



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**Engenharia Mecânica Aeronáutica**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
**- MONOGRAFIA FINAL -**

**USO DA ABORDAGEM STAMP NA AVALIAÇÃO DA**  
**OPERAÇÃO MILITAR EAGLE CLAW**

Aluno: David Guadagnino Damazio

Orientador: Prof. Rogerio Fraudendorf de Faria Coimbra

Coorientador: Prof. Marcelo Santiago de Sousa

Itajubá - MG

2024

## Agradecimentos

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o cumprimento de uma etapa acadêmica, mas também um marco pessoal que só foi possível graças ao apoio e à contribuição de muitos.

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por me dar força, saúde e sabedoria para superar cada desafio ao longo dessa caminhada.

Agradeço, também, à minha mãe e ao meu irmão, pelo amor, paciência e incentivo constante, especialmente nos momentos mais desafiadores desta jornada. À minha noiva, por estar ao meu lado em todos os momentos, compartilhando conquistas, desafios e sonhos, meu profundo agradecimento.

Minha sincera gratidão vai ao meu orientador, Rogério, e ao meu coorientador, Marcelo, por sua valiosa orientação, paciência e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Marinha do Brasil, instituição que me proporcionou aprendizado, disciplina e valores fundamentais que moldaram minha trajetória, expresso meu mais profundo respeito e agradecimento.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta jornada fosse possível, deixo minha sincera gratidão.

*"Quanto mais nos elevamos em conhecimento,  
mais vemos quanto ainda somos pequenos."*

*Sêneca*

## Resumo

Este trabalho aborda a aplicação da abordagem STAMP na análise da operação militar *Eagle Claw*, realizada em abril 1980, que visava resgatar reféns americanos no Irã. O estudo investiga os fatores que contribuíram para o fracasso da missão, buscando compreender deficiências no planejamento, coordenação e execução. O objetivo foi identificar as causas subjacentes ao insucesso da operação, utilizando a análise CAST para evidenciar falhas sistêmicas de controle e propor melhorias. A metodologia consistiu em uma análise detalhada das principais falhas da operação, que incluíram problemas técnicos nos helicópteros, condições ambientais adversas e falhas na comunicação e treinamento. Como resultado, o trabalho identificou as deficiências críticas e sugeriu recomendações para mitigar riscos em futuras operações. A análise permitiu compreender a importância de uma abordagem sistêmica para evitar falhas operacionais em contextos complexos.

**Palavras-chave:** STAMP; Análise CAST; Operação *Eagle Claw*; Segurança operacional; Controle sistêmico.

### **Abstract**

This work addresses the application of the STAMP approach to analyze the Eagle Claw military operation, carried out in April 1980, which aimed to rescue American hostages in Iran. The study investigates the factors that contributed to the mission's failure, seeking to understand deficiencies in planning, coordination, and execution. The objective was to identify the underlying causes of the operation's failure using CAST analysis to highlight systemic control failures and propose improvements. The methodology consisted of a detailed analysis of the main failures of the operation, including technical problems with the helicopters, adverse environmental conditions, and failures in communication and training. As a result, the study identified critical deficiencies and suggested recommendations to mitigate risks in future operations. The analysis provided insights into the importance of a systemic approach to avoid operational failures in complex contexts.

**Keywords:** STAMP; CAST analysis; Operation Eagle Claw; Operational safety; Systemic control.

## Lista de Figuras

2.1	Representação gráfica do modelo de Reason, ou Modelo do “Queijo Suíço”	5
2.2	Diagrama ilustrando o Sistema de Classificação de Fatores Humanos (HFACS)	7
2.3	Ilustração de elementos básicos de uma EHCS . . . . .	9
2.4	Tipos principais de falhas na EHCS . . . . .	11
3.1	Helicópteros decolando do USS Nimitz . . . . .	17
3.2	<i>Desert one e Desert Two</i> . . . . .	18
3.3	<i>C-130 e Delta Force</i> no ponto <i>Desert One</i> . . . . .	18
3.4	Mapa do território e disposição dos meios envolvidos na missão . . . . .	20
3.5	Ônibus com 44 civis iranianos interceptado . . . . .	21
3.6	Caminhão-Tanque atingido por militares americanos . . . . .	22
3.7	Tempestade de areia <i>Haboob</i> . . . . .	22
3.8	Helicóptero 6 recebe alerta de possível falha na pá do rotor . . . . .	23
3.9	Helicóptero 6 pousa e é resgatado pelo helicóptero 8 . . . . .	24
3.10	Helicóptero 5 retorna ao porta-aviões devido à falha elétrica . . . . .	25
3.11	Helicópteros desorganizados próximos ao ponto <i>Desert One</i> . . . . .	25
3.12	Disposição no ponto <i>Desert One</i> antes da colisão . . . . .	26
3.13	Problema na bomba de combustível do Helicóptero 2 . . . . .	27
3.14	Disposição dos meios antes da movimentação . . . . .	28
3.15	Colisão do helicóptero 3 com o EC-130 . . . . .	28
3.16	Retirada apressada sem destruição dos helicópteros . . . . .	29
3.17	Reféns chegam aos EUA . . . . .	30
4.1	EHCS relativa à colisão entre helicóptero 3 e o avião EC-130 . . . . .	33
4.2	EHCS relativa à colisão entre helicóptero 3 e o avião EC-130, com falhas numeradas . . . . .	35
4.3	EHCS relativa à desistência do helicóptero 6 . . . . .	37
4.4	EHCS relativa à desistência do helicóptero 6, com falhas numeradas . . . . .	39
4.5	EHCS relativa à desistência do helicóptero 5 . . . . .	42
4.6	EHCS relativa à desistência do helicóptero 5, com falhas numeradas . . . . .	43
4.7	EHCS relativa à desistência do helicóptero 2 . . . . .	46
4.8	EHCS relativa à desistência do helicóptero 2, com falhas numeradas . . . . .	48
4.9	EHCS relativa à Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais	50

4.10	EHCS relativa à Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais, com falhas numeradas . . . . .	53
5.1	EHCS relativa à primeira análise, com as recomendações evidenciadas. . .	60
5.2	EHCS relativa à segunda análise, com as recomendações evidenciadas. . . .	64
5.3	EHCS relativa à terceira análise, com as recomendações evidenciadas. . . .	68
5.4	EHCS relativa à quarta análise, com as recomendações evidenciadas. . . .	71
5.5	EHCS relativa à quinta análise, com as recomendações evidenciadas. . . .	76

## Lista de Tabelas

2.1	Comparação entre Modelos de Segurança: Reason, HFACS, e STAMP . . .	13
6.1	Comparação entre o Mission Report e Análise CAST. . . . .	78

**Lista de Siglas e Abreviaturas**

BIM	<i>Blade Inspection Method</i>
CAST	<i>Causal Analysis based on STAMP</i>
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i>
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
EC-130	Modelo de avião de transporte usado na operação
EHCS	Elementos de Controle de Segurança
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
HFACS	<i>Human Factors Analysis and Classification System</i>
JTF	<i>Joint Task Force</i>
STAMP	<i>System-Theoretic Accident Model and Processes</i>
USS	<i>United States Ship</i>

## Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	1
1.1	Contextualização da Operação <i>Eagle Claw</i> . . . . .	1
1.2	Motivação . . . . .	1
1.3	Objetivos . . . . .	2
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i> . . . . .	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> . . . . .	2
1.4	Estrutura do trabalho . . . . .	2
2	REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	4
2.1	Modelo do Queijo Suíço . . . . .	4
2.2	Sistema de Classificação de Fatores Humanos . . . . .	5
2.3	Abordagem STAMP e Análise CAST . . . . .	7
2.3.1	<i>STAMP</i> . . . . .	7
2.3.1.1	<i>Restrições de Segurança</i> . . . . .	8
2.3.1.2	<i>Elementos de Controle de Segurança (EHCS)</i> . . . . .	8
2.3.1.3	<i>Modelo de Processos e Algoritmos de Controle</i> . . . . .	9
2.3.2	<i>Análise CAST</i> . . . . .	10
2.4	Comparação entre Modelos Tradicionais e Abordagem STAMP . . . . .	11
2.4.1	<i>Importância da Abordagem STAMP para Sistemas Complexos</i> . . . . .	13
2.5	Relevância da Revisão para o Desenvolvimento do Trabalho . . . . .	14
3	CONTEXTO HISTÓRICO DA OPERAÇÃO EAGLE CLAW . . . . .	15
3.1	Revolução Iraniana e a Crise dos Reféns . . . . .	15
3.2	Planejamento e Execução da Operação . . . . .	17
3.3	Fatores que Contribuíram para o Fracasso da Operação . . . . .	30
3.4	Contexto para Aplicação da Análise STAMP . . . . .	31
4	ANÁLISE CAST . . . . .	32
4.1	Análise da Colisão entre o Helicóptero 3 e o avião EC-130 . . . . .	32
4.2	Desistência de um Helicóptero por Problemas no <i>Blade Inspection Method</i> (BIM) . . . . .	37
4.3	Desistência do Helicóptero por Falha Elétrica . . . . .	41

4.4	Desistência do Helicóptero por Falha Hidráulica . . . . .	45
4.5	Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais . . . . .	50
5	RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA . . . . .	58
5.1	Recomendações para o Acidente entre o HELO-3 e o EC-130 . . . . .	58
5.1.1	<i>Comando em Terra</i> . . . . .	58
5.1.2	<i>Combat Controller ("Balizador")</i> . . . . .	59
5.1.3	<i>Sensores e Sistemas de Feedback</i> . . . . .	59
5.1.4	<i>Piloto do HELO-3</i> . . . . .	59
5.1.5	<i>Piloto do EC-130</i> . . . . .	59
5.1.6	<i>Recomendações na Primeira Análise</i> . . . . .	60
5.2	Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Problemas no BIM .	60
5.2.1	<i>USS Nimitz (Comando de Controle Principal)</i> . . . . .	60
5.2.2	<i>Equipe de Manutenção</i> . . . . .	61
5.2.3	<i>Piloto do HELO-6</i> . . . . .	62
5.2.4	<i>Comunicação e Silêncio de Rádio</i> . . . . .	62
5.2.5	<i>PILOTO HELO-8</i> . . . . .	63
5.2.6	<i>Recomendações na Segunda Análise</i> . . . . .	64
5.3	Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Falha Elétrica . . .	64
5.3.1	<i>USS Nimitz (Comando de Controle Principal)</i> . . . . .	64
5.3.2	<i>Comunicação e Silêncio de Rádio</i> . . . . .	65
5.3.3	<i>Piloto do HELO-5</i> . . . . .	65
5.3.4	<i>Demais Helicópteros</i> . . . . .	66
5.3.5	<i>Sensores e Radares Meteorológicos a Bordo das Aeronaves</i> . . . . .	67
5.3.6	<i>Recomendações na Terceira Análise</i> . . . . .	68
5.4	Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Falha Hidráulica . .	68
5.4.1	<i>USS Nimitz (Comando de Controle Principal)</i> . . . . .	68
5.4.2	<i>Piloto do HELO-2</i> . . . . .	69
5.4.3	<i>Sensores</i> . . . . .	69
5.4.4	<i>Condições Ambientais</i> . . . . .	70
5.4.5	<i>Recomendações na Quarta Análise</i> . . . . .	71
5.5	Recomendações para o Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais .	72
5.5.1	<i>Casa Branca (Comando Político)</i> . . . . .	72

5.5.2	<i>Joint Task Force (JTF)</i> . . . . .	72
5.5.3	<i>Agências de Inteligência</i> . . . . .	73
5.5.4	<i>Forças Militares (Execução da Missão)</i> . . . . .	74
5.5.5	<i>Planejamento</i> . . . . .	74
5.5.6	<i>Recomendações na Quinta Análise</i> . . . . .	76
6	COMPARAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA . . . . .	77
6.1	Tabela Comparativa . . . . .	78
6.2	Discussões . . . . .	81
7	Conclusão e Sugestões de trabalho futuro . . . . .	83
7.1	Conclusão . . . . .	83
7.2	Sugestões de trabalho futuro . . . . .	83
	Referências . . . . .	85
	APÊNDICE A - Figura 4.1 Ampliada . . . . .	87
	APÊNDICE B - Figura 4.2 Ampliada . . . . .	88
	APÊNDICE C - Figura 4.3 Ampliada . . . . .	89
	APÊNDICE D - Figura 4.4 Ampliada . . . . .	90
	APÊNDICE E - Figura 4.5 Ampliada . . . . .	91
	APÊNDICE F - Figura 4.6 Ampliada . . . . .	92
	APÊNDICE G - Figura 4.7 Ampliada . . . . .	93
	APÊNDICE H - Figura 4.8 Ampliada . . . . .	94
	APÊNDICE I - Figura 4.9 Ampliada . . . . .	95
	APÊNDICE J - Figura 4.10 Ampliada . . . . .	96
	APÊNDICE K - Figura 5.1 Ampliada . . . . .	97
	APÊNDICE L - Figura 5.2 Ampliada . . . . .	98

APÊNDICE M - Figura 5.3 Ampliada . . . . .	99
APÊNDICE N - Figura 5.4 Ampliada . . . . .	100
APÊNDICE O - Figura 5.5 Ampliada . . . . .	101

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização da Operação *Eagle Claw*

A Operação *Eagle Claw*, realizada em abril de 1980, foi uma missão militar complexa conduzida pelos Estados Unidos para tentar resgatar 52 reféns mantidos na embaixada americana em Teerã, Irã. Essa missão ocorreu em um contexto de alta tensão política entre os Estados Unidos e o Irã, após a Revolução Islâmica de 1979 que resultou na tomada da embaixada por militantes iranianos.

A manobra envolveu a cooperação de diferentes forças armadas americanas, incluindo o Exército, a Marinha, a Força Aérea e os Fuzileiros Navais, além do apoio das agências de inteligência, como a *Central Intelligence Agency* (CIA). No entanto, o fracasso da operação não apenas resultou na não libertação dos reféns, como também causou a perda de oito vidas e danificou equipamentos críticos, destacando deficiências significativas de planejamento e execução.

## 1.2 Motivação

A motivação para este trabalho surge da necessidade de compreender, em profundidade, as causas do fracasso da Operação *Eagle Claw* e como os fatores envolvidos podem ser analisados utilizando a abordagem *Systems Theoretic Accident Model and Process* (STAMP), proposta por Leveson (2011). Essa abordagem, desenvolvida por Nancy Leveson, foca na análise das interações complexas e dos problemas sistêmicos, sendo uma ferramenta poderosa para entender a dinâmica de sistemas complexos como o da operação militar em questão.

Ademais, tal tema é particularmente relevante para a Marinha do Brasil, pois a aplicação das lições aprendidas em operações complexas como a *Eagle Claw* pode contribuir diretamente para o aprimoramento de práticas operacionais e estratégias de segurança. Além disso, a análise busca fornecer contribuições significativas para a melhoria dos processos de planejamento, coordenação e execução de operações militares, visando reduzir riscos, melhorar a análise de acidentes, e aumentar a eficiência das missões futuras, além de aprimorar a tomada de decisão em situações de alta complexidade.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 *Objetivo Geral*

O objetivo principal deste trabalho é aplicar a análise CAST (Causal Analysis based on STAMP) à Operação Eagle Claw, buscando identificar os fatores que contribuíram para o fracasso da missão e propor recomendações para futuras operações similares.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, os objetivos específicos incluem:

- Realizar cinco análises CAST dos principais eventos que contribuíram para o fracasso da operação, cobrindo desde falhas até problemas de planejamento e comando, a fim de identificar as causas principais e propor melhorias nos processos de controle e coordenação;
- Propor recomendações de segurança que possam ser aplicadas a operações futuras, contribuindo para minimizar riscos e aumentar a eficácia das missões militares em contextos complexos;
- Comparar os resultados da análise CAST com o relatório final de investigação enviado, destacando os benefícios da abordagem STAMP, de modo a demonstrar como uma análise sistêmica pode revelar falhas não identificadas por métodos tradicionais.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em sete capítulos. No Capítulo 2, é apresentada uma revisão da literatura sobre as abordagens tradicionais de análise de acidentes, como o modelo de Reason (Modelo do Queijo Suíço), e introdução ao STAMP e à análise CAST. No Capítulo 3, é feita uma descrição detalhada e um histórico da Operação Eagle Claw, seus objetivos e desafios. No Capítulo 4, são apresentadas as cinco análises CAST, abordando o acidente do helicóptero com o EC-130, a desistência de três helicópteros devido a falhas mecânicas e problemas relacionados ao planejamento e inteligência. Já no Capítulo 5, são apresentadas as recomendações de segurança para as análises realizadas. No Capítulo 6, é feita uma discussão dos resultados obtidos e uma comparação com o relatório final de investigação, conectando os achados às falhas previamente identificadas.

Por fim, o Capítulo 7 traz as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros, reforçando a importância de uma abordagem sistêmica em operações militares complexas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta as principais teorias e abordagens relacionadas à análise de acidentes ou situações indesejadas, tanto em contextos tradicionais quanto em sistemas complexos, como o militar. Ao explorar os métodos existentes, são destacadas as limitações e contribuições de cada abordagem, proporcionando uma base sólida para a compreensão da metodologia *System-Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP) e sua aplicação na Operação *Eagle Claw*.

Embora os modelos tradicionais como o Modelo do Queijo Suíço e o Sistema de Classificação de Fatores Humanos (HFACS) ofereçam insights importantes, eles possuem limitações ao lidar com sistemas complexos e interconectados. Nesse contexto, a abordagem STAMP surge como uma alternativa capaz de oferecer uma visão mais abrangente e eficaz para a análise de acidentes.

### 2.1 Modelo do Queijo Suíço

Uma das teorias de forma mais detalhada e minuciosa utilizadas na investigação de acidentes é o Modelo do Queijo Suíço, desenvolvido por James Reason. Esse modelo utiliza a analogia do queijo suíço para ilustrar como múltiplas camadas de defesa ou barreiras de segurança, cada uma com suas vulnerabilidades (ou "furos"), se alinham para permitir que um acidente ocorra. Cada camada representa uma barreira de segurança que visa prevenir falhas.

No Brasil, a investigação de acidentes aeronáuticos é realizada pelo Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), sob coordenação do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), que faz parte da Força Aérea Brasileira (FAB). O SIPAER adota uma abordagem voltada tanto para a identificação das causas dos acidentes quanto para a prevenção futura, promovendo segurança operacional por meio de investigações detalhadas e recomendações (SILVA, 2016). O Modelo do Queijo Suíço é uma das principais ferramentas usadas para análise de acidentes nessa abordagem.

Um exemplo famoso do uso do modelo pode ser observado no acidente do voo 1907 da Gol, ocorrido em 2006. Trata-se de uma colisão com um jato Legacy, na qual múltiplas falhas, incluindo falhas na comunicação e erros operacionais, se alinharam para permitir que o acidente ocorresse. Esse exemplo ilustra como barreiras que deveriam evitar falhas

podem ser insuficientes quando ocorrem combinações de erros latentes e falhas ativas.

Tal modelo explica que acidentes geralmente não são o resultado de uma única falha, mas sim de uma combinação de erros latentes (presentes no sistema, mas não imediatamente evidentes) e falhas ativas (erros cometidos por operadores). As falhas latentes, como problemas de gestão, falta de treinamento ou falhas na comunicação, podem estar ocultas até que se combinem com falhas ativas, criando uma trajetória que permite que o acidente aconteça. Assim, o Modelo do Queijo Suíço destaca a importância de abordar não apenas os erros humanos, mas também as falhas sistêmicas e organizacionais.

Apesar de ser uma ferramenta poderosa para analisar falhas humanas e erros latentes, o Modelo do Queijo Suíço possui limitações em relação à compreensão de sistemas altamente interconectados. Ele assume que as barreiras são independentes e que os acidentes resultam do alinhamento dessas vulnerabilidades, como é apresentado Figura 2.1. Em sistemas complexos, como os militares, as interações entre componentes do sistema são dinâmicas e não-lineares, e as falhas podem surgir de interações inesperadas e mudanças contextuais. Por isso, abordagens como o STAMP são complementares ao Modelo do Queijo Suíço, oferecendo uma visão mais abrangente das causas dos acidentes.

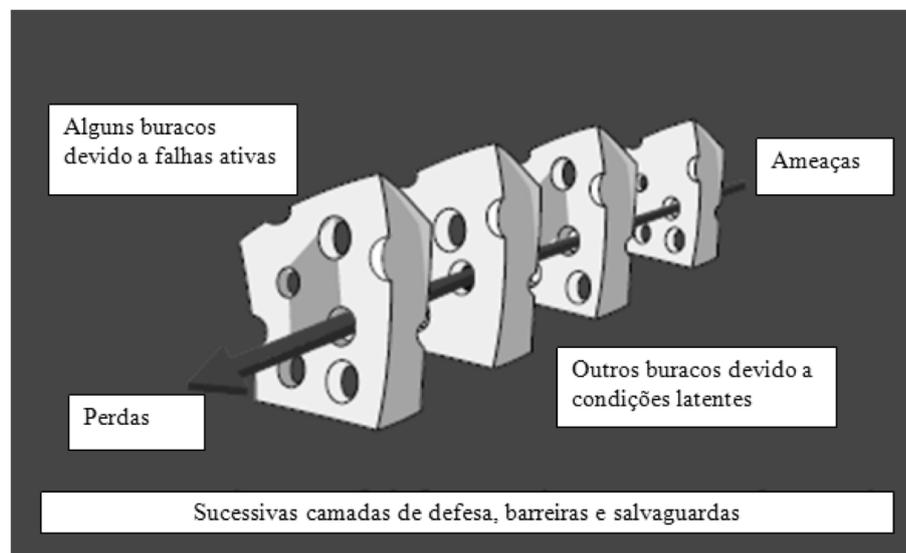


Figura 2.1: Representação gráfica do modelo de Reason, ou Modelo do “Queijo Suíço”  
(Adaptado de Reason, 1997)

## 2.2 Sistema de Classificação de Fatores Humanos

O Sistema de Classificação de Fatores Humanos (HFACS) é uma abordagem amplamente utilizada para categorizar falhas humanas em diferentes níveis de hierarquia, de

acordo com a Figura 2.2, incluindo erros operacionais, falhas organizacionais e deficiências de supervisão. Esse modelo foi desenvolvido para fornecer uma estrutura sistemática que ajuda a identificar as causas-raiz de um acidente, dividindo-as em quatro níveis principais: falhas organizacionais, supervisão inadequada, pré-condições para atos inseguros e atos inseguros propriamente ditos.

No nível organizacional, o HFACS examina como políticas inadequadas, falhas de comunicação e lacunas na cultura de segurança podem contribuir para acidentes. No nível da supervisão, avalia como decisões inadequadas dos supervisores, ou a falta de supervisão efetiva, podem criar condições propícias para falhas. O nível das pré-condições analisa fatores como o estado mental dos operadores, condições ambientais e problemas de coordenação que podem aumentar o risco de erro humano. Por fim, o nível dos atos inseguros foca diretamente nos erros cometidos pelos operadores, como erros de execução ou violações intencionais dos procedimentos.

O HFACS tem sido particularmente eficaz em investigações militares e aeronáuticas, visto que essa estrutura hierárquica permite que os investigadores compreendam a complexidade das causas de acidentes, indo além do erro humano direto para incluir também os fatores subjacentes que possibilitam essas falhas.

Por exemplo, o modelo foi detalhado e aplicado em investigações aeronáuticas no livro *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System* (WIEGMANN & SHAPPELL, 2003). Além disso, sua utilização na análise de 41 acidentes de aviação civil na República da China é apresentada no artigo "*Routes to failure: Analysis of 41 civil aviation accidents from the Republic of China using the Human Factors Analysis and Classification System*"(LI, HARRIS & YU, 2008).

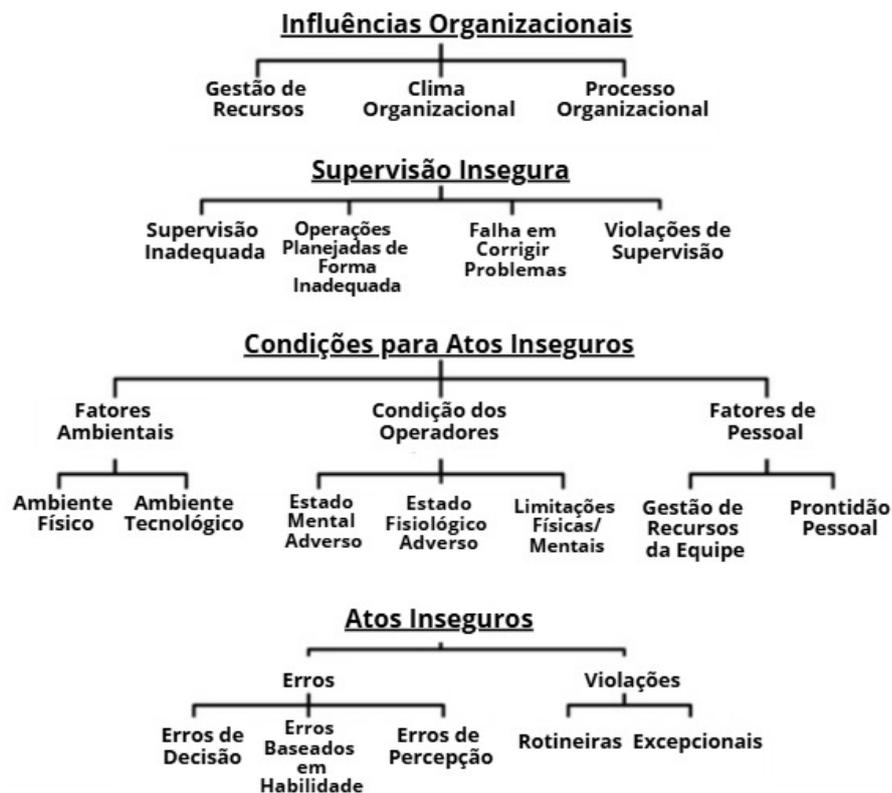


Figura 2.2: Diagrama ilustrando o Sistema de Classificação de Fatores Humanos (HFACS) (Adaptado de Wiegmann & Shappell, 2003)

Além desse método, existem outros mais tradicionais para analisar falhas, como a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) e a Árvore de Falhas, os quais também contribuem para a identificação e mitigação de riscos em sistemas complexos (STAMATIS, 2003).

## 2.3 Abordagem STAMP e Análise CAST

### 2.3.1 STAMP

O *Systems Theoretic Accident Model and Process* (STAMP), desenvolvido por Nancy Leveson, é uma abordagem voltada para a compreensão dos acidentes em sistemas complexos de forma sistêmica e não linear. O STAMP considera que os acidentes não são apenas o resultado de falhas isoladas, mas são provocados por relações inadequadas de controle dentro do sistema. Em vez de focar somente em falhas individuais, STAMP analisa como os componentes do sistema interagem e como as restrições não foram devidamente aplicadas, resultando em acidentes.

A abordagem STAMP vai além dos modelos tradicionais de análise de falhas, que tendem a ser lineares. Ela foca nas relações de controle e nas restrições de segurança em todos os níveis do sistema. O principal objetivo é assegurar que as restrições de segurança sejam implementadas e mantidas de forma eficaz, evitando, assim, novos acidentes.

### **2.3.1.1 Restrições de Segurança**

"As restrições de segurança são os limites que precisam ser respeitados para garantir que o sistema opere de forma segura. Esses limites podem incluir políticas, procedimentos operacionais padrão, requisitos técnicos e protocolos de comunicação" (LEVESON, 2011). A falha em estabelecer, manter ou comunicar essas restrições pode resultar em acidentes. A abordagem STAMP considera que os acidentes ocorrem quando as restrições de segurança não são adequadamente definidas ou implementadas. Como ilustrado no trabalho de Leveson (2011), a ausência de diretrizes claras para abortar uma missão em caso de problemas críticos, como falhas de comunicação ou falhas técnicas, pode facilmente transformar uma situação adversa em um acidente grave. Isso mostra a importância de restrições de segurança bem definidas e eficazes em operações de alta complexidade.

### **2.3.1.2 Elementos de Controle de Segurança (EHCS)**

Os Elementos de Controle de Segurança (EHCS) são definidos como mecanismos que garantem a aplicação e manutenção das restrições de segurança em todos os níveis do sistema. Segundo Silva (2016), os EHCS incluem uma série de componentes críticos, demonstrados na Figura 2.3, como controlador, atuadores, processos controlados, procedimentos organizacionais e sensores. Esses elementos são fundamentais para garantir que as restrições de segurança sejam implementadas de forma consistente e eficaz, reduzindo a probabilidade de falhas sistêmicas.

Para uma melhor compreensão, é importante aprofundar como cada um desses elementos interage dentro do sistema. Os controladores são responsáveis por garantir que as ações sejam tomadas de acordo com as restrições estabelecidas. Os atuadores executam as ações necessárias, enquanto os sensores monitoram o estado do sistema e fornecem informações aos controladores. Além disso, os procedimentos organizacionais definem as diretrizes e práticas que devem ser seguidas para manter a segurança do sistema.

Esses elementos de controle precisam ser constantemente avaliados e aprimorados, considerando a dinâmica dos sistemas complexos, onde alterações em um componente podem afetar diretamente outros. Assim, garantir que todos os elementos de controle estejam funcionando de maneira coesa e eficaz é essencial para manter a segurança e prevenir acidentes. Essa visão integrada dos EHCS mostra como o STAMP permite uma análise mais aprofundada e abrangente das falhas sistêmicas.

Silva (2016) enfatiza que os EHCS devem ser projetados e monitorados constantemente para que possam cumprir seu papel na prevenção de acidentes. A ausência de elementos de controle eficazes ou a falha em sua aplicação pode levar a situações em que as restrições de segurança sejam comprometidas, permitindo que acidentes ocorram. Portanto, a implementação de EHCS robustos é essencial para manter a segurança operacional em sistemas complexos.

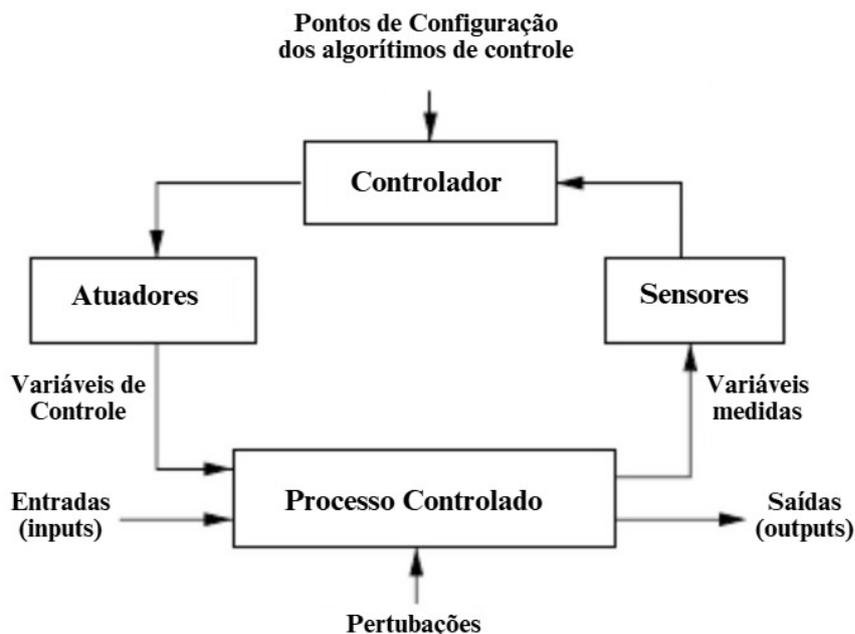


Figura 2.3: Ilustração de elementos básicos de uma EHCS  
(Adaptado de Correa, 2018).

### 2.3.1.3 Modelo de Processos e Algoritmos de Controle

"O modelo de processo refere-se ao conjunto de atividades organizadas para garantir que os objetivos do sistema sejam alcançados de maneira segura e eficiente" (LEVESON, 2011). No contexto do STAMP, o modelo de processos envolve identificar como as atividades interagem e como essas interações devem ser gerenciadas para evitar situações

indesejadas. Um planejamento adequado dos processos operacionais é fundamental para garantir que todos os elementos do sistema funcionem de forma coordenada e segura.

Os algoritmos de controle, por outro lado, são as regras ou lógicas utilizadas para manter o sistema sob controle. Eles definem como as decisões devem ser tomadas, com base nas informações disponíveis e nas condições do sistema. Algoritmos de controle inseguros ou mal definidos podem levar a decisões inadequadas, especialmente em condições de alta pressão, como durante operações militares. Na operação *Eagle Claw*, a falta de um algoritmo de controle robusto para definir critérios claros de cancelamento da missão levou a falhas que poderiam ter sido evitadas.

### 2.3.2 *Análise CAST*

A metodologia CAST é o componente de análise da abordagem STAMP. O CAST visa identificar as falhas nas funções de controle e as restrições que permitiram o acidente. Diferentemente das abordagens tradicionais, o CAST analisa os acidentes como resultado de falhas de controle nos diversos níveis hierárquicos do sistema, desde o nível operacional até a gestão e a política organizacional. Isso torna o CAST particularmente eficaz em contextos como o militar, onde vários níveis de controle interagem em situações de alta complexidade e risco.

A análise CAST é um processo específico dentro da abordagem STAMP que visa entender as causas dos acidentes por meio da identificação dos componentes do sistema, das funções de controle e das falhas nessas funções que permitiram que o acidente ocorresse. Os tipos principais de falhas encontrados na EHCS de acordo com a análise também são fundamentais para compreender as causas dos acidentes e são demonstradas na Figura 2.4.

Segundo Leveson (2011), o CAST fornece um método estruturado para analisar a dinâmica das falhas sistêmicas e entender como as deficiências no controle e nas restrições levaram ao acidente. O CAST permite mapear as relações de controle e identificar lacunas que, ao serem corrigidas, poderiam prevenir futuros acidentes. A grande diferença entre o STAMP/CAST e os modelos tradicionais é o foco na dinâmica do sistema como um todo, considerando o papel dos diferentes agentes, as políticas organizacionais, e a evolução das condições no tempo.



Figura 2.4: Tipos principais de falhas na EHCS

(Fonte: Correa, 2018).

## 2.4 Comparação entre Modelos Tradicionais e Abordagem STAMP

Os modelos tradicionais de análise de acidentes, como o Modelo do Queijo Suíço e o *Human Factors Analysis and Classification System* (HFACS), têm certas limitações ao lidar com sistemas complexos e dinâmicos. Esses modelos tendem a focar em falhas humanas ou defeitos específicos de componentes, abordando os acidentes de forma linear. Isso significa que eles frequentemente falham em capturar a complexidade das interações entre diferentes elementos do sistema e as lacunas nas restrições de segurança. Em situações como operações militares, onde diversos níveis de decisão e fatores técnicos e humanos interagem, as limitações dos modelos tradicionais se tornam evidentes, pois esses modelos não consideram as falhas no controle sistêmico que podem contribuir para um acidente.

Conforme descrito por Silva (2016), esses modelos são úteis para identificar erros pontuais, mas não são adequados para entender acidentes em sistemas que envolvem múltiplos agentes e interações complexas. Dessa forma, eles fornecem uma visão limitada da

realidade, sendo insuficientes para prevenir de forma abrangente acidentes em ambientes operacionais de alta complexidade.

Em contraste, a abordagem STAMP e sua metodologia CAST oferecem uma visão mais abrangente dos acidentes, considerando não apenas falhas individuais, mas também falhas de controle sistêmico e deficiências nas restrições de segurança. O STAMP vê os acidentes como consequência de falhas nas interações e restrições de controle em diversos níveis do sistema, ao invés de eventos isolados.

O trabalho de Silva (2016) destaca que, ao tratar acidentes como falhas sistêmicas de controle, a abordagem STAMP é capaz de identificar tanto os erros humanos quanto as condições organizacionais que contribuíram para o acidente. Isso é especialmente relevante em sistemas militares, onde a interação entre múltiplos agentes e a dinâmica das operações tornam improvável que uma única falha seja a única causa de um acidente.

Além disso, a STAMP foca em como as restrições de controle não foram eficazes e quais medidas poderiam ter sido tomadas para evitar o desastre. Dessa forma, a abordagem fornece uma análise mais ampla das causas-raiz dos acidentes, considerando o sistema como um todo e não apenas falhas pontuais. Sendo assim, a Tabela 2.1 apresenta um resumo da comparação entre as diferentes abordagens usadas na análise de acidentes.

Tabela 2.1: Comparação entre Modelos de Segurança: Reason, HFACS, e STAMP

Modelo	Foco da Análise	Abordagem de Causas de Acidentes
Reason	Foca em erros humanos e falhas no sistema de defesa. Enfatiza a identificação de "buracos no queijo suíço", onde múltiplas camadas de defesa falham.	Modelo linear de causas de acidentes, onde acidentes são causados por uma sucessão de eventos e falhas individuais.
HFACS	Análise estruturada de erros humanos e fatores contribuintes organizacionais. Utiliza uma abordagem de camadas, analisando supervisão, condições para atos inseguros, e falhas organizacionais.	Modelo linear focado em fatores humanos e no ambiente organizacional como fatores primários nas causas de acidentes.
STAMP	Foca no controle e na interação entre componentes do sistema. Considera o sistema como uma hierarquia de controle, onde a falta de restrições adequadas pode levar a acidentes.	Modelo não-linear e sistêmico, que considera os acidentes como resultado de falhas nos processos de controle e de feedback.

Fonte: o Autor.

#### 2.4.1 *Importância da Abordagem STAMP para Sistemas Complexos*

A abordagem STAMP é especialmente relevante para sistemas complexos, como os militares, onde a interação entre fatores humanos, técnicos e organizacionais é constante e pode gerar falhas em cascata. Diferente dos modelos tradicionais, que focam em falhas humanas ou eventos isolados, o STAMP examina as condições sistêmicas e as deficiências no controle que contribuem para acidentes.

Por meio dessa análise sistêmica, a abordagem STAMP permite uma compreensão mais profunda das causas dos acidentes, indo além de uma simples atribuição de culpa. Ela proporciona uma visão sobre como melhorar as restrições de segurança e os processos de controle, evitando que os erros se repitam. Dessa forma, o STAMP não só identifica falhas, mas também orienta na elaboração de soluções para fortalecer a segurança do sistema como um todo.

## **2.5 Relevância da Revisão para o Desenvolvimento do Trabalho**

A revisão de literatura realizada neste capítulo fornece o embasamento teórico necessário para a aplicação da análise CAST na Operação *Eagle Claw*. Ao comparar as abordagens tradicionais com a abordagem STAMP, fica evidente a necessidade de uma metodologia capaz de lidar com a complexidade das operações militares e de oferecer soluções para melhorar o controle e a coordenação dos elementos do sistema. Este capítulo apresenta os fundamentos que serão aplicados na análise do Capítulo 5, oferecendo suporte para a compreensão das causas do fracasso da missão e para a elaboração das recomendações propostas.

### 3 CONTEXTO HISTÓRICO DA OPERAÇÃO EAGLE CLAW

#### 3.1 Revolução Iraniana e a Crise dos Reféns

A Revolução Iraniana, que culminou na criação da República Islâmica sob a liderança do aiatolá Khomeini, representou uma virada significativa na política do Oriente Médio. Antes da revolução, o Irã era um aliado estratégico dos Estados Unidos da América (EUA) na região, especialmente no contexto da Guerra Fria, em que o equilíbrio de poder no Oriente Médio era crucial para os interesses americanos. Com a queda do Xá e a ascensão de Khomeini, o governo iraniano passou a adotar uma postura antiamericana, e a retórica revolucionária alimentou sentimentos contra a presença ocidental no país. Para os EUA, a perda de um aliado estratégico e a situação dos reféns se tornaram uma crise diplomática e humanitária que precisava de uma resposta rápida e decisiva (ESPÍRITO SANTO & BALDASSO, 2018; MÜLLER & BALDASSO, 2019).

Os reféns, um total de 52 diplomatas e funcionários da embaixada americana, foram capturados durante a invasão à embaixada dos EUA em Teerã, quando estudantes revolucionários iranianos tomaram o edifício e dominaram a equipe diplomática. Eles foram mantidos em condições de extremo estresse e sob constante vigilância pelos estudantes. O objetivo dos sequestradores era garantir que o Xá Reza Pahlavi, que havia fugido para os Estados Unidos, fosse julgado no Irã por seus supostos crimes contra o povo iraniano (ESPÍRITO SANTO & BALDASSO, 2018).

Além disso, a crise dos reféns se tornou um símbolo do confronto entre o novo governo revolucionário iraniano e os EUA, utilizado como um instrumento para demonstrar resistência contra a interferência ocidental e consolidar o apoio popular ao regime de Khomeini. O tratamento dos reféns, muitas vezes exibido pela mídia iraniana, era uma maneira de expor a vulnerabilidade dos Estados Unidos e reafirmar o poder da revolução islâmica.

Nesse contexto, a aproximação das eleições presidenciais nos Estados Unidos em 1980 intensificou a pressão sobre o governo Carter. A crise dos reféns se tornou um tema central da campanha eleitoral, sendo amplamente explorada por seus adversários políticos, especialmente Ronald Reagan, que apontava a falta de ação resolutiva do governo como um sinal de fraqueza. Essa situação fez com que a administração Carter sentisse ainda mais

urgência para resolver a crise antes das eleições, a fim de recuperar o apoio da população e mostrar uma postura de liderança forte e decisiva (ZANONI, 2018; ACADEMIA.EDU, 2019).

Além do mais, o prolongamento da crise de reféns gerou uma cobertura massiva da mídia, que acompanhava diariamente a situação dos reféns, influenciando a opinião pública americana. A pressão popular, combinada com a proximidade das eleições, criou um cenário em que o governo dos EUA estava desesperado para agir, mesmo que os riscos fossem altos e o planejamento da operação apresentasse inúmeras incertezas (ZANONI, 2018).

A eleição presidencial de 1980 era crucial para Jimmy Carter, pois sua popularidade já estava abalada por outros problemas internos, como a inflação e o desemprego. A crise dos reféns se tornou um ponto central de críticas à sua liderança, contribuindo para uma percepção pública de ineficácia. Ronald Reagan, seu principal oponente, usou a situação para prometer uma postura mais firme em relação ao Irã e restaurar a credibilidade dos EUA no cenário internacional. Assim, a resolução da crise antes das eleições tornou-se fundamental para Carter tentar recuperar a confiança dos eleitores.

O governo Carter enfrentava, portanto, uma pressão multidimensional: além de lidar com as complexidades da crise dos reféns, precisava também mostrar resultados rapidamente, sob pena de perder apoio popular e político. A operação *Eagle Claw* surgiu como uma tentativa desesperada de mudar a narrativa antes das eleições, mesmo com as inúmeras incertezas e riscos que envolviam o plano. Entretanto, o fracasso da missão apenas reforçou a percepção de vulnerabilidade da administração Carter e contribuiu para sua derrota nas urnas (ESPÍRITO SANTO & BALDASSO, 2018).

A decisão de realizar uma operação de resgate foi tomada em meio a um contexto de alta tensão política interna nos EUA. O presidente Jimmy Carter enfrentava crescente pressão pública e política para resolver a crise. A incapacidade de garantir a libertação dos reféns estava afetando sua popularidade e minando a percepção de liderança do país no cenário internacional. Assim, a operação *Eagle Claw* foi planejada como uma missão de resgate audaciosa, que envolvia múltiplas etapas e uma cooperação entre diferentes ramos das forças armadas americanas. O contexto geopolítico, somado ao crescente sentimento nacionalista no Irã e à necessidade de proteger os cidadãos americanos, tornaram a situação extremamente complexa e delicada .

### 3.2 Planejamento e Execução da Operação

A Operação *Eagle Claw* foi concebida para ser realizada em múltiplas etapas, começando com o deslocamento de oito helicópteros RH-53D da Marinha, designados como HELO 1 a 8, que partiram do porta-aviões *United States Ship* (USS) Nimitz no Golfo de Omã, conforme demonstra a Figura 3.1.

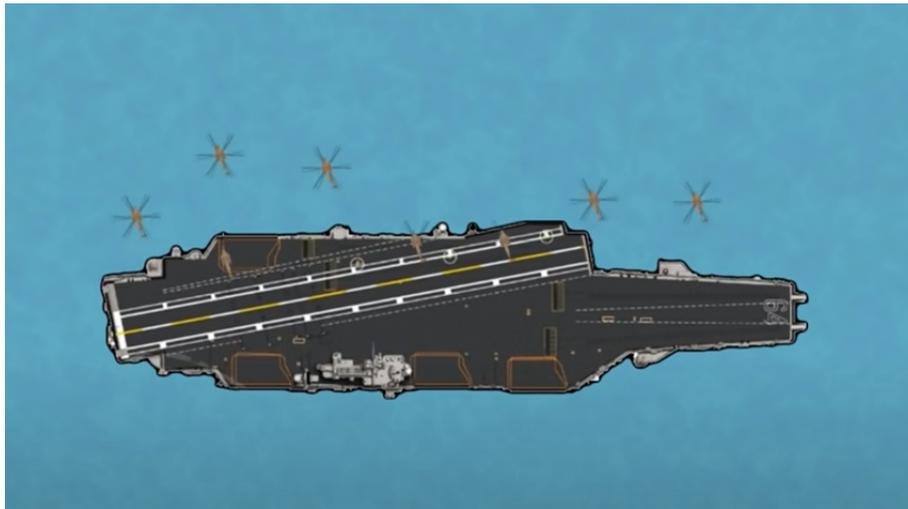


Figura 3.1: Helicópteros decolando do USS Nimitz  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Esses helicópteros tinham como missão realizar um voo de aproximadamente 970 km até o ponto de encontro inicial, denominado *Desert One*, localizado no deserto de Dasht-e Lut, como se observa na Figura 3.2. No local, os aviões C-130, que haviam decolado da Ilha de Masirah na costa do Omã, já estariam posicionados, aguardando a chegada dos helicópteros. Esses C-130 eram responsáveis por transportar os suprimentos necessários e as forças especiais *Delta Force*, fundamentais para a continuidade da operação, tal como mostrado na Figura 3.3 (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980).



Figura 3.2: *Desert one e Desert Two*  
(Adaptado de Farawayman, 2020).



Figura 3.3: C-130 e *Delta Force* no ponto *Desert One*  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Dessa forma, o *Desert One* funcionaria como um ponto crucial de logística, onde os helicópteros seriam reabastecidos e os militares se preparariam para prosseguir até a próxima fase da missão (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980). Após o reabastecimento, as forças especiais seriam transportadas pelos helicópteros para um segundo

ponto de encontro, o *Desert Two*, localizado mais próximo de Teerã, onde aguardariam até a noite seguinte (HOLZWORTH, 1997).

A partir de *Desert Two*, os caminhões pré-posicionados pela CIA levariam as forças especiais até o centro de Teerã, onde as equipes atacariam simultaneamente a embaixada dos EUA e o Ministério das Relações Exteriores, resgatando os reféns. Depois do resgate, todos seriam transportados de volta aos helicópteros que os aguardariam no estádio de Amjadieh. Dali, os reféns e a equipe de resgate seriam levados para a base aérea de Manzariyeh, capturada por outra unidade da força-tarefa (UNITED STATES, 1980).

Finalmente, os reféns e as forças especiais seriam evacuados de Manzariyeh por aviões C-141 *Starlifters*, retornando em segurança para fora do território iraniano, conforme disposição da Figura 3.4, que mostra toda a disposição da missão. É importante ressaltar que os helicópteros utilizados na operação seriam destruídos antes do retorno, para evitar que caíssem em mãos inimigas (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980).



Figura 3.4: Mapa do território e disposição dos meios envolvidos na missão

( Fonte: Farawayman, *Operation Eagle Claw Routes*, Wikimedia Commons, 19 nov. 2020. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Operation\\_Eagle\\_Claw\\_Routes.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Operation_Eagle_Claw_Routes.png)>.)

Desse modo, o Major General James B. Vaught foi designado como comandante da Força-Tarefa Conjunta (JTF), reportando-se diretamente ao Presidente dos EUA. Ele tinha dois comandantes de campo: o Coronel James H. Kyle, responsável pela aviação, e o Coronel Charlie Beckwith, encarregado das forças terrestres. A operação exigiu uma coordenação meticulosa, mas enfrentou sérios desafios devido à estrutura de comando fragmentada, à falta de integração entre as forças envolvidas e também devido ao requisito de compartimentalização, feito para aumentar o sigilo (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980).

O planejamento da operação *Eagle Claw* foi extremamente complexo e envolveu diversas forças armadas americanas. A missão consistia em uma operação de resgate multietapas que dependia da coordenação entre helicópteros da Marinha, aviões de transporte C-130 Hercules, C-141 *Starlifter*, e as forças especiais *Delta Force*. O objetivo era infiltrar as forças especiais no coração de Teerã, garantir a localização dos reféns e retirá-los em

segurança em uma operação coordenada.

O plano incluía várias etapas de deslocamento e abastecimento, que deveriam ocorrer em pontos já mencionados, conhecidos como *Desert One* e *Desert Two*. A escolha dos locais para pouso e reabastecimento era crítica, pois envolvia riscos como detecção por forças iranianas e as condições climáticas adversas. Diversos problemas ocorreram durante a fase de planejamento, incluindo preocupações com a confiabilidade dos helicópteros e a falta de experiência das equipes em operações tão coordenadas e complexas (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980).

Ao chegar ao ponto de pouso *Desert One* com as aeronaves de transporte, ao passo que esperavam os oito helicópteros, as forças americanas interceptaram um ônibus com 44 civis iranianos, que foram detidos para evitar que alertassem as autoridades, como apresentado na Figura 3.5.

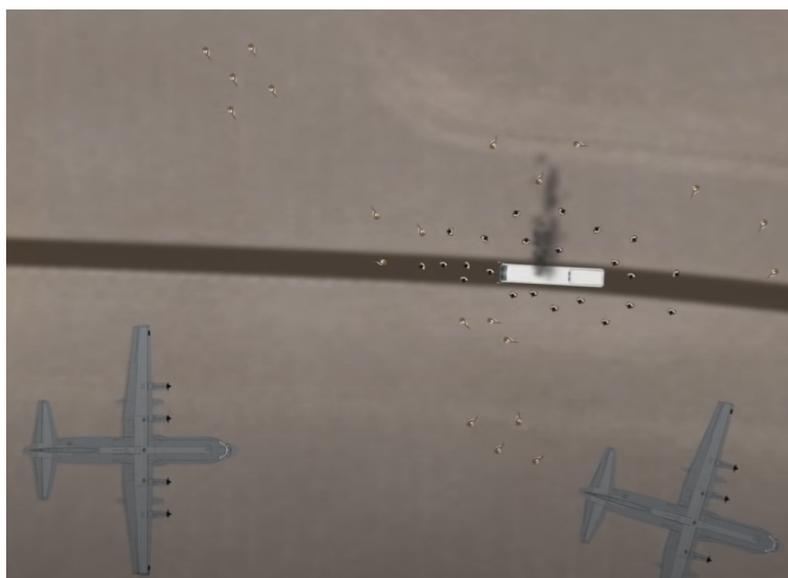


Figura 3.5: Ônibus com 44 civis iranianos interceptado  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

A configuração representada na Figura 3.6 demonstra, um caminhão-tanque que se aproximou e, ao desobedecer à ordem de parada, foi atingido por um foguete antitanque M72, resultando na morte de um passageiro, enquanto o motorista conseguiu fugir na picape que escoltava o caminhão. Esses incidentes aumentaram o risco de detecção e adicionaram complexidade à operação, que já enfrentava desafios significativos (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980).

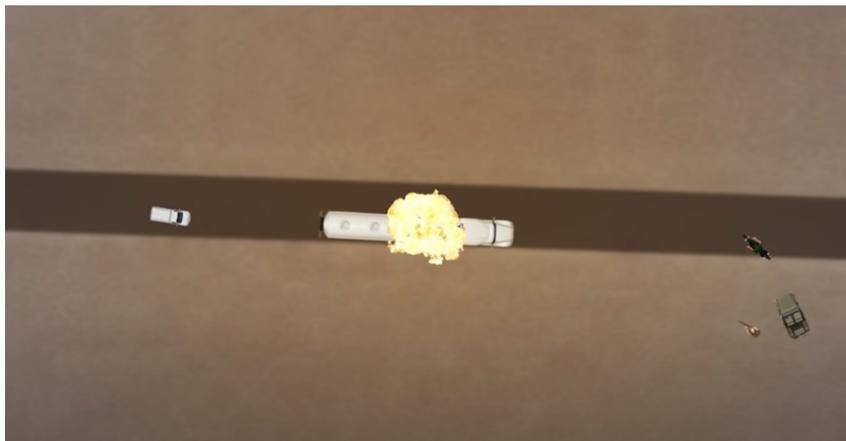


Figura 3.6: Caminhão-Tanque atingido por militares americanos  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

A movimentação das aeronaves foi prejudicada por uma tempestade de areia conhecida como *haboob*, demonstrada na Figura 3.7, que causou uma perda significativa de visibilidade. As condições adversas resultaram em desorientação dos pilotos e contribuíram diretamente para o abandono de algumas aeronaves. Além disso, a coordenação inadequada entre os helicópteros e os aviões C-130, agravada pela compartimentalização extrema das informações, levou a falhas críticas durante a execução da missão.



Figura 3.7: Tempestade de areia *Haboob*  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Durante o deslocamento, os helicópteros enfrentaram diversos problemas técnicos. Inicialmente, o helicóptero designado como Helo-6 apresentou uma indicação de possível rachadura na pá do rotor, sinalizada pelo *Blade Inspection Method* através de sensores de bordo. Diante da gravidade potencial dessa falha estrutural e de acordo com os procedimentos do manual, a tripulação optou por realizar um pouso de emergência no deserto, o

que pode ser observado nas Figuras 3.8 e 3.9 (UNITED STATES, 1980).

O *Blade Inspection Method* (Método de Inspeção de Pás) consiste em uma técnica de monitoramento e avaliação das pás do rotor, amplamente utilizada em aeronaves de asa rotativas para identificar potenciais falhas estruturais, como rachaduras, deformações ou danos por fadiga. No caso específico deste método, as pás possuem cavidades internas seladas, preenchidas com gás inerte pressurizado, como nitrogênio. Em situações de falha estrutural, como rachaduras, o gás vaza, provocando uma queda de pressão que é detectada por sensores de monitoramento. Esse mecanismo funciona como um indicador precoce de danos, permitindo que a tripulação tome ações preventivas antes que a falha evolua para algo crítico (JENKINS,1979).



Figura 3.8: Helicóptero 6 recebe alerta de possível falha na pá do rotor  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Consequentemente, a aeronave foi abandonada no local e sua tripulação foi resgatada pelo Helo-8, que prosseguiu com a missão transportando os tripulantes adicionais, como indicado na Figura 3.9.



Figura 3.9: Helicóptero 6 pousa e é resgatado pelo helicóptero 8  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Já o helicóptero Helo-2 apresentou uma falha no sistema hidráulico. Apesar desse problema, a tripulação decidiu prosseguir com a missão, considerando que o número mínimo de helicópteros necessário para o sucesso da operação era de seis. A decisão de continuar mesmo diante de uma falha significativa reflete a pressão e os desafios da missão, bem como a determinação da equipe em cumprir o objetivo traçado.

A Figura 3.10 ilustra o momento crítico em que o helicóptero Helo-5 sofreu falhas elétricas, obrigando-o a abandonar a missão e retornar ao porta-aviões. Essa falha resultou em uma perda significativa para a operação, pois diminuiu a quantidade de helicópteros disponíveis, dificultando ainda mais o cumprimento das etapas previstas (UNITED STATES, 1980).



Figura 3.10: Helicóptero 5 retorna ao porta-aviões devido à falha elétrica  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Os helicópteros RH-53D Sea Stallion enfrentaram diversos problemas técnicos e climáticos durante o trajeto até o ponto de encontro *Desert One*, resultando em um atraso significativo, variando entre 50 e 90 minutos em relação ao horário originalmente planejado (HOLZWORTH, 1997; UNITED STATES, 1980). Além do atraso, os helicópteros chegaram de forma desorganizada, devido à falta de visibilidade causada pelas tempestades de areia e à falha de comunicação entre as equipes, conforme Figura 3.11.



Figura 3.11: Helicópteros desorganizados próximos ao ponto *Desert One*  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Dos oito helicópteros que partiram inicialmente, apenas seis chegaram ao ponto de encontro, sendo que um deles, o Helo-2, ainda apresentava problemas no sistema hidráulico, o que comprometia ainda mais a capacidade operacional da missão. Essa desorganização inicial foi crucial para os problemas subsequentes que ocorreriam em *Desert One*. No ponto de reabastecimento, os C-130 e os seis helicópteros estavam dispostos como na Figura 3.12 e a situação se deteriorou rapidamente (CAVOK, 2016).

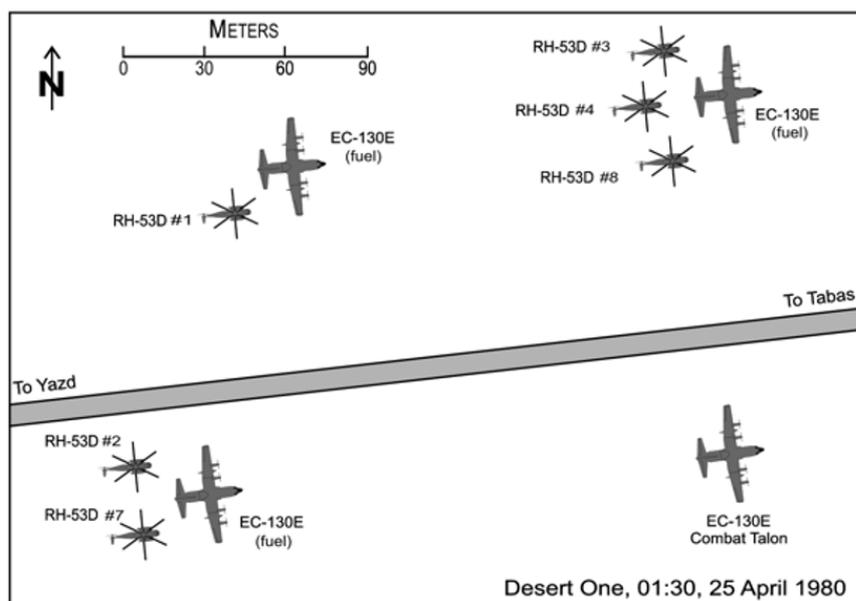


Figura 3.12: Disposição no ponto Desert One antes da colisão

(Fonte: Cavok, Operação Eagle Claw: Fracasso americano no deserto do Irã, 23 jul. 2016. Disponível em: <https://www.cavok.com.br/operacao-eagle-claw-fracasso-americano-no-deserto-do-ira-operation-eagle-claw-ch-153>.)

Durante o reabastecimento, o helicóptero Helo-2 enfrentou um problema crítico. Foi identificado que a bomba de combustível havia sido danificada pela poeira do deserto, um reflexo das condições adversas encontradas durante a operação. A destruição da bomba impossibilitou o funcionamento adequado do sistema de combustível, deixando o Helo-2 sem condições de prosseguir para Teerã, como ilustrado na Figura 3.13 (THE OPERATION ROOM, 2021).

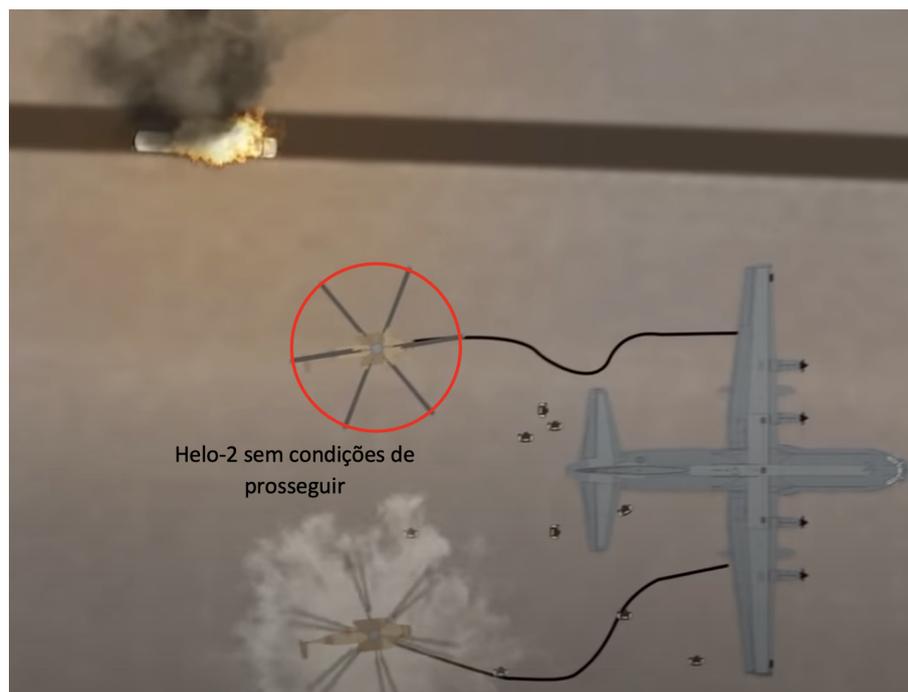


Figura 3.13: Problema na bomba de combustível do Helicóptero 2  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Essa falha agravou ainda mais a situação, pois o número mínimo de helicópteros operacionais necessários para a continuidade da missão era de seis, e, com apenas cinco aeronaves disponíveis, a viabilidade da operação ficou definitivamente comprometida. A incapacidade do Helo-2 de prosseguir tornou claro que não havia outra alternativa senão o fim da missão. Após comunicação com Washington, foi tomada a decisão de abortar a missão.

Com a missão cancelada, havia a necessidade urgente de retirar as aeronaves do ponto *Desert One*. Um dos EC-130, que havia servido de apoio logístico e reabastecimento, precisava decolar devido à quantidade baixa de combustível, o que tornava crítica a liberação do local (United States, 1980). As aeronaves estavam dispostas conforme ilustrado na Figura 3.14, e os helicópteros Helo-3 e Helo-4 precisavam ser reposicionados para criar espaço suficiente para a decolagem do EC-130 (THE OPERATION ROOM, 2021).



Figura 3.14: Disposição dos meios antes da movimentação  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

O acidente ocorreu durante a tentativa de reposicionamento do helicóptero Helo-3, que enfrentou uma condição de *brownout* (visibilidade reduzida pela poeira), levando à colisão com o estabilizador vertical do EC-130, como demonstra a Figura 3.15 (UNITED STATES, 1980).



Figura 3.15: Colisão do helicóptero 3 com o EC-130  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

A desorientação do piloto do Helo-3 e a comunicação inadequada entre o *Combat Controller* (Balizador) e a tripulação contribuíram para essa tragédia. Esse evento re-

sultou na morte de oito militares, na perda significativa de material e em uma retirada apressada, sem a devida destruição dos helicópteros, conforme pode ser visto na Figura 3.16 (UNITED STATES, 1980).

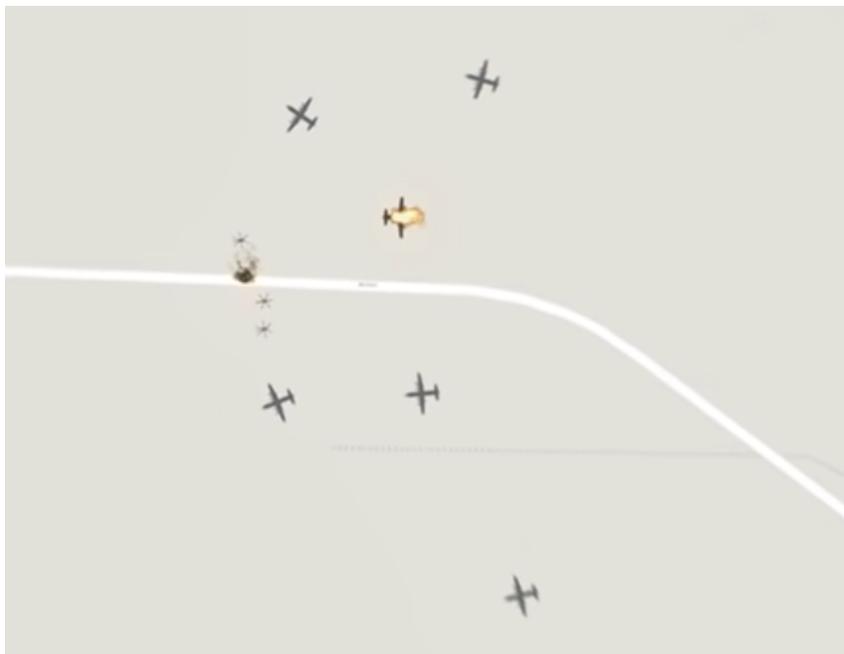


Figura 3.16: Retirada apressada sem destruição dos helicópteros  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

Os reféns americanos, mantidos em cativeiro no Irã, foram finalmente libertados após o resultado das eleições presidenciais nos Estados Unidos. Os 52 reféns permaneceram detidos por 444 dias, em meio a tensões diplomáticas e incertezas internacionais. A transição de governo e as negociações diplomáticas intensificadas, conduzidas ao longo dos meses seguintes, levaram ao acordo que culminou na libertação dos reféns. A libertação ocorreu em 20 de janeiro de 1981, coincidindo com o dia da posse do presidente Ronald Reagan, marcando o fim de um longo e tenso impasse diplomático entre os Estados Unidos e o Irã (ESPÍRITO SANTO & BALDASSO, 2018; MÜLLER & BALDASSO, 2019).

A Figura 3.17 ilustra o momento em que os reféns, após meses de cativeiro, finalmente chegaram aos Estados Unidos, sendo recebidos com alegria e alívio pelas autoridades e pela população. Essa imagem simboliza não apenas o fim de um dos episódios mais tensos da diplomacia americana, mas também o início de uma nova etapa nas relações entre os Estados Unidos e o Oriente Médio.



Figura 3.17: Reféns chegam aos EUA  
(Adaptado de The Operation Room, 2021).

### 3.3 Fatores que Contribuíram para o Fracasso da Operação

Este breve comentário aborda as principais falhas ocorridas durante a operação *Eagle Claw*, que serão analisadas em maior detalhe no próximo capítulo, utilizando a abordagem *System-Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP).

As falhas logísticas e técnicas foram um dos principais fatores que levaram ao fracasso da missão. Problemas mecânicos nos helicópteros, falta de peças de reposição e treinamento inadequado das equipes contribuíram significativamente para a ineficácia da missão. Além disso, a dependência de condições climáticas favoráveis e a falta de experiência das tripulações em operar em condições adversas, como tempestades de areia, evidenciaram a fragilidade do planejamento.

A tomada de decisão foi prejudicada pela falta de comunicação clara e pelo excesso de compartimentalização das informações. A urgência em decolar o EC-130 devido ao baixo nível de combustível aumentou a pressão operacional, levando a uma decisão de movimentar os helicópteros em condições adversas sem uma avaliação adequada dos riscos.

As falhas na tomada de decisão também foram determinantes para o fracasso da operação. A falta de um comando unificado e claro levou a uma coordenação deficiente entre as forças envolvidas. Houve também uma subestimação dos desafios operacionais

e das condições ambientais, além de uma comunicação inadequada entre as equipes de solo e as aeronaves. Além do mais, a coleta e a análise das informações pelas agências de inteligência foram realizadas de forma imprecisa. A decisão de prosseguir com a missão, mesmo quando já haviam ocorrido diversos problemas técnicos e atrasos, mostrou-se fatal.

### 3.4 Contexto para Aplicação da Análise STAMP

A análise da Operação *Eagle Claw* utilizando a abordagem STAMP possibilita uma compreensão sistêmica das relações de controle inadequadas e da ausência de restrições de segurança que culminaram no fracasso da missão. O contexto histórico apresentado neste capítulo evidencia as múltiplas camadas de falhas — logísticas, técnicas, organizacionais e operacionais — que contribuíram para a ocorrência do acidente.

No próximo capítulo, será aplicada a abordagem *System-Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP) para explorar detalhadamente as interações entre os agentes, os processos de controle, e as decisões críticas tomadas durante a operação. Cada falha identificada será analisada à luz da análise CAST, destacando os pontos de controle ausentes ou mal implementados, os feedbacks inadequados, e os efeitos das condições ambientais adversas.

Essa perspectiva permitirá uma identificação das causas-raiz sistêmicas do desastre, indo além da análise tradicional de falhas individuais e focando nas dinâmicas de controle e coordenação que influenciaram a operação como um todo. O detalhamento proporcionado pela metodologia CAST servirá como base para propor recomendações concretas no capítulo 5, reforçando a importância de uma visão integrada para a segurança de sistemas complexos.

## 4 ANÁLISE CAST

Neste capítulo, será aplicada a metodologia *System-Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP) para realizar uma análise detalhada das falhas que contribuíram para o fracasso da Operação *Eagle Claw*. O objetivo é explorar as relações de controle inadequadas e identificar os pontos críticos onde o sistema de segurança falhou, resultando no desastre.

Inicialmente, serão apresentadas as modelagens feitas para cada uma das situações analisadas, destacando as falhas detectadas em vermelho. Essas modelagens ajudarão a ilustrar visualmente os pontos críticos do sistema, proporcionando uma compreensão clara dos fatores que levaram ao fracasso. Em seguida, cada análise será aprofundada com a aplicação da metodologia STAMP, detalhando como as falhas identificadas se conectam aos processos de controle, aos feedbacks inadequados, e às condições ambientais adversas que influenciaram as decisões durante a missão.

Este capítulo está organizado em cinco subseções, cada uma correspondendo às análises realizadas sobre a operação. Cada subseção começará com a apresentação das modelagens e, posteriormente, aplicará a *Causal Analysis based on STAMP* (CAST) para identificar as causas sistêmicas e propor melhorias no controle e segurança das operações futuras.

### 4.1 Análise da Colisão entre o Helicóptero 3 e o avião EC-130

A modelagem apresentada na Figura 4.1 descreve como os diferentes elementos do sistema interagem durante o processo de reposicionamento dos helicópteros para liberar a pista para a decolagem do EC-130. O objetivo principal é ilustrar a dinâmica de controle e os fluxos de informação entre os agentes envolvidos. Para uma análise mais detalhada, a imagem pode ser visualizada em tamanho ampliado no Apêndice A, onde os elementos e suas interações são apresentados com maior clareza.

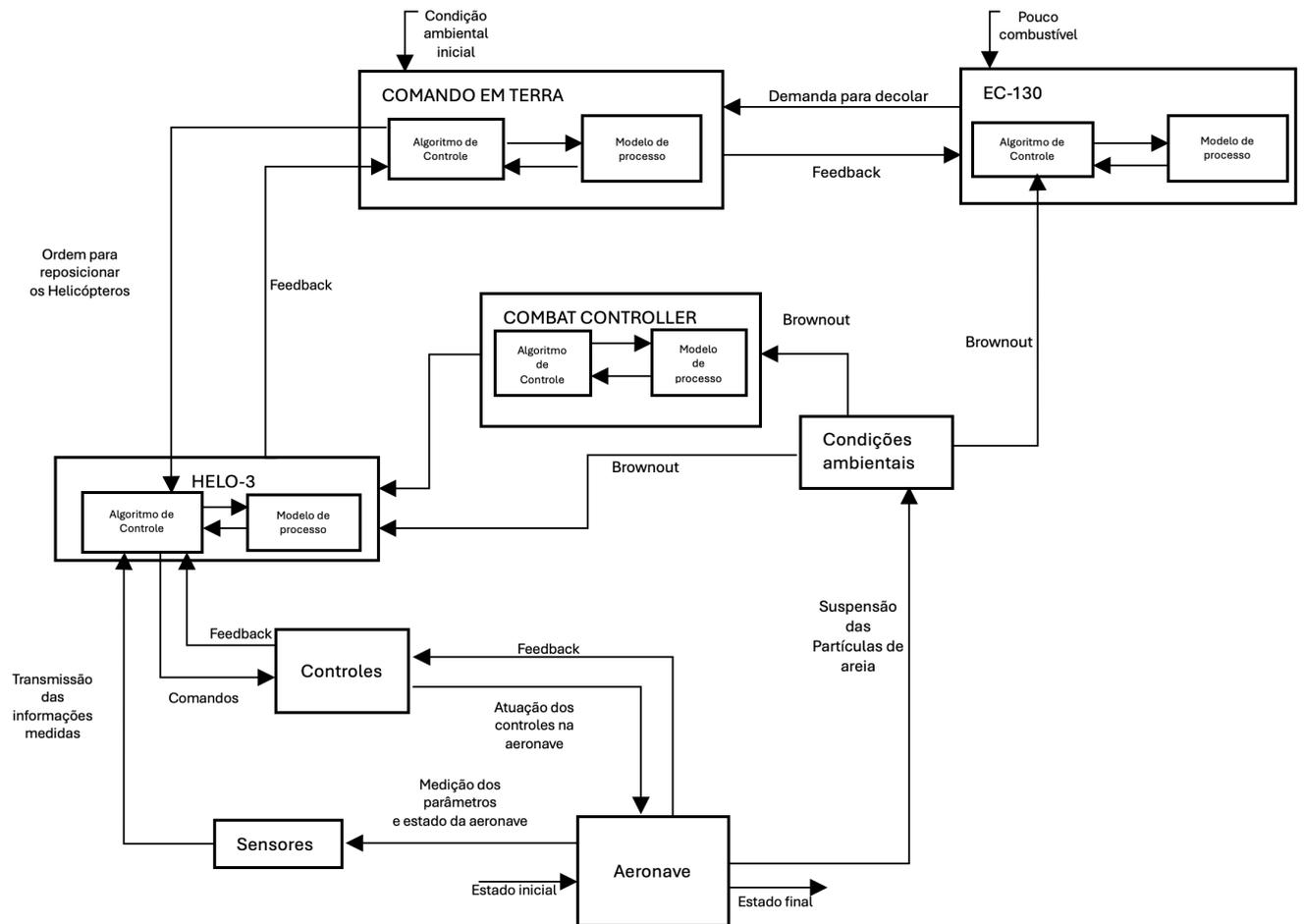


Figura 4.1: EHCS relativa à colisão entre helicóptero 3 e o avião EC-130  
(Fonte: o Autor).

O Comando em Terra é o ponto inicial do processo, responsável por receber e gerenciar as demandas operacionais durante a operação. Nesta situação, ele recebeu a demanda do piloto do EC-130, que solicitava autorização para decolar devido aos níveis críticos de combustível. Em resposta, o Comando em Terra forneceu o feedback inicial, orientando o piloto a aguardar enquanto os helicópteros na pista, incluindo o HELO-3, eram reposicionados conforme a Figura 3.3. Após avaliar as condições operacionais, ele emitiu ordens específicas para o piloto do HELO-3, instruindo-o a executar a manobra de reposicionamento, coordenando assim as ações necessárias para liberar a pista.

O HELO-3, representado pelo piloto do helicóptero, desempenha o papel central na execução da manobra de reposicionamento. Ele recebe orientações diretas do *Combat Controller* e, com base nessas referências visuais e táticas, emite comandos aos controles da aeronave. Esses comandos são processados pelos sistemas internos do helicóptero, que então ajustam a movimentação física da aeronave. Durante todo o processo, o piloto

do HELO-3 monitora os feedbacks recebidos tanto dos controles da aeronave quanto dos sensores de bordo, que fornecem informações sobre o estado do sistema e as condições ambientais. Essa interação contínua entre o piloto, os sistemas internos do helicóptero e o *Combat Controller* é essencial para garantir a precisão da manobra e a segurança da operação.

O *Combat Controller* atua como uma espécie de balizador durante a manobra de reposicionamento dos helicópteros, fornecendo referências visuais e táticas diretamente ao piloto. Sua função é orientar o posicionamento preciso do helicóptero, garantindo que a manobra seja conduzida de forma alinhada às demandas operacionais.

O EC-130 é a aeronave cuja decolagem motiva a necessidade de reposicionamento dos helicópteros. O piloto do EC-130 comunica sua demanda ao Comando em Terra, informando a situação crítica de combustível e solicitando autorização para decolar. Durante esse período, o EC-130 permanece estacionado na pista, aguardando o término do reposicionamento dos helicópteros. A interação entre o piloto do EC-130 e o Comando em Terra ocorre por meio de trocas de informações contínuas, permitindo o alinhamento do momento exato para a liberação da pista. Enquanto isso, o EC-130 mantém seus sistemas operacionais em prontidão, monitorando a situação e preparando-se para a decolagem assim que a pista for desobstruída.

As condições ambientais desempenham um papel dinâmico e essencial no contexto da operação, afetando diretamente as interações entre os controladores e os sistemas envolvidos. Durante a manobra dos helicópteros, a movimentação do helicóptero gerou a suspensão de partículas no ar, criando a condição conhecida como *brownout*. Esse fenômeno reduziu drasticamente a visibilidade no ambiente, impactando a percepção do piloto e a precisão das referências visuais fornecidas pelo *Combat Controller*.

Em conjunto, essas interações demonstram como as decisões estratégicas do Comando em Terra são traduzidas em ações operacionais pelos demais atuadores. O sistema funciona em ciclos contínuos de controle e *feedback*, onde cada agente influencia os demais, criando um fluxo integrado de informações e ações coordenadas. Contudo, a Figura 4.2 destaca as falhas nas interações e nos mecanismos de controle do sistema, evidenciando como a ausência de alinhamento em alguns pontos comprometeu a execução eficiente da operação. Essas interações e os desdobramentos detalhados dessas falhas são explorados de forma ampliada no Apêndice B.

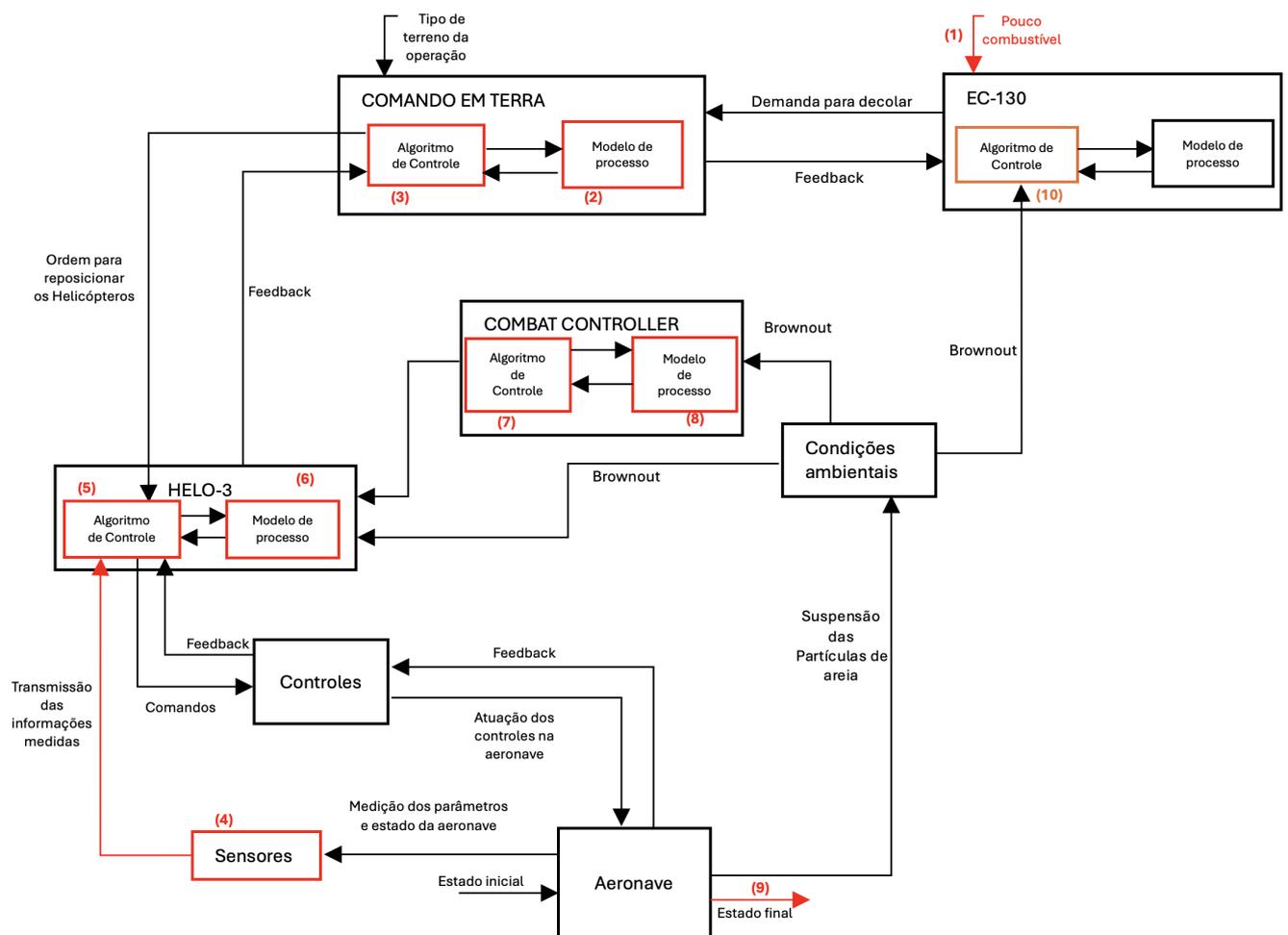


Figura 4.2: EHCS relativa à colisão entre helicóptero 3 e o avião EC-130, com falhas numeradas

(Fonte: o Autor).

Devido à alta pressão operacional para decolar, causada pela falta de combustível no EC-130, ocorreram várias falhas críticas no sistema de controle. O Comando em Terra, como controlador inoperante, não enviou uma ação de controle (1) adequada sobre o processo físico da operação. A ordem de reposicionar os helicópteros foi transmitida sem que fossem adequadamente consideradas as condições adversas de *brownout*. A única ação de controle enviada foi a demanda para reposicionar os helicópteros para que o avião pudesse decolar. Nesse caso, o modelo de processo adotado pelo Comando em Terra estava incompleto (2), resultando em decisões inadequadas, como a não consideração das condições do terreno e das condições críticas de combustível da aeronave. Outrossim, o algoritmo de controle (3) do comando em terra não incorporou adequadamente os riscos ambientais e a pressão de tempo, o que resultou em decisões inadequadas.

O *Combat Controller*, por sua vez, desempenhou uma função essencial no processo,

mas sua atuação foi prejudicada por um modelo de processo deficiente (8), o qual não havia treinamento adequado para as condições encontradas. Ele não conseguiu fornecer *feedback* adequado ao HELO-3 durante o reposicionamento, tendo em vista que se movimentou ao perceber partículas de areia sendo suspensas pelo helicóptero, o que resultou na perda de referência visual devido à formação de *brownout*. Além disso, seu algoritmo de controle (7) não estava preparado para lidar com as condições ambientais imprevistas.

O HELO-3, responsável pelo reposicionamento, também apresentou falhas críticas. O seu modelo de processo era insuficiente (6) também devido a falta de treinamento adequado, levando a uma interpretação incorreta das ordens, especialmente em um cenário com visibilidade comprometida. O algoritmo de controle do HELO-3 (5) não incorporou de maneira eficiente as condições do ambiente, resultando na colisão com o EC-130. A falta de comunicação adequada entre os envolvidos também contribuiu para que as ações do helicóptero não fossem corrigidas a tempo. O piloto do helicóptero deveria ter se baseado não apenas nas instruções do *Combat Controller* mas também em outros fatores críticos, como as condições ambientais, o *feedback* dos sensores da aeronave e o contexto geral da operação. Dessa forma, ele teria uma visão mais completa e abrangente da situação, ajudando a mitigar os riscos associados à baixa visibilidade e ao *brownout*.

Os Sensores da aeronave, que deveriam fornecer dados precisos sobre o estado da aeronave e das condições ambientais, não foram eficazes na identificação das partículas suspensas no ar durante o *brownout* (4), bem como de sua posição em relação ao EC-130. A incapacidade de transmitir essas informações para os controles da aeronave e para os pilotos contribuiu para a continuidade de uma operação insegura, uma vez que o estado crítico da aeronave e a baixa visibilidade não foram devidamente comunicados.

Com a falta de ações adequadas do Comando em Terra (1), a execução prejudicada do *Combat Controller* (7) e a resposta incorreta do HELO-3 (5), somadas às condições externas adversas do *brownout*, o sistema foi conduzido a um estado de alto risco (9), resultando na colisão.

Na modelagem, há uma parte destacada em laranja, pois se trata de uma suposição que poderia ter contribuído para o acidente final. O piloto do EC-130, durante toda a missão, tinha controle e acesso aos sensores de combustível da aeronave, mas deixou para informar que precisava decolar em um momento já crítico. Isso fez com que as decisões fossem tomadas de forma acelerada e rápida, gerando ainda mais pressão operacional em

uma missão tão complexa. Assim, o algoritmo de controle falhou ao não considerar esses problemas e suas implicações.

## 4.2 Desistência de um Helicóptero por Problemas no *Blade Inspection Method* (BIM)

A modelagem apresentada na Figura 4.3 detalha as interações operacionais entre os agentes envolvidos na condução do helicóptero HELO-6, incluindo sua relação com o USS Nimitz, a equipe de manutenção e o helicóptero HELO-8. Essa estrutura evidencia como as ações estratégicas e táticas são articuladas em um sistema integrado de controle e comunicação, permitindo que os objetivos da missão sejam alcançados de forma coordenada. Para uma visão ampliada dos detalhes, o Apêndice C apresenta um *zoom* da modelagem, permitindo uma análise mais minuciosa das interações entre os elementos.

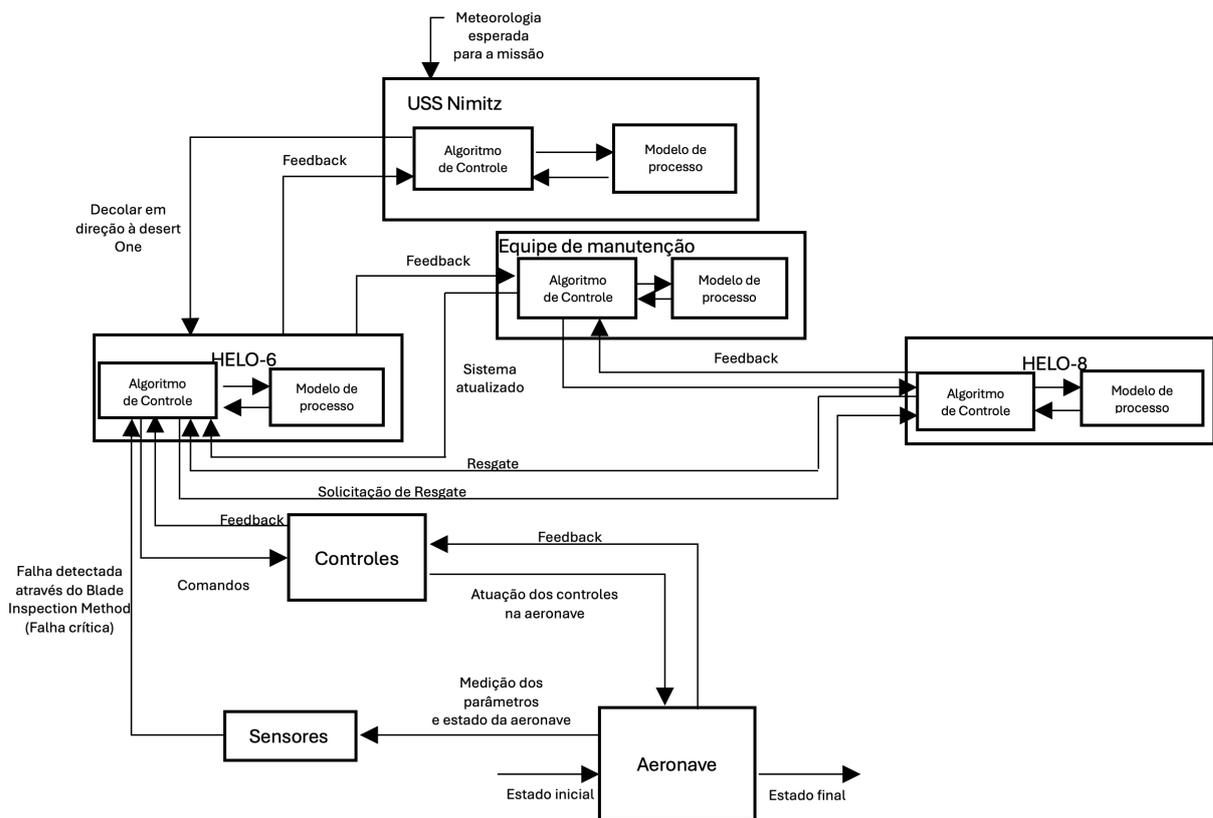


Figura 4.3: EHCS relativa à desistência do helicóptero 6  
(Fonte: o Autor).

O USS Nimitz atua como o ponto central de comando estratégico, coordenando a operação e garantindo que as ações dos agentes estejam alinhadas com os objetivos da

missão. Ele emite instruções de decolagem tanto para o HELLO-8 quanto para o HELLO-6, ajustando suas orientações com base nas condições meteorológicas e nos parâmetros operacionais definidos para o deslocamento até o *Desert One*. Embora o USS Nimitz tenha um papel abrangente no controle das operações, nesta modelagem o foco está em sua interação direta com o HELLO-6, que acabou desistindo da missão. A comunicação constante entre o USS Nimitz e o piloto do HELLO-6 permitiria o monitoramento do progresso da aeronave e a atualização das instruções, sempre alinhadas ao planejamento da missão.

A equipe de manutenção utiliza as informações obtidas pelos sensores da aeronave para analisar o desempenho dos sistemas e identificar quaisquer irregularidades ou necessidades de ajuste. Com base nessa análise, a equipe fornece informações detalhadas aos tripulantes dos helicópteros, destacando as condições técnicas da aeronave e qualquer alteração realizada. Essa comunicação assegura que o piloto tenha uma compreensão clara do estado do helicóptero, permitindo que adapte sua abordagem operacional conforme necessário para atender às exigências da missão.

O HELLO-6, representado pelo piloto da aeronave, é o elemento operacional responsável por executar as manobras e orientações recebidas do USS Nimitz. Durante a operação, o piloto utiliza as informações fornecidas pela equipe de manutenção para compreender as condições técnicas da aeronave e ajustar sua estratégia de voo conforme necessário. Além disso, ele interage diretamente com os sensores e controles da aeronave, que fornecem *feedbacks* em tempo real sobre o desempenho do sistema e as condições externas. Essa dinâmica contínua permite ao piloto alinhar suas ações com os objetivos da missão e responder rapidamente a qualquer situação que exija adaptação.

O HELLO-8 assume um papel fundamental ao responder à solicitação de resgate enviada pelo HELLO-6, que foi forçado a pousar devido a uma falha técnica. Essa comunicação, transmitida diretamente pelo piloto do HELLO-6, acionou o HELLO-8 para prestar suporte imediato aos tripulantes no local do pouso. Sua principal função é garantir a segurança da equipe, assegurando que todos sejam atendidos de forma adequada e que as necessidades emergenciais sejam resolvidas. Após cumprir essa etapa, o HELLO-8 deve prosseguir com a missão, adaptando-se às novas circunstâncias operacionais e garantindo a continuidade dos objetivos estabelecidos.

Os sensores monitoram as condições da aeronave e o ambiente externo, fornecendo

dados essenciais ao piloto, enquanto os controles atuam diretamente na execução dos comandos para ajustar a operação da aeronave conforme necessário durante a missão.

A análise das interações apresentadas na Figura 4.3 evidencia como os sensores, controles e agentes do sistema se conectam para conduzir a operação do HELLO-6, garantindo que as demandas da missão sejam atendidas de forma coordenada. Já a Figura 4.4 complementa essa análise ao expor os pontos de vulnerabilidade do sistema, onde falhas específicas impactaram diretamente o desempenho operacional. Uma versão ampliada desta figura pode ser consultada no Apêndice D, permitindo uma visão mais aprofundada sobre os elementos críticos e suas implicações.

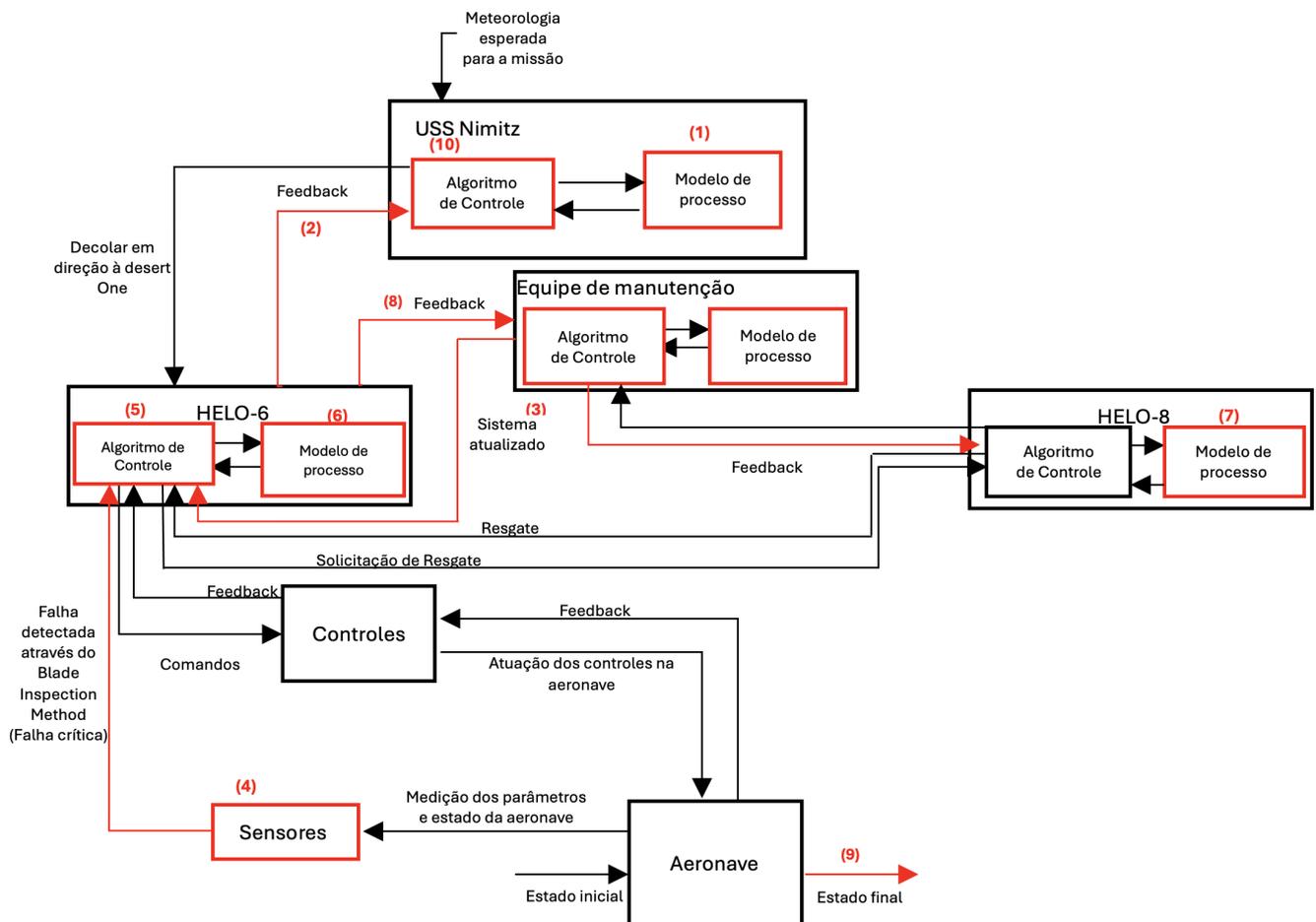


Figura 4.4: EHCS relativa à desistência do helicóptero 6, com falhas numeradas (Fonte: o Autor).

Sob intensa pressão para iniciar a decolagem rumo ao *Desert One*, surgiram várias falhas críticas no sistema de controle da missão. O *United States Ship* (USS) Nimitz, atuando como o principal controlador, não forneceu as previsões meteorológicas essenciais para o sucesso da operação (1). A liberação da decolagem foi dada sem considerar

completamente as condições climáticas desfavoráveis e as restrições de visibilidade, desencadeando uma série de problemas operacionais. O modelo de processo adotado pelo USS Nimitz era incompleto, o que levou à tomada de uma decisão imprudente para continuar com a missão (1). Além disso, o algoritmo de controle utilizado pelo USS Nimitz (10) falhou ao não incorporar as atualizações do sistema do helicóptero e os riscos potenciais inerentes à operação em condições adversas, não sendo projetado para integrar as diversas informações do combate.

A equipe de manutenção, responsável pela verificação do sistema das aeronaves, deveria ter comunicado aos pilotos dos helicópteros sobre a *atualização que existia no sistema Blade Inspection Method* (3). Entretanto, tal informação que tornava desnecessário um pouso imediato para conserto não foi transmitida. Contudo, a equipe de manutenção falhou em informar essa atualização crítica ao HELO-6. Se essa informação tivesse sido devidamente transmitida, o helicóptero não precisaria abortar a missão e realizar um pouso imediato (9).

O piloto ao detectar a falha crítica através dos sensores da aeronave (4), agiu com base no entendimento de que o problema necessitava de um pouso emergencial, quando, na verdade, o sistema já estava atualizado e a falha havia sido corrigida. O modelo de processo adotado pelo piloto do HELO-6 não incorporou adequadamente a possibilidade de falhas já resolvidas ou atualizações de sistema não comunicadas (6), principalmente pela falta de treinamento adequado para a missão. A comunicação ineficaz (8) entre a equipe de manutenção e o HELO-6 resultou em uma decisão de abortar a missão de forma desnecessária (5).

Além disso, o silêncio de rádio imposto durante a missão contribuiu significativamente para a falta de comunicação entre as equipes envolvidas. Com a comunicação limitada, os helicópteros não puderam se coordenar eficazmente com o USS Nimitz, a equipe de manutenção e os outros helicópteros da frota (2). Isso criou um cenário em que as decisões precisaram ser tomadas com base em informações incompletas ou desatualizadas, o que aumentou ainda mais o risco operacional.

A falta de treinamento adequado dos pilotos também foi um fator determinante para o resultado da operação (9). Os pilotos dos helicópteros não estavam completamente preparados para lidar com o *brownout* e outras condições adversas que ocorreram durante a missão. O treinamento insuficiente contribuiu para erros na interpretação dos comandos

recebidos e para uma resposta inadequada às falhas detectadas pelos sensores da aeronave (4).

O HELO-8, que estava em posição de resgate para o HELO-6, também foi afetado pela falta de comunicação da equipe de manutenção sobre a atualização do sistema (7). Essa falha de comunicação atrasou a resposta ao HELO-6 e aumentou o risco da operação como um todo. Se a equipe de manutenção tivesse informado ambos os helicópteros sobre a atualização, a necessidade de resgate poderia ter sido evitada e ambas as aeronaves seguiriam na operação.

Os Sensores do HELO-6 (4) detectaram a falha e forneceram dados sobre o problema, mas sem a informação crítica da equipe de manutenção de que o sistema estava atualizado, o piloto do HELO-6 tomou, baseado no manual operacional, a decisão errada ao abortar a missão. A falta de coordenação e comunicação eficaz entre os sensores, os controladores e a equipe de manutenção foi um fator determinante para a falha da missão.

Com a falta de ações coordenadas adequadas entre o USS Nimitz (1), a Equipe de Manutenção (3), e o HELO-6 (5), somada à imposição do silêncio de rádio da missão e ao treinamento inadequado dos pilotos (falhas no modelo de processo), o sistema foi conduzido a um estado de alto risco. A decisão de abortar a missão foi tomada com base em informações desatualizadas, o que poderia ter sido evitado se a atualização do sistema tivesse sido corretamente comunicada, permitindo a continuidade da operação sem a necessidade de um pouso imediato (9).

### **4.3 Desistência do Helicóptero por Falha Elétrica**

A modelagem apresentada na Figura 4.5 analisa o impacto da falha elétrica no HELO-5, as consequências no processo de controle e os motivos que levaram à desistência da aeronave. O diagrama destaca a comunicação do helicóptero com o USS Nimitz, os demais helicópteros e os sistemas internos, além de sua interação com as condições ambientais. Para mais detalhes, a imagem ampliada pode ser consultada no Apêndice E.

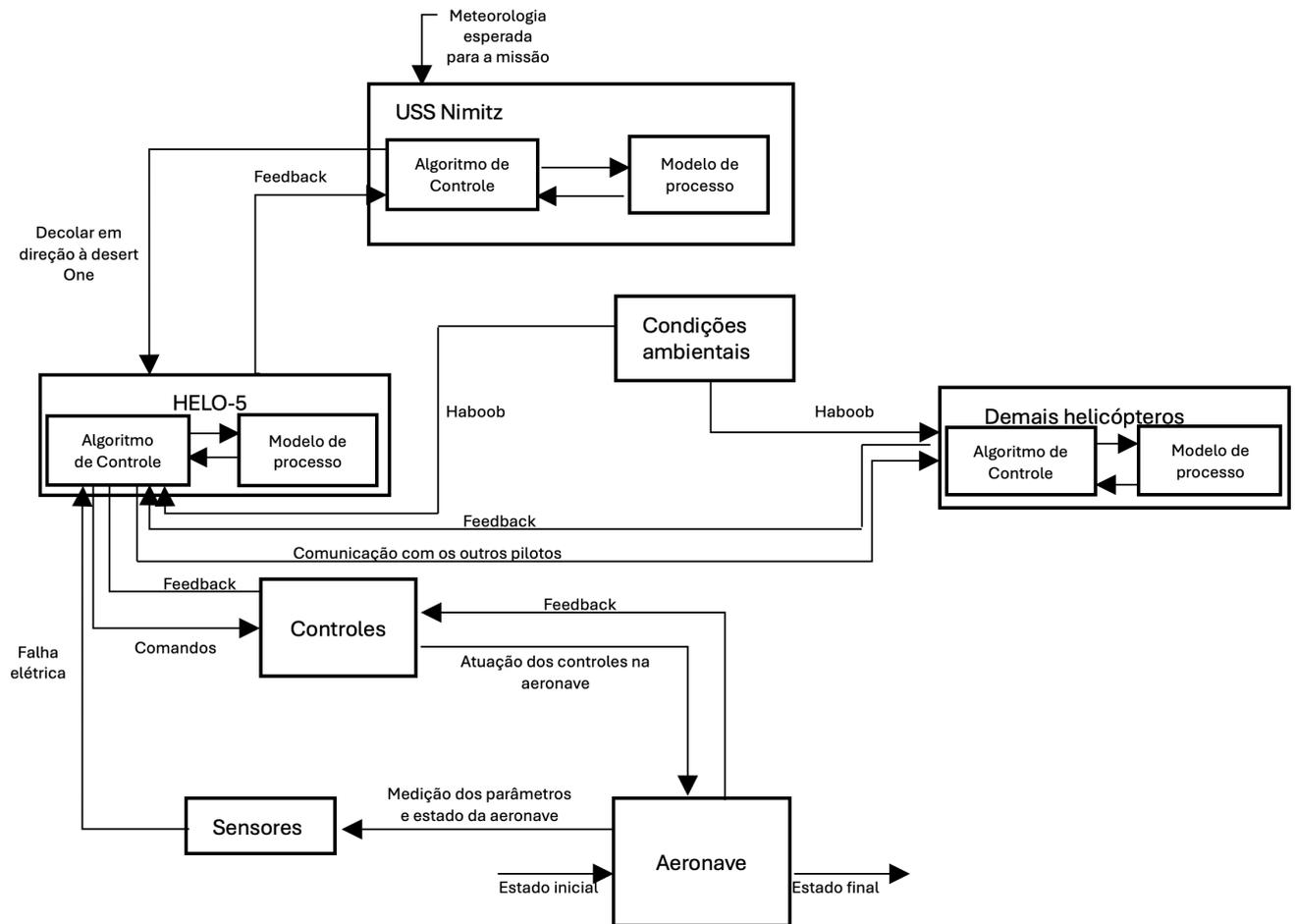


Figura 4.5: EHCS relativa à desistência do helicóptero 5  
(Fonte: o Autor).

O USS Nimitz, os controles e os sensores do HELO-5 mantêm suas funções semelhantes às descritas nas modelagens anteriores. O USS Nimitz atua como o ponto de comando estratégico, fornecendo orientações baseadas nas condições da missão e recebendo *feedbacks* operacionais. Os controles respondem aos comandos do piloto para ajustar a operação da aeronave, enquanto os sensores monitoram continuamente o estado da aeronave e o ambiente externo, fornecendo dados críticos para a tomada de decisão.

O HELO-5 foi diretamente impactado por uma falha elétrica durante o deslocamento para o *Desert One*, comprometendo a aeronavegabilidade e reduzindo a funcionalidade de seus sistemas. Diante dessa situação, o piloto decidiu retornar ao porta-aviões, mas conseguiu apenas transmitir informações limitadas às demais aeronaves. Essa limitação na comunicação destacou a necessidade de um fluxo mais efetivo de informações entre as aeronaves, essencial para coordenar decisões em cenários críticos e evitar descon continuidades operacionais.

As condições ambientais desempenharam um papel relevante durante o deslocamento das aeronaves para o *Desert One*, influenciando diretamente suas operações. O ambiente, marcado por fatores como baixa visibilidade e condições adversas, intensificou os desafios enfrentados pelos pilotos dos helicópteros.

A seguir, a Figura 4.6 sintetiza as interações e os impactos da falha elétrica no sistema, evidenciando as principais falhas que contribuíram para o retorno do HELO-5. Essa representação busca esclarecer como as condições internas e externas influenciaram a operação e as decisões tomadas. Para uma visualização mais detalhada, a versão ampliada está disponível no Apêndice F deste trabalho.

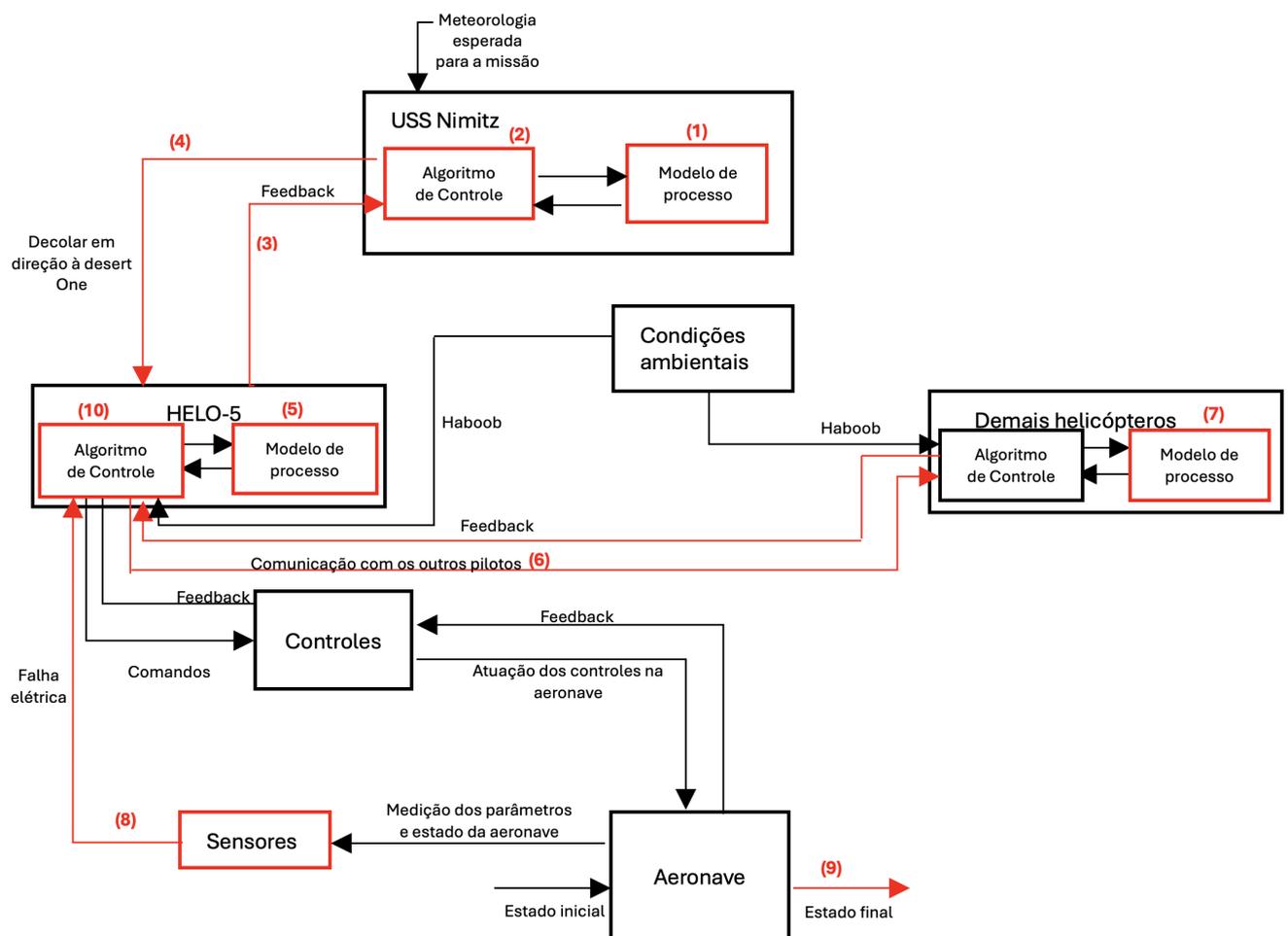


Figura 4.6: EHCS relativa à desistência do helicóptero 5, com falhas numeradas (Fonte: o Autor).

Diante da necessidade urgente de prosseguir rumo ao Desert One, o sistema de controle da missão revelou vulnerabilidades significativas, que comprometeram a eficácia da operação. O USS Nimitz, atuando como o controlador primário, falhou ao não transmitir

as previsões meteorológicas essenciais, que incluíam o risco iminente de uma tempestade de areia (*haboob*), para os helicópteros envolvidos na missão (4). A decolagem foi autorizada sem a consideração adequada das condições climáticas adversas, desencadeando uma sequência de problemas que comprometeriam o sucesso da operação.

O modelo de processo adotado pelo USS Nimitz era incompleto, levando à decisão imprudente de continuar com a missão mesmo diante de condições climáticas desfavoráveis (1). Além disso, o algoritmo de controle (2) não integrou as informações meteorológicas em tempo real e falhou em alertar sobre os perigos associados, permitindo que os helicópteros prosseguissem sem estar totalmente preparados.

O HELO-5, que encontraria a tempestade de areia, enfrentou também falhas elétricas que comprometeram o funcionamento da aeronave (8). No entanto, uma análise mais profunda mostra que essas decisões poderiam ter sido mitigadas com uma comunicação mais eficaz. Se a comunicação entre os helicópteros estivesse ativa, o HELO-5 teria recebido informações de que a tempestade estava prestes a terminar, o que poderia ter evitado seu retorno ao USS Nimitz (6). A imposição de um silêncio de rádio durante a missão (3) agravou essa falta de comunicação, tornando impossível a troca de informações valiosas entre os helicópteros e os controladores no porta-aviões.

Outro fator determinante foi o treinamento insuficiente dos pilotos. Tanto o HELO-5 quanto os outros helicópteros participantes não haviam sido treinados adequadamente para enfrentar as condições adversas do deserto e tempestades de areia (5) (7). Isso impactou diretamente as decisões tomadas pelos pilotos, que, ao se depararem com condições inesperadas e falhas no sistema, tomaram decisões equivocadas, como o retorno prematuro do HELO-5.

Além disso, os sensores e radares meteorológicos a bordo das aeronaves (8) não forneceram informações claras e detalhadas sobre a tempestade de areia (*haboob*), impedindo que as tripulações ajustassem suas rotas a tempo. A ausência de dados precisos e sua falha em transmiti-los aos controladores e pilotos em tempo real levou a decisões mal-informadas, agravando os riscos operacionais da missão.

Por fim, os demais helicópteros na formação, que estavam mais à frente, também não conseguiram coordenar suas ações devido à falta de comunicação e treinamento, sendo forçados a confiar em seus próprios sistemas incompletos e falhos. A coordenação inadequada entre o USS Nimitz, os helicópteros e as condições ambientais resultaram em

uma cadeia de falhas de controle que culminaram na desistência do HELO-5, que poderia ter sido evitada se os erros de comunicação, os treinamentos e os sistemas de sensores tivessem sido adequadamente preparados.

Em resumo, a combinação de um modelo de processo incompleto, algoritmos de controle falhos, comunicação insuficiente e treinamento inadequado levou ao fracasso na continuidade da missão e ao retorno prematuro do HELO-5 ao porta-aviões (9).

#### **4.4 Desistência do Helicóptero por Falha Hidráulica**

A modelagem apresentada na Figura 4.7 descreve as interações do sistema durante a operação do HELO-2, que sofreu uma falha hidráulica enquanto se deslocava para o *Desert One*. Essa análise evidencia como o USS Nimitz, os sensores, controles da aeronave e as condições ambientais influenciaram diretamente as decisões do piloto e a inoperabilidade do helicóptero. O foco está na resposta do sistema à falha hidráulica e na coordenação entre os agentes para mitigar os impactos dessa falha. Para uma análise mais detalhada, a versão ampliada pode ser consultada no Apêndice G.

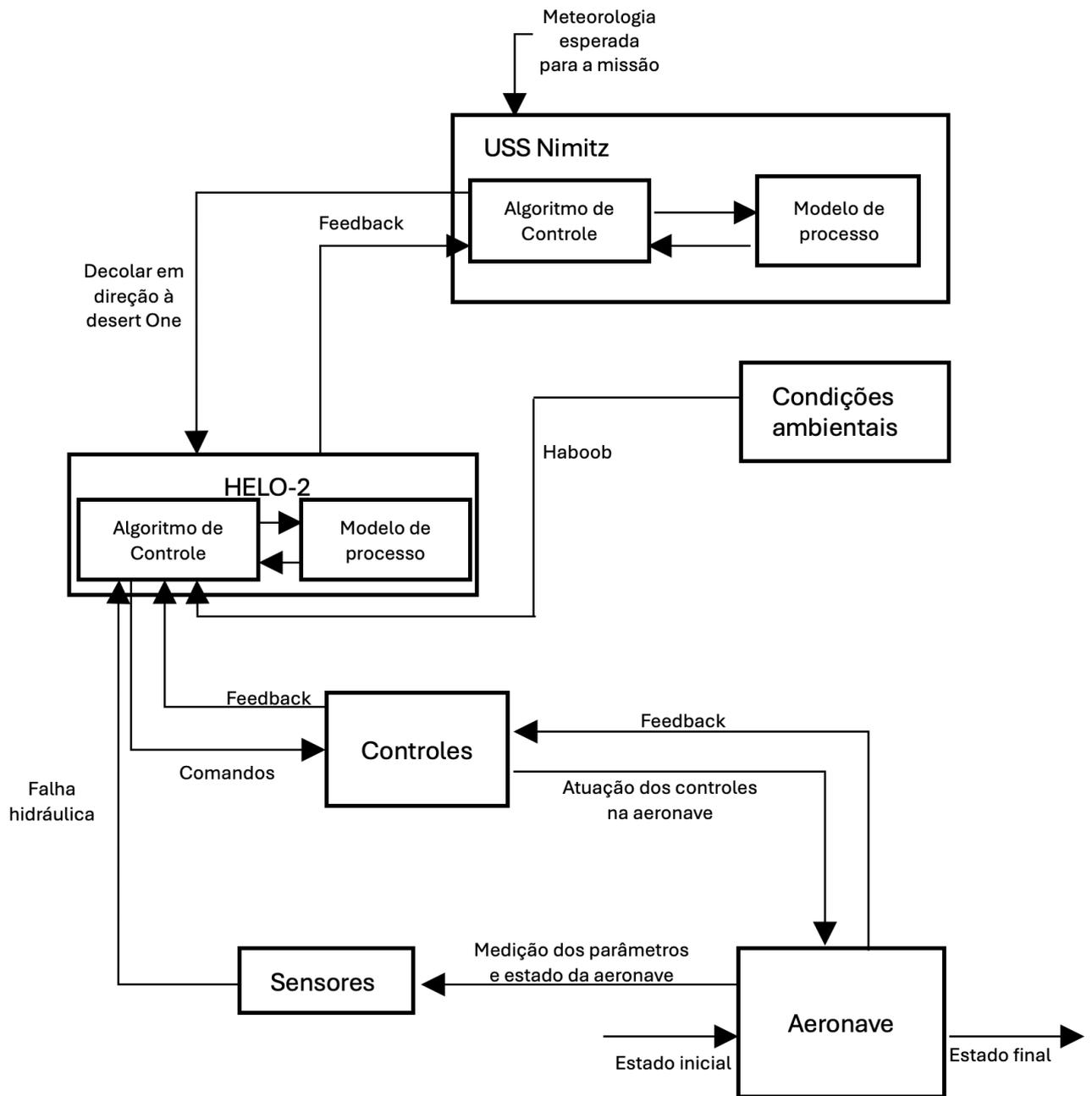


Figura 4.7: EHCS relativa à desistência do helicóptero 2

(Fonte: o Autor).

Os sensores, controles, o USS Nimitz e os sistemas internos da aeronave desempenham funções consistentes com as modelagens apresentadas anteriormente. Logo, esses elementos não serão explicitados aqui, permitindo que o foco recaia sobre as interações específicas do HELO-2 e as decisões associadas à falha hidráulica enfrentada durante a missão.

O piloto do HELO-2 enfrentou uma falha hidráulica crítica durante o deslocamento para o Desert One, mas conseguiu estabilizar a aeronave e realizar o pouso com base nas

informações fornecidas pelos sensores da aeronave. Após o pouso, os controles apresentaram limitações severas, impossibilitando o funcionamento adequado da aeronave para a continuidade da missão. Essa interação, representada na modelagem, demonstra como o *feedback* dos sensores influenciou as ações do piloto e como as condições internas da aeronave determinaram a decisão final de não prosseguir.

As condições ambientais exerceram influência direta sobre a operação do HELO-2, particularmente durante o deslocamento para o *Desert One* e o pouso subsequente. O ambiente, caracterizado por baixa visibilidade e possíveis alterações climáticas, ampliou os desafios enfrentados pelo piloto ao lidar com a falha hidráulica. Essas condições adversas interferiram não apenas na navegação, mas também na capacidade de coordenação com outras aeronaves, destacando o impacto das variáveis externas nas decisões tomadas e na segurança da operação. A modelagem reflete como os fatores ambientais interagiram com os sistemas internos da aeronave, contribuindo para o desfecho final.

A modelagem apresentada na Figura 4.8 demonstra as falhas identificadas no sistema durante a operação do HELO-2, destacando, em vermelho, os pontos críticos que contribuíram para a decisão de não prosseguir com a missão. Essa representação reflete como as interações entre os elementos do sistema e as condições adversas impactaram o desempenho da aeronave. Para uma análise mais detalhada dessas falhas, a versão ampliada se encontra no Apêndice H.

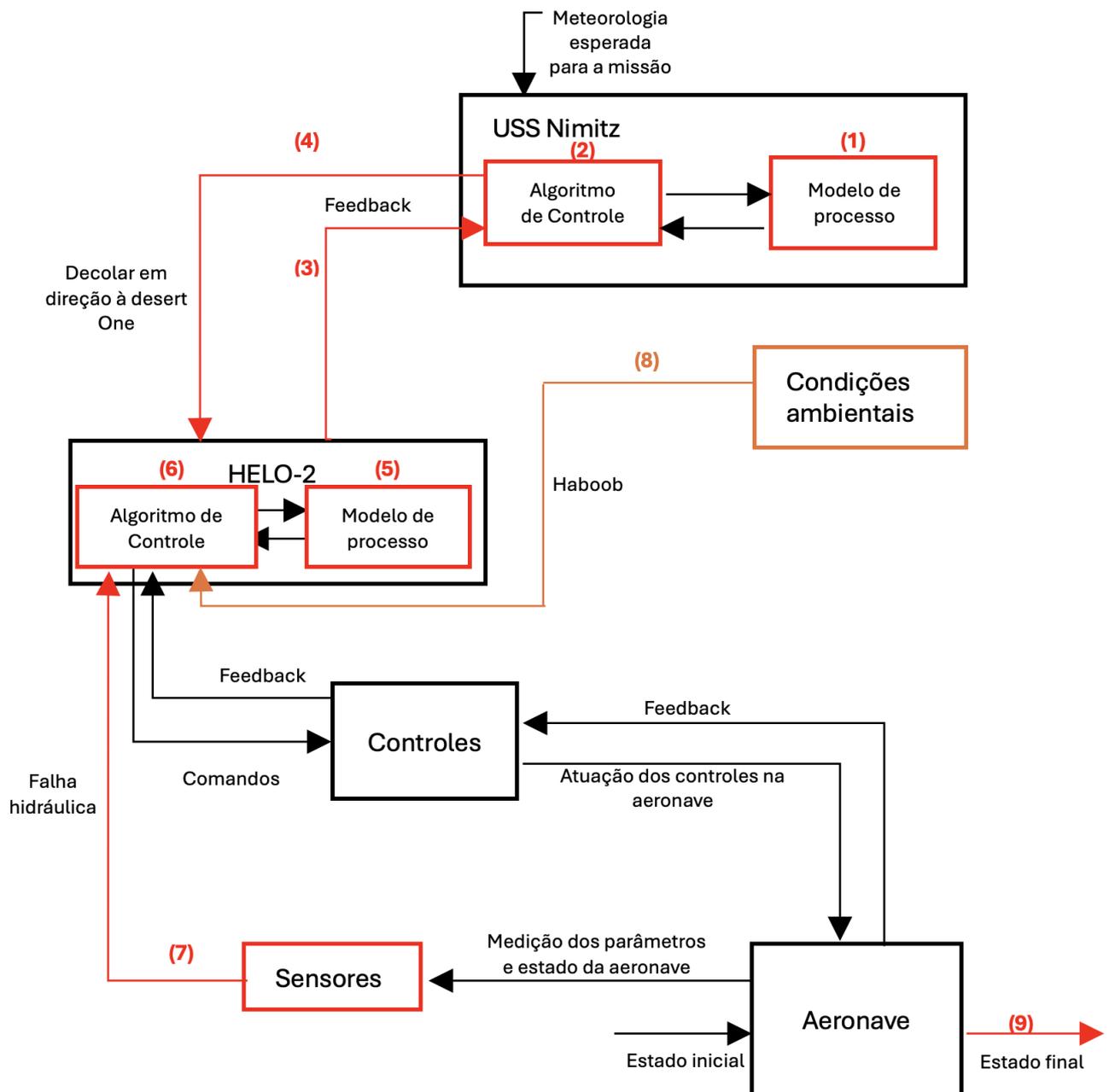


Figura 4.8: EHCS relativa à desistência do helicóptero 2, com falhas numeradas (Fonte: o Autor).

Durante a progressão da missão em direção ao *Desert One*, o sistema de controle operacional foi confrontado com uma série de problemas que poderiam ter sido evitados. Em particular, o USS Nimitz, responsável pela coordenação central, não conseguiu fornecer uma visão integrada das condições climáticas e operacionais, o que prejudicou a tomada de decisões críticas (1). Embora o *haboob* já tivesse sido identificado, essa informação vital não foi devidamente comunicada às aeronaves envolvidas, resultando em

ações baseadas em dados incompletos. O USS Nimitz também falhou em adaptar seu algoritmo de controle (2) para atualizar as tripulações com as informações mais recentes sobre os riscos ambientais, o que contribuiu para o desenrolar de problemas ao longo da missão.

Ao analisar o comportamento do HELO-2, identificou-se que, ao enfrentar uma falha hidráulica secundária, o helicóptero após pousar em *Desert One*, ficaria impossibilitado de prosseguir com a missão. O modelo de processo utilizado pelo piloto do HELO-2 (5) não havia sido projetado para lidar com tal situação, principalmente devido à falta de treinamento adequado para missões tão complexas (6). Essa deficiência de treinamento impediu que o piloto lidasse com a falha hidráulica de forma mais eficaz e segura, o que resultou na decisão de interromper a missão.

Uma possível causa para a falha hidráulica enfrentada pelo HELO-2, destacada em laranja no modelo (8), é uma suposição de que as condições ambientais extremas, particularmente a tempestade de areia (*haboob*), possam ter contribuído para o problema. Com uma grande quantidade de partículas de areia suspensas no ar, existe a possibilidade de que o sistema hidráulico tenha sido comprometido, resultando na falha. Embora essa hipótese não tenha sido confirmada oficialmente, ela se baseia nas condições severas enfrentadas durante a missão. A falta de sensores adequados (7) para monitorar a integridade do sistema em tais condições e o impacto da tempestade de areia, também contribuiu para que o problema não fosse identificado e resolvido antes de se tornar crítico.

Além disso, a comunicação ineficaz entre o USS Nimitz e os helicópteros (3), em conjunto com a ausência de *feedback* contínuo sobre as condições adversas (4), agravou a situação. Sem essas informações em tempo real, o HELO-2 foi deixado à mercê de decisões autônomas, que não consideraram o estado atualizado do sistema e as condições ambientais críticas.

Se o sistema de controle tivesse integrado informações meteorológicas em tempo real e incorporado sensores mais robustos, talvez o sistema hidráulico do HELO-2 pudesse ter sido monitorado de forma mais eficiente, evitando a falha. Contudo, a comunicação limitada, a falta de treinamento adequado, e a suposição de que as condições ambientais não afetariam a operação contribuíram para a decisão final de abortar a missão e realizar o pouso de emergência (9).

Como consequência direta da falha hidráulica e do pouso forçado, o HELO-2 não

conseguiu decolar novamente para continuar a operação. Isso impactou criticamente o planejamento da missão, pois o número mínimo de helicópteros exigido para prosseguir com sucesso a operação não foi atingido. Com a impossibilidade de cumprir essa exigência logística, a missão foi abortada, comprometendo o objetivo final da operação.

#### 4.5 Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais

Por fim, a modelagem apresentada na Figura 4.9 descreve as interações estratégicas e operacionais entre os diferentes agentes envolvidos na missão de resgate, desde a Casa Branca, como comando político, até os militares responsáveis pelo cumprimento do objetivo da missão em campo. Essa estrutura ilustra como informações, ordens e *feedbacks* fluíram entre as camadas de controle, inteligência e operação para alcançar o objetivo da missão.

Além disso, destaca a influência de fatores externos, como o Irã e o povo americano, no processo decisório. Para uma análise mais detalhada, a versão ampliada da modelagem pode ser consultada no Apêndice I, permitindo uma visão clara dos fluxos e das interações.

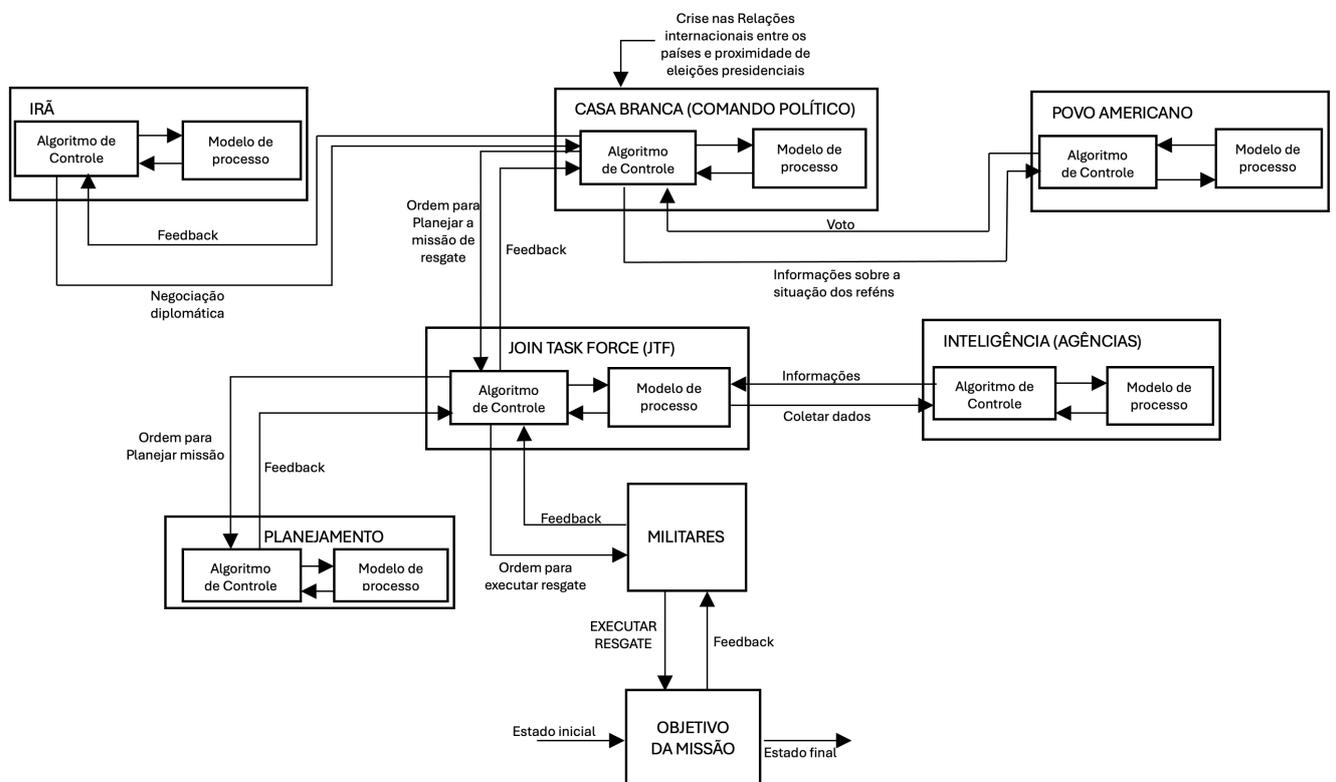


Figura 4.9: EHCS relativa à Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais (Fonte: o Autor).

A Casa Branca, representando o comando político da operação, desempenhou um papel central no planejamento da missão de resgate. Suas decisões foram influenciadas por fatores externos, como a crise nas relações internacionais com o Irã e a proximidade das eleições presidenciais, que adicionaram uma dimensão política às decisões operacionais. A Casa Branca emitiu ordens diretas para o *Joint Task Force* (JTF), coordenando os esforços de planejamento e execução, enquanto também recebia *feedbacks* sobre o andamento da operação. Paralelamente, deveria manter uma comunicação clara e consistente com o povo americano, transmitindo informações cuidadosamente gerenciadas para alinhar as percepções públicas às necessidades estratégicas da missão.

O povo americano representou um fator crítico na dinâmica da operação, influenciando as decisões políticas da Casa Branca devido à pressão pública e à proximidade das eleições presidenciais. Embora fosse essencial que o comando político mantivesse uma comunicação clara com a população, o fluxo de informações foi cuidadosamente controlado, limitando o entendimento público sobre a complexidade da missão. A modelagem reflete como a percepção pública foi tratada como um elemento estratégico, com potencial para impactar diretamente a legitimidade e o suporte às decisões tomadas.

O Irã desempenhou um papel central como elemento externo, influenciando diretamente o contexto político e operacional da missão. A crise diplomática em curso, marcada por tensões entre os dois países, moldou as decisões estratégicas da Casa Branca e dificultou negociações diplomáticas que poderiam aliviar a situação dos reféns. Além disso, o Irã representava o território onde os reféns estavam localizados, adicionando uma camada de complexidade tanto à operação de resgate quanto às tentativas de mediação política.

O JTF, comandado pelo Major General James B. Vaught, foi o principal elo entre o comando político da Casa Branca e a execução prática da missão. Recebendo ordens diretas da Casa Branca, o JTF centralizou as informações coletadas pelas agências de inteligência e distribuiu as diretrizes para os militares e as equipes de planejamento. Além disso, o JTF atuou como um canal de *feedback*, reportando diretamente ao comando político o progresso das etapas operacionais e as condições em campo, garantindo alinhamento estratégico entre todos os níveis de controle.

O planejamento desempenhou um papel fundamental ao integrar informações de inteligência, logística e operações para estruturar a missão de resgate. Coordenado pelo

JTF, o processo buscou prever desafios em território inimigo, organizar os recursos necessários e alinhar as ações às decisões estratégicas da Casa Branca, garantindo coesão entre os agentes envolvidos.

As agências de inteligência foram responsáveis por coletar e analisar informações críticas sobre o território iraniano, a localização dos reféns e os movimentos inimigos. Esses dados eram essenciais para o *Joint Task Force* (JTF) planejar a missão, permitindo a identificação de riscos e a elaboração de estratégias de mitigação. Contudo, as limitações no compartilhamento de informações entre as agências comprometeram a integração plena dos dados, afetando a eficácia de algumas decisões operacionais.

Os militares, enquanto componente de controle, desempenharam um papel central na execução da missão, recebendo orientações do *Joint Task Force* (JTF) e transformando-as em ações no campo operacional. Já amplamente analisados nas modelagens anteriores, sua atuação incluiu a coordenação logística, o planejamento tático e a execução direta das etapas da operação. O objetivo final desse controle era garantir a eficiência e a coesão das forças para cumprir a missão de resgate, mesmo diante de cenários adversos e imprevistos.

A modelagem apresentada na Figura 4.10 evidencia as interações entre os diversos componentes do sistema, como o comando político, as agências de inteligência e os militares, mostrando como essas conexões foram fundamentais para o planejamento e a execução da missão. No entanto, falhas nessas interações, como lacunas no compartilhamento de informações e na coordenação entre os níveis estratégico e operacional, comprometeram a eficácia do sistema como um todo. Para uma análise mais detalhada, a versão ampliada da figura pode ser consultada no Apêndice J.

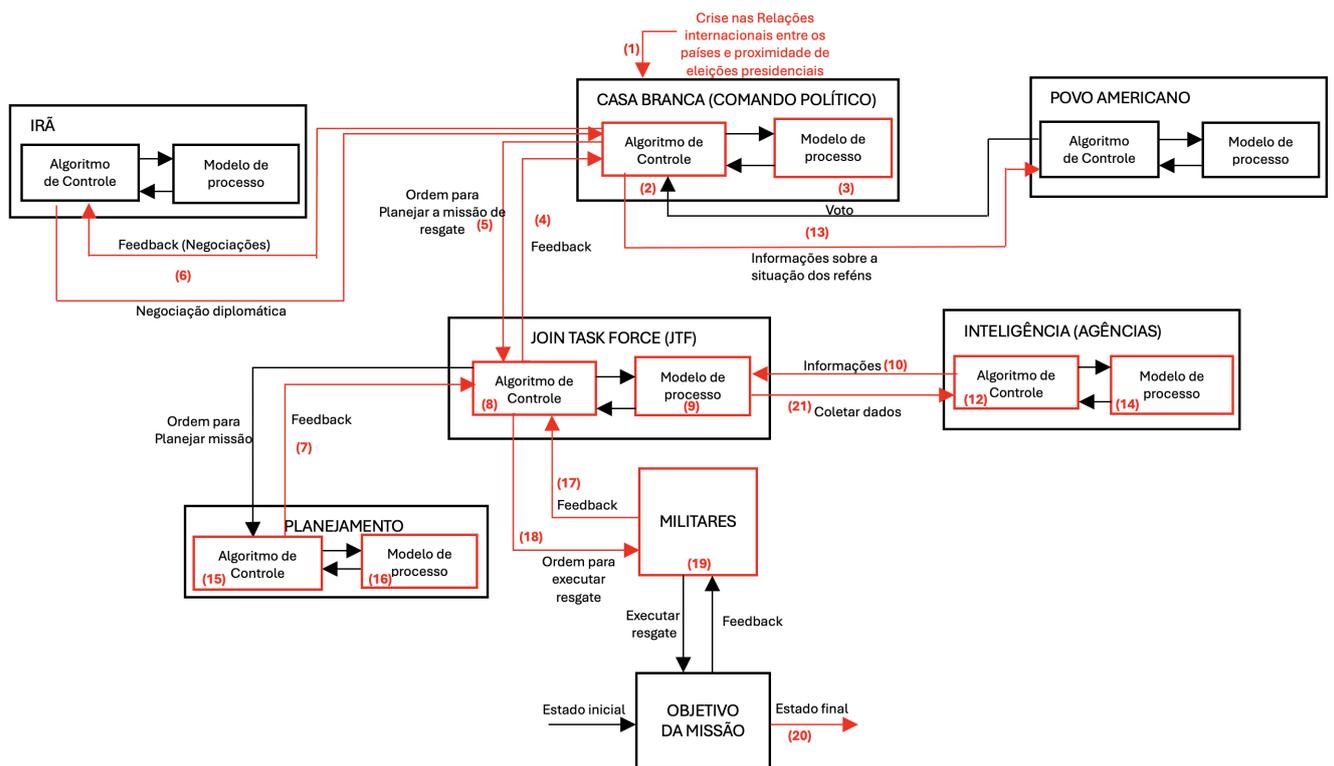


Figura 4.10: EHCS relativa à Análise do Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais, com falhas numeradas

(Fonte: o Autor).

Durante o planejamento e execução da missão de resgate no Irã, uma série de falhas críticas no sistema de controle e coordenação entre as várias entidades envolvidas, incluindo a Casa Branca, o *Joint Task Force* (JTF), as agências de inteligência e as forças militares, culminaram no fracasso da Operação *Eagle Claw*. As falhas ocorreram em múltiplos níveis, desde as decisões estratégicas e políticas até a execução tática, com cada falha contribuindo para um efeito em cascata que comprometeu o sucesso da missão.

A primeira falha relevante está relacionada às pressões políticas e às crises nas relações internacionais entre EUA e Irã (1). No contexto da missão, a Casa Branca se encontrava sob intensa pressão devido à proximidade das eleições presidenciais, o que influenciou diretamente as decisões de alto nível. As relações diplomáticas entre os dois países estavam cortadas, principalmente devido às exigências do Irã, como a devolução do Xá Mohammad Reza Pahlavi para ser julgado no Irã e a liberação de ativos financeiros iranianos congelados pelos EUA. No entanto, os Estados Unidos recusaram-se a cumprir essas exigências, o que impediu qualquer avanço diplomático.

Além disso, outra falha importante foi a ausência de tentativas robustas de negoci-

ação, mesmo com a possibilidade de mediação por parte de outros países que mantinham relações mais neutras com ambos os lados, como a Suíça ou até mesmo aliados regionais do Irã, como o Paquistão (6). A intervenção de nações próximas a ambos os países poderia ter facilitado uma solução diplomática antes de recorrer à ação militar.

A necessidade de mostrar ação decisiva diante da crise com os reféns levou a um comprometimento da qualidade do planejamento, com decisões sendo aceleradas para atender a interesses políticos, ao invés de baseadas exclusivamente na avaliação de riscos operacionais. Outra falha significativa foi que, embora a pressão pública para uma solução rápida fosse alta, os Estados Unidos poderiam ter fornecido mais informações ao povo americano, explicando que estavam focados em garantir o sucesso da operação (13). Isso poderia ter reduzido a pressão para um resgate apressado, demonstrando que o governo estava preocupado com a situação, mas priorizando o êxito da missão ao invés de uma solução precipitada.

Esse conjunto de pressões políticas, falhas diplomáticas e a falta de mediação internacional influenciou diretamente a maneira como a missão foi conduzida, agravando os erros que se seguiram.

Em seguida, observa-se que o algoritmo de controle da Casa Branca (2), responsável por coordenar as ordens políticas e operacionais, não se adaptou adequadamente às incertezas e riscos presentes na missão. Decisões foram tomadas com informações incompletas ou desatualizadas, como o estado das condições climáticas, e as diretrizes para as forças em campo foram comprometidas por essa falta de clareza.

Ademais o modelo de processo da Casa Branca (3), que deveria integrar variáveis operacionais como as condições climáticas e a viabilidade logística, não foi atualizado em tempo real. Essa falha foi especialmente crítica, pois os tomadores de decisão não possuíam uma visão precisa e abrangente do cenário operacional, levando a ordens baseadas em suposições e com pouca flexibilidade para mudanças.

Outro ponto importante foi a falta de feedback contínuo e eficaz entre a Casa Branca e o JTF (4). À medida que a missão se desenrolava, as informações cruciais sobre as condições no terreno, como tempestades de areia e problemas técnicos com os helicópteros, não foram devidamente comunicadas aos tomadores de decisão, resultando em ordens inadequadas ou atrasadas. A ordem da Casa Branca para planejar a missão de resgate (5) também foi dada de maneira apressada, sem permitir tempo suficiente para

que as equipes de planejamento avaliassem os cenários possíveis e os riscos envolvidos, o que comprometeu a qualidade do planejamento estratégico da missão.

Dentro dessa cadeia de falhas, o *feedback* fornecido pelo *Joint Task Force* à Casa Branca (4) foi insuficiente. O JTF, responsável por coordenar a operação, não conseguiu fornecer uma visão clara dos desafios enfrentados pelas forças militares. O fluxo de comunicação entre o planejamento e o JTF (7) foi igualmente problemático. O time de planejamento, ao desenvolver a estratégia da missão, não tinha acesso a informações precisas e em tempo real sobre as condições no campo, limitando sua capacidade de ajustar os planos conforme as variáveis operacionais mudavam.

Além disso, o algoritmo de controle do JTF (8), que deveria garantir a fluidez da missão, falhou em se adaptar aos desafios no campo, especialmente as mudanças nas condições climáticas e os problemas técnicos com os helicópteros. O rigoroso regime de OPSEC (Operações de Segurança) e a compartimentalização extrema da missão criaram barreiras para a comunicação eficaz e impediram que as informações cruciais fossem compartilhadas entre as equipes envolvidas. Isso gerou lacunas no fluxo de dados entre os controladores e as equipes operacionais, agravando os problemas. A ausência de dados em tempo real e a falta de uma supervisão mais ativa impediram que o JTF ajustasse suas ordens conforme os eventos se desenrolavam. O modelo de processo do JTF (9) também carecia de flexibilidade para antecipar situações adversas, como tempestades de areia e falhas mecânicas nas aeronaves. A falta de um modelo robusto que permitisse respostas rápidas e eficazes aos imprevistos foi outro fator determinante no fracasso da missão.

Um dos principais erros na fase de planejamento foi a incapacidade das agências de inteligência de coletar e fornecer dados precisos e relevantes (21). A quantidade insuficiente de pessoal qualificado nas agências envolvidas dificultou a condução de uma missão tão complexa. Possivelmente, os funcionários não sabiam exatamente o que deveriam coletar, como coletar essas informações ou como processá-las de forma adequada para apoiar a missão. Além disso, havia diferentes ideais e prioridades entre as agências, com cada uma adotando uma abordagem distinta sobre o que era mais importante, o que resultou em uma operação desarticulada. Como resultado, falharam em fornecer informações críticas e atualizadas sobre o ambiente operacional, incluindo as condições meteorológicas e os movimentos das forças inimigas, dados essenciais para a preparação das forças militares.

Essas falhas prejudicaram gravemente a capacidade das forças militares de se prepararem adequadamente para os desafios que enfrentariam no campo. O *feedback* entre o *Joint Task Force* (JTF) e as agências de inteligência (11) também não foi eficaz. A comunicação inadequada resultou na falta de dados críticos que poderiam ter influenciado de maneira significativa as decisões estratégicas. Isso gerou um processo de tomada de decisão que não foi baseado em informações precisas e atualizadas, comprometendo a execução da missão desde o início.

Outro ponto fundamental foi o algoritmo de controle das agências de inteligência (12), que não conseguiu processar e distribuir informações relevantes de maneira adequada. A ausência de dados precisos e em tempo real, agravada pela rigidez do regime de OPSEC (Operações de Segurança), limitou a capacidade das forças em campo de lidar com as condições adversas que encontraram. As agências também falharam em desenvolver um modelo de processo eficaz (14) que pudesse antecipar os riscos operacionais e meteorológicos, deixando as equipes no terreno mal preparadas para as condições extremas enfrentadas. A fragmentação das operações de inteligência, somada às diferentes prioridades e à falta de coordenação clara, contribuiu diretamente para o fracasso da coleta e distribuição de dados essenciais.

A falta de treinamento e a pressa no planejamento da missão (15) comprometeram a execução da operação. O time de planejamento não teve tempo ou dados suficientes para ajustar o plano, especialmente após a descoberta de novos desafios, como tempestades de areia e falhas em equipamentos. A escolha do helicóptero foi outro erro crucial; a aeronave selecionada não era a mais adequada para a missão, uma vez que o CH-53 teria sido uma opção mais apropriada devido à sua maior confiabilidade operacional. Além disso, o número de helicópteros enviados deveria ter sido maior, garantindo uma margem de falha maior do que apenas dois helicópteros. A falta de planejamento de um treinamento conjunto, reunindo todos os envolvidos na missão ao mesmo tempo antes da execução, também foi uma falha crítica, pois não havia coesão suficiente entre as equipes.

Outro ponto foi a falta de conhecimento e experiência dos militares, já que, após o fim da Guerra do Vietnã, muitos regimentos foram desfeitos, enfraquecendo o treinamento e a capacidade de reação dos militares. O modelo de processo utilizado no planejamento (16) não estava preparado para lidar com cenários tão dinâmicos e adversos, e a falta de flexibilidade nas decisões acabou por afetar a fase operacional da missão. Por fim, o plano

deveria ter sido avaliado por terceiros, que pudessem fornecer uma análise mais crítica e objetiva, ao invés de ser revisto apenas por aqueles que o planejaram, o que impediu uma avaliação independente dos riscos e falhas potenciais.

Durante a execução da missão, o *feedback* entre o JTF e as forças militares (17) também foi insuficiente, o que levou a falhas de comunicação críticas em momentos decisivos. As ordens para executar o resgate (18) foram dadas sem considerar a hipótese de alterar o dia ou como seria feita a missão devido à necessidade do resgate ser feito de maneira acelerada, bem como os problemas técnicos nos helicópteros e as tempestades de areia, o que comprometeu diretamente a capacidade dos militares de prosseguir com a missão.

Por fim, os erros cometidos pelos MILITARES (19) foram analisados de maneira mais detalhada nas revisões anteriores, onde cada falha foi exposta. Dessa forma, a missão de resgate foi abortada (20), pois, sem o número mínimo de helicópteros operacionais, não era possível continuar com o plano de resgate. Assim, a combinação de falhas no planejamento, na comunicação e na execução culminou no fracasso total da operação, impedindo o cumprimento do objetivo final da missão.

As análises apresentadas neste capítulo não apenas identificam os principais fatores que contribuíram para o fracasso da Operação Eagle Claw, mas também destacam a importância de compreender as falhas de controle em sistemas complexos. Esse entendimento é fundamental para formular recomendações de segurança eficazes, que serão exploradas no próximo capítulo, com o objetivo de mitigar riscos e aprimorar a confiabilidade de operações futuras.

## 5 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

Com base nos Elementos de Controle de Segurança (EHCS) analisados anteriormente, foram formuladas recomendações de segurança que visam orientar como as adaptações podem ser implementadas de maneira prática e econômica, prevenindo assim acidentes e situações críticas semelhantes no futuro. Essas recomendações abrangem aspectos físicos, organizacionais e operacionais, e foram estruturadas para facilitar a comparação com as diretrizes apresentadas no Relatório da Missão.

Para garantir a eficácia dessas recomendações, é imprescindível estabelecer canais de feedback que permitam verificar se as alterações propostas estão efetivamente contribuindo para a redução dos riscos. Assim, os comportamentos inadequados identificados nas cinco modelagens da análise CAST devem ser abordados por meio de recomendações de segurança consistentes, que satisfaçam os requisitos de segurança em todos os níveis hierárquicos do sistema.

Os detalhes dos EHCS são apresentados para destacar as correções associadas a cada recomendação de segurança. Os ramos que foram adicionados ou fortalecidos, assim como os blocos que sugerem modificações, estão destacados em azul. As recomendações de segurança subsequentes têm como objetivo fornecer as restrições necessárias, sendo elaboradas com a intenção de provocar a mínima alteração possível no planejamento da missão. As modelagens ampliadas encontram-se nos Apêndices de K a O.

### 5.1 Recomendações para o Acidente entre o HELO-3 e o EC-130

#### 5.1.1 *Comando em Terra*

Recomenda-se a criação de protocolos específicos de ação de controle para cenários críticos, permitindo ao Comando em Terra estabelecer diretrizes claras para atuar em situações de pressão intensa. Isso reduz a interferência de pressões externas nas decisões operacionais, tornando-as mais técnicas e menos suscetíveis a influências. Outra recomendação é o desenvolvimento de modelos de processo robustos, que considerem variáveis ambientais, condições adversas e o estado operacional das aeronaves. Essa abordagem amplia a precisão das avaliações e a segurança antes de emitir ordens. Por fim, sugere-se a implementação de um algoritmo de controle flexível que inclua variáveis ambientais e pressão de tempo, permitindo respostas rápidas e precisas a eventos inesperados.

### 5.1.2 *Combat Controller ("Balizador")*

Para o Combat Controller, recomenda-se um treinamento contínuo em *feedback* e comunicação visual em condições de baixa visibilidade, incluindo o uso de sinais visuais claros. Esse tipo de treinamento facilitará a comunicação e reduzirá o risco de desorientação do piloto. Além disso, é essencial introduzir treinamentos específicos para operações em condições de brownout, preparando o Combat Controller para trabalhar com eficiência em ambientes de visibilidade limitada e garantindo uma atuação segura e orientada.

### 5.1.3 *Sensores e Sistemas de Feedback*

É recomendada a integração de sensores com *feedback* em tempo real no *cockpit*, permitindo que o piloto receba informações imediatas sobre proximidade, condições ambientais críticas e posição da aeronave em relação a outras próximas (*Feedback* criado no diagrama abaixo). Essa funcionalidade adicional reduziria a dependência do *Combat Controller*, facilitando correções rápidas em situações de *brownout*. Também, é fundamental a implementação de *feedback* cruzado entre as equipes operacionais, permitindo que todos os envolvidos compartilhem informações críticas em tempo real. Esse sistema contribuirá para uma melhor coordenação e segurança durante a operação.

### 5.1.4 *Piloto do HELO-3*

Para o piloto do HELO-3, é recomendada a adoção de um algoritmo de controle que integre *feedback* de sensores e condições ambientais, permitindo ao piloto ajustar suas decisões com base em múltiplas fontes de informações objetivas e em tempo real, e não apenas na posição do *Combat Controller*. Esse sistema aumentará a autonomia do piloto, especialmente em situações de baixa visibilidade. Além disso, um treinamento específico para cenários com visibilidade limitada deve ser introduzido, capacitando o piloto a evitar desorientação em condições de brownout e tornando suas ações mais seguras e precisas.

### 5.1.5 *Piloto do EC-130*

Para o piloto do EC-130, recomenda-se a melhoria no algoritmo de controle, permitindo monitoramento contínuo e mais preciso do nível de combustível e comunicação antecipada sobre a necessidade de decolagem. Essa melhoria evitaria alertas de última hora e reduziria a pressão operacional sobre a equipe de controle e as aeronaves de apoio,

que precisariam reorganizar-se rapidamente em condições já adversas. Essa mudança no algoritmo daria ao piloto e ao comando em terra uma visão mais clara das condições críticas da aeronave e aumentaria a segurança durante a execução da missão.

### 5.1.6 Recomendações na Primeira Análise

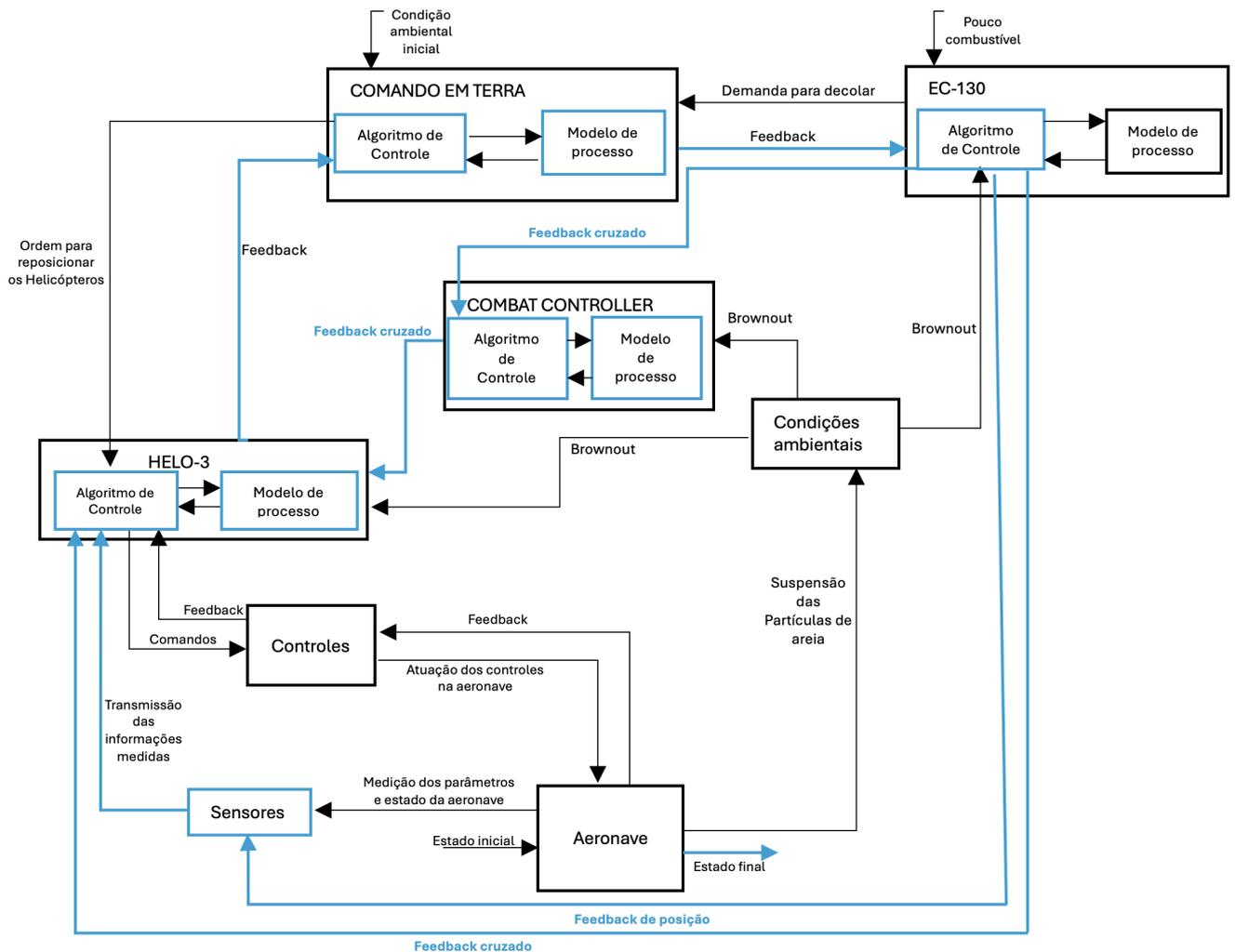


Figura 5.1: EHCS relativa à primeira análise, com as recomendações evidenciadas.

(Fonte: o autor)

## 5.2 Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Problemas no BIM

### 5.2.1 USS Nimitz (Comando de Controle Principal)

Recomenda-se que o USS Nimitz implemente protocolos aprimorados de avaliação climática, integrando atualizações meteorológicas em tempo real diretamente no processo

de controle da missão, permitindo que decisões sobre decolagem sejam mais informadas, especialmente em condições adversas. Além disso, é essencial desenvolver um algoritmo de controle flexível, capaz de acomodar mudanças rápidas no ambiente de operação e que inclua variáveis relacionadas à visibilidade e condições atmosféricas para respostas ágeis e precisas. O modelo de processo do USS Nimitz também deve ser revisado para incorporar uma análise de riscos dinâmica, ajustada em tempo real às variáveis ambientais e operacionais, com um fluxo de validação para verificar automaticamente cada atualização relevante (como condições climáticas, estado dos helicópteros e informações de manutenção) antes de decisões críticas. Além disso, sugere-se a criação de um sistema de priorização de alertas, que classifique a criticidade das informações recebidas, permitindo que o controle central se concentre nas atualizações mais urgentes e relevantes para a segurança e eficácia da missão.

Por fim, é recomendável a implementação de um protocolo de contingência que simule diferentes cenários de falhas e possíveis adaptações no plano da missão. Isso permitirá que o USS Nimitz avalie de antemão as implicações de ações alternativas, favorecendo uma tomada de decisão mais resiliente em situações inesperadas. Essas melhorias no modelo de processo visam aumentar a capacidade de adaptação do USS Nimitz, proporcionando uma resposta mais coordenada e segura diante das variações e riscos da operação.

### **5.2.2 *Equipe de Manutenção***

Sugere-se que a equipe de manutenção seja equipada com um sistema de notificação que assegure que todas as atualizações críticas, como as relacionadas ao sistema de inspeção de pás (Blade Inspection Method), sejam comunicadas de forma completa e precisa a todos os envolvidos, sem risco de falhas na transmissão de informações. É essencial que essas atualizações sejam recebidas pelos pilotos em tempo real, garantindo que informações vitais estejam sempre acessíveis e atualizadas. Treinamentos adicionais devem ser realizados para que a equipe compreenda a importância da comunicação clara e constante das condições dos sistemas das aeronaves, promovendo a segurança e a continuidade operacional.

### 5.2.3 *Piloto do HELO-6*

Para o piloto do HELO-6, recomenda-se o aprimoramento do modelo de processo e do algoritmo de controle por meio da implementação de sensores com feedback em tempo real. É crucial que o HELO-6 seja equipado com sensores integrados que forneçam automaticamente informações atualizadas sobre o status de sistemas críticos. Esses sensores devem ser configurados para detectar a resolução de falhas previamente identificadas, diminuindo a probabilidade de decisões baseadas em dados desatualizados. Essa integração é essencial para otimizar a tomada de decisões durante a missão, permitindo que o piloto avalie com precisão as condições dos sistemas da aeronave antes de agir em situações emergenciais.

O modelo de processo deve incluir parâmetros que ajudem o piloto a identificar rapidamente atualizações críticas, minimizando a resposta a falhas já corrigidas e reduzindo decisões desnecessárias de abortar a missão. Além disso, recomenda-se que o piloto passe por um treinamento básico na aeronave antes das missões, mesmo que já possua conhecimento prévio. Esse treinamento ajudará a compreender melhor o equipamento, mitigando possíveis falhas, como a falta de entendimento sobre a necessidade de um pouso imediato em situações críticas.

É igualmente essencial que todos os pilotos envolvidos na missão recebam treinamento intensivo em condições adversas, como brownout e visibilidade limitada. Simulações em condições de baixa visibilidade e treinamentos específicos para operar sensores e interpretar dados em tempo real devem ser realizados regularmente, garantindo que os pilotos estejam preparados para reagir adequadamente a cenários desafiadores. Um programa de treinamento contínuo também deve ser oferecido, focando na interpretação precisa dos dados fornecidos pelos sensores e no uso eficiente do algoritmo de controle, garantindo uma resposta mais informada e alinhada com as condições operacionais atualizadas.

### 5.2.4 *Comunicação e Silêncio de Rádio*

A imposição de silêncio de rádio pode ser reavaliada para garantir que informações críticas possam ser transmitidas em momentos de necessidade, sem comprometer a segurança da missão. É essencial que a equipe envolvida esteja atenta à importância da comunicação eficaz, especialmente em emergências. Para isso, recomenda-se a implemen-

tação de um sistema de comunicação passivo que permita o envio de atualizações essenciais mesmo durante períodos de silêncio. Esse sistema deve ser projetado para garantir que mensagens críticas possam ser transmitidas de forma discreta e segura, utilizando tecnologias que minimizem o risco de detecção por inimigos.

Além disso, a formação contínua da equipe sobre a utilização desse sistema é fundamental para garantir que todos os membros saibam como e quando se comunicar efetivamente, permitindo uma coordenação mais eficiente durante operações sensíveis. Com essas medidas, será possível melhorar a capacidade de resposta da equipe, mantendo a integridade operacional e a segurança da missão.

### **5.2.5 PILOTO HELO-8**

Para o HELO-8, recomenda-se uma comunicação direta e atualizada com a equipe de manutenção sobre qualquer atualização no sistema. Isso permitirá que o HELO-8 atue como uma unidade de suporte mais eficaz, especialmente em missões de resgate, garantindo que decisões baseadas em informações corretas possam ser tomadas no menor tempo possível. Além disso, o modelo de processo também deve receber treinamento adequado, alinhado com o tipo de missão que será enfrentada. Isso inclui simulações práticas e avaliações regulares que preparem a equipe para lidar com cenários específicos e imprevistos, reforçando a capacidade de resposta e a agilidade nas operações. A combinação de comunicação eficaz e treinamento direcionado contribuirá significativamente para o sucesso das missões e para a segurança da equipe envolvida.

### 5.2.6 Recomendações na Segunda Análise

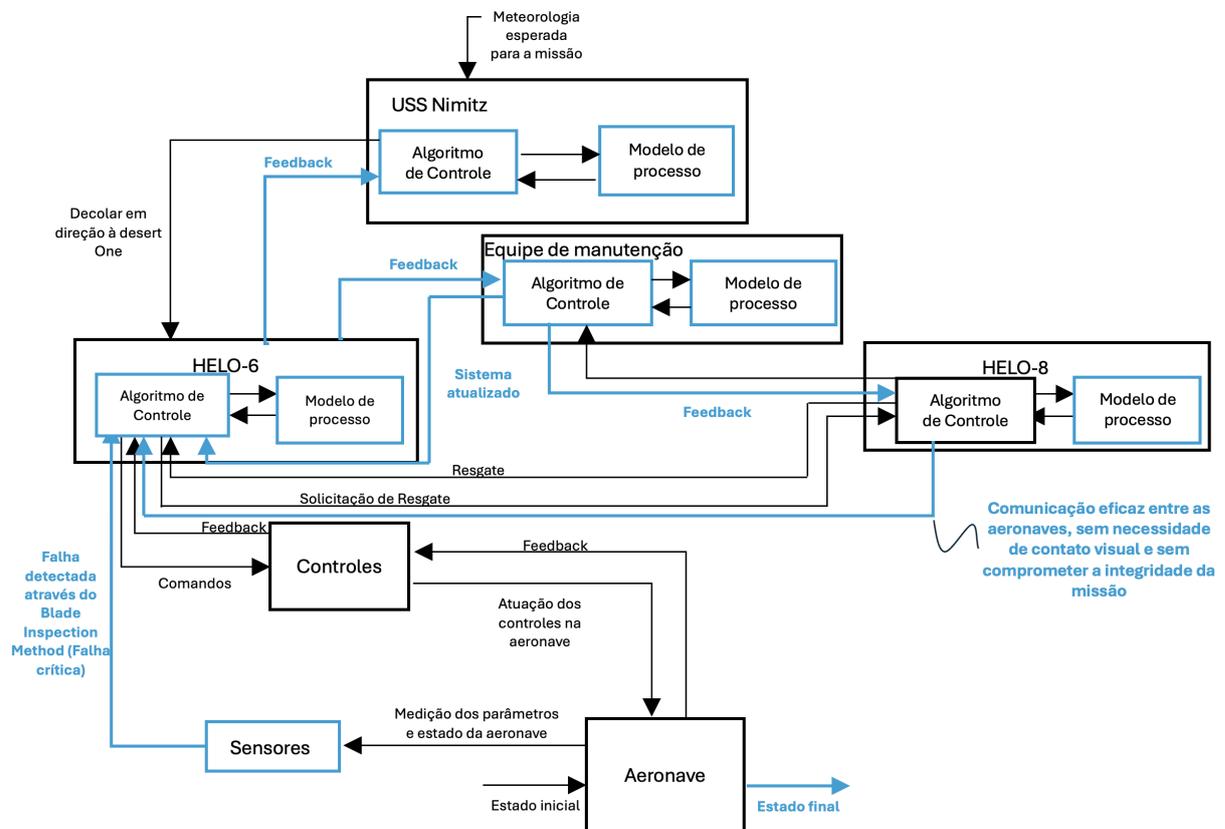


Figura 5.2: EHCS relativa à segunda análise, com as recomendações evidenciadas.

(Fonte: o Autor).

## 5.3 Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Falha Elétrica

### 5.3.1 USS Nimitz (Comando de Controle Principal)

Recomenda-se que o USS Nimitz fortaleça seu modelo de processo, assegurando que as previsões meteorológicas sejam atualizadas em tempo real e transmitidas de forma precisa e segura aos helicópteros em missão, sem risco de detecção por forças inimigas. Essas atualizações devem incluir informações detalhadas sobre tempestades de areia (*haboob*) e demais condições climáticas adversas, evitando que decolagens sejam autorizadas sem uma análise completa do ambiente. O algoritmo de controle deve integrar esses dados em tempo real, gerando alertas automáticos sobre perigos potenciais para que as aeronaves estejam devidamente preparadas para enfrentar o ambiente operacional.

Além disso, recomenda-se a implementação de um sistema de comunicação crip-

tografado e redundante que assegure a troca de informações sensíveis sem comprometer a segurança das operações. Esse sistema deve priorizar alertas críticos, garantindo que o controle central se concentre nas atualizações meteorológicas e operacionais mais urgentes, promovendo a segurança e continuidade da missão.

### **5.3.2 *Comunicação e Silêncio de Rádio***

É sugerido que o protocolo de silêncio de rádio seja revisado para permitir a comunicação mínima necessária entre as aeronaves e o porta-aviões durante a missão. Essa comunicação é essencial para que informações sobre mudanças climáticas ou perigos em potencial possam ser compartilhadas em tempo real, garantindo coordenação contínua entre helicópteros e o USS Nimitz. O modelo de processo deve incluir diretrizes para uma comunicação passiva e discreta, assegurando que atualizações críticas sejam transmitidas sem comprometer a segurança da missão.

Além disso, propõe-se a inclusão de um sistema de comunicação alternativo, que permita o contato mesmo durante períodos de silêncio de rádio, tanto entre as aeronaves quanto com o porta-aviões. Esse sistema ajudaria a evitar decisões baseadas em informações incompletas, como o retorno prematuro do HELO-5, e asseguraria que todos os envolvidos tenham acesso a dados completos e atualizados, promovendo a segurança e a eficiência operacional.

### **5.3.3 *Piloto do HELO-5***

Para o HELO-5, recomenda-se a implementação de um modelo de processo que facilite o treinamento intensivo do piloto para enfrentar tempestades de areia e outras condições adversas do deserto. Esse treinamento deve incluir não apenas simulações de condições climáticas extremas, como o brownout, mas também capacitar o piloto a interpretar dados meteorológicos em tempo real, assegurando uma compreensão profunda das informações fornecidas pelos sensores e radares.

Essa abordagem permitirá que o piloto responda de forma mais assertiva e estratégica a situações climáticas, ajustando o voo de acordo com as mudanças ambientais e antecipando riscos. Dessa forma, o piloto estará plenamente preparado para tomar decisões rápidas e informadas em qualquer cenário adverso, garantindo a segurança e a continuidade da missão em ambientes extremos.

Ademais, conforme destacado nas sugestões do controlador do USS Nimitz, o algoritmo de controle do HELO-5 deve fornecer feedback contínuo e em tempo real sobre as condições ambientais, status da aeronave e do sistema de controle, assegurando uma comunicação fluida e segura entre o porta-aviões e o piloto. Esse sistema de monitoramento e comunicação precisa considerar não apenas as variáveis atmosféricas, como tempestades de areia e variações de vento, mas também dados sobre o desempenho e as condições de operação da aeronave, como nível de combustível, integridade dos sistemas e status de carga, garantindo uma visão completa das condições de voo.

Para tanto, é essencial que o algoritmo de controle seja configurado para gerar alertas críticos em situações de risco iminente, permitindo que o piloto e a equipe de controle no Nimitz respondam rapidamente a mudanças súbitas. Essa estrutura deve priorizar alertas claros e concisos, que informem o piloto sobre ações específicas a serem tomadas em casos de contingência, evitando, assim, decisões de retorno prematuro causadas por falhas de comunicação ou por falta de dados completos.

Adicionalmente, recomenda-se o desenvolvimento de um protocolo que integre o feedback do piloto e da equipe de controle, permitindo que ambos troquem informações de maneira segura e coordenada, mesmo em condições de silêncio de rádio ou de comunicação limitada. Isso inclui a capacidade de enviar atualizações críticas através de canais de comunicação seguros e redundantes, minimizando o risco de detecção por forças inimigas. Com essas melhorias, o HELO-5 poderá operar com maior precisão e segurança, possibilitando uma coordenação eficaz entre o piloto e o controle do USS Nimitz, essencial para o sucesso e a segurança das operações em andamento.

#### **5.3.4 *Demais Helicópteros***

Aos demais helicópteros, recomenda-se a implementação de um modelo de processo que assegure uma coordenação efetiva entre as aeronaves durante a missão. Cada piloto deve ser treinado para ajustar suas rotas e operações com base nas informações compartilhadas entre os helicópteros, especialmente em situações de baixa visibilidade e condições adversas.

O algoritmo de controle para essas aeronaves deve possibilitar uma integração eficiente das informações recebidas, facilitando uma atuação coordenada e segura, mesmo em condições climáticas extremas. Esse sistema deve permitir ajustes rápidos, assegurando

que as aeronaves operem de forma sinérgica e alinhada com as orientações do controle central.

### 5.3.5 *Sensores e Radares Meteorológicos a Bordo das Aeronaves*

Para garantir a segurança e a continuidade da missão, é fundamental que os sensores e radares meteorológicos a bordo das aeronaves operem em perfeita sincronia com as atualizações climáticas, fornecendo informações detalhadas sobre tempestades de areia, ventos fortes e outras condições adversas que possam impactar a operação. O modelo de processo deve assegurar que todos os sensores estejam calibrados e em pleno funcionamento, capazes de detectar e transmitir dados precisos e em tempo real tanto para as equipes de controle quanto para os pilotos, permitindo uma análise rápida e confiável das condições ambientais.

Além disso, o algoritmo de controle deve ser integrado com um sistema de resposta automática que utiliza esses dados meteorológicos em tempo real para ajustar as rotas de voo proativamente, prevenindo que as aeronaves entrem em zonas de risco sem um planejamento adequado. Essa capacidade de adaptação em tempo real, além de evitar a exposição a condições extremas, reduz o risco de falhas operacionais que possam surgir de informações incompletas ou desatualizadas, proporcionando maior segurança ao piloto e ao controle da missão.

Para reforçar ainda mais essa estrutura, recomenda-se que o modelo de processo inclua um protocolo de manutenção preventiva dos sensores meteorológicos, garantindo que estejam sempre em condições ideais de operação. Esse protocolo deve abranger desde a verificação regular do desempenho dos sensores até a atualização do software de controle, visando maximizar a precisão dos dados coletados e minimizar o risco de interpretações equivocadas. Essas medidas, somadas ao alinhamento preciso entre o algoritmo de controle e os dados meteorológicos, criarão uma camada robusta de segurança, aumentando a confiança nas decisões tomadas tanto pelos pilotos quanto pela equipe de controle no USS Nimitz, contribuindo diretamente para o sucesso e continuidade da missão.

### 5.3.6 Recomendações na Terceira Análise

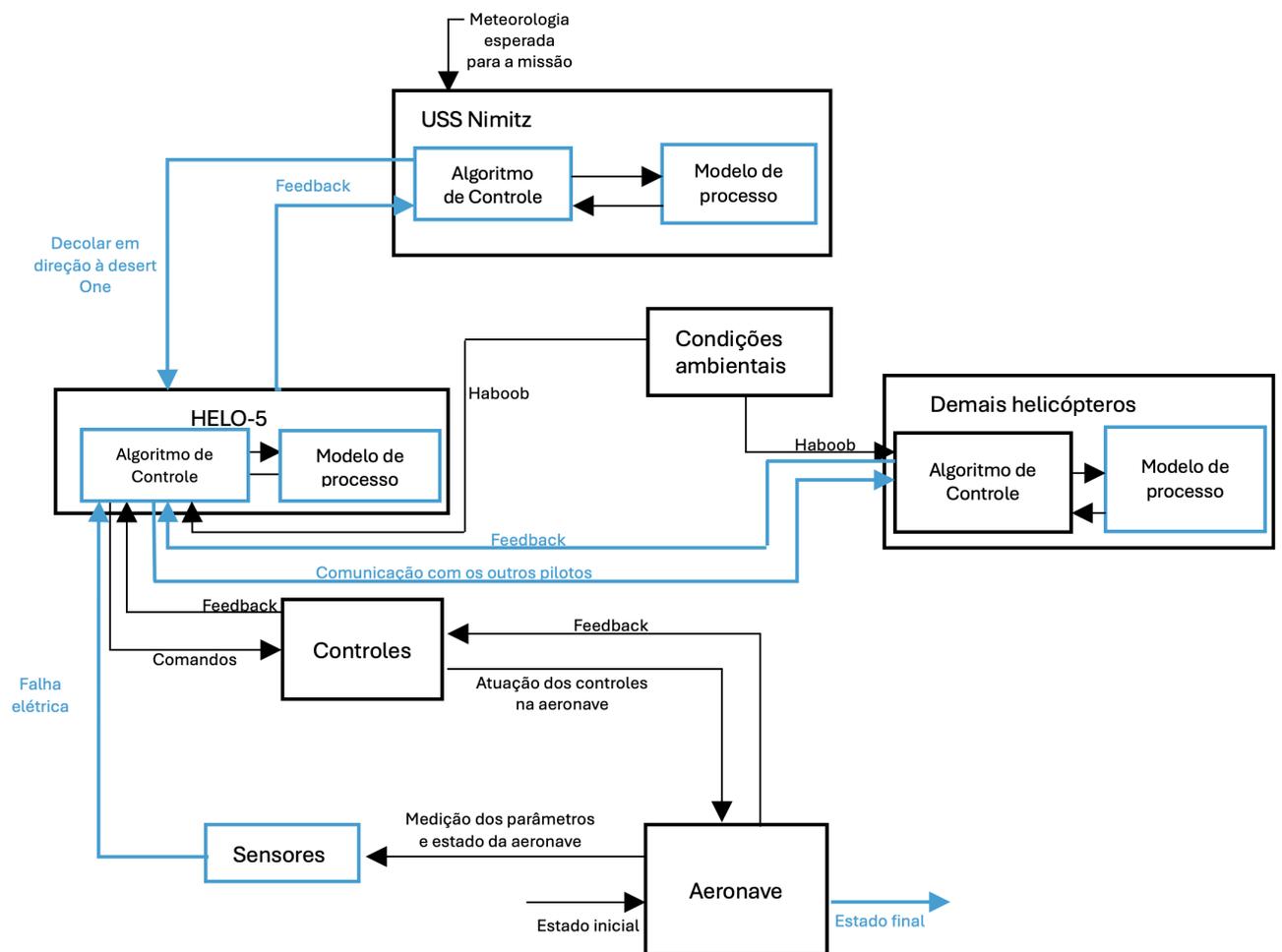


Figura 5.3: EHCS relativa à terceira análise, com as recomendações evidenciadas.

(Fonte: o Autor).

## 5.4 Recomendações para a Desistência do Helicóptero por Falha Hidráulica

### 5.4.1 USS Nimitz (Comando de Controle Principal)

Recomenda-se que o USS Nimitz melhore o modelo de processo e o algoritmo de controle, priorizando um sistema de monitoramento que integre as condições ambientais e operacionais. Esse sistema deve processar e distribuir informações críticas aos demais da missão, como mudanças climáticas e alertas de tempestades de areia, para as aeronaves de forma automática e em tempo real. O algoritmo de controle deve ter protocolos que garantam atualizações constantes para as tripulações dos helicópteros sobre riscos

operacionais. Esse tipo de integração ajudaria as aeronaves a tomarem decisões com base em informações completas e precisas, diminuindo a exposição a situações perigosas. Um sistema de alertas antecipados e um modelo de processo otimizado ajudariam a reduzir falhas e melhorar a segurança operacional.

#### 5.4.2 *Piloto do HELO-2*

Para o piloto do HELO-2, recomenda-se que o modelo de processo inclua treinamento adequado e experiência específica para enfrentar condições adversas, como tempestades de areia (haboob). Esse treinamento deve capacitar o piloto a interpretar dados de controle e responder rapidamente a falhas, ajustando suas ações com segurança durante condições extremas. O algoritmo de controle do HELO-2 também deve fornecer *feedback* contínuo e automático sobre o status da aeronave e as condições ambientais, permitindo ao piloto tomar decisões informadas e imediatas. Simulações realistas de tempestades de areia devem ser parte desse treinamento, para que o piloto esteja preparado para reagir a situações como falhas hidráulicas, mantendo a segurança da operação. Outrossim, um sistema de feedback direto no cockpit, que mostre as condições em tempo real, aumentaria a capacidade de resposta e ajudaria a evitar interrupções causadas por informações incompletas.

#### 5.4.3 *Sensores*

Na análise, observou-se que a falta de sensores apropriados contribuiu para a falha hidráulica no HELO-2. Recomenda-se instalar sensores mais robustos, capazes de operar em condições difíceis e de "prever" o impacto do acúmulo de areia na aeronave em tempestades. Esses sensores devem monitorar continuamente o estado dos sistemas e identificar sinais de desgaste ou possíveis falhas, enviando alertas automáticos quando houver risco ao desempenho da aeronave. Para garantir que esses sensores funcionem de forma confiável, sugere-se um protocolo de manutenção preventiva, com calibrações e verificações antes de cada missão. Esse monitoramento ajudaria a identificar problemas cedo, permitindo ações rápidas e evitando que danos menores se transformem em falhas graves que comprometam a operação.

#### 5.4.4 *Condições Ambientais*

Considerando que as condições ambientais extremas, como a tempestade de areia (haboob), podem ter contribuído para a falha hidráulica do HELO-2, recomenda-se que o planejamento das missões inclua uma análise detalhada dos riscos ambientais. O modelo de processo do USS Nimitz, conforme citado em análises anteriores, deve ser mais flexível e integrar dados meteorológicos em tempo real para evitar que as aeronaves sejam expostas a tempestades de areia que possam danificar sistemas críticos, como o hidráulico. Essa flexibilidade permitiria, inclusive, a possibilidade de postergar o início da missão em resposta a condições climáticas desfavoráveis. Além disso, seria ideal prever rotas alternativas e ajustes de horários de decolagem para evitar áreas de alto risco climático. Esse planejamento preventivo reduziria a chance de falhas mecânicas causadas por fatores ambientais e aumentaria a segurança da operação.

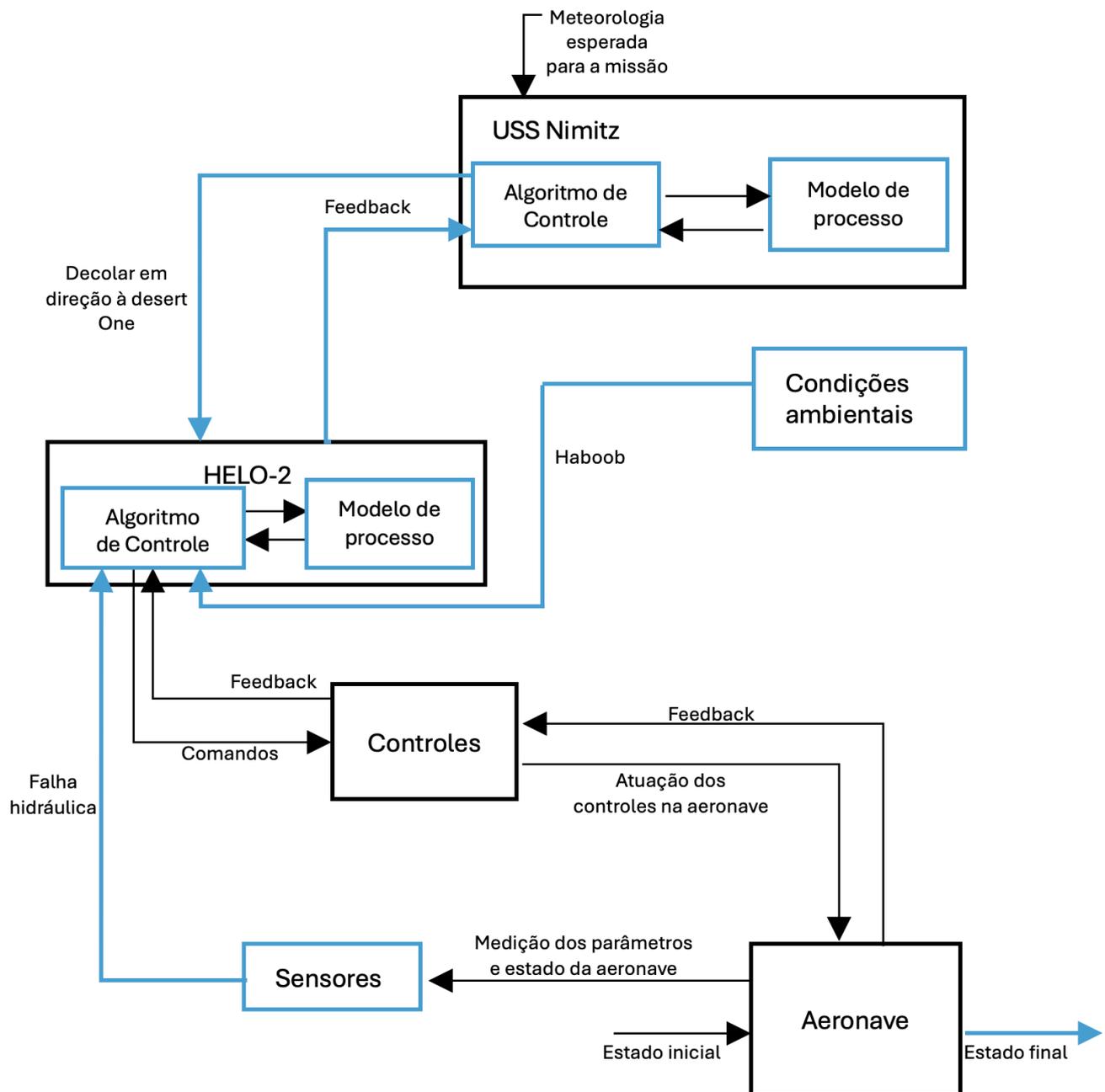
5.4.5 *Recomendações na Quarta Análise*

Figura 5.4: EHCS relativa à quarta análise, com as recomendações evidenciadas.

(Fonte: o Autor).

## 5.5 Recomendações para o Planejamento, Inteligência e Fatores Contextuais

### 5.5.1 *Casa Branca (Comando Político)*

Como chefe supremo da missão, a Casa Branca deve adotar um modelo de processo que permita uma abordagem mais equilibrada entre as necessidades políticas e os riscos operacionais, incluindo um sistema de feedback que atualize o comando político com informações detalhadas e em tempo real, permitindo que decisões sejam ajustadas conforme surgem novas informações. Além disso, recomenda-se aprimorar as negociações diplomáticas com o Irã, buscando abrir alternativas que possam apoiar a missão ou criar margem para ações menos arriscadas.

Dada a pressão eleitoral e diplomática, é essencial implementar uma estrutura de tomada de decisão mais flexível, onde atualizações de riscos possam influenciar diretamente o planejamento. O algoritmo de controle deve incluir protocolos que possibilitem o adiamento ou ajuste do andamento da missão sempre que forem detectadas condições desfavoráveis.

Para reduzir a pressão pública sem comprometer a segurança da missão, a Casa Branca deve considerar uma comunicação transparente sobre o progresso da operação. Um canal de conversas com o público, cuidadosamente estruturado para não expor detalhes sensíveis, pode explicar os esforços e cuidados em andamento, demonstrando o compromisso com a segurança e o sucesso da missão. Essa medida ajudaria a aliviar a pressão popular para decisões apressadas e permitiria um foco maior na preparação segura e bem planejada.

Essas ações juntas fortaleceriam a capacidade da Casa Branca de coordenar a missão com uma abordagem mais estratégica e menos sujeita a pressões externas e falhas

### 5.5.2 *Joint Task Force (JTF)*

Para o Joint Task Force (JTF), é necessário adotar um modelo de processo que permita ajustes em tempo real com base nas condições variáveis em campo, especialmente mudanças climáticas e problemas técnicos dos equipamentos. Esse modelo de processo deve incluir um algoritmo de controle capaz de adaptar as ordens conforme surgem novas informações, permitindo uma resposta mais rápida e ajustada às necessidades operaci-

onais. Além disso, recomenda-se fortalecer o sistema de feedback entre o JTF, a Casa Branca e as forças militares em campo. Esse sistema deve priorizar o fluxo de informações críticas, como atualizações sobre o ambiente e o status dos equipamentos, para garantir que as respostas sejam mais ágeis e adequadas às circunstâncias.

É igualmente importante revisar o rigoroso regime de OPSEC e reduzir a compartimentalização excessiva, que criou barreiras à comunicação eficaz entre as equipes. A JTF deve estabelecer um fluxo de dados mais acessível entre as unidades operacionais, garantindo que informações cruciais sobre mudanças nas condições climáticas e problemas com os helicópteros sejam rapidamente transmitidas aos tomadores de decisão. Essa revisão na estrutura de comunicação ajudará a reduzir lacunas no fluxo de dados e permitirá que a JTF ajuste suas ordens conforme os eventos se desenrolam, melhorando a coordenação e a eficácia da missão.

Adicionalmente, o fracasso da missão evidenciou que as forças armadas americanas não estavam habituadas a operar juntas em missões integradas. Recomenda-se, portanto, a criação de uma instituição militar conjunta, onde as três forças – Exército, Marinha, e Força Aérea Fuzileiros navais – possam desenvolver doutrinas, treinamentos e práticas unificadas para atuação coordenada em missões de alta complexidade. Essa estrutura conjunta promoveria uma sinergia operacional, consolidando a capacidade de resposta integrada e eficaz das forças americanas, especialmente em cenários que exijam cooperação e alinhamento entre diferentes unidades.

### **5.5.3 *Agências de Inteligência***

Para as Agências de Inteligência, recomenda-se a implementação de um modelo de processo mais robusto que centralize e coordene de forma eficaz a coleta e distribuição de informações, especialmente em cenários críticos como o da Operação Eagle Claw. Esse modelo deve assegurar que dados essenciais sobre o ambiente operacional — incluindo condições climáticas, movimentação de forças inimigas e riscos logísticos — sejam continuamente atualizados e compartilhados em tempo real com o Joint Task Force (JTF), proporcionando uma visão precisa e atualizada para fundamentar decisões estratégicas.

Além disso, é necessário desenvolver um algoritmo de controle que permita uma análise preditiva dos riscos, incorporando variáveis ambientais e táticas adversárias. Esse algoritmo deve antecipar possíveis ameaças e fornecer projeções de cenários adversos, au-

xiliando as forças em campo a se prepararem para condições inesperadas. Essa abordagem preditiva aumentaria significativamente a capacidade de adaptação das forças operacionais, reduzindo o impacto de eventos imprevistos.

A comunicação entre as agências de inteligência e o JTF também deve ser fortalecida. Um sistema de feedback eficaz deve garantir que informações relevantes e atualizações críticas sejam imediatamente compartilhadas com as equipes de planejamento e execução, especialmente em relação a riscos que emergem no terreno. Esse fluxo contínuo de dados minimiza o risco de decisões fundamentadas em informações desatualizadas ou incompletas.

Por último, é crucial que as agências operem de forma alinhada e coordenada. A fragmentação entre agências, com diferentes prioridades e abordagens, enfraquece a resposta operacional e compromete a segurança da missão. Estabelecer protocolos de cooperação interagências ajudaria a consolidar uma visão unificada dos objetivos operacionais, reforçando a colaboração e eficiência. Essas melhorias no modelo de processo e na capacidade analítica das agências fortaleceriam a qualidade das informações fornecidas, aprimorando a segurança e a eficácia das operações no campo.

#### **5.5.4 Forças Militares (*Execução da Missão*)**

As recomendações para as Forças Militares foram abordadas em análises anteriores, onde foram detalhadas ações para melhorar a integração entre as diferentes forças, aprimorar o treinamento conjunto e garantir a seleção adequada de equipamentos. Nessas análises, também foram destacadas a necessidade de revisão crítica dos planos de missão e a flexibilidade no planejamento, assegurando que as forças possam se adaptar a condições variáveis sem comprometer os objetivos operacionais. Essas melhorias visam fortalecer a capacidade das Forças Militares de atuar de maneira coesa e eficiente em operações de alta complexidade, elevando o padrão de segurança e eficácia em campo.

#### **5.5.5 Planejamento**

As falhas observadas no planejamento da missão evidenciaram deficiências significativas na fase de preparação, principalmente a falta de tempo para ajustes e a ausência de uma avaliação crítica e independente antes da execução. Para corrigir essas lacunas e fortalecer a robustez do processo, recomenda-se que o modelo de planejamento inclu

uma etapa de revisão estratégica, na qual o planejamento seja submetido a uma análise objetiva e detalhada realizada por uma equipe externa. Esse tipo de avaliação independente permite uma identificação minuciosa dos riscos e vulnerabilidades, trazendo uma perspectiva imparcial que pode expor falhas e pontos cegos que, devido ao envolvimento direto, a equipe original pode não ter identificado. Essa abordagem externa não só reforça a segurança como aprimora a precisão das decisões estratégicas, aumentando a capacidade de resposta frente aos desafios operacionais.

Além disso, é essencial que o modelo de planejamento contemple uma margem de tempo suficiente para ajustes e refinamentos, oferecendo flexibilidade para que as equipes possam reagir a novas informações ou fatores de risco emergentes, como condições climáticas adversas ou problemas mecânicos inesperados. Essa flexibilidade torna o plano mais adaptável, aumentando a resiliência operacional e permitindo que as equipes no terreno enfrentem variáveis imprevistas com maior segurança e eficiência. A escolha das aeronaves para esse tipo de missão, por exemplo, deve priorizar modelos com confiabilidade comprovada em condições extremas, e o número de helicópteros enviados precisa ser ampliado, garantindo uma margem de segurança que exceda os requisitos mínimos. Além disso, o uso dos sistemas de orientação dos EC-130 — que poderiam antecipar a posição e orientar os helicópteros, prevenindo desorientações no deserto — se apresenta como um recurso valioso para otimizar a coordenação e a precisão de navegação.

Outro aspecto fundamental é a necessidade de contar com militares experientes nesse tipo de operação. A presença de equipes com histórico em missões de alta complexidade e condições extremas contribui não apenas para a execução precisa das tarefas, mas também para uma tomada de decisão mais sólida e fundamentada em experiências anteriores. Esses profissionais têm uma compreensão prática das dificuldades e dos riscos, o que os torna mais preparados para enfrentar imprevistos e tomar decisões rápidas e informadas em situações críticas.

Também é imprescindível realizar treinamentos integrados para todas as equipes envolvidas na missão, promovendo uma coesão operacional e permitindo que cada operador compreenda os desafios em sua totalidade e as interdependências entre as funções. A pressão inerente a missões desse tipo exige que as decisões sejam criteriosas e levem em conta todos os riscos e implicações envolvidos. Nesse sentido, um modelo de planejamento que inclua flexibilidade para ajustes, uma estrutura de revisão crítica e independente e a

participação de militares experientes fortaleceria significativamente a prontidão e a adaptabilidade das Forças Militares em cenários complexos e dinâmicos. Esse aprimoramento das práticas de planejamento e treinamento resultaria em operações mais seguras e eficazes, elevando as chances de sucesso e contribuindo para a proteção das vidas envolvidas e para a eficiência da missão.

### 5.5.6 Recomendações na Quinta Análise

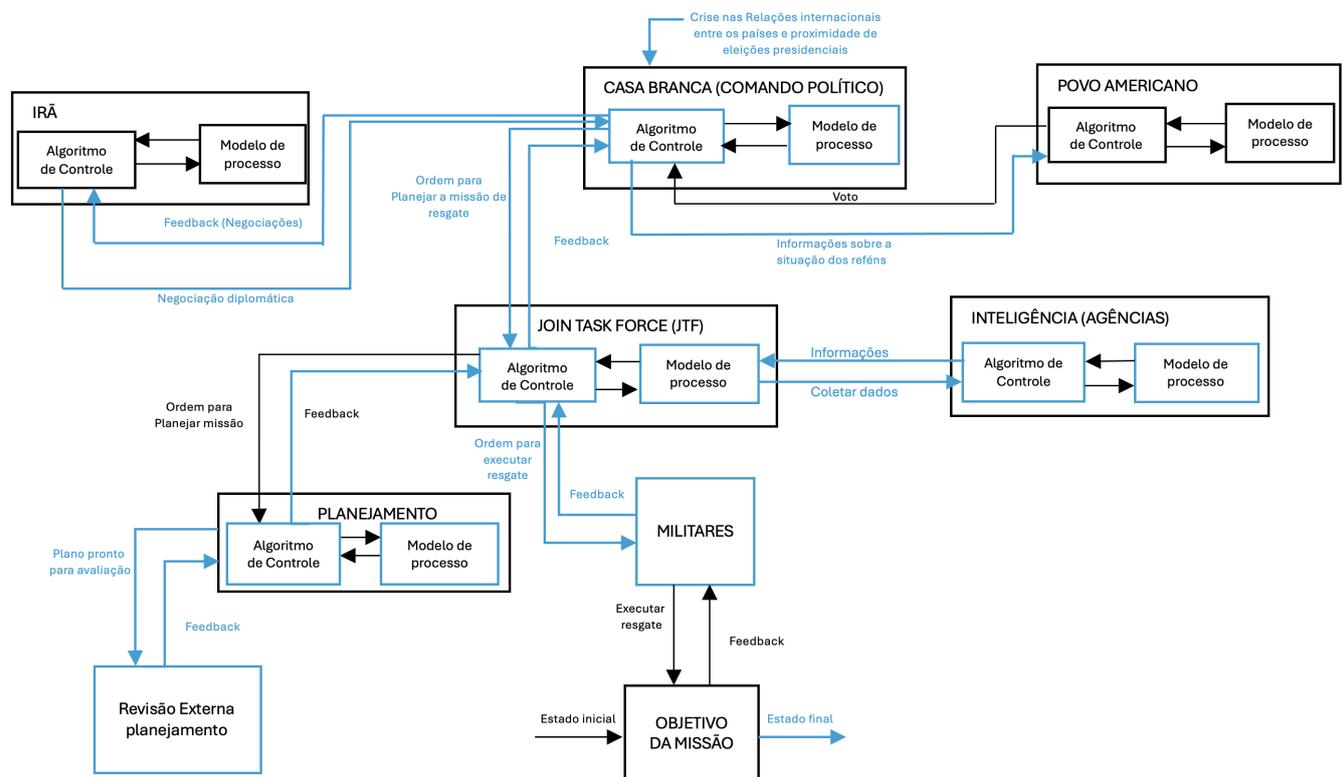


Figura 5.5: EHCS relativa à quinta análise, com as recomendações evidenciadas.

(Fonte: o Autor).

## 6 COMPARAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

Nesta seção são apresentadas na Tabela 6.1, para fins de comparação, as principais recomendações de segurança do relatório Mission Report: Special Report to the President by the Secretary of Defense (UNITED STATES, 1980). Essas recomendações são então comparadas com as recomendações de segurança geradas a partir da *Causal Analysis based on STAMP* (CAST), buscando identificar convergências, diferenças e oportunidades de aprimoramento. Além das principais recomendações, outros pontos relevantes são abordados nas recomendações de segurança discutidas no Capítulo 5 deste trabalho, complementando a análise apresentada. Por fim, os resultados dessa comparação são discutidos, destacando os aspectos mais relevantes para o contexto do estudo.

## 6.1 Tabela Comparativa

Tabela 6.1: Comparação entre o Mission Report e Análise CAST.

<b>MISSION REPORT (RELATÓRIO)</b>	<b>ANÁLISE CAST</b>
Estabelecer um plano de OPSEC mais preciso, equilibrando sigilo com a necessidade de informação.	Revisar o rigoroso regime de OPSEC e reduzir a compartimentalização excessiva, que criou barreiras à comunicação eficaz entre as equipes envolvidas na missão.
Criar um painel consultivo para revisar planos de operações especiais.	Recomenda-se, portanto, a criação de uma Instituição militar conjunta, onde as quatro forças – Exército, Marinha, Força Aérea e Fuzileiros navais – possam desenvolver doutrinas, treinamentos e práticas unificadas para atuação coordenada em missões de alta complexidade.
Criar uma estrutura de Comando para operar em conjunto.	
Implementar avaliações de prontidão operacional detalhadas e abrangentes, assegurando que todas as unidades e equipamentos estejam adequadamente preparados e em condições ideais para enfrentar as exigências da missão, com foco especial em ensaios realistas e simulações das condições operacionais esperadas.	É imprescindível realizar treinamentos integrados com todas as equipes envolvidas na missão, promovendo a coesão entre os grupos e permitindo que cada operador compreenda os desafios operacionais em sua totalidade, bem como para que todos entendam o ambiente operacional que encontrarão.
Melhorar a integração entre as equipes de treinamento.	
Fortalecer o comando e controle nas operações de campo.	
Estabelecer um suporte de inteligência integrado e centralizado.	Estabelecer protocolos de cooperação interagências de inteligência ajudaria a consolidar uma visão unificada dos objetivos operacionais, reforçando a colaboração e eficiência.
Considerar alternativas para o local do <del>Desert One</del> .	Recomenda-se que o planejamento das missões inclua uma análise detalhada dos riscos ambientais; Além disso, seria ideal prever rotas alternativas e ajustes de horários de decolagem para evitar áreas de alto risco climático; e Para garantir a segurança e a continuidade da missão, é fundamental que os sensores e radares meteorológicos a bordo das aeronaves operem em perfeita sincronia com as atualizações climáticas, fornecendo informações detalhadas sobre tempestades de areia, ventos fortes e outras condições adversas que possam impactar a operação.

Prever a visibilidade limitada em fenômenos de poeira.	-
Estabelecer protocolos para gerenciar <u>brownouts</u> .	-
Usar C-130s como guias de navegação para os helicópteros.	A utilização dos sistemas de orientação dos EC-130, que chegaram antecipadamente.
Definir critérios claros para o aborto da missão.	-
Utilização de helicópteros adequados para a missão.	Escolha dos helicópteros deve priorizar aquelas com comprovada confiabilidade operacional, e o número de aeronaves a serem enviadas deve ser incrementado, garantindo assim uma margem de segurança robusta e superior à mínima necessária.
Aumentar o número de helicópteros para garantir redundância.	
Designar uma unidade de helicópteros experiente	-
Definir procedimentos para retornar helicópteros.	Por fim, é recomendável a implementação de um protocolo de contingência que simule diferentes cenários de falhas e possíveis adaptações no plano da missão. Isso permitirá que o USS Nimitz avalie de antemão as implicações de ações alternativas, favorecendo uma tomada de decisão mais resiliente em situações inesperadas.
Implementar mitigação contra detecção por radar	-
Melhorar a comunicação entre helicópteros e comando	É sugerido que o protocolo de silêncio de rádio seja revisado para permitir a comunicação mínima necessária entre as aeronaves e o porta-aviões durante a missão. Essa comunicação é essencial para que informações sobre mudanças climáticas ou perigos em potencial possam ser compartilhadas em tempo real, garantindo coordenação contínua entre helicópteros e o USS Nimitz.
Escolher locais de reabastecimento mais remotos	-
Reforçar a proteção de materiais sensíveis	-

-	O piloto do EC-130 que ficou com pouco combustível deveria ter avisado com antecedência o nível, para não aumentar a pressão operacional da missão
-	Sugere-se que a equipe de manutenção seja equipada com um sistema de notificação que assegure que todas as atualizações críticas, como as relacionadas ao sistema de inspeção de lâminas ( <u>Blade Inspection Method</u> ), sejam comunicadas de forma completa e precisa a todos os envolvidos, sem risco de falhas na transmissão de informações.
-	A Casa Branca deve adotar um modelo de processo que permita uma abordagem mais equilibrada entre as necessidades políticas e os riscos operacionais, incluindo um sistema de feedback que atualize o comando político.
-	Além disso, recomenda-se aprimorar as negociações diplomáticas com o Irã, buscando abrir alternativas que possam apoiar a missão ou criar margem para ações menos arriscada
-	Para reduzir a pressão pública sem comprometer a segurança da missão, a Casa Branca deve considerar uma comunicação transparente sobre o progresso da operação. Um canal de conversas com o público, cuidadosamente estruturado para não expor detalhes sensíveis, pode explicar os esforços e cuidados em andamento, demonstrando o compromisso com a segurança e o sucesso da missão.
-	Recomenda-se, portanto, que o modelo de processo inclua uma etapa de revisão estratégica, onde o planejamento seja submetido a uma análise objetiva por uma equipe externa. Além disso, o modelo de planejamento deve prever uma margem de tempo para ajustes e refinamentos, possibilitando respostas a novas informações ou fatores de risco emergentes.

Fonte: o Autor.

## 6.2 Discussões

Nesta parte do trabalho, serão explorados os resultados da análise comparativa entre as recomendações de segurança do Mission Report e da análise CAST, destacando as diferenças e similaridades entre essas abordagens. Na tabela 6.1, os trechos com fundo cinza representam as recomendações que estavam presentes no Mission Report e que foram igualmente identificadas pela análise CAST. A comparação visa compreender como cada uma delas contribui para a segurança operacional e quais lacunas foram abordadas de maneira complementar.

Ao analisar a Tabela 6.1, percebe-se que as recomendações destacadas no Mission Report: Special Report to the President by the Secretary of Defense (UNITED STATES, 1980) foram, em parte, cobertas pela análise CAST. No entanto, a análise CAST foi além, introduzindo uma abordagem mais abrangente que inclui aspectos sistêmicos e estruturais, muitas vezes negligenciados pelas abordagens tradicionais. Essa ampliação do escopo permite uma visão mais estratégica sobre os riscos envolvidos, fornecendo não apenas soluções para problemas imediatos, mas também recomendações para prevenir falhas sistêmicas futuras.

Uma das diferenças centrais entre as duas abordagens está no tipo de recomendação proposta. O Mission Report concentra-se em ações operacionais específicas, geralmente de curto prazo, enquanto a análise CAST propõe diretrizes de segurança mais abrangentes e de longo prazo. Essa distinção é importante para compreender a complementaridade entre elas: enquanto o Mission Report busca solucionar problemas imediatos de maneira direta, a CAST foca em criar uma base estrutural sólida para a segurança futura, lidando com causas subjacentes e aspectos sistêmicos.

Outro ponto importante é que muitas das recomendações da CAST transcendem o escopo tradicional de segurança, incluindo aspectos de governança e cultura organizacional. Essas recomendações são fundamentais para manter altos níveis de segurança, mesmo em um ambiente em constante mudança. Ainda que algumas possam ser vistas como "boas práticas" do setor, elas desempenham um papel vital na prevenção de futuros incidentes, especialmente em sistemas de alta complexidade.

Além disso, a análise CAST trouxe insights que não estavam presentes no Mission Report, como a importância de melhorar a comunicação entre diferentes agências e o fortalecimento da governança. Um exemplo são as recomendações voltadas para a Casa

Branca, discutidas na seção 5.5.1 do capítulo 5, que destacam a necessidade de aprimorar a tomada de decisões em contextos de alta pressão e melhorar a comunicação pública, sem comprometer a segurança da missão. Essas recomendações, quando implementadas, têm o potencial de mitigar riscos que não foram abordados no Mission Report. A Figura 26, na seção 6.5, exemplifica algumas dessas correções dentro do contexto do EHCS, demonstrando como as recomendações da CAST complementam e reforçam as ações inicialmente propostas.

Portanto, a análise CAST não se limita a tratar as causas imediatas dos incidentes, mas também amplia a análise para incluir fatores indiretos e sistêmicos, resultando em uma abordagem mais completa de segurança. Essa visão holística é crucial para assegurar a resiliência e a segurança do sistema como um todo. O detalhamento dessas recomendações, bem como suas aplicações em diferentes contextos, está disponível no Capítulo 5, onde são discutidas as estratégias de segurança para cada situação específica.

## 7 Conclusão e Sugestões de trabalho futuro

### 7.1 Conclusão

Neste trabalho, foi aplicada a abordagem *System-Theoretic Accident Model and Processes* (STAMP) para avaliar a operação militar Eagle Claw, com foco na *Causal Analysis based on STAMP* (CAST). A metodologia permitiu identificar os principais fatores que contribuíram para o fracasso da missão, evidenciando deficiências na coordenação, planejamento, treinamento e comunicação entre as unidades envolvidas. A análise também destacou a falta de informação adequada sobre as condições ambientais e a subestimação dos desafios logísticos, além das limitações técnicas dos equipamentos utilizados.

A abordagem STAMP demonstrou ser uma ferramenta robusta para compreender o sistema como um todo, indo além da análise dos eventos imediatos e possibilitando uma visão mais ampla dos fatores sistêmicos que levaram ao acidente. As recomendações apresentadas ao longo deste trabalho visam minimizar a probabilidade de ocorrência de falhas similares no futuro, promovendo a implementação de práticas de segurança mais eficazes e integradas.

A análise detalhada das cinco situações críticas ocorridas na operação, que incluíram a colisão entre o helicóptero 3 e o EC-130, a desistência de helicópteros por falhas no BIM, falha elétrica e falha hidráulica, e a análise do planejamento e inteligência, mostrou que muitas das falhas identificadas poderiam ter sido evitadas com um planejamento mais cuidadoso e uma abordagem sistêmica para a segurança operacional. O uso da análise CAST permitiu identificar as deficiências nos processos de controle e as interações inadequadas entre os agentes envolvidos. Assim, o presente estudo contribui para uma compreensão mais aprofundada das causas subjacentes ao fracasso da missão, fornecendo subsídios tanto para militares quanto para profissionais que atuam em situações de alta complexidade e risco.

### 7.2 Sugestões de trabalho futuro

Embora este trabalho tenha trazido uma contribuição relevante para a compreensão dos fatores envolvidos na operação Eagle Claw, existem várias possibilidades para estudos futuros. Sugere-se, por exemplo, a aplicação da abordagem STAMP em outras operações militares que envolveram falhas sistêmicas, de modo a ampliar a compreensão dos padrões

comuns que podem levar ao fracasso em missões de resgate e intervenção. Além disso, seria interessante analisar uma operação militar brasileira que obteve sucesso, como a Operação Traíra, e fazer comparações utilizando a metodologia aplicada, destacando os fatores que contribuíram para o êxito da missão.

Além disso, é recomendável explorar a aplicação da abordagem em outros contextos além do militar, como na indústria aeroespacial, em operações de emergência civil, na saúde, na indústria automotiva e em sistemas de infraestrutura crítica. Esses estudos podem contribuir para a criação de protocolos de segurança mais abrangentes e eficazes, beneficiando diferentes áreas que dependem de uma gestão rigorosa dos riscos.

Também seria interessante investigar a implementação prática das recomendações feitas em missões futuras, analisando o impacto da adoção das medidas propostas na prevenção de falhas e no sucesso operacional. A criação de estudos de caso comparativos poderia, assim, oferecer mais evidências sobre a eficiência da abordagem STAMP no gerenciamento de riscos em situações complexas.

## Referências

ACADEMIA.EDU. **Do acontecimento histórico à indústria cultural: A crise dos reféns americanos no Irã em 1979**. Disponível em: <[https://www.academia.edu/44478250/Do\\_acontecimento\\_hist%C3%B3rico\\_%C3%A0\\_ind%C3%A9stria\\_cultural\\_A\\_crise\\_dos\\_ref%C3%A9ns\\_americanos\\_no\\_Ir%C3%A3\\_em\\_1979](https://www.academia.edu/44478250/Do_acontecimento_hist%C3%B3rico_%C3%A0_ind%C3%A9stria_cultural_A_crise_dos_ref%C3%A9ns_americanos_no_Ir%C3%A3_em_1979)>.

Acesso em: 02 nov. 2024.

CANDIDO, G. C. P. **Uso da abordagem STAMP na análise de acidentes com helicópteros offshore**. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Itajubá, 2019.

CAVOK. **Operação Eagle Claw: Fracasso americano no deserto do Irã**. 23 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.cavok.com.br/operacao-eagle-claw-fracasso-americano-no-deserto-do-ira-operation-eagle-claw-ch-153>>.

Acesso em: 20 out. 2024.

DULAC, N. **A framework for safe system design and operation using system-theoretic accident model and processes (STAMP)**. Massachusetts Institute of Technology, 2007.

ESPÍRITO SANTO, M. M.; BALDASSO, T. O. **A Revolução Iraniana: Rupturas e Continuidades na Política Externa do Irã**. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/RevistaPerspectiva/article/view/80167>>. Acesso em: 29 out. 2024.

FARAWAYMAN. **Operation Eagle Claw Routes**. 19 nov. 2020. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Operation\\_Eagle\\_Claw\\_Routes.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Operation_Eagle_Claw_Routes.png)>. Acesso em: 20 out. 2024.

HOLZWORTH, C. E. **Operation Eagle Claw: A Catalyst for Change in the American Military**. U.S. Marine Corps, 1997. Disponível em: <<https://www.globalsecurity.org/military/library/report/1997/Holzworth.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2024.

JENKINS, M. R.; THOMAS, P. L. **Helicopter rotor blade crack detection using pressurized gas systems**. Journal of Aircraft Maintenance Technology, v. 45, n. 3, p. 203–210, 1979.

LI, W.-C.; HARRIS, D.; YU, C.-S. **Routes to failure: Analysis of 41 civil aviation accidents from the Republic of China using the Human Factors Analysis and Classification System.** *Accident Analysis & Prevention*, v. 40, n. 2, p. 426–434, 2008.

LEVESON, N. **Engineering a safer world: systems thinking applied to safety.** [S.l.]: The MIT Press, 2011.

MÜLLER, M. M.; BALDASSO, T. O. **As Doze Questões Fundamentais de Karl Deutsch e as Relações Internacionais entre Irã e EUA após a Revolução Iraniana de 1979.** Disponível em: <<https://www.academia.edu/68081131>>. Acesso em: 01 nov. 2024.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents.** [S.l.]: Ashgate Publishing Limited, 1997.

SILVA, I. J. L. **Aplicação da abordagem STAMP na análise de ocorrências aeronáuticas na operação civil brasileira.** Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Itajubá, 2016.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution.** 2nd Edition. ASQ Quality Press, 2003.

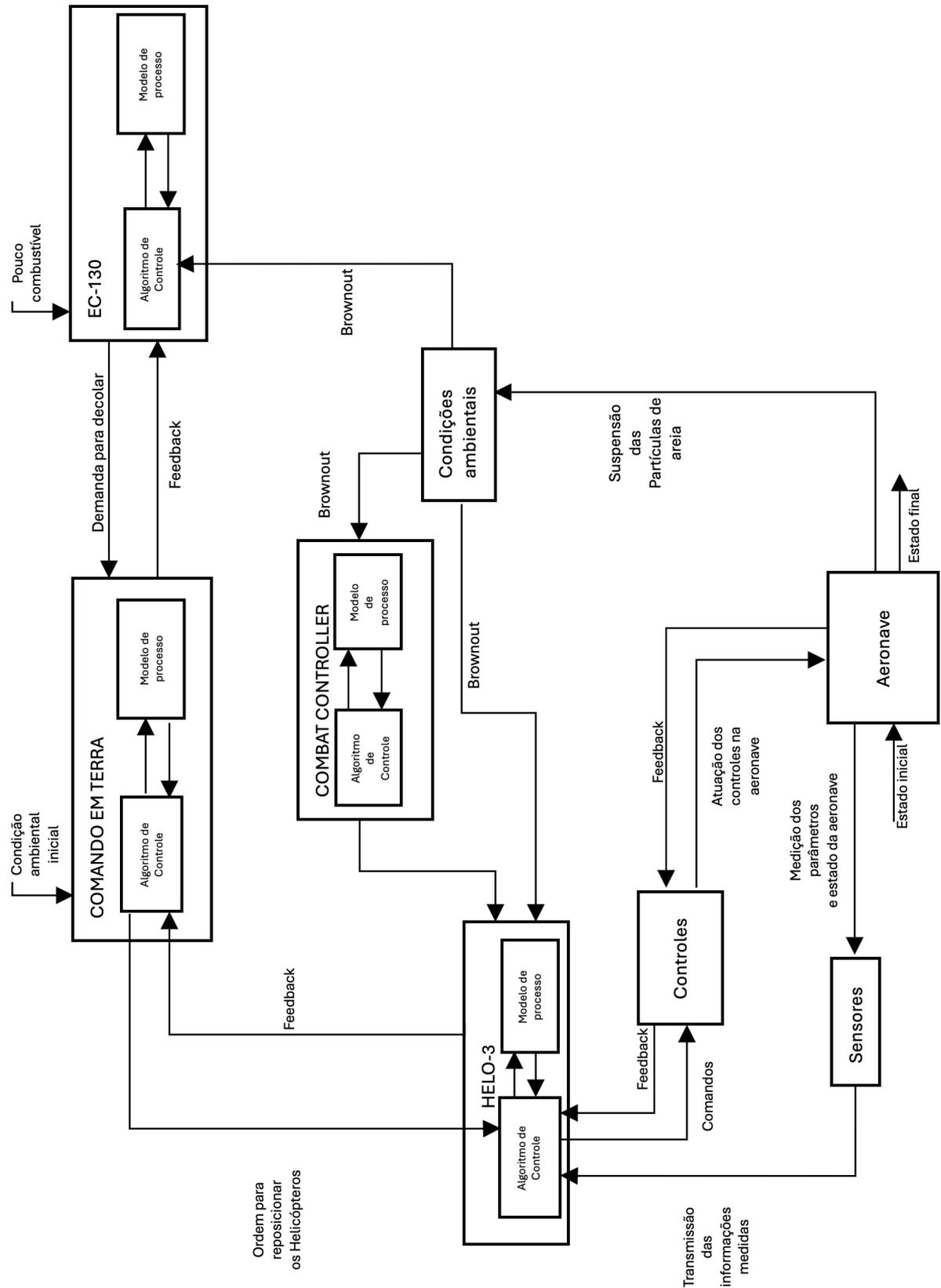
THE OPERATIONS ROOM. **Operation Eagle Claw - US Special Forces Attempt Daring Iranian Hostage Rescue, 1980.** 02 out. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pgNY5btqQYQ>>. Acesso em: 02 nov. 2024.

UNITED STATES. **Rescue mission report: Special report to the president by the secretary of defense.** Washington, D.C.: Government Printing Office, 1980.

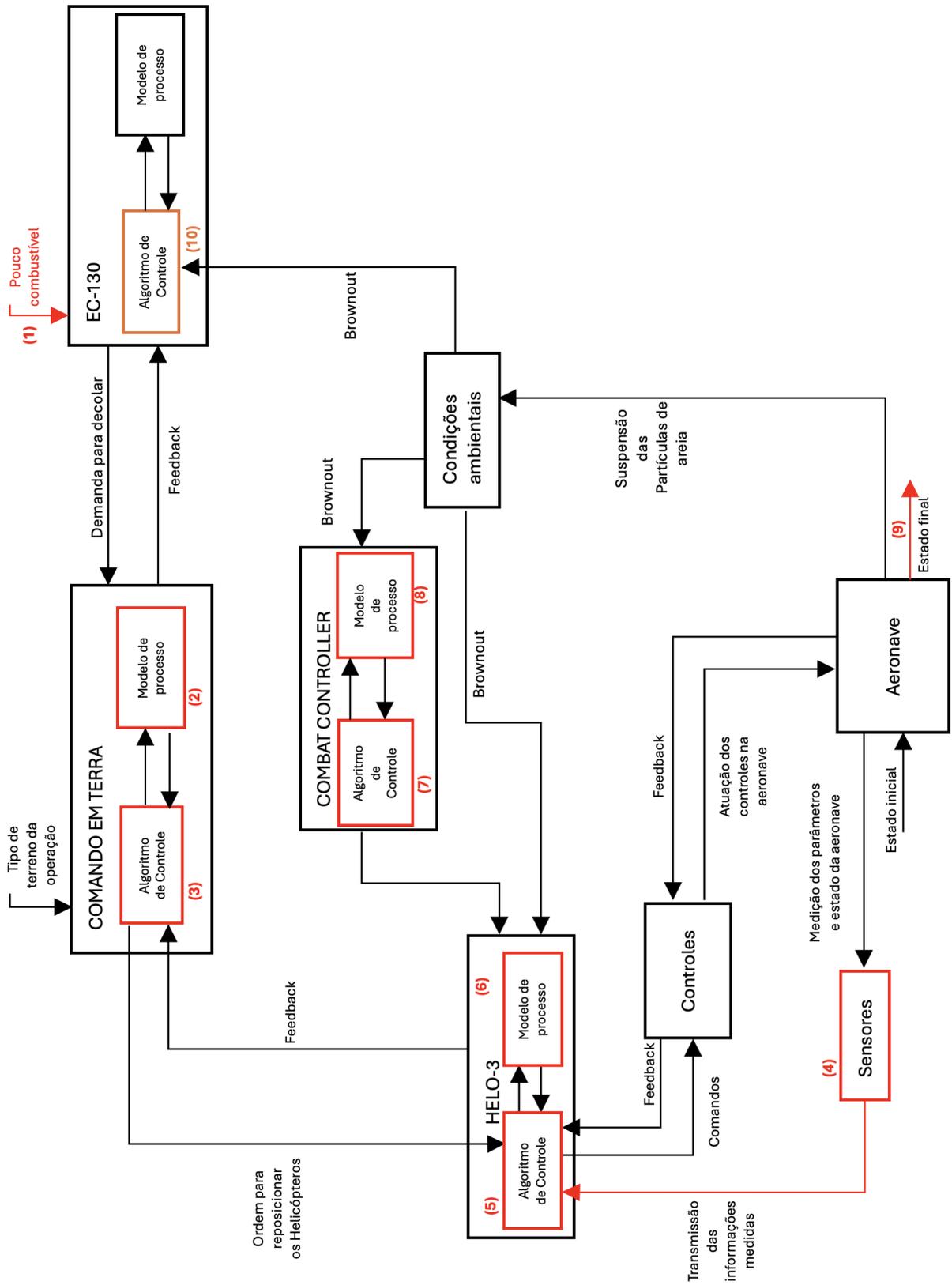
WIEGMANN, D. A.; SHAPPELL, S. A. **A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System.** Ashgate Publishing, 2003.

ZANONI, D. A. **Narrativa jornalística e representações: A crise dos reféns do Irã através da Revista Veja (1979-1981).** Disponível em: <<https://www.periodicos.ufpb.br/index.php/srh/article/view/42139>>. Acesso em: 02 nov. 2024.

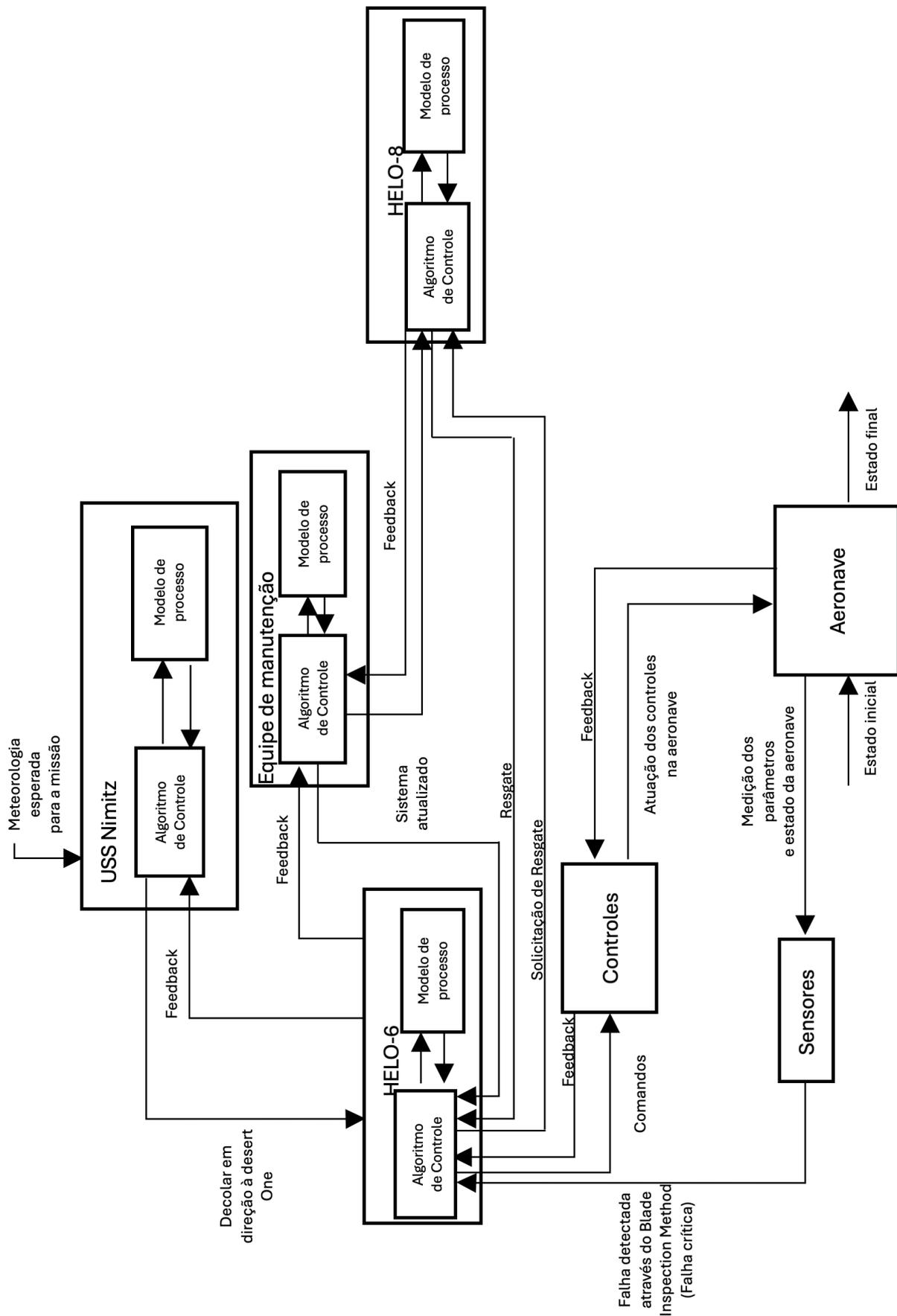
# APÊNDICE A - Figura 4.1 Ampliada



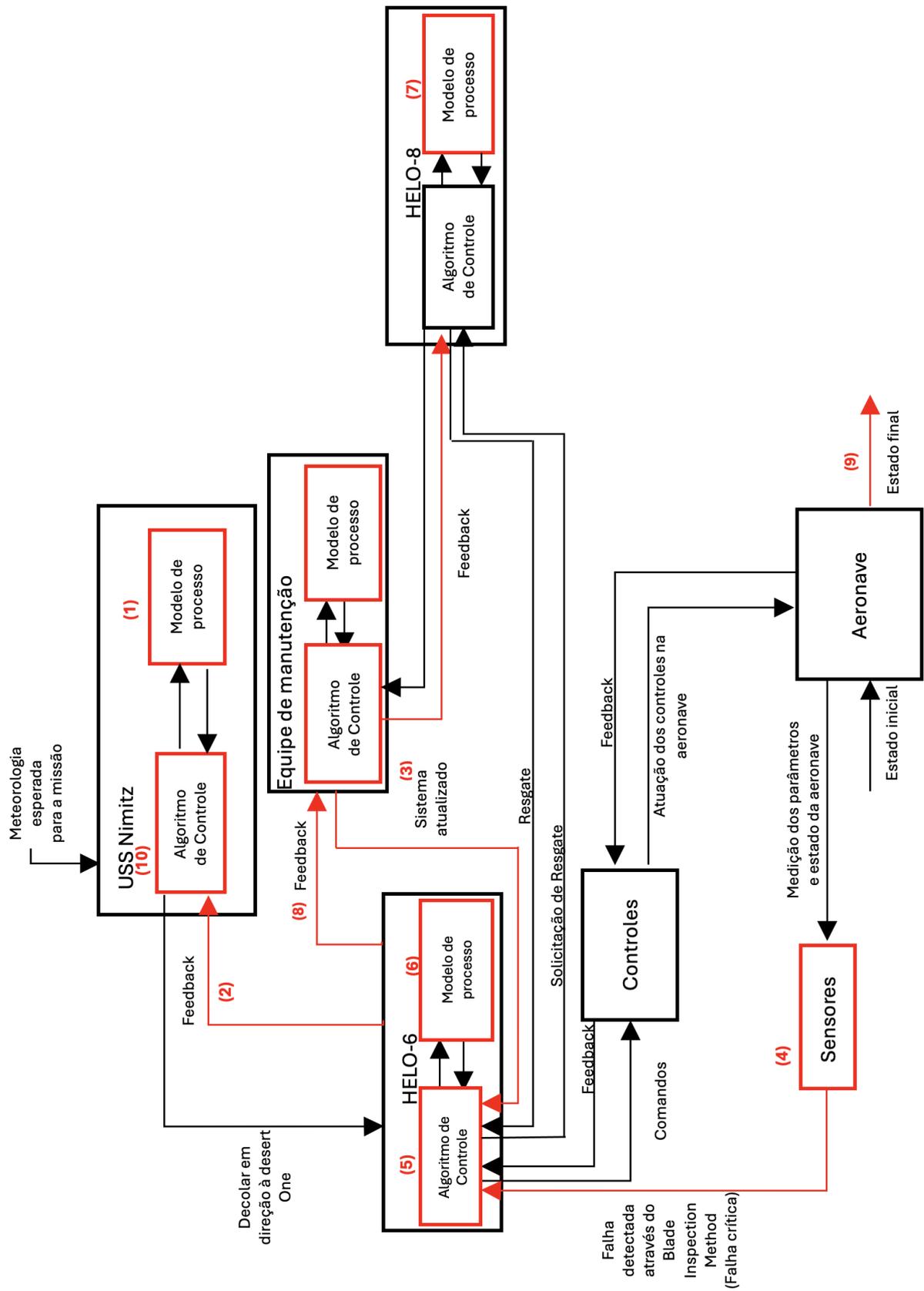
## APÊNDICE B - Figura 4.2 Ampliada



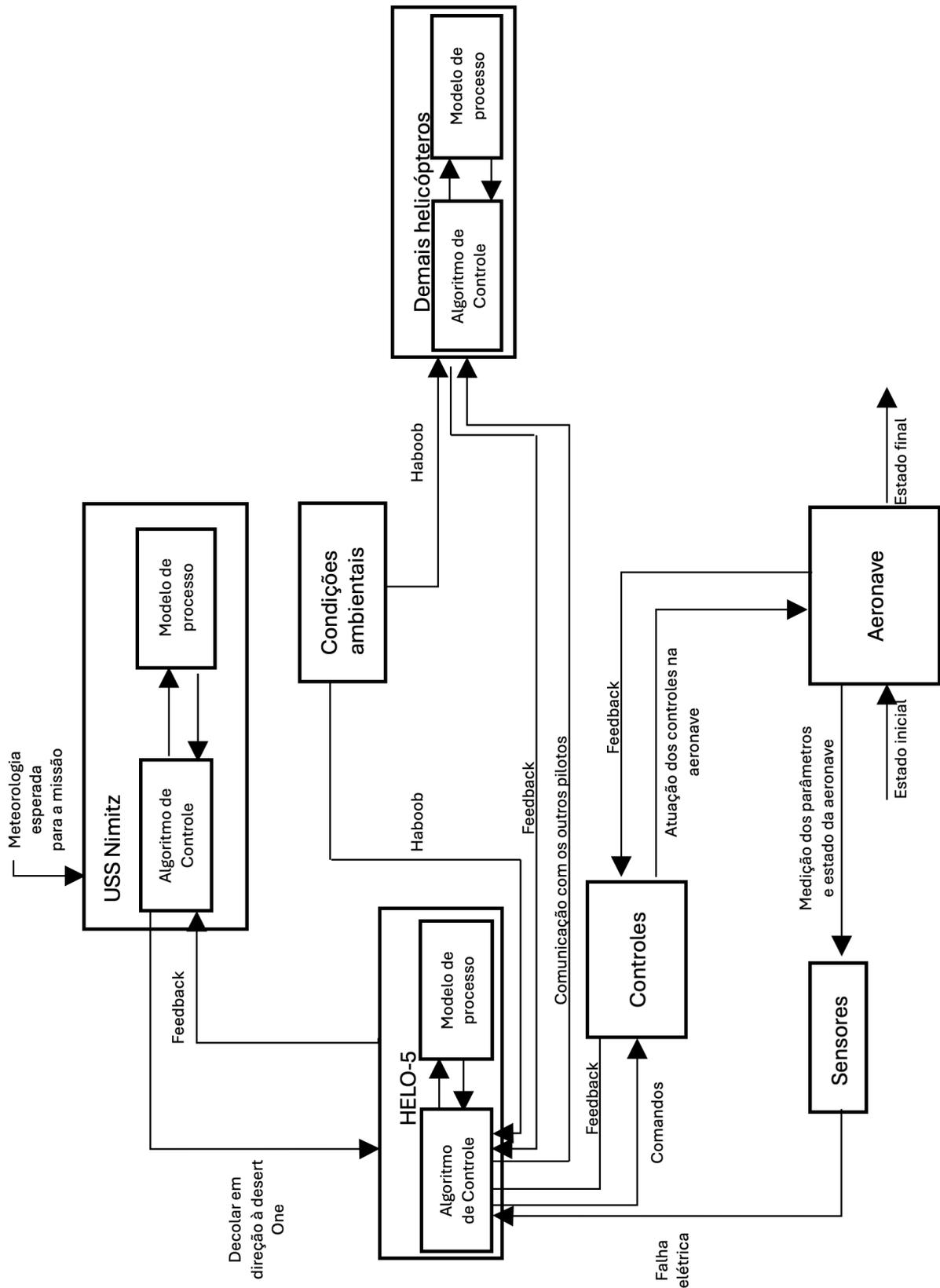
## APÊNDICE C - Figura 4.3 Ampliada



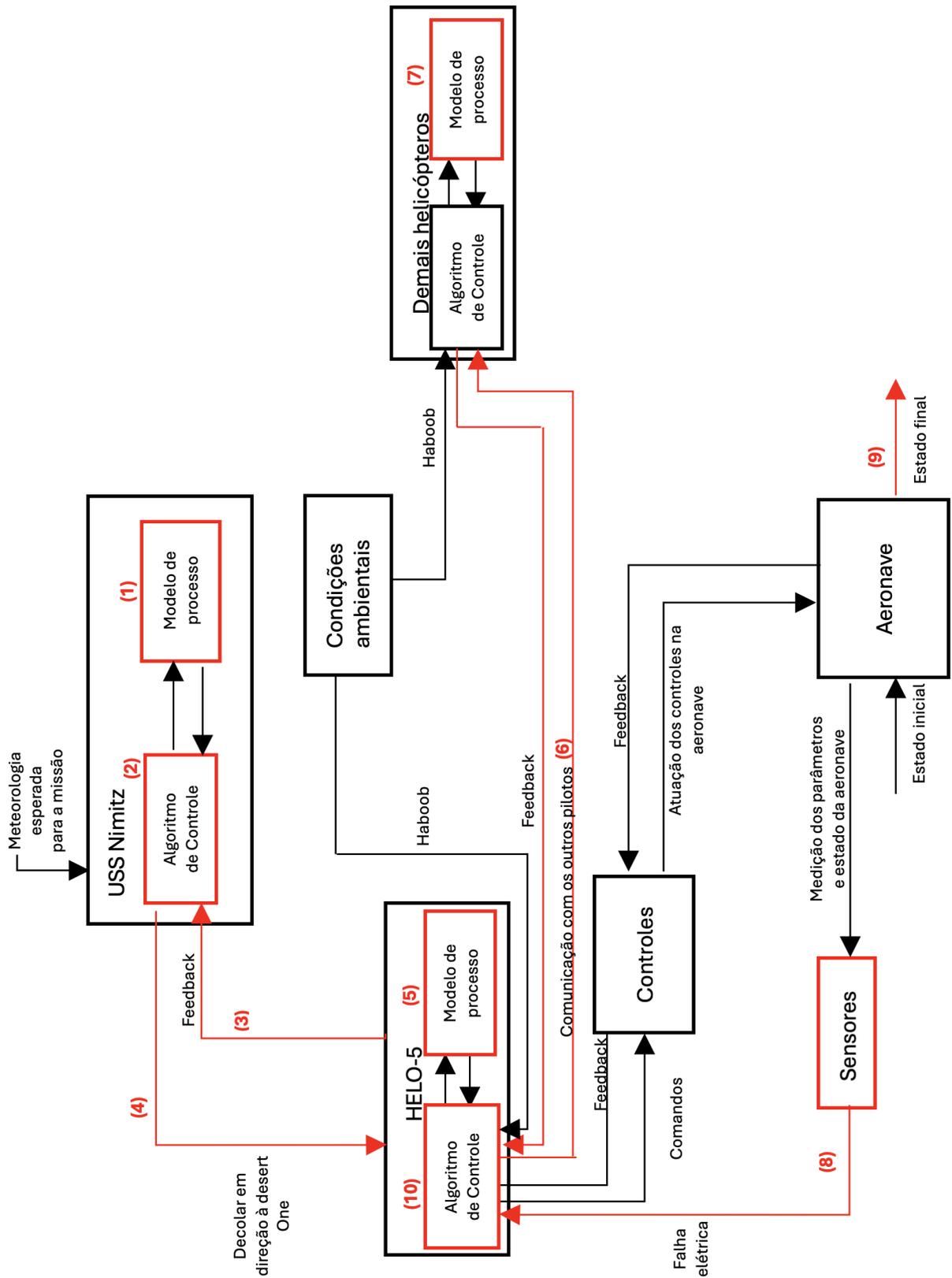
## APÊNDICE D - Figura 4.4 Ampliada



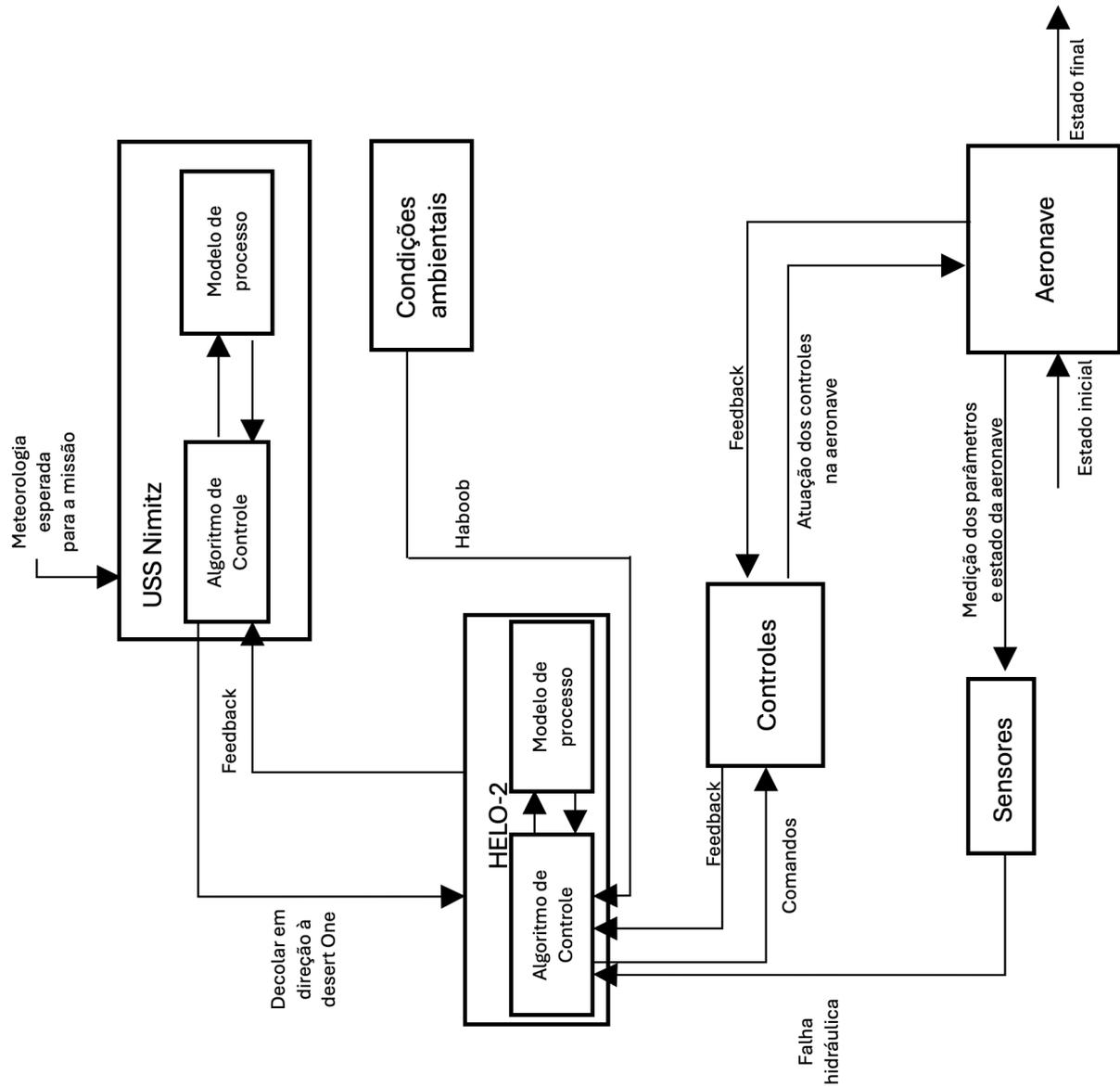
## APÊNDICE E - Figura 4.5 Ampliada



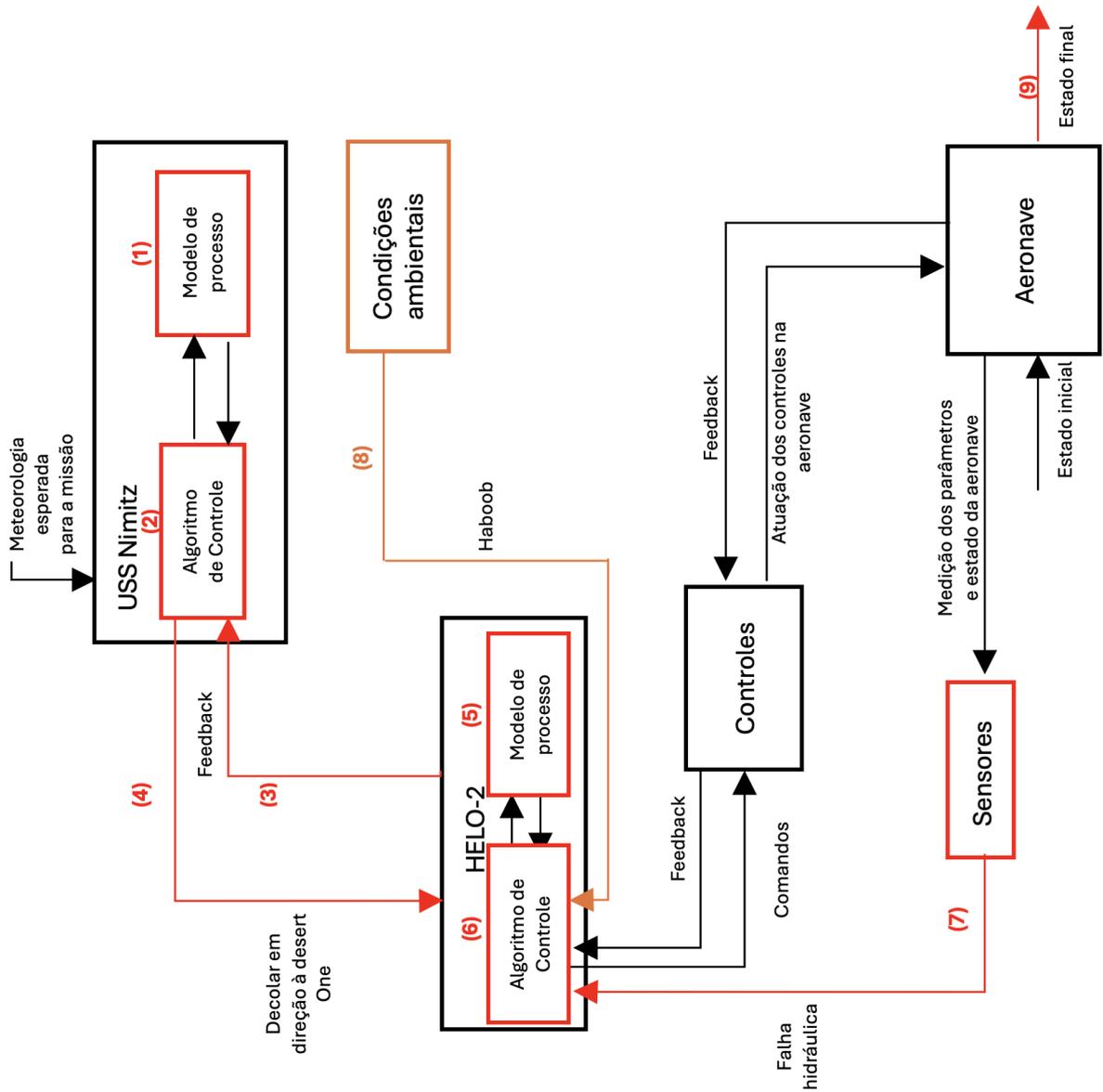
## APÊNDICE F - Figura 4.6 Ampliada



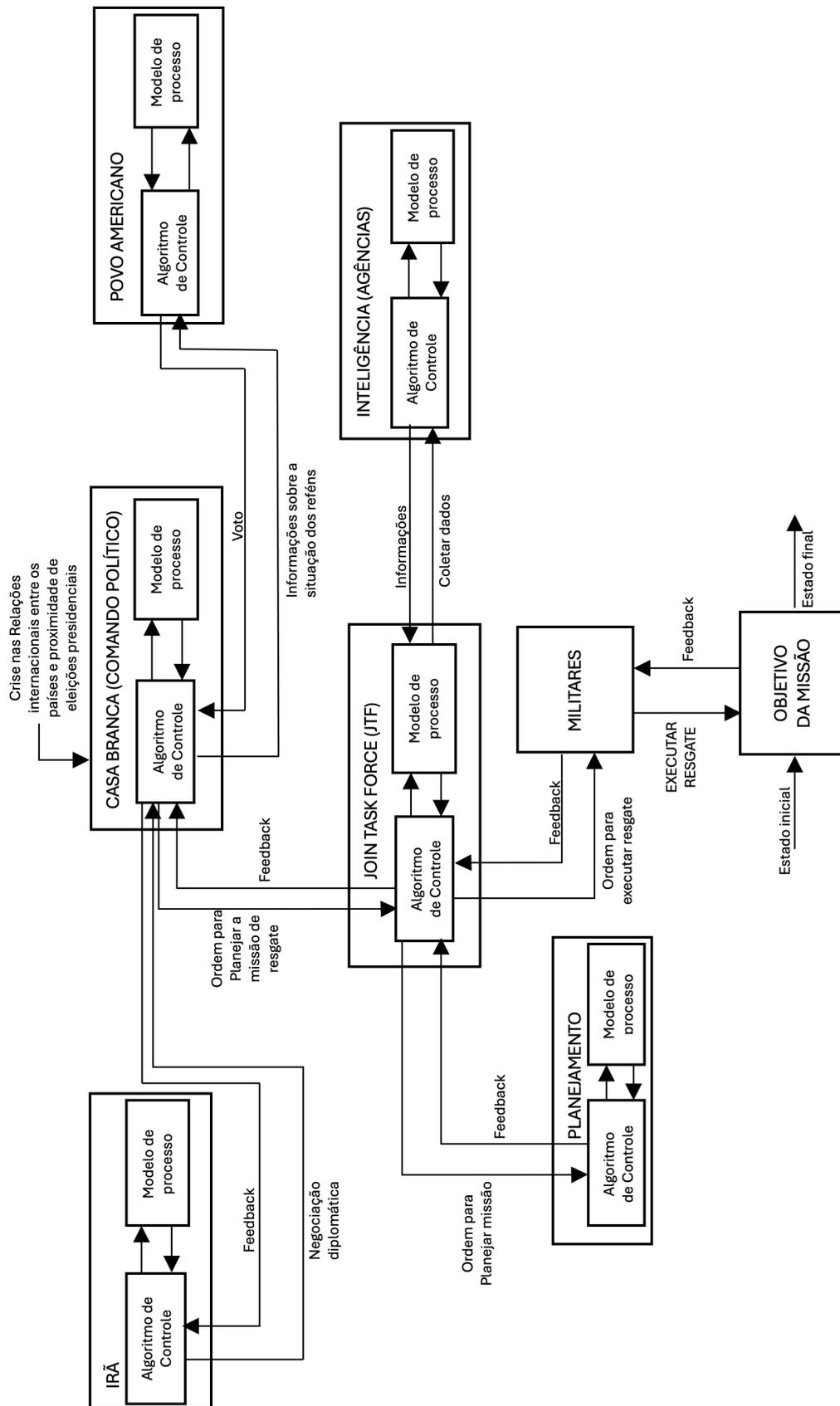
## APÊNDICE G - Figura 4.7 Ampliada



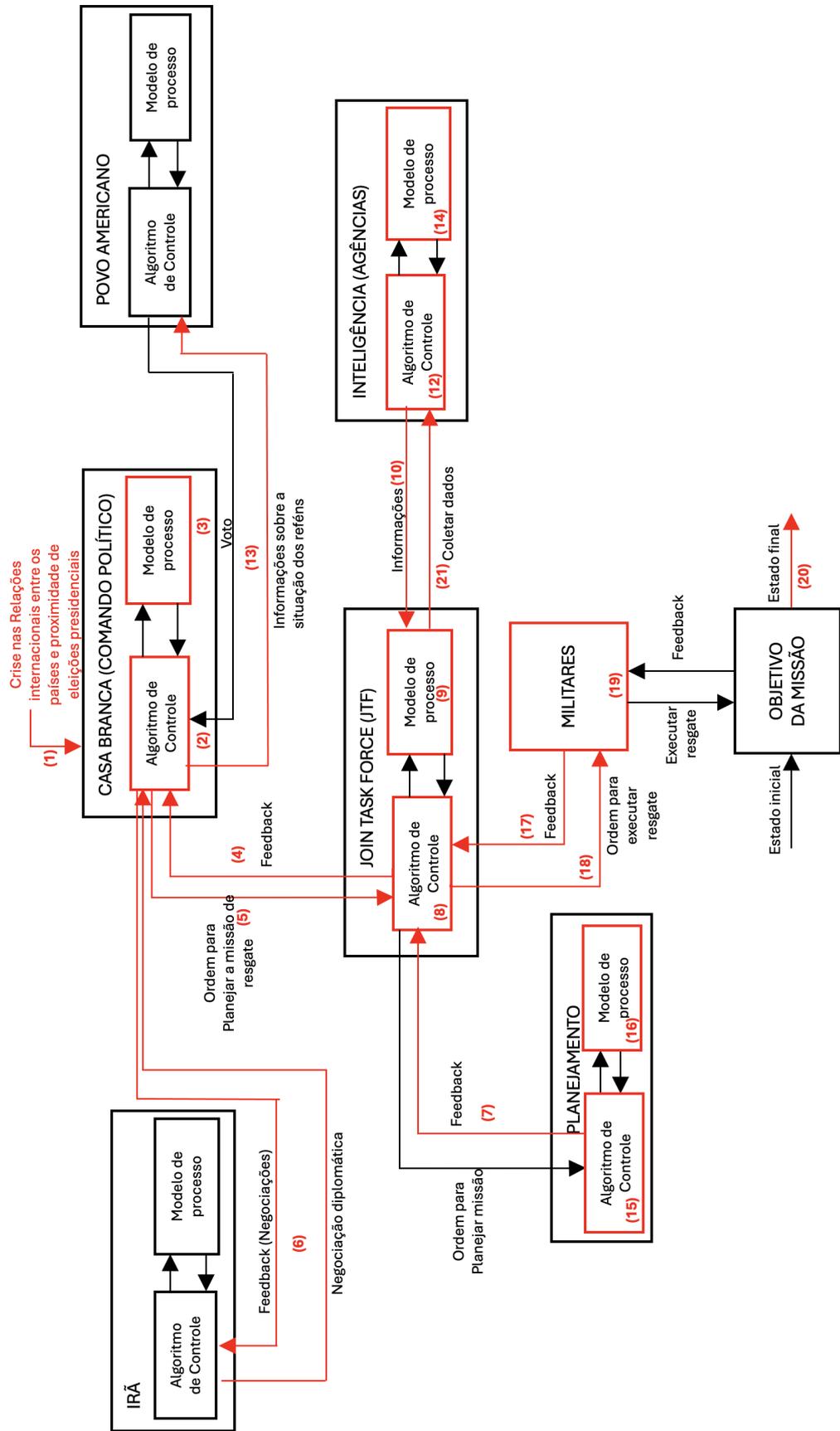
## APÊNDICE H - Figura 4.8 Ampliada



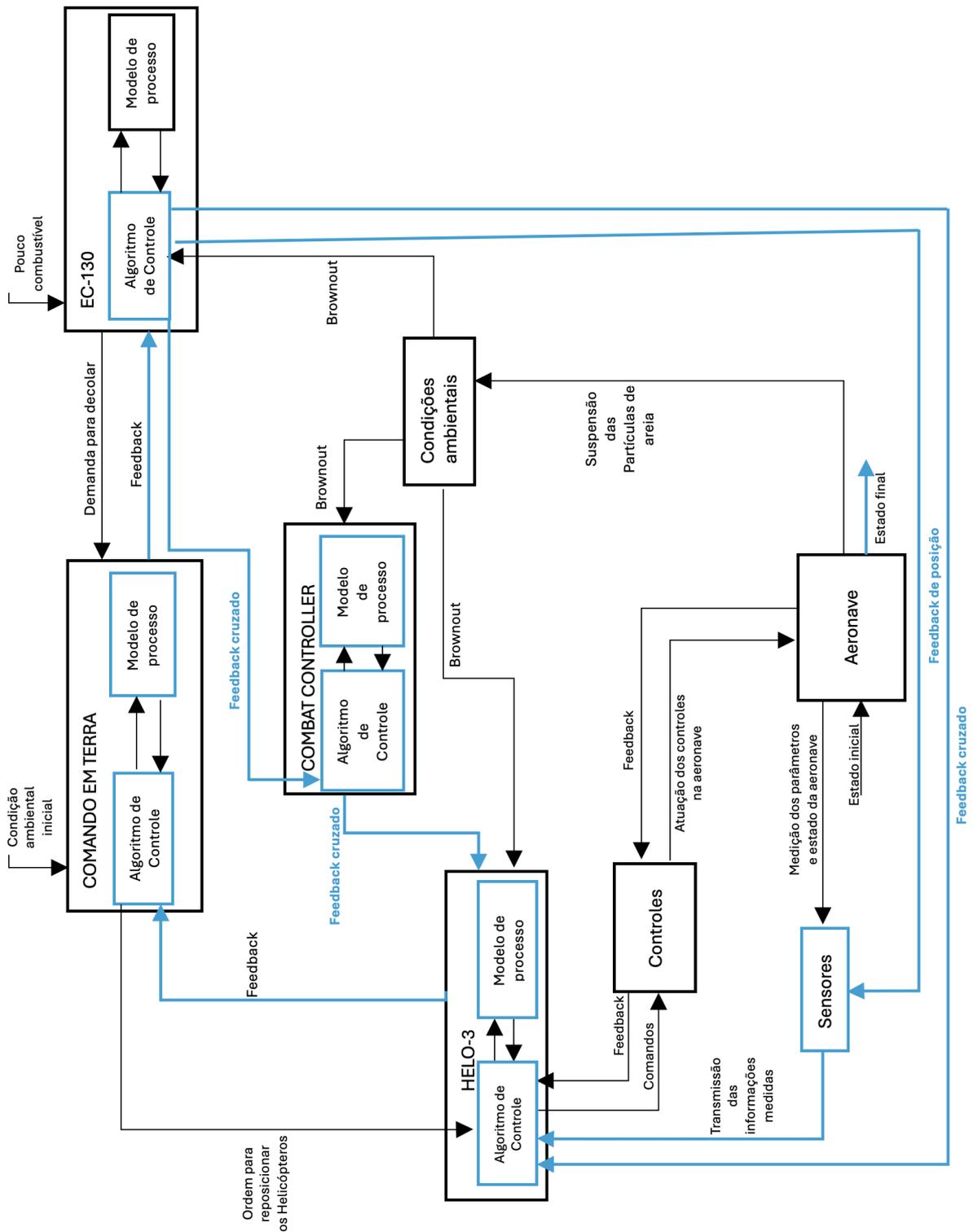
# APÊNDICE I - Figura 4.9 Ampliada



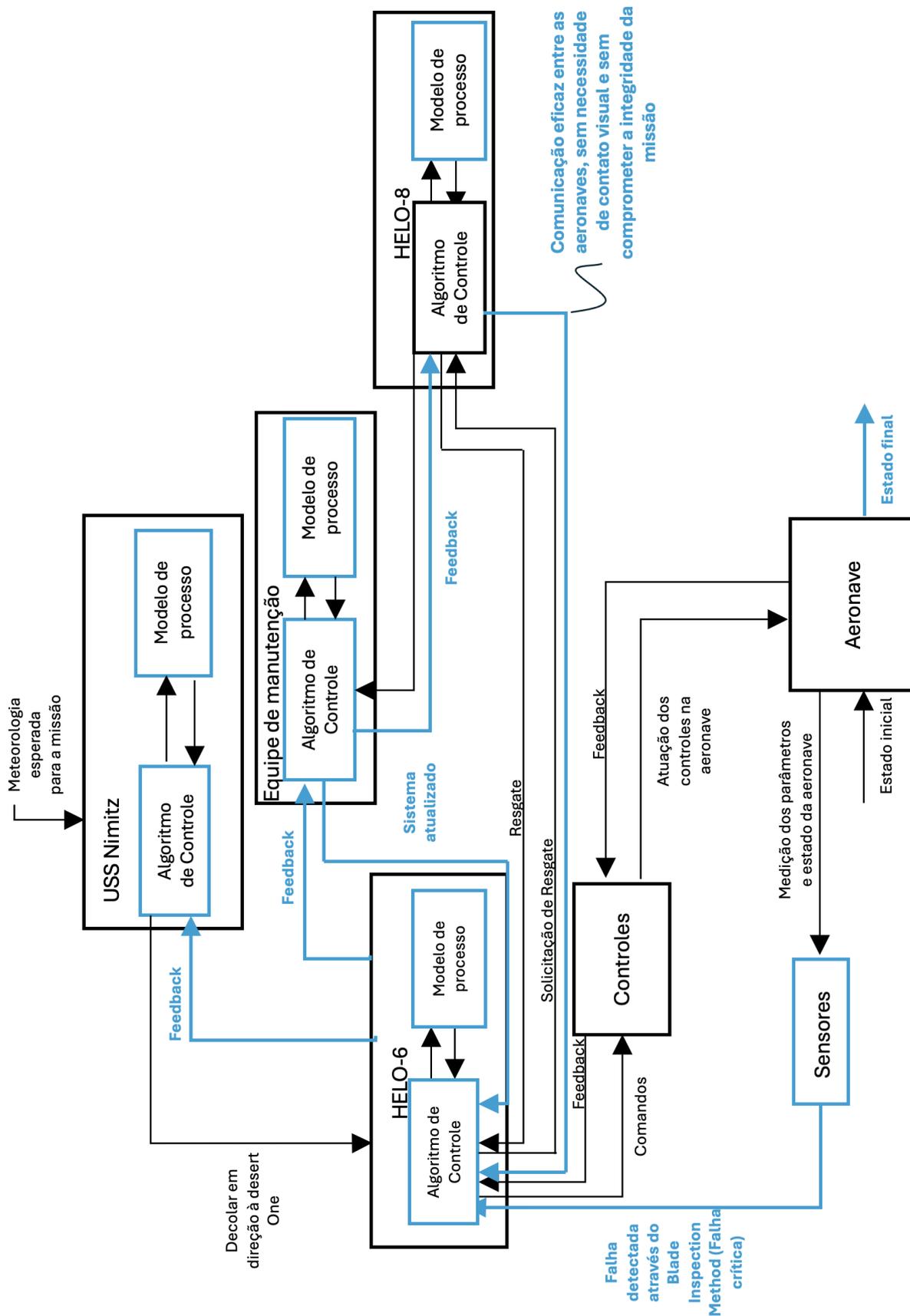
# APÊNDICE J - Figura 4.10 Ampliada



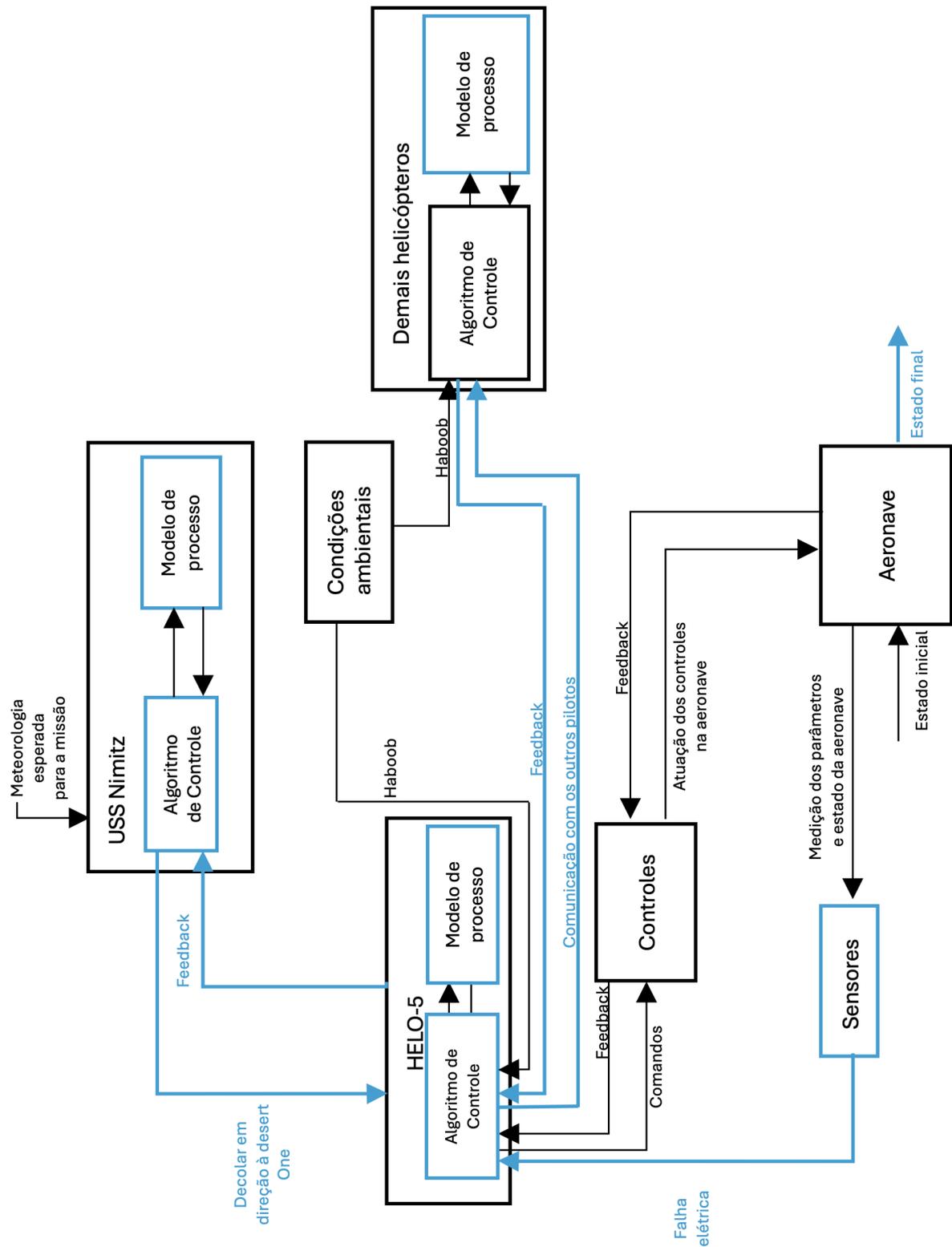
# APÊNDICE K - Figura 5.1 Ampliada



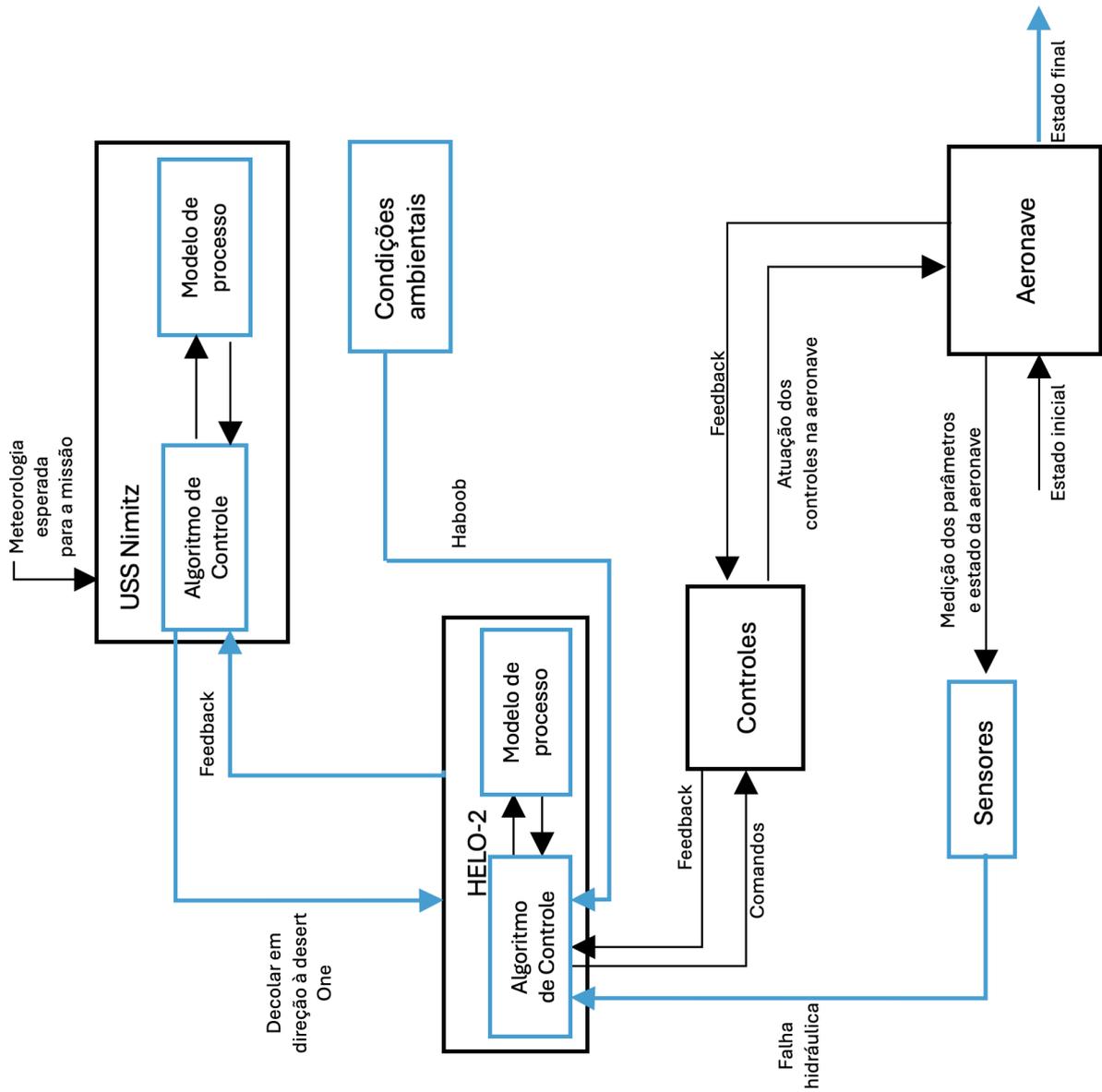
## APÊNDICE L - Figura 5.2 Ampliada



## APÊNDICE M - Figura 5.3 Ampliada



## APÊNDICE N - Figura 5.4 Ampliada



# APÊNDICE O - Figura 5.5 Ampliada

