



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

ERIC FERREIRA DOS SANTOS, Cap Av

**Adoção do método CAST para investigação de acidentes aeronáuticos
militares: uma nova perspectiva para o SIPAER**

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

ERIC FERREIRA DOS SANTOS, Cap Av

**Adoção do método CAST para investigação de acidentes aeronáuticos
militares: uma nova perspectiva para o SIPAER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de voo

Orientador: Pedro Nolasco Duarte, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

ERIC FERREIRA DOS SANTOS, Cap Av

Adoção do método CAST para investigação de acidentes aeronáuticos militares: uma nova perspectiva para o SIPAER

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Pedro **Nolasco** Duarte, Maj Av
EAOAR

Rafael de Lima **Santana**, Maj Inf
EAOAR

Rio de Janeiro
2024

RESUMO

Mais trágico que a ocorrência de acidentes aeronáuticos, é não ser capaz de obter os aprendizados capazes de evitar que se repitam. No âmbito da Força Aérea Brasileira, tais eventos são investigados para identificar os fatores contribuintes e gerar recomendações que visam a prevenir sua recorrência. Para isso, utilizam-se abordagens baseadas em cadeias de eventos ou epidemiológicas, como a do queijo suíço de James Reason. Contudo, em uma Força Aérea que opera vetores modernos, em um ambiente sociotécnico cada vez mais complexo, nota-se a necessidade de utilizar abordagens de investigação mais efetivas e adequadas a esse novo contexto. Por essa razão, este ensaio defende que a adoção do método *Causal Analysis based on Systems Theory* (CAST) nas investigações de acidentes aeronáuticos militares implica na elevação dos índices de segurança de voo. Tal abordagem confere maior eficiência aos processos de investigação, uma vez que estruturas de controle geradas para um determinado evento podem ser aproveitadas ou apenas atualizadas em eventos futuros. Além disso, os resultados obtidos por meio da nova abordagem mostram-se superiores aos da abordagem tradicional, além de permitirem a aplicação em métodos proativos de desenvolvimento da segurança operacional, ampliando ainda mais os ganhos que se pode obter em termos de prevenção de novas ocorrências e preservação da capacidade de combate da FAB. Ademais, aponta-se que os resultados obtidos podem ser extrapolados para a investigação de ocorrências aeronáuticas civis, beneficiando a sociedade e projetando a imagem da FAB por sua efetiva contribuição para a segurança de voo nacional.

Palavras-chave: Investigação de Acidentes Aeronáuticos. CAST. Segurança Operacional. Aviação Militar.

1 INTRODUÇÃO

Todo acidente aeronáutico é um evento trágico, que invariavelmente envolve a perda de vidas humanas ou perdas materiais. No contexto da Força Aérea Brasileira (FAB), tais perdas resultam também na redução de sua capacidade de emprego.

Para extrair aprendizados de tais eventos e prevenir sua recorrência, o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) conduz processos de investigação capitaneados por Oficiais de Segurança de Voo (OSV) preparados pelo próprio Centro, que por sua vez apoia o processo e revisa o Relatório Final correspondente, antes de sua publicação.

Contudo, nota-se predominante em tais relatórios o uso de abordagens baseadas em cadeias de eventos ou epidemiológicas, como a do Queijo Suíço de James Reason. Leveson (2011a) aponta que tais modelos são apelativos por sua simplicidade, mas não explicam de fato por que acidentes ocorrem e como preveni-los, especialmente por não contemplarem os fatores sistêmicos envolvidos.

Atualmente, a FAB opera vetores modernos, que utilizam *software* de modo intensivo, em ambientes sociotécnicos cada vez mais complexos. Nesse contexto, o modelo *Causal Analysis based on Systems Theory* (CAST) é mais apropriado para analisar acidentes, por ser capaz de identificar fraquezas nas estruturas de controle de sistemas, delineando mudanças que não apenas eliminam os sintomas, mas potencialmente todos os fatores causais (Leveson, 2011b).

Diante disso, este ensaio defende que a adoção do método CAST nas investigações de acidentes aeronáuticos militares implica na elevação dos índices de segurança de voo.

Tal assunção é sustentada pelo ganho de eficiência inerente à aplicação do método, uma vez que estruturas de controle desenvolvidas para determinada investigação servem de base para outras investigações, propiciando economia de tempo e recursos humanos.

Além disso, argumenta-se que a abordagem CAST aprimora a efetividade das investigações, por ser capaz de identificar um maior número de recomendações de segurança que os modelos tradicionais, sendo elas mais abrangentes e diretivas de implementação para o aumento da segurança no sistema.

2 DESENVOLVIMENTO

O modelo CAST é uma ferramenta de análise de acidentes utilizada para identificar as principais questões que precisam ser respondidas e determinar por que um determinado acidente ocorreu. Leveson (2016) aponta que o método se diferencia dos tradicionais, pois o foco deixa de ser a típica busca por falhas, passando a mirar nas razões pelas quais os sistemas e estruturas implementados para prevenir acidentes não foram bem-sucedidos.

Ele deriva da teoria de causalidade *Systems Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP), que é capaz de identificar fatores contribuintes não capturados por outras abordagens, permitindo a emissão de recomendações de segurança mais relevantes e efetivas para a prevenção de novos acidentes (Leveson, 2011b).

De modo resumido, pode-se descrever o método em cinco passos principais: reunir as informações básicas do evento, modelar a estrutura de controle, analisar os componentes envolvidos na perda, identificar as falhas na estrutura de controle e, por fim, criar um programa de aprimoramento (Leveson, 2019).

2.1 Como o método CAST pode aumentar a eficiência do SIPAER

Nos primórdios da aviação, acreditava-se que a maioria dos acidentes ocorria em função de problemas técnicos, como falhas nos projetos das aeronaves. Os erros humanos passaram a ter importância nas análises apenas na década de 1970. Já em meados dos anos 1990, percebeu-se que os seres humanos operam em um ambiente complexo, que inclui múltiplos fatores que afetam seu comportamento (ICAO, 2018).

No âmbito do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), investigadores de acidentes aeronáuticos militares são capacitados pelo CENIPA, mas costumam valer-se também da transmissão empírica de conhecimentos de outros investigadores.

O processo de investigação conduzido pelo SIPAER consiste em três fases principais: coleta de dados, análise e apresentação dos resultados. Quando ocorrem acidentes ou incidentes aeronáuticos graves envolvendo aeronaves militares, realiza-se a chamada “ação inicial”, que costuma ocorrer no local da ocorrência

aeronáutica, para que se colem as primeiras evidências e dados necessários ao processo de investigação (Brasil, 2017).

Após essa etapa, tem início a análise dos dados, em que se processam as informações colhidas e realizam-se os exames, testes e pesquisas necessários à identificação de fatores contribuintes. Durante essa fase, é natural que o investigador pesquise investigações semelhantes, tanto para averiguar possíveis elementos recorrentes, quanto para enriquecer seus conhecimentos e capacidade de análise.

É neste ponto que reside um dos principais benefícios de se utilizar a abordagem CAST. Leveson (2011b) aponta que a estrutura de controle criada para subsidiar uma determinada investigação pode ser simplesmente reutilizada ou atualizada, caso tenham ocorrido mudanças.

Em se tratando da mesma aeronave ou tipo de operação, o investigador encarregado passa a deter todo um conjunto de informações e regras sobre o funcionamento do sistema, capaz de prover maior celeridade e profundidade à fase de análise. Isso é especialmente importante no âmbito das investigações militares, em que há um número reduzido de investigadores, concentrados nos projetos específicos de suas Unidades Aéreas.

Para exemplificar esse potencial, Hickey (2012) aplicou o CAST para refazer a investigação de um dos sete acidentes aeronáuticos ocorridos com aeronaves da Guarda Costeira dos Estados Unidos, todos entre 2008 e 2010, que levaram à perda de 14 tripulantes. Após os acidentes, a organização envolvida conduziu investigações próprias, tal como se faz no SIPAER, valendo-se de um método baseado na teoria do queijo suíço de James Reason.

Em função da recorrência dos acidentes, a Guarda Costeira conduziu também uma análise de segurança operacional focada em compreender os aspectos sistêmicos comuns aos eventos, mas sem aplicar os princípios do STAMP. Ao aplicar o método CAST, a pesquisa de Hickey (2012) encontrou diversas inadequações e recomendações que não haviam sido documentadas nem pelas investigações, nem pela análise posterior conduzida pelo órgão.

A estrutura de controle desenvolvida pelo autor poderia facilmente ser reaplicada nas investigações das demais ocorrências, o que economizaria tempo e recursos dos investigadores. Além disso, nessa única análise foi possível elencar nove grandes inadequações de controle/*feedback* como contribuintes para perigos encontrados no sistema. Oito delas apresentaram recomendações significativamente

mais completas e adequadas aos aspectos sistêmicos que aquelas oriundas das investigações e análise antes conduzidas (Hickey, 2012).

Por tais razões, nota-se que a adoção do método CAST nas investigações militares do SIPAER tem o potencial de economizar tempo e recursos humanos que seriam despendidos nas análises de novas ocorrências, percebendo-se resultados melhores desde a primeira investigação conduzida – o que reforça o aspecto da eficiência inerente à aplicação da ferramenta.

2.2 Aprimorando a efetividade da investigação de ocorrências aeronáuticas militares por meio de CAST

O Manual de Investigação do SIPAER estabelece orientações práticas quanto aos procedimentos que devem ser adotados no processo, mas não especifica métodos ou ferramentas para a condução da análise nas investigações (Brasil, 2017). O Curso de Investigação, por sua vez, apresenta as teorias da causalidade do queijo suíço de James Reason, o modelo SHELL e outras teorias lineares, enfatizando ferramentas de análise baseadas em cadeias de eventos.

Na prática, contudo, constata-se que poucos investigadores de acidentes aeronáuticos militares utilizam modelos específicos, tendendo a valer-se das experiências e aprendizados absorvidos de outros investigadores. Karanikas (2022) aponta que o uso de modelos de investigação pode guiar o pensamento e definir como os eventos serão examinados, ajudando a avaliar seus possíveis “porquês”.

Nesse contexto, Lima *et al.* (2016) comparam a investigação SIPAER de um acidente aeronáutico da aviação civil ao que poderia se obter por meio do CAST. Além de encontrar as recomendações produzidas pela abordagem tradicional, o método permitiu chegar a resultados complementares diferenciados, mais abrangentes e diretivos de implementação para o aumento da segurança no sistema. O estudo aponta, ainda, que o nível de análise que permitiu identificar as causas indiretas e sistêmicas não é alcançado pelas abordagens atuais. Resultados semelhantes foram obtidos por Quilici (2014), que revisitou duas investigações envolvendo aeronaves EMBRAER. Além de identificar aspectos que não haviam sido capturados, a pesquisa elencou um conjunto relevante de questionamentos não abordados nos relatórios oficiais das investigações.

Em ambas as pesquisas citadas, percebe-se que havia aprendizados e recomendações adicionais que poderiam ter sido extraídos dos eventos trágicos ocorridos, mas isso não ocorreu. De fato, Karanikas (2022) aponta que a teoria de causalidade STAMP, da qual deriva o CAST, é capaz de enxergar mais elementos e descrever mais níveis do sistema que outros três modelos tradicionais, incluindo o do queijo suíço de Reason.

Ainda que as análises citadas tenham tratado de acidentes envolvendo aeronaves civis, as abordagens de causalidade e métodos empregados são essencialmente os mesmos da investigação militar. Nesse escopo, inclusive, o resultado de investigações militares conduzidas por meio de CAST gera benefícios adicionais para a segurança de voo. Ao conduzir a análise de acidente ocorrido com aeronave C-130 Hércules da FAB no continente Antártico, Merrichelli (2021) demonstrou que a estrutura de controle gerada pode ser aplicada a abordagens proativas de gerenciamento da segurança operacional, permitindo aprimorar os requisitos e restrições de segurança originais.

Além de destacar a efetividade do CAST na investigação, visto que o método originalmente empregado não permitiria as mesmas aplicações, Merrichelli (2021) relaciona o tema à necessidade de preservação do Poder Aéreo da FAB, destacando a pertinência de que a instituição considere o novo método em seus processos de prevenção.

Por conseguinte, os melhores resultados que se obtém nas investigações se somam ao potencial de aplicação em métodos proativos de desenvolvimento da segurança operacional, tornando a prevenção de novas ocorrências ainda mais efetiva. Isso é o que demonstra Castilho (2019), que considera o CAST como uma das possíveis entradas de um modelo de gerenciamento integrado, capaz de fomentar a efetividade das defesas de um sistema durante as operações.

Portanto, face à constatação de que há benefícios evidentes na utilização de uma metodologia estruturada, que contempla fatores sistêmicos, como o CAST, reitera-se a relevância de que seu emprego passe a ser operacionalizado no SIPAER, em especial no contexto das investigações militares. Como se discutiu, isso tornaria as análises mais profundas, gerando recomendações em maior número e mais efetivas, com potencial de aprimorar a segurança operacional e a disponibilidade dos meios de combate da FAB.

3 CONCLUSÃO

A investigação de um acidente aeronáutico militar é o principal recurso da FAB para extrair aprendizados e direcionar ações para impedir novas perdas. Atualmente, tais investigações se utilizam de abordagens baseadas em cadeias de eventos ou epidemiológicas, como a do queijo suíço de James Reason.

Esses métodos explicam bem o que aconteceu, mas tratam de maneira superficial as razões subjacentes e fatores sistêmicos envolvidos nas ocorrências. Em uma Força Aérea com vetores cada vez mais modernos, que utilizam *software* de modo intensivo e em ambientes sociotécnicos complexos, mostra-se necessária uma abordagem de investigação mais efetiva e adequada a esse novo contexto.

A adoção do método CAST confere maior eficiência aos processos de investigação, uma vez que estruturas de controle geradas num primeiro evento podem ser reaproveitadas ou apenas atualizadas em situações futuras. Isso é especialmente útil no contexto da FAB, em que há poucos investigadores, especializados nos projetos de suas Unidades Aéreas.

Além disso, investigações conduzidas por meio de CAST identificam fatores não percebidos pelos modelos tradicionais, gerando melhores recomendações de segurança, que incluem aspectos sistêmicos antes ausentes. Os resultados obtidos podem também ser aplicados em métodos proativos de desenvolvimento da segurança operacional, ampliando os ganhos potenciais em termos de prevenção de novas ocorrências.

Por tais razões, este ensaio apontou que a aplicação do método CAST nos processos de investigação de acidentes aeronáuticos militares resulta na elevação dos índices de segurança de voo.

Dessa maneira, a FAB passa a dispor de insumos para um programa de melhoria contínua e intervenção proativa em diversos aspectos da operação, o que também contribui para a preservação de sua capacidade de combate. Extrapolando-se os resultados obtidos para todo o SIPAER, pode-se aprimorar os processos de investigação de ocorrências da aviação civil, promovendo a segurança operacional em um sentido mais amplo – o que beneficiaria todos os usuários do sistema de aviação civil e projetaria a imagem da Força Aérea junto à sociedade, ratificando sua efetiva contribuição para a segurança de voo nacional.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria CENIPA nº 17/DOP-SDINV-SERF, de 07 de dezembro de 2017. Aprova a edição do MCA 3-6 que dispõe sobre o Manual de Investigação do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, f. 16333, 11 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 128/GC3, de 30 de julho de 2021. Aprova a Norma de Sistema que dispõe sobre a Investigação de Ocorrências Aeronáuticas com Aeronaves Militares (NSCA 3-6). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 146, f. 9808, 09 ago. 2021.

CASTILHO, D. S. **Active STPA: integration of hazard analysis into a safety management system framework**. 2019. 184 p. Tese (Doctor Of Philosophy) – Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2019.

HICKEY, J. **A System Theoretic Safety Analysis of U.S. Coast Guard Aviation Mishap involving CG-6505**. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Master Of Science In Engineering And Management, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, 2012.

ICAO - International Civil Aviation Organization. **Safety Management Manual: Doc. 9859, 4th ed.**, 2018. Disponível em: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/5863.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2024.

KARANIKAS, N. How could investigators use safety models to inform decisions on what to focus on? *In: ISASI Conference, 2022. Technical Papers [...]*. International Society of Air Safety Investigators, 2022.

LEVESON, N. G. Applying systems thinking to analyze and learn from events. **Safety Science**, v. 49, n. 1, p. 55-64, jan. 2011b.

LEVESON, N. G. **CAST handbook**. 2019. *E-book*. Disponível em: <http://sunnyday.mit.edu/CAST-Handbook.pdf>. Acesso em 05 mar. 2024.

LEVESON, N. G. **Engineering a safer world: systems thinking applied to safety**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2011a. 537 p.

LEVESON, N. G. Rasmussen's legacy: a paradigm change in engineering for safety. **Applied Ergonomics**, [S.L.], v. 59, p. 581-591, mar. 2016. Elsevier BV.

LIMA, I. J.; SOUSA, M. S.; JORGE, A. B.; COIMBRA, R. F. F.; LAHOZ, C. H. N. Abordagem STAMP aplicada à análise de acidentes na operação civil de aeronaves no Brasil. **Revista Conexão Sipaer**, v. 7, n. 1, p. 127-142, 2016.

MERRICHELLI, D. **Aplicação de STPA Ativo em operações de aproximação e pouso de aeronaves militares no ambiente antártico**. 2021. 118 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.

QUILICI, A. I. **Análise de Acidentes Aeronáuticos utilizando a ferramenta CAST.** 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.