2026. [Online]. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/38712>
- [2] —, *PCA 400-143 Plano de Desativação Parcial da Frota de Aeronaves C-130 da FAB*. Brasília: COMAER, 2016.
- [3] —, *PCA 400-160 Plano de Desativação Parcial da Frota de Aeronaves A-1 da FAB*. Brasília: COMAER, 2018.
- [4] —, *PCA 400-200 Plano de Desativação das Aeronaves F-5E/EM/FM da FAB*. Brasília: COMAER, 2021.
- [5] —, *DCA 400-6 Ciclo de Vida de Sistemas e Materiais do COMAER*. Brasília: COMAER, 2025.
- [6] B. S. Blanchard e W. J. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*, 5th ed. Prentice Hall, 2011.
- [7] H. W. J. Rittel e M. M. Webber, “Dilemmas in a general theory of planning,” *Policy Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 155–169, 1973.
- [8] P. Checkland, *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester: Wiley, 1981.
- [9] A. Kossiakoff, W. N. Sweet, S. J. Seymour, e S. M. Biemer, *Systems Engineering: Principles and Practice*, 2nd ed., ser. Wiley Series in Systems Engineering and Management. Hoboken: Wiley, 2011, no. 67.
- [10] J. E. Kasser, *Systems Engineering: A Systemic and Systematic Methodology for Solving Complex Problems*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.
- [11] DAU, *Integrated Product Support (IPS) Elements Guidebook*. Fort Belvoir: Defense Acquisition University, 2024.
- [12] J. Liu, S. Wang, Z. Dou, e Y. Gao, “Do aging aircraft run late? Evidence from the United States domestic flights,” *Journal of the Air Transport Research Society*, vol. 5, 2025.
- [13] D. Jin e H. L. Kite-Powell, “Optimal fleet utilization and replacement,” *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, vol. 36-1, pp. 3–20, 2000.
- [14] P. O’Sullivan, “Nuclear decommissioning: Addressing the past and ensuring the future,” *IAEA Bulletin*, pp. 4–6, 2023.
- [15] R. L. Ackoff, “The Future of Operational Research is Past,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 30, no. 2, pp. 93–104, 1979.
- [16] R. V. Françaço e M. C. N. Belderrain, “A problem structuring method framework for value-focused thinking,” *EURO Journal on Decision Processes*, vol. 10, p. 100014, 2022.
- [17] I. Georgiou, “Unravelling soft systems methodology,” *International Journal of Economics and Business Research*, vol. 9, no. 4, pp. 415–436, 2015.
- [18] J. Rosenhead e J. Mingers, “Problem structuring methods in action,” *Journal of Operational Research*, vol. 152, no. 3, pp. 530–554, 2003.
- [19] P. Checkland, “Soft systems methodology: a thirty year retrospective,” *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 17, no. S1, pp. S11–S58, 2000.
- [20] R. Françaço, A. Paucar-Caceres, e M. C. N. Belderrain, “Combining Value-Focused thinking and soft systems methodology: A systemic framework to structure the planning process at a special educational needs school in Brazil,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 73, no. 5, pp. 994–1013, 2021.
- [21] BRASIL, *Estratégia Nacional de Defesa*. Brasília: Ministério da Defesa, 2025, publicada em conjunto com a Política Nacional de Defesa.
- [22] —, *DCA 1-1 Doutrina Básica da FAB*. Brasília: COMAER, 2024.
- [23] —, *DCA 11-45 Concepção Estratégica Força Aérea 100*. Brasília: COMAER, 2025.
- [24] —, *PCA 11-47 Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2024-2033*. Brasília: COMAER, 2024.
- [25] —, *DCA 400-87 Desativação do Projeto C-130 da FAB*. Brasília: COMAER, 2022.
- [26] —, *DCA 400-105 Diretriz de Suporte Logístico no Ciclo de Vida*. Brasília: COMAER, 2023.
- [27] —, *ICA 65-40 Suporte Logístico no Ciclo de Vida*. Brasília: COMAER, 2026.
- [28] —, *PCA 65-1 Plano de Atualização das Estratégias de Suporte no Ciclo de Vida*. Brasília: COMAER, 2025.
- [29] —, *PCA 400-159 Plano de Alienação Parcial da Frota de Aeronaves A-1*. Brasília: COMAER, 2018.
- [30] —, *ROCA 20-2 Regulamento do COMGAP*. Brasília: COMAER, 2017.
- [31] —, *ROCA 20-5 Regulamento do EMAER*. Brasília: COMAER, 2024.
- [32] —, *ROCA 20-8 Regulamento da SEFA*. Brasília: COMAER, 2022.
- [33] —, *ROCA 20-13 Regulamento do COMPREP*. Brasília: COMAER, 2023.
- [34] —, *MCA 66-7 Manual de Manutenção: Doutrina, Processos e Documentação*. Brasília: COMAER, 2017.
- [35] —, *MCA 67-1 Manual de Suprimento*. Brasília: COMAER, 2007.
- [36] —, *NSCA 65-1 Norma do Sistema de Material Aeronáutico e Bélico*. Brasília: COMAER, 2024.