



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

AGENOR DE ANDRADE REZENDE LIAMA, Cap Av

O método STAMP: uma ferramenta para a prevenção de acidentes aeronáuticos em ensaios em voo

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

AGENOR DE ANDRADE REZENDE LIMA, Cap Av

O método STAMP: uma ferramenta para a prevenção de acidentes aeronáuticos em ensaios em voo

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola 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: Alexandra V. P. Zuma, Maj QOFarm

Rio de Janeiro

2024

AGENOR DE ANDRADE REZENDE LIMA, Cap Av

O método STAMP: uma ferramenta para a prevenção de acidentes aeronáuticos em ensaios em voo

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Marcos Zeitone Koialainski Junior, Maj QOAv - EAOAR

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj QOFarm - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

A atividade de ensaios em voo é fundamental para o avanço do setor aeroespacial, sendo realizada em um ambiente desafiador devido ao caráter inovador e às dificuldades de investimento em tecnologia no país, além dos riscos inerentes à execução dos testes. Acidentes durante os ensaios já resultaram em perdas humanas e impactaram significativamente o progresso da indústria aeroespacial brasileira. O dilema entre a busca pelo desenvolvimento tecnológico e os riscos associados à sua execução é uma constante para as pesquisas dos ensaios em voo. No Brasil, o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) baseia-se no combate às causas dos acidentes e na mitigação de ocorrências, diminuindo sua probabilidade ou consequência. Entretanto, as abordagens casuísticas do SIPAER são deficientes quando o assunto é a interação dos sistemas nas operação de ensaios; havendo uma lacuna no tocante a identificação das causas latentes e suas dinâmicas de interação durante os ensaios. Nesse contexto, este ensaio defende a aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo, proporcionando processos de prevenção mais abrangentes e eficazes. Serão abordadas a importância da prevenção de acidentes nos ensaios em voo e o prosseguimento das pesquisas, além da utilização do método STAMP no aperfeiçoamento do Programa de Segurança em Ensaio em Voo (PSVE). Uma vez que, ao mitigar as falhas nos projetos de pesquisa da FAB, a metodologia STAMP contribui com a continuidade das pesquisas em Ciência e Tecnologia, além de corroborar com a Capacidade Nacional de Defesa de Dissuasão e Proteção no cenário estratégico mundial.

Palavras-chave: ensaios em voo; acidentes aéreos; *safety*; STAMP.

1 INTRODUÇÃO

A atividade de ensaios em voo é uma das áreas mais avançadas do setor aeroespacial, permanecendo na vanguarda dos acontecimentos técnico-científicos globais. Sendo uma área inovadora, diversos fatores operacionais podem influenciar diretamente nos resultados das pesquisas e, em caso de acidentes, comprometer a viabilidade de projetos com grande potencial.

Nas atividades de Ensaios em Voo, falhas na aplicação das ferramentas de prevenção de acidentes podem gerar resultados catastróficos. Um caso relevante, por exemplo, foi o acidente do VLS-1, ocorrido no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), em 23 de agosto de 2003, no estado do Maranhão. O acidente levou a óbito uma equipe altamente especializada de 21 pesquisadores, sendo o evento responsável por uma lacuna de pessoal técnico-especializado que afeta o progresso da indústria aeroespacial até os dias atuais.

Esse evento demonstra a necessidade de mapeamento constante dos riscos dentro das pesquisas de ensaios em voo. Além disso, levanta a hipótese de que as ferramentas atuais podem permitir que algumas falhas não sejam identificadas, gerando acidentes durante os ensaios, como foi o caso do acidente do VLS-1.

Quando ocorre um acidente, independente da fase na qual o projeto se encontra, o planejamento das entregas é impactado. Um exemplo disso foi a saída de pista do PT-ZNF, primeiro protótipo do KC-390, em 10 de maio de 2018. Com o aumento da gravidade dos incidentes, surgem questionamentos sobre a viabilidade da atividade, promovendo a criação de obstáculos que dificultam o progresso das pesquisas. Em alguns casos, essas dificuldades podem até resultar no abandono de ideias promissoras, que teriam potencial para contribuir de forma significativa para a indústria nacional (Lima *et al*, 2016).

Como forma de mitigar esses acidentes, existe o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), responsável por estabelecer normas (Brasil, 2019) e procedimentos (Brasil, 2021) que reforçam a segurança da atividade aérea, reduzindo e prevenindo a ocorrência de acidentes aeronáuticos no país. De forma semelhante, a atividade de ensaios em voo conta com o Programa de Segurança de Voo em Ensaios (PSVE), que orienta as análises de risco durante as campanhas de ensaios (Brasil, 2023). Atualmente, tanto o SIPAER quanto o PSVE se baseiam no registro de dados e identificação de fatores contribuintes aos acidentes, com foco nas teorias da causalidade.

De modo geral, são aplicados o modelo de Reason, e o modelo SHELL, para a

identificação das causas dos acidentes e análise da interação do indivíduo com os componentes do sistema. Embora esses modelos sejam consolidados, a atividade de ensaios em voo exige não apenas a prevenção de falhas já conhecidas, mas também aquelas não convencionais. De certa maneira, é necessário criar mecanismos de controles que imponham restrições prévias, antes que as falhas sistêmicas aconteçam. Esse é, justamente, o princípio da metodologia STAMP (do inglês *System Theoretic Accident Model and Processes*), que se baseia no implemento de restrições de segurança, na criação de estruturas hierárquicas de controle e no modelamento de processos para a prevenção de acidentes.

Nesse contexto, este ensaio defende a aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo, proporcionando processos de prevenção mais abrangentes e eficazes.

Para sustentar tal tese, argumenta-se que a metodologia STAMP oferece ferramentas para mitigar falhas sistêmicas, sendo aplicável em diferentes fases dos projetos de ensaios em voo, colaborando no prosseguimento das pesquisas. Além disso, a metodologia STAMP contribui no aperfeiçoamento do Programa de Segurança de Voo em Ensaios (PSVE), uma vez que vai além da tradicional análise de probabilidade e severidade das ocorrências tradicionais.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 PREVENÇÃO DE ACIDENTES NOS ENSAIOS EM VOO E O PROSSEGUIMENTO DAS PESQUISAS

Os projetos de pesquisas nos ensaios em voo necessitam de elevados investimentos públicos e privados. Nesse cenário, torna-se cada vez mais comum o consórcio de entidades trabalhando de forma conjunta, evidenciando a necessidade da interdependência de organizações do planejamento à execução dos projetos. Entretanto, aumentando-se o número de atuadores dentro de um sistema, aumenta-se também a chance de ocorrência de falhas devido à atuação integrada de cada participante.

As falhas, segundo Lima *et al* (2016), são eventos não planejados, que acarretam perdas indesejadas, indo além de prejuízos materiais, gerando, em casos mais graves, morte de pessoas. Além disso, deve ser considerada a interrupção no fluxo de informações, o cancelamento ou bloqueio temporário dos financiamentos de pesquisa e, no pior cenário, o cancelamento da missão. Um exemplo claro, já citado, foi o do VLS-1, responsável por interrupções e por atrasos significativos na pesquisa aeroespacial brasileira, culminando no fim do projeto em 2016.

Diante disso, percebe-se que o cenário das pesquisas em ensaios em voo é dinâmico, caracterizado pela interdependência entre pessoas e empresas em meio a sistemas complexos. Essa realidade torna ainda mais essenciais os procedimentos rigorosos para a prevenção de acidentes. Nesse sentido, a metodologia STAMP oferece uma alternativa eficaz, permitindo uma análise que ultrapassa a simples identificação de falhas causais. Em suas análises, essa metodologia integra continuamente as ações dos componentes e dos atuadores de um projeto, tornando-as mais robustas e menos suscetíveis a falhas.

Diferentemente dos modelos tradicionais, que se concentram unicamente na análise de causa das falhas e na busca pelos fatores contribuintes, a metodologia STAMP vai além ao investigar o porquê de o acidente não ter sido evitado, levantando novos questionamentos após a análise inicial de causa. Esses questionamentos são impulsionados pelo uso da ferramenta de análise de causalidade CAST (do inglês *Causal Analysis based on System Theory*), que orienta o que deve ser investigado, como esses dados devem ser coletados e o que é relevante para uma compreensão abrangente do acidente (Leveson, 2019). Nesse contexto, softwares para a compilação de dados podem ser utilizados, proporcionando uma plataforma única para análise dos dados, com uma interface mais intuitiva e simplificada.

Dessa forma, a análise das causas abre espaço para o exame das relações entre as falhas e dos motivos que permitiram que ela ocorresse, promovendo o desenvolvimento de sistemas de controle mais restritivos e eficazes. As restrições ocorrem, inclusive, nos aspectos técnico-sociais da pesquisa, já que a metodologia STAMP traz à tona os impactos dos aspectos sociais no contexto dos acidentes, um ponto negligenciado pelos modelos causais anteriores, de Reason e SHELL (Leveson, 2011).

Nesse sentido, a aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo não só previne falhas conhecidas, mas também abrange os riscos sistêmicos, proporcionando um ambiente mais seguro para o desenvolvimento de projetos. Dessa forma, corrobora-se para a aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo, proporcionando processos de prevenção mais abrangentes e eficazes.

2.2 O MÉTODO STAMP E O APERFEIÇOAMENTO DO PROGRAMA DE SEGURANÇA EM ENSAIOS EM VOO (PSVE)

No contexto da Força Aérea Brasileira (FAB), o Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV) é a organização responsável pela condução, desenvolvimento e continuidade dos

ensaios em voo, trabalhando em estreita colaboração com outros institutos e empresas do setor aeronáutico. O PSVE é o programa norteador sobre cultura de segurança de voo no IPEV. Neste programa, são explicitadas as ferramentas de prevenção que serão utilizados pela organização durante a execução das pesquisas de ensaios. Em suma, o PSVE abrange ações de conscientização, prevenção de acidentes e monitoramento de riscos, que incluem, por exemplo, jornadas de segurança de voo, o gerenciamento de riscos associados a objetos estranhos (*Foreign Object Damage*) e o controle dos relatórios de prevenção. No corpo do texto do PSVE, identifica-se o reconhecimento da atividade de ensaios em voo sendo:

[...] por excelência, uma atividade intimamente ligada a riscos. Estes riscos podem ser significativos, na medida em que são exploradas situações de voo críticas ou operação de sistemas vitais, ainda não conhecidos na sua plenitude. A doutrina de segurança de voo apregoa que os riscos sempre poderão ser minimizados com a aplicação de adequadas medidas de segurança e de apoio à atividade aérea. (Brasil, 2019, p. 4)

Dessa forma, fica claro que o IPEV entende o cenário de riscos no qual está inserido e que há um desafio para o mapeamento de falhas, especialmente aquelas que envolvem análises sistêmicas.

Assim, a metodologia STAMP complementa de forma essencial o PSVE, oferecendo uma abordagem mais ampla e sistêmica para identificar e mitigar riscos. Diferentemente dos modelos tradicionais de investigação de acidentes, que se limitam à análise de falhas já ocorridas e seus fatores contribuintes, a metodologia STAMP busca compreender as interações e dinâmicas que contribuem para esses eventos.

Realizando um paralelo sobre a utilização da metodologia STAMP em diferentes empresas, uma pesquisa realizada pela Loughborough University, na Inglaterra, analisou ataques cibernéticos, ocorridos em 2013, contra a empresa Target. Nesses ataques, dados de clientes foram adquiridos de forma ilegal por um período de 48 dias (Jarvis; Milletary, 2014)

À época, a empresa Target adotava uma metodologia casuística dentro dos sistema de segurança contra ataques cibernéticos. Entretanto, ao ser analisado os mesmos ataques pela metodologia STAMP, novos fatores de risco foram identificados, os mais relevantes foram: uma baixa interação pessoal, identificada por conflitos entre os controladores da operação; a ineficiente cultura de segurança, identificada após análise da mentalidade dos colaboradores envolvidos; e a reduzida taxa de feedback, que dificultou o monitoramento das ameaças e a velocidade de resposta aos ataques cibernéticos durante a condução de operações.

Logo, se a metodologia STAMP estivesse em prática na empresa Target, um aumento

no nível de risco associada àquela operação de dados teria ocorrido, antes da consumação dos ataques. Isso proporcionaria que a empresa bloqueasse imediatamente o acesso dos dados ou, no mínimo, diminuísse o período de exposição e o quantitativo de dados acessados ilegalmente.

É interessante observar que, de acordo com a pesquisa, o sistema de segurança da empresa Target deveria ser projetado não apenas para identificar ameaças conhecidas, mas também para se adaptar a novos tipos de ataques (Wright; Gyuchan, 2019). Essa abordagem é, justamente, o que o PSVE promove na doutrina dos ensaios em voo e em suas campanhas.

Aplicando as lições aprendidas com ataques cibernéticos no aprimoramento do PSVE, é possível traçar um paralelo do contexto atual de segurança vigente nos ensaios em voo. Um exemplo disso, é o processo de definição do nível de risco e de como a utilização da metodologia STAMP implementaria novas correlações para a análise de risco do PSVE.

Atualmente, nos ensaios em voo existem três níveis de aceitabilidade de risco: baixo, médio e alto. Com base nessa avaliação, o PSVE determina a autoridade responsável pela aprovação da campanha. Para riscos baixos, a aprovação será do coordenador da campanha; para riscos médios, a aprovação cabe ao diretor do IPEV; e para riscos altos, ao diretor do DCTA. No entanto, não está previsto um número mínimo de pessoal envolvido nos ensaios conforme o nível de risco identificado para cada campanha (Brasil, 2023).

Pela metodologia vigente, uma campanha de alto risco pode ser realizada com o mesmo quantitativo de pessoas que uma campanha de baixo risco, já que não há uma análise aprofundada sobre as questões técnico-sociais como, por exemplo, um quórum insuficiente de técnicos e a relação direta com possíveis acidentes. Isso pode resultar em falhas no processo decisório em situações críticas e, apenas com as ferramentas das teorias causuísticas, essas falhas latentes não são contempladas na análise de risco do PSVE.

Desta forma, aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo contribui no aperfeiçoamento do PSVE.

3 CONCLUSÃO

A atividade de ensaios em voo permanece na vanguarda dos acontecimentos técnico-científicos globais, sendo importantíssima para o progresso aeroespacial do país. Dada a importância dessas pesquisas no contexto mundial, as ocorrências de acidentes durante todas as fases dos projetos de pesquisas devem ser evitadas.

Como visto, os acidentes ocorridos durante a execução de projetos aeroespaciais foram responsáveis pelo término prematuro de pesquisas que poderiam ter grande impacto científico no país. Para trabalhar com esse tipo de projeto, soluções inovadoras foram surgindo e, na prevenção de acidentes, a metodologia STAMP foi uma das soluções. Focada na análise de correlação entre os sistemas, trouxe à tona a análise técnico-social, antes negligenciada pelas metodologias casuísticas de Reason e de SHELL.

Nesse contexto, este ensaio defendeu a aplicação da metodologia STAMP nos ensaios em voo, proporcionando processos de prevenção mais abrangentes e eficazes. Inicialmente, com o foco na importância da prevenção de acidentes nos ensaios em voo e o prosseguimento das pesquisas, realizou-se um paralelo entre as normas estabelecidas no SIPAER e a necessidade de adequação a medidas mais restritivas que impeçam a ocorrência de acidentes durante as campanhas de ensaio.

Em seguida, foi apresentado a utilização do método STAMP no aperfeiçoamento do PSVE, o que permitiria o aprimoramento do nível de risco das campanhas de ensaio, ao levar em consideração a dinâmica da interação dos diversos sistemas com os participantes dos projetos. O que, de fato, é uma possibilidade viável de melhoria do PSVE.

Por fim, a utilização da metodologia STAMP como uma ferramenta para prevenção de acidentes aeronáuticos, nos ensaios em voo, vem corroborar com os conceitos de superioridade no ambiente aeroespacial, pois visa restringir falhas e mitigar possíveis consequências negativas no andamento do projeto KC-390, atualmente um dos projetos de defesa da FAB, contribuindo com a continuidade das pesquisas em Ciência e Tecnologia. Além disso, o sucesso no avanço dos ensaios em voo estabelece um alinhamento da Capacidade Nacional de Defesa de Dissuasão e Proteção, tão importantes no cenário estratégico mundial.

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 DCTA nº 1.293/GC3, de 19 de dezembro de 2012. Programa de Segurança de Voo em Ensaios. **Regulamento do Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo**, São José dos Campos, 19 de dez. 2012.

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.

JARVIS, K.; MILLETARY, J. **Inside a Targeted Point-of-Sale Data Breach. Dell Secure Works Counter Threat Unit Threat Intelligence.**, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://krebsonsecurity.com/wp-content/uploads/2014/01/Inside-a-Targeted-Point-of-Sale-Data-Breach.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.

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

LEVESON, N. G. **Engineering a safer world: systems thinking applied to safety.** Cambridge: The MIT Press, 2011. Disponível em: <http://sunnyday.mit.edu/safaer-world.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

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**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 127-142, 2016. Disponível em: <http://conexaosipaer.com.br/index.php/sipaer/issue/view/19>. Acesso em: 29 out. 2024.

WRIGHT, A.; GYUCHAN, T. **Human and Organisational Factors in Cybersecurity: Applying STAMP to Explore Vulnerabilities**?. Stratford-upon-Avon, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2134/36539>. Acesso em: 29 out. 2024.