

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO**



**RELATÓRIO DA INVESTIGAÇÃO DO
ACIDENTE OCORRIDO COM O VLS-1 V03,
EM 22 DE AGOSTO DE 2003, EM
ALCÂNTARA, MARANHÃO**

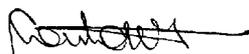
**São José dos Campos
Fevereiro 2004**

Primeiras impressões limitadas ao
Ministro de Estado da Defesa, ao Comandante da Aeronáutica, ao Diretor Geral do Departamento de Pesquisas e
Desenvolvimento do Comando da Aeronáutica, ao Diretor do Centro Técnico Aeroespacial e à Comissão Técnica de
Investigação do Acidente do VLS-1 V03
Fevereiro 2004

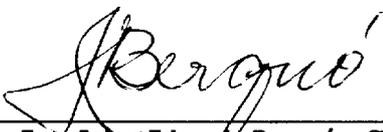
Impressões subsequentes e distribuição pelo Ministério da Defesa

RELATÓRIO DA INVESTIGAÇÃO DO ACIDENTE OCORRIDO COM O VLS-1 V03, EM 22 DE AGOSTO DE 2003, EM ALCÂNTARA, MARANHÃO

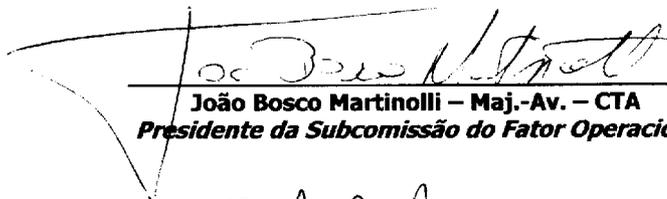
Elaborado por



Brig.-do-Ar Marco Antonio Couto do Nascimento – CTA
Presidente da Comissão



Eng. Jolan Eduardo Berquó – CTA
Presidente da Subcomissão do Fator Material



João Bosco Martinolli – Maj.-Av. – CTA
Presidente da Subcomissão do Fator Operacional



Elizabeth Cabral Coelho - Maj.-QFO.-Psc. – IPA
Presidente da Subcomissão do Fator Humano

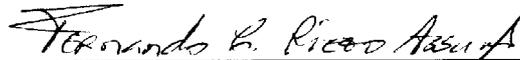


Cleber Souza Corrêa - Cap./Esp.-Met. – DTCEA-PA
Presidente da Subcomissão do Fator Meteorológico

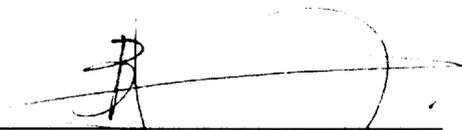
De acordo



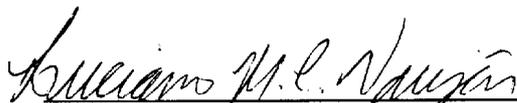
Dr. Paulo Murilo Castro de Oliveira - SBF
Representante da Comunidade Científica



Dr. Fernando Cosme Rizzo Assunção - ABC
Representante da Comunidade Científica



Dr. Carlos Henrique de Brito Cruz - SBPC
Representante da Comunidade Científica



Dr. Luciano Magno Costalonga Varejão
Representante das Famílias das Vítimas

São José dos Campos, 10 de fevereiro de 2004

PREFÁCIO

No início da tarde do dia 22 de agosto de 2003, o terceiro protótipo do veículo lançador de satélites brasileiros (VLS-1 V03) foi destruído por um incêndio, durante os preparativos para o lançamento.

Acidentes, como ensina a longa e freqüentemente sofrida experiência humana, raramente são obras do acaso. Ao contrário, costumam ser o último elo de uma cadeia de eventos, razão pela qual formou-se a consciência de que as comissões constituídas para investigá-los não devem ver a investigação como um fim em si mesma, mas como um poderoso instrumento de diagnóstico, por meio do qual é possível atingir níveis de desempenho operacional mais seguros.

Consoante a essa orientação, a Comissão Técnica de Investigação foi dividida em quatro grupos, aqui referidos como Subcomissão do Fator Meteorológico, do Fator Material, do Fator Operacional e do Fator Humano.

As duas primeiras Subcomissões - Fator Meteorológico e Fator Material - tiveram como objetivo principal identificar as possíveis causas físicas do acidente. As Subcomissões do Fator Operacional e do Fator Humano cobriram um amplo leque de aspectos individuais, psicossociais e organizacionais, visando permitir, ao final do processo, uma compreensão objetiva do acidente e das circunstâncias em que ocorreu.

O resultado de todo esse trabalho, conduzido ao longo de 172 dias, é agora apresentado nas páginas deste relatório. Ao concluí-lo e assiná-lo, a Comissão Técnica de Investigação afirma sua convicção de que as atividades espaciais do Brasil, por seu conteúdo científico e tecnológico, pelos benefícios à sociedade e por sua importância estratégica devem ter continuidade, porém na forma de um Programa de Estado (não de Governo) e sob o primado da segurança. Essas mudanças são consideradas essenciais para o fortalecimento e o conseqüente sucesso do programa, o que além de cumprirem a expectativa da sociedade brasileira, configurariam uma justa homenagem aos 21 profissionais que perderam a vida neste acidente.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

1. LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - SONDA I. Dimensões em milímetros.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2 – SONDA I na rampa de lançamento.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 3 - SONDA II. Dimensões em milímetros.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 4 - SONDA II na rampa de lançamento.</i>	<i>4</i>
<i>Figura 5 - SONDA III. Dimensões em milímetros.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 6 – SONDA III na rampa de lançamento.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 7 - SONDA IV. Dimensões em milímetros.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 8 – SONDA IV na mesa de lançamento.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 9 - Configuração do VLS-1.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 10 - Configuração do primeiro estágio.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 11 – Configuração do segundo estágio.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 12 – Configuração do terceiro estágio.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 13 - Configuração do quarto estágio.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 14 – Configuração da coifa principal.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 15 - Perfil típico de missão do VLS-1.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 16 - Síntese do plano de montagem.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 17 - Teste das redes elétricas integradas.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 18 - Teste de pirotécnicos do sistema de separação do primeiro estágio.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 19 - Teste de separação da coifa principal.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 20 - Carregamento da aeronave Hércules (C-130) em D-68.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 21 - Propulsor estocado no CLA, quando da interrupção da Operação São Luís.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 22 - Vista do prédio de preparação dos propulsores na retomada da Operação.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 23 - Içamento para integração do segundo estágio.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 24 - Içamento para integração do primeiro estágio.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 25 - Colocação propulsor B do primeiro estágio.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 26 - Terceiro estágio já acoplado no VLS-1 V03.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 27 - Baía de controle sendo integrada ao Veículo, na torre móvel de integração.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 28 - Vista interna da baía de equipamentos.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 29 - Integração do quarto estágio.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 30 - Acoplamento do satélite ao Veículo.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 31 - Fechamento da coifa principal.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 32 - Verificação da verticalidade do Veículo.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 33 - Imagem do satélite meteorológico GOES - 12, canal dois infravermelho, à 00h 11min, horário local, do dia 17 de agosto.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 34 - Imagem do satélite meteorológico GOES - 12, canal dois infravermelho, às 18h 39min, horário local, do dia 17 de agosto.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 35 - Imagem do satélite meteorológico GOES – 12, canal dois infravermelho, às 21h 12min, horário local, do dia 18 de agosto.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 36 - Distribuição dos valores de precipitação que ocorreram na madrugada do dia 19 de agosto. Dados coletados pela estação DAVIS.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 37 - Imagem GOES 12 – visível, das 12h, horário local, do dia 22 de agosto.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 38 - Vista aérea do setor de preparação e lançamento do CLA.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 39 - Vista frontal da torre móvel de integração.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 40 - Esboço representando o VLS-1 V03 no interior da torre móvel de integração. As siglas utilizadas no esboço são: TMI – torre móvel de integração; PPP – prédio de preparação dos propulsores.....</i>	<i>29</i>

<i>Figura 41 - Registro das câmeras de vigilância do CLA, no instante de 13h 26min 06s. A imagem da câmera 4 foi editada com o objetivo de remover as pessoas presentes no local.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 42 - Registro das câmeras de vigilância do CLA, no instante de 13h 26min 07s. A imagem da câmera 4 foi editada com o objetivo de remover as pessoas presentes no local.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 43 - Registro da imagem tomada pela câmera 6, localizada sobre o prédio de preparação de propulsores.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 44 - Clarão observado na parte mais alta da torre móvel de integração às 13h 30min 27s.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 45 - Propulsor do quarto estágio é lançado para fora da torre móvel de integração.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 46 - Fragmento de bloco propelente do quarto estágio queimando no solo.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 47 - Detalhe dos planos inclinados formados pelos defletores.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 48 - Defletor que ficava posicionado sob o propulsor A </i>	<i>33</i>
<i>Figura 49 - Defletor que ficava posicionado sob o propulsor A.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 50 - Defletor de um dos três outros propulsores do primeiro estágio.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 51 - Vista superior da parte central da mesa de lançamento. O vão central ficava exatamente em baixo do propulsor do segundo estágio. À esquerda, no vão, é possível observar o que restou do propulsor.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 52 - Representação esquemática de uma tubeira.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 53 - Garganta do propulsor do segundo estágio.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 54 - Detalhe do inserto carbono-carbono da garganta do propulsor do segundo estágio.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 55 - Garganta do propulsor A do primeiro estágio.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 56 - Detalhe do inserto carbono-carbono da garganta do propulsor A do primeiro estágio. Observa-se que há “estrias” (ou desgaste) aparentes, o que indica que fluxo de gases passou por essa região.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 57 - Imagem das vigas que tiveram material removido por ação do jato de gás quente do propulsor A (ação de maçarico).</i>	<i>35</i>
<i>Figura 58 - Vista lateral da torre móvel de integração, lado dos propulsores A e B.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 59 - Vista lateral da torre móvel de integração, lado dos propulsores C e D.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 60 - Vista da parte traseira da torre móvel de integração, lado dos propulsores A e B.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 61 - Vista lateral direita da torre móvel de integração, mostrando, no detalhe, as regiões de deposição de resíduos de alumínio. A região identificada com o número 02 é a do cone de deposição de alumínio; a de número 01 assinala dois pontos onde blocos de propelente queimaram.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 62 - Detalhe do piso de concreto, na lateral direita da torre móvel de integração, podendo-se perceber, com clareza, a deposição de resíduos de alumínio em forma de cone, projetando-se, inclusive, sobre o guarda-corpo que protege a entrada da sala de interface.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 63 - Causas possíveis do funcionamento intempestivo do propulsor A (primeiro nível da árvore de falha).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 64 - Conjunto de ignição dos propulsores do VLS.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 65 - Possíveis causas de ignição do propulsor A do primeiro estágio.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 66 - Vista superior de um propulsor, mostrando a posição dos detonadores e dos dois sensores de pressão.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 67 - Conjuntos de iniciação recuperados. Da esquerda para a direita: par de conjuntos pertencentes ao propulsor A, conjunto do estoque, conjunto do propulsor B e conjunto reserva, queimado no incêndio.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 68 - Da esquerda para a direita, o primeiro conjunto pertence ao propulsor B e o segundo e terceiro pertencem ao propulsor do quarto estágio.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 69 - Da esquerda para a direita, os dois primeiros conjuntos eram conjuntos reservas; o terceiro é um conjunto que estava montado no propulsor “D”; o quarto conjunto pertencia ao segundo estágio e o quinto e o sexto pertenciam ao propulsor “C”.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 70 - Esboço da mesa de lançamento, em duas vistas, mostrando a posição dos destroços identificados.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 71 - Radiografia superior: conjunto original do sistema de ignição (não acionado), com destaque de algumas partes do detonador elétrico (peça inferior) e do iniciador por onda de choque (peça superior). Radiografia inferior: conjunto de iniciação ensaiado no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) (conjunto acionado).</i>	<i>45</i>

<i>Figura 72 - Radiografias dos conjuntos de iniciação recuperados. Na primeira linha, da esquerda para a direita: conjunto dos propulsores A e B; o terceiro é um dos reservas. Segunda linha, também da esquerda para a direita: conjunto do propulsor B e dois do propulsor do quarto estágio.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 73 - Conjuntos de iniciação do propulsor C (em corte), evidenciando características de detonação, tanto nos detonadores quanto nos iniciadores por onda de choque.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 74 - Conjuntos de iniciação do propulsor C, únicos encontrados em seus alojamentos de alumínio.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 75 - Radiografia do segundo conjunto de iniciação do propulsor A do primeiro estágio.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 76 - Radiografia de um conjunto de iniciação original (não acionado).</i>	<i>47</i>
<i>Figura 77 - Causas possíveis de acionamento do detonador pela “linha de fogo”.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 78 - Fotografia do detonador suspeito de ter provocado o acionamento intempestivo do propulsor A. Observa-se que os pinos de conexão não sofreram entortamento. Em aproveitamento, é mostrada também a deformação provocada pelo acionamento do detonador.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 79 - Sistema elétrico de ignição dos propulsores do primeiro estágio.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 80 - Vista frontal do painel de disparo (titular – superior - e reserva – inferior).</i>	<i>51</i>
<i>Figura 81 - Vista traseira do painel de disparo. (titular – superior - e reserva – inferior).</i>	<i>51</i>
<i>Figura 82 - Quadro de distribuição de linhas umbilicais da casamata mostrando a integridade das ligações das linhas utilizadas para comandar o funcionamento dos propulsores do primeiro estágio.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 83 - Quadro de distribuição de linhas umbilicais da sala de interface mostrando a integridade das ligações das linhas utilizadas para comandar o funcionamento dos propulsores do primeiro estágio.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 84 - Componente pirotécnico íntegro após 02 horas e 03 minutos de ensaio com baixa corrente.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 85 - Detalhe do dispositivo de passagem de corrente pela carcaça do detonador.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 86 - Posicionamento dos conectores.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 87 - Conector utilizado no Veículo.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 88 - Representação simplificada da “linha de fogo” com a caixa de relés na condição de SEGURANÇA.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 89 - Centelha saltando do pino para a carcaça, durante a simulação em laboratório.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 90 – Árvore de falhas(a).</i>	<i>57</i>
<i>Figura 91 – Árvore de falhas (b).</i>	<i>58</i>
<i>Figura 92 - Vistas de caixas de passagem de cabos elétrico.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 93 - Organograma das funções de segurança operacional do CLA. Referência: documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 94 - Estrutura funcional da Operação, segundo o documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 95 - Organograma de coordenação da Operação São Luís, segundo o Plano de Operações 006/2002 – DEPED (de 15 de julho de 2002).</i>	<i>64</i>
<i>Figura 96 - Modelo Reason, apresentado por Moreira¹⁴.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 97 - Necessidade de recursos humanos, conforme visualizado pela Missão Espacial Completa Brasileira, para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 98 - Recursos humanos efetivamente alocados para desenvolvimento de lançadores e tecnologias associadas. Fonte: Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE). Referência: julho de 2003.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 99 - Comparação entre os recursos humanos mínimos necessários e os efetivamente alocados.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 100 - Totais acumulados de recursos financeiros, conforme estimados pela Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica. O planejamento da MECB estendeu-se até 1996, apenas. Fonte: CTA/IAE.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 101 - Comparação entre valores acumulados de recursos financeiros estimados (curva superior) e os efetivamente alocados (curva inferior) para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas. Fonte: CTA/IAE.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 102 - Desembolso anual de recursos financeiros para a condução da vertente de veículos lançadores e infra-estruturas associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica. Fontes: Agência Espacial Brasileira - AEB (Jan/2004) e MECB.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 103 - Distribuição, por cargo, dos servidores vitimados no acidente.</i>	<i>90</i>

<i>Figura 104 - Distribuição, por tempo de serviço, dos servidores vitimados no acidente.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 105 - Distribuição por faixa etária.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 106 - Qualificação básica para a função.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 107 - Qualificação específica para a função.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 108 - Quantidade de servidores por escore (grau) de avaliação da formação básica para a capacitação em segurança do trabalho.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 109 - Quantidade de servidores por escore (grau) de avaliação da formação específica para a capacitação em segurança do trabalho.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 110 - Representação na forma de diagrama de barras das distribuições dos servidores que participaram da Operação São Luís, por tempo de serviço no CTA e por experiência específica com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 111 - Número de especializações concluídas entre 1999 e a data da Operação São Luís.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 112 - Qualificação básica e específica para o desempenho da função.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 113 - Distribuições relativas à formação básica e especializada em segurança do trabalho.</i>	<i>95</i>

2. LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Condição constada nos exames a que foram submetidas as gargantas de tubeiras encontradas.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 2 – Tabela de lotação para o CTA, segundo a Exposição de Motivos nº 95-R, da SEPLAN. Obs. refere-se a todo o CTA, incluindo a Direção do Centro, o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI), o Instituto de Estudos Avançados (CTA/IEAv), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e o Grupo de Infra-estrutura e Apoio (CTA/GIA).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 3 - Tabela de lotação para todo o CTA, segundo a Exposição de Motivos nº 078, da SEPLAN.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 4 - Tabela de lotação para todo o CTA, segundo o Decreto nº 1.085, de 14 de março de 1994.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 5 - Distribuição das entrevistas com profissionais do CTA e com membros da Comissão Técnica de Investigação.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 6 - Distribuição das entrevistas com profissionais do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 7 - Distribuição das entrevistas com os integrantes da Operação São Luís, pertencentes ao CLA.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 8 - Distribuição das entrevistas com os integrantes da Operação São Luís, pertencentes ao CLBI.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 9 - Distribuição dos servidores participantes da Operação São Luís, por nível de escolaridade (excetuando os vitimados no acidente).</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 10 - Distribuição dos servidores, por cargo.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 11 - Distribuição dos servidores que participaram da Operação São Luís, por tempo de serviço no CTA e por experiência específica com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 12 - Número de períodos de participação na Operação São Luís.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 13 - Distribuição dos participantes da Operação São Luís, por faixa etária.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 14 - Distribuição dos servidores participantes da Operação São Luís tomando por base o tempo decorrido entre sua última especialização (curso ou estágio diretamente relacionado com o projeto do VLS-1 e tecnologias associadas) e a Operação.</i>	<i>94</i>

SUMÁRIO

PREFÁCIO

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

O VLS-1 NO CONTEXTO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO	1
--	----------

CAPÍTULO 2

A OPERAÇÃO SÃO LUÍS.....	14
---------------------------------	-----------

CAPÍTULO 3

A INVESTIGAÇÃO	22
-----------------------------	-----------

3.1 FATOR METEOROLÓGICO	24
--------------------------------------	-----------

Conclusões parciais.....	26
---------------------------------	-----------

Recomendações parciais	27
-------------------------------------	-----------

3.2 FATOR MATERIAL.....	28
--------------------------------	-----------

3.2.1 Construção e discussão da árvore de falha	39
--	-----------

3.2.1.1 Energia cinética de estilhaços	39
---	-----------

3.2.1.2 Eletricidade estática no propelente	39
--	-----------

3.2.1.3 Ignição do propulsor	39
---	-----------

3.2.1.3.1 Ocorrência de descarga atmosférica (raio)	41
--	-----------

3.2.1.3.2 Ocorrência de uma descarga elétrica interna (centelha) no sensor de pressão do ignitor	41
---	-----------

3.2.1.3.3 Corrente elétrica através da "linha de fogo"	42
---	-----------

3.2.1.3.3.1 Tensão elétrica induzida na "linha de fogo"	49
--	-----------

3.2.1.3.3.2 Tensão elétrica entre o detonador e a carcaça.....	49
---	-----------

3.2.1.3.3.3 Tensão elétrica no detonador pelo circuito normal de disparo	50
---	-----------

3.2.1.3.3.4 Corrente elétrica entre pinos de conectores	53
--	-----------

3.2.1.3.4 Descarga eletrostática no interior do detonador	54
--	-----------

3.2.2 Árvore de falha completa	56
---	-----------

3.2.3 Considerações adicionais	59
---	-----------

Conclusões parciais.....	61
---------------------------------	-----------

Recomendações parciais	62
-------------------------------------	-----------

3.3 FATOR OPERACIONAL	63
3.3.1 Considerações sobre o apoio ao lançamento por parte do CLA	63
3.3.2 Considerações sobre a segurança operacional	64
3.3.2.1 Segurança de terra (algumas vezes chamada de segurança de superfície ou ainda de segurança de solo)	65
3.3.2.2 Segurança de plataforma	66
3.3.2.3 Segurança de voo	67
3.3.3 Planejamento e coordenação das atividades	67
3.3.4 Considerações sobre gestão da qualidade	70
3.3.5 Considerações sobre a documentação de projeto e controle de configurações	71
Conclusões parciais	72
Recomendações parciais	73
3.4 FATOR HUMANO	76
3.4.1 Considerações sobre o clima psicossocial	83
3.4.2 Considerações sobre macro-ergonomia	83
3.4.2.1 Reestruturação funcional	84
3.4.2.2 Condicionantes externos que dificultam a execução dos trabalhos	84
3.4.2.3 Recursos humanos	84
3.4.2.4 Organização do trabalho, fluxo de informações e relacionamento interpessoal	85
3.4.3 Considerações sobre o ambiente físico de trabalho	86
3.4.4 Considerações sobre o apoio proporcionado pelo Centro de Lançamento de Alcântara	86
3.4.5 Considerações sobre o transporte aéreo	87
3.4.6 Considerações sobre a atuação pós-acidente	87
3.4.7 Considerações sobre postos de trabalho	88
3.4.8 Segurança do trabalho	88
3.4.9 Considerações sobre a capacitação técnica	89
3.4.9.1 Grupo das vítimas	89
3.4.9.2 Grupo formado pelos demais participantes da Operação São Luís	92
3.4.10 Outras considerações	96

Conclusões parciais.....	96
Recomendações parciais	97
CAPÍTULO 4	
CONCLUSÕES.....	99
CAPÍTULO 5	
RECOMENDAÇÕES.....	103
ANEXOS	108
REFERÊNCIAS.....	117

CAPÍTULO 1

O VLS-1 no contexto do Programa Espacial Brasileiro

Consta que as primeiras atividades espaciais em solo brasileiro foram conduzidas a partir de 1956, quando, por quatro anos, norte-americanos instalaram e operaram, em Fernando de Noronha, uma estação para rastreamento de foguetes lançados de Cabo Canaveral (hoje Cabo Kennedy)¹.

Já no ano seguinte ao início dessas operações, mas agora no Centro Técnico Aeroespacial – CTA, dois alunos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, o Tenente-Aviador Fernando Mendonça e o Senhor Júlio Alberto de Moraes Coutinho, construíram uma estação para recepção de sinais de satélites, com a qual conseguiram captar sinais do satélite soviético SPUTNIK e do norte-americano EXPLORER I^{1,2}, façanha que lhes valeu o Prêmio Shell-Mox.

A par do interesse que despertava a corrida espacial disputada entre os soviéticos e os norte-americanos, havia grande expectativa em relação ao Ano Geofísico Internacional, programado para 1958, em função da previsão de ocorrência de intensa atividade solar, o que propiciaria excepcionais condições para estudo dos efeitos sobre a Terra².

Os assuntos relativos a espaço recebiam, assim, grande atenção da imprensa internacional e nacional.

Na seqüência dos eventos, teve lugar na Argentina, em 1960, a 1ª Reunião Interamericana de Pesquisas Espaciais, da qual participou o Sr. Luiz Gonzaga Bevilacqua, presidente honorário da Sociedade Interplanetária Brasileira. Entre as metas acordadas naquela reunião, ficou estabelecido que “cada grupo local deverá incentivar a formação de comissões nacionais

governamentais ou o apoio estatal para uma maior atividade em pesquisa espacial”².

Disso resultou a criação, em 03 de agosto de 1961, do Grupo Organizador da Comissão Nacional de Atividades Espaciais – GOCNAE, que teve como primeiro presidente o Coronel-Aviador Aldo Vieira Rosa. O GOCNAE era vinculado ao Conselho Nacional de Pesquisas – CNPq – e foi instalado, inicialmente, em uma sala emprestada pelo CTA, passando para suas instalações próprias em 1963, em área cedida pelo mesmo CTA.

Como decorrência da participação ativa de militares do então Ministério da Aeronáutica desde a fase inicial das atividades espaciais no Brasil, o Brigadeiro-do-Ar Nelson Baena visitou a já agora CNAE, fato que deu origem ao Ofício CI-DC/64, de 03 de fevereiro de 1964, enviado pela CNAE ao Ministro da Aeronáutica, com vistas ao estabelecimento de um trabalho conjunto entre as duas instituições³. Na época, o diretor científico da CNAE era o Capitão-Aviador Fernando Mendonça, que, embora pertencesse ao serviço ativo do Ministério da Aeronáutica, havia sido colocado à disposição do CNPq.

Com base nesse ofício, foi criado, em 1964, o GTEPE, depois renomeado GETEPE (Grupo Executivo de Trabalhos de Estudos de Projetos Espaciais), subordinado ao Estado-Maior da Aeronáutica, com o objetivo de:

- a) estabelecer um campo de lançamento de foguetes e preparar equipes especializadas em lançamentos;
- b) estabelecer programas de sondagens meteorológicas e ionosféricas em cooperação com organizações estrangeiras; e

c) incentivar a indústria privada brasileira a galgar os degraus da tecnologia espacial.

Na prática, o GETEPE veio a constituir o braço operacional das atividades espaciais no Brasil, o que propiciou seu rápido desenvolvimento, notadamente na área de campos de lançamento e veículos de sondagem.

De fato, uma das primeiras ações do GETEPE foi a escolha de uma área próxima à cidade de Natal, RN, para construção do que viria a ser o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno – CLBI, inaugurado em 15 de dezembro de 1965, com o lançamento de um foguete norte-americano NIKE-APACHE. O sucesso desse lançamento, por sinal, foi resultado também do treinamento recebido pelas equipes brasileiras no Wallops Flight Center e no Goddard Space Flight Center, ambos da NASA.

Seguiram-se, após a inauguração do CLBI em 1965, até o ano de 1970, mais de uma centena de lançamentos. Alguns deles já da série nacional de foguetes de sondagem, desdobramento natural da assinatura, ainda em 1965, de um convênio entre o CNPq/CNAE, a NASA e a CNIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales), da Argentina, como parte do Projeto EXAMETNET (Cadeia Interamericana Experimental de Foguetes Meteorológicos)³.

A série inicial de foguetes nacionais foi designada SONDA e consistiu de quatro modelos, por meio dos quais buscavam-se sucessivos ganhos em capacitação para projeto, produção e lançamento de foguetes.

O SONDA I era um foguete simples, de dois estágios, com massa de decolagem de apenas 59 kg, especificado pelo GETEPE e encomendado à AVIBRÁS AEROSPACIAL, de São José dos Campos. Seu apogeu era de 65 km, com uma capacidade para carga útil de 4 kg (Figuras 1 e 2). Ao todo, foram lançados cerca de 225 desses foguetes⁴, entre 1967, data do vôo do primeiro protótipo, e 1977.

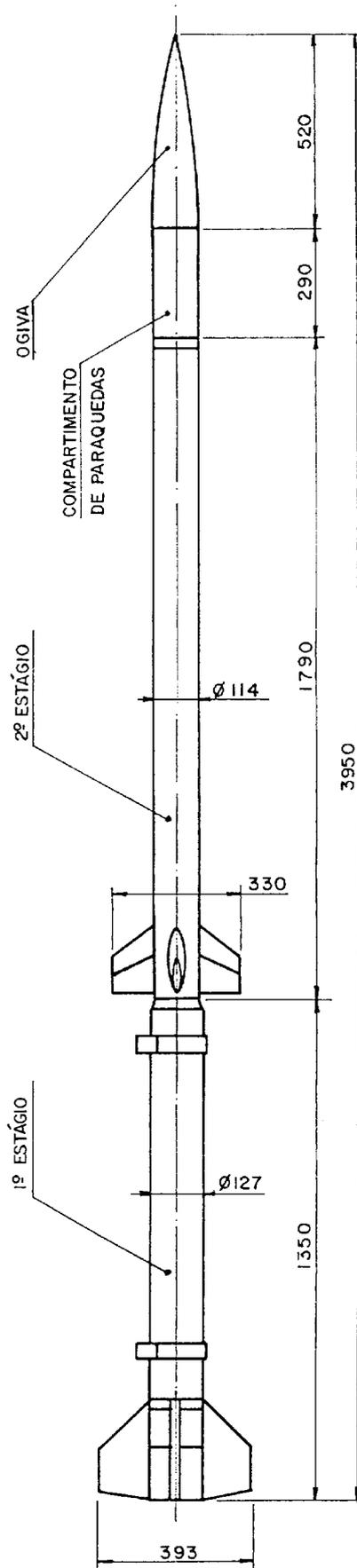


Figura 1 - SONDA I. Dimensões em milímetros.



Figura 2 – SONDA I na rampa de lançamento.

Embora diversas tecnologias tenham sido desenvolvidas no País para viabilizar o SONDA I, merece citação particular o domínio da tecnologia para produção de tubos de alumínio sem costura, resultado do envolvimento da TERMOMECÂNICA SÃO PAULO S.A.. Essa tecnologia foi desenvolvida não apenas para a confecção do envoltório dos propulsores dos SONDA I, como também para os foguetes SBAT, lançados de aviões militares, e, posteriormente, empregada na confecção de guias de válvulas de motores de combustão interna. Estima-se que a economia de divisas propiciada pela substituição de importação desse tipo de tubo tenha sido superior ao total de recursos aplicados no programa espacial brasileiro até 1992, época em que a estimativa foi feita⁵.

O SONDA II (Figuras 3 e 4), por sua vez, era um foguete de um único estágio, cujos diâmetro e massa eram bem maiores que os do SONDA I. Historicamente, foi o primeiro foguete cujo projeto, fabricação estrutural, propelente e proteções térmicas foram desenvolvidos no CTA. Foram desenvolvidas diversas versões desse foguete. A versão atual tem massa de decolagem de cerca de 370 kg, com apogeu de 50 a 100 km e capacidade para 20 a 70 kg de carga útil. No total, 61 SONDA II foram lançados.

Seguindo a linha estratégica de capacitação crescente, foi desenvolvido a partir de 1971 o SONDA III (Figuras 5 e 6), cujo segundo estágio nada mais era que um SONDA II. O novo foguete tinha massa de decolagem de 1590 kg, apogeu da ordem de 500 km e disponibilidade para 150 kg de carga útil. O SONDA III permanece operacional até hoje, registrando a marca de 31 lançamentos, dos quais o último ocorreu em 12 de maio de 2002.

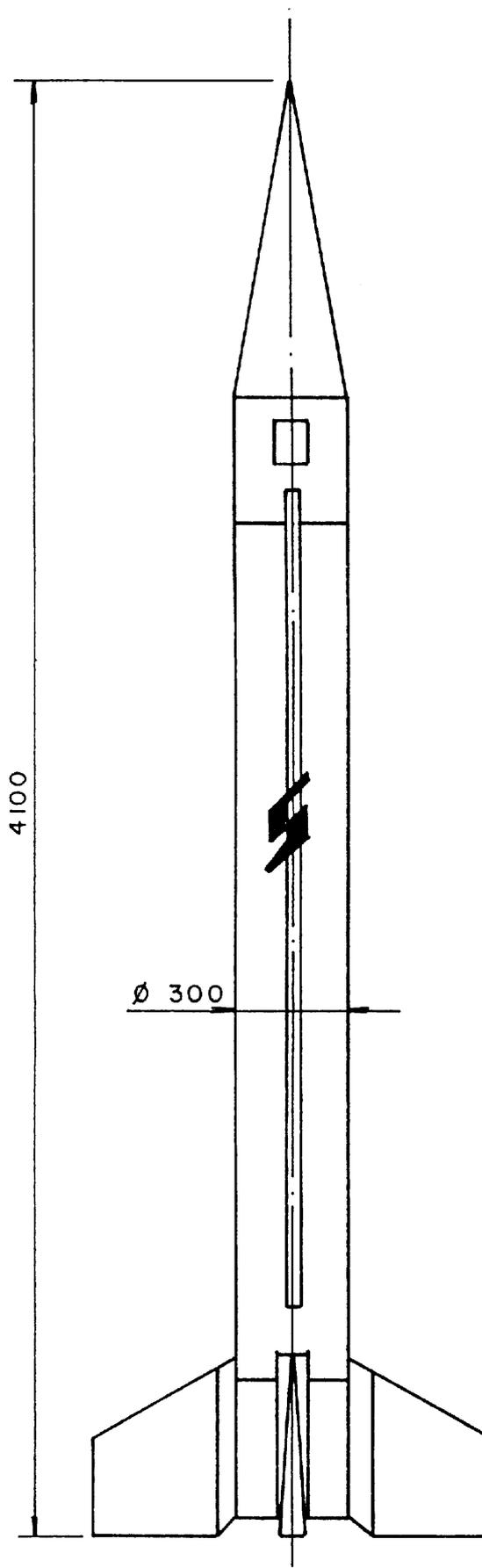


Figura 3 - SONDA II. Dimensões em milímetros.



Figura 4 - SONDA II na rampa de lançamento.

O SONDA III representou, inegavelmente, um grande avanço técnico em relação ao seu antecessor. Além de ser composto por dois estágios, o que lhe dava um porte consideravelmente maior que o SONDA II, trazia uma rede elétrica mais elaborada e carga útil instrumentada.

Todavia, foi sob o ponto de vista gerencial que o SONDA III mais se distinguiu em relação ao SONDA II.

Nesse particular, vale ressaltar que, por seu caráter pioneiro, o SONDA II foi gerenciado, por assim dizer, de forma pessoal e pouco estruturada. Foi também um projeto pouco documentado, sem especificações técnicas dos materiais constituintes do sistema, até porque sua configuração de referência foi baseada no foguete canadense BLACK BRANT III.

Apesar disso, constituiu uma excepcional escola e funcionou como elemento aglutinador de pesquisadores para a constituição de uma massa crítica de especialistas⁶.

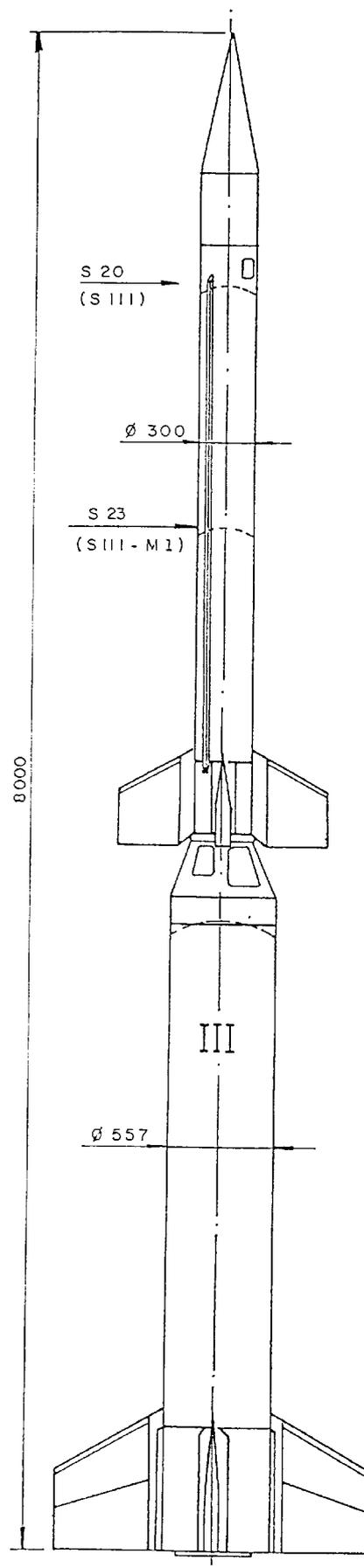


Figura 5 - SONDA III. Dimensões em milímetros.



Figura 6 – SONDA III na rampa de lançamento.

O SONDA III, por outro lado, permitiu ao CTA familiarizar-se com uma metodologia de trabalho de engenharia mais complexa, envolvendo análise de viabilidade e estudos preliminares para definição de configuração de referência, além da utilização de rede PERT, baseada em macro-eventos, identificados em um plano de desenvolvimento prévio.

Diferentemente do SONDA II, em que ao longo do projeto sucederam-se nove gerentes, o gerenciamento do SONDA III foi ancorado na liderança e na experiência de um único gerente (Eng. Jayme Boscov), acumulada durante anos de trabalho em projeto e desenvolvimento de veículos espaciais franceses⁶.

Em 1971, durante a fase de desenvolvimento do SONDA III, o Governo Federal decidiu organizar as atividades espaciais conduzidas no Brasil, dando-lhe uma forma sistêmica.

Nesse sentido, instituiu, em 20 de janeiro daquele ano, a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais – COBAE (Decreto 68.099), com o objetivo de assessoramento ao Presidente da República para a consecução da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais – PNDAE.

A COBAE era presidida pelo Chefe do Estado-Maior das Forças Armadas – EMFA – e composta por representantes dos Ministérios Militares (Exército, Marinha e Aeronáutica), dos Ministérios das Relações Exteriores, da Fazenda, do Planejamento, das Comunicações e da Educação e Cultura, além de representantes do Conselho de Segurança Nacional e CNPq².

Ainda no âmbito dessa grande reestruturação, a CNAE foi extinta pelo Decreto 68.532, dando origem ao atual Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – cujo primeiro presidente foi o mesmo militar do Ministério da Aeronáutica que ocupava o cargo de diretor científico da CNAE desde 1963: Fernando Mendonça.

Da mesma forma, em 20 de agosto do mesmo ano, o GETEPE foi extinto pela Portaria 286, passando suas atividades ao então Instituto de Atividades Espaciais, mencionado anteriormente no Decreto 65.450, de 17 de outubro de 1969, que estruturou o Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento, ao qual o CTA é subordinado.

Assim, como parte da estratégia que visava lançar satélites nacionais por meio de veículo lançador nacional, a partir de um centro de lançamento brasileiro; e ainda motivado pelo sucesso do SONDA III, o CTA/IAE iniciou, no segundo semestre de 1976, os estudos de viabilidade e de especificações técnicas do que viria a ser o SONDA IV: um veículo intermediário, cujo desenvolvimento conduziu ao domínio de tecnologias críticas, sem as quais não seria possível avançar, de forma consistente, em um programa espacial autóctone.

A complexidade do SONDA IV (Figuras 7 e 8) constituiu, desde o início, um grande desafio tecnológico e gerencial. Apenas como referência, vale ressaltar que era composto por mais de duas mil peças mecânicas; mais que o dobro de seu antecessor SONDA III⁶.

Para levar adiante uma empreitada desse porte, foi adotada, pela primeira vez, uma “metodologia de gerenciamento de um grande projeto espacial, portanto, projeto multidisciplinar, de tempo longo para a execução, de alto custo, e de riscos tecnológicos na fase final de desenvolvimento”⁷. Tecnicamente, o projeto estava sob a responsabilidade da Divisão de Projetos (CTA/IAE/ETP), cujo chefe, Eng. Jayme Boscov era também o gerente do projeto, mas

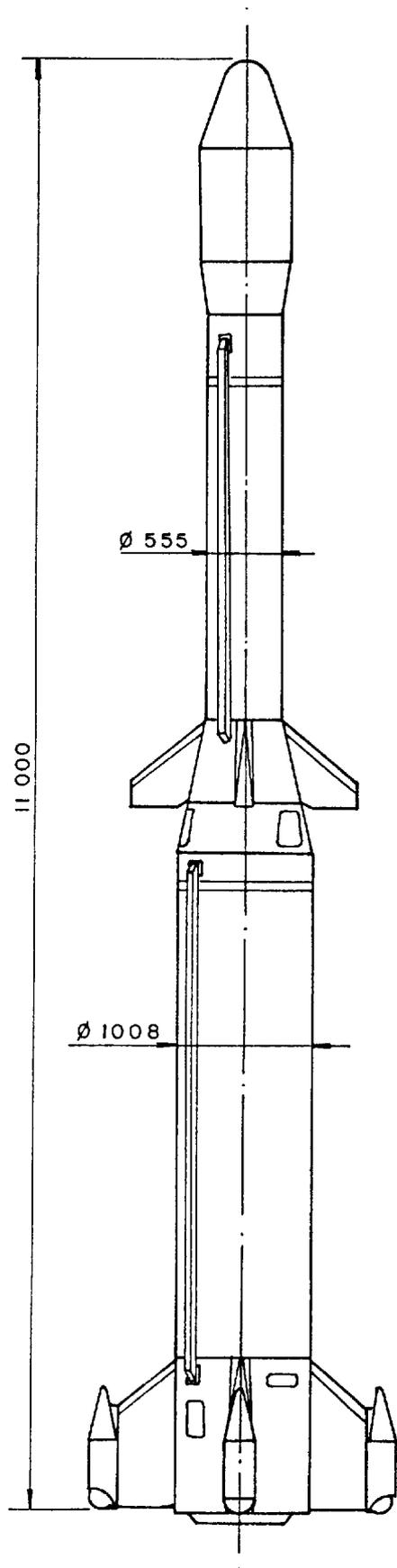


Figura 7 - SONDA IV. Dimensões em milímetros.



Figura 8 – SONDA IV na mesa de lançamento.

utilizava os serviços das demais divisões do Instituto, definindo uma sistemática matricial que viria a ser adotada, com poucas variações, no desenvolvimento posterior do VLS-1.

O SONDA IV foi, também, o primeiro projeto espacial brasileiro a ser dividido em fases e a utilizar, como ferramenta gerencial, o Organograma Técnico ("Work Breakdown Structure"), tornando possível o controle dos prazos e dos custos, além de permitir a codificação, sem ambigüidades, das responsabilidades. Na sua fase inicial, foram identificados 24 grandes pacotes de trabalho, cada um designado a um pesquisador com efetiva capacitação técnica⁶.

Dessa forma, diversas inovações tecnológicas tornaram-se possíveis, entre elas as que propiciaram o desenvolvimento do propulsor S40, do primeiro estágio do foguete.

Por ser um propulsor de porte razoável, obrigou à pesquisa de um novo tipo de aço, da classe carbono-cromo-níquel-molibdênio, com alto teor de silício, com tratamento para o nível de resistência de 200 kgf/mm².

O programa de desenvolvimento desse aço, designado 300M, envolveu, além do próprio CTA, três empresas do ramo de metalurgia:

ELETROMETAL, USIMINAS e ACESITA, permitindo, ao final, não apenas evitar a importação do aço MARAGING, a um custo cinco vezes maior que o de produção do novo aço nacional⁷, como também exportá-lo, gerando divisas.

Adicionalmente, o porte do novo propulsor, com 1 m de diâmetro (que viria a ser adotado como diâmetro dos propulsores do VLS-1) exigiu a implantação de um complexo, hoje denominado USINA CORONEL ABNER, onde, além de produzir propelente sólido com tecnologia totalmente nacional, é também possível fazer o carregamento de grandes propulsores e ensaiá-los em bancos de prova horizontais com quatro graus de liberdade.

A lista de inovações surgidas com o SONDA IV é longa, merecendo citação o comandamento do vetor empuxo (pela técnica de injeção secundária de gases na tubeira do primeiro estágio e por tubeira móvel, no segundo), assim como o desenvolvimento de sistemas de pilotagem para controle de atitude. O domínio dessas tecnologias, por sinal, era fundamental, uma vez que o SONDA IV, ao contrário de seus antecessores, não decolava com o auxílio de uma rampa com trilhos, mas de uma mesa, onde ficava apoiado na posição vertical, de onde partia sujeito à ação de ventos transversais e do controle de empuxo.

Com o lançamento de quatro SONDA IV, foram implantadas as bases necessárias ao início do projeto do veículo lançador brasileiro capaz de colocar satélites em órbita baixa.

Em 1978, a Comissão Nacional de Estudos Espaciais (CNES), da França, apresentou, a pedido do governo brasileiro, uma proposta de desenvolvimento de um veículo lançador e três satélites. Essa proposta, após estudos, foi considerada de custo muito elevado, sem contar o fato de que a maior parte dos desenvolvimentos seriam realizados em indústrias francesas. Assim, em novembro de 1979, durante o 2º Seminário de Atividades Espaciais, realizado sob os auspícios da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o antigo Instituto de Atividades Espaciais (CTA/IAE) apresentaram, em conjunto, uma proposta alternativa, que veio a ser conhecida

como Missão Espacial Completa Brasileira (MECB)².

Nos termos da MECB, coube ao CTA/IAE o desenvolvimento do veículo lançador (que viria a ser o VLS-1) e da infra-estrutura de lançamento (do que resultou o Centro de Lançamento de Alcântara), enquanto o INPE ficou responsável pelo desenvolvimento de dois satélites de coleta de dados ambientais e outros dois de sensoriamento remoto.

Embora muito se especule sobre o modelo que teria dado origem às formas do atual veículo lançador de satélites brasileiro, o fato é que, segundo declaração do primeiro gerente do projeto, Eng. Jayme Boscov, o VLS-1 foi o resultado do estágio da capacitação técnico-científica e das possibilidades do parque industrial nacional, à época.

Ao todo, quinze concepções foram analisadas, chegando-se, ao final, à configuração em "cluster", com quatro propulsores geometricamente distribuídos em torno de um corpo central, por sinal uma configuração consagrada internacionalmente, utilizada ainda hoje em lançadores operacionais como o Ariane V, o Próton SL, o Longa Marcha 2E e o Delta II.

Didaticamente, o VLS-1 pode ser entendido como composto por quatro estágios, um compartimento para transporte da carga útil (satélite), seções (bairas ou módulos) para alojamento de instrumentação e equipamentos diversos, quatro redes elétricas funcionais e um conjunto de 244 pirotécnicos, integrantes da habitualmente chamada rede pirotécnica, embora não constituam uma rede no sentido estrito dessa palavra.

Quando montado (Figura 9), o VLS-1 atinge 19,4 metros de altura, com uma massa de decolagem de 49,7 toneladas.

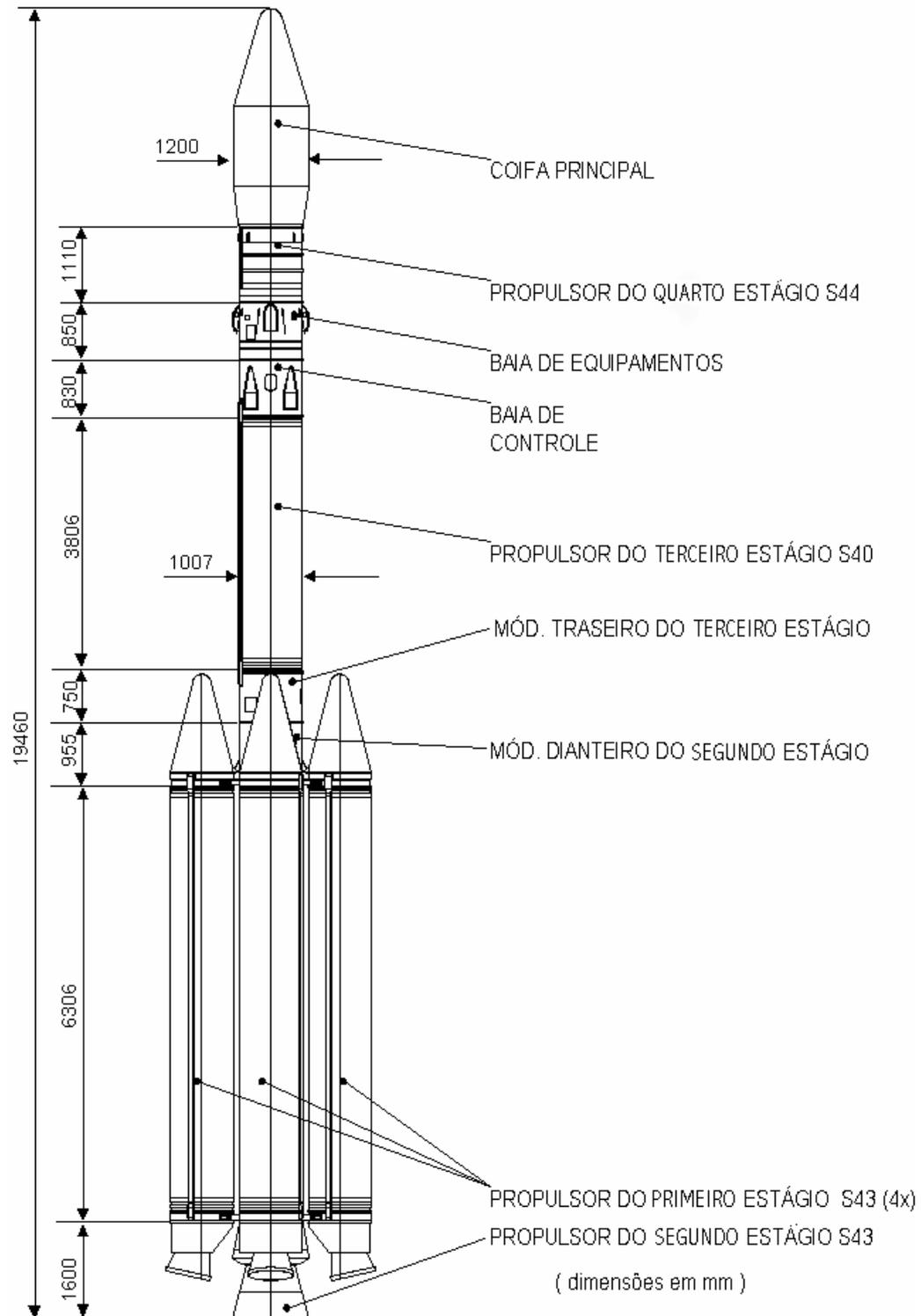


Figura 9 - Configuração do VLS-1.

O primeiro estágio é composto por quatro propulsores S43 (Figura 10), postos em funcionamento simultaneamente no início da decolagem.

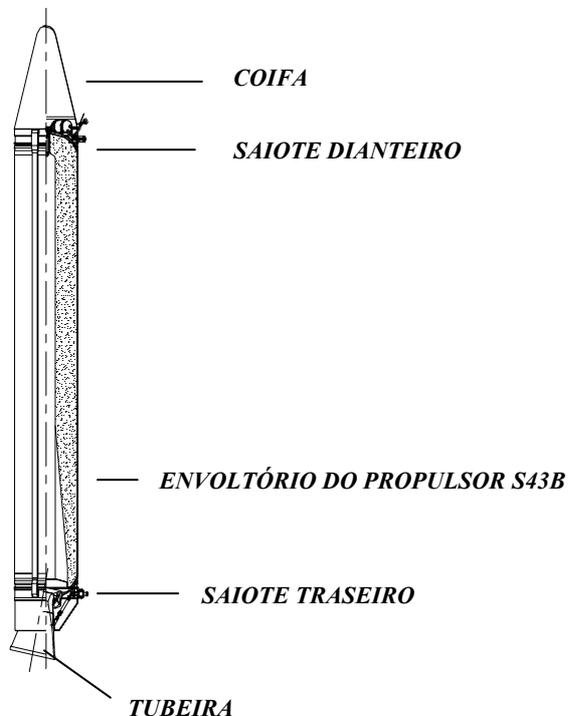


Figura 10 - Configuração do primeiro estágio.

Durante a fase inicial de vôo, enquanto os quatro propulsores do primeiro estágio ainda estão conectados ao corpo central do veículo, o controle de atitude em três eixos é realizado por controle de vetor empuxo, por meio do sistema de tubeira móvel desses propulsores.

A fixação dos propulsores do primeiro estágio ao corpo central (segundo estágio) é realizada através de quatro braços mecânicos, dois colocados na parte dianteira do propulsor e dois na parte traseira. Cada um dos braços de fixação dos propulsores é também um atuador pneumático que permite a separação dos dois estágios no momento apropriado. Alguns segundos após o fim da queima dos propulsores do primeiro estágio, cargas pirotécnicas são detonadas para efetuar o corte simultâneo de todos os braços de fixação, liberando a pressão interna existente nesses braços e imprimindo a velocidade para o alijamento dos propulsores vazios.

O segundo estágio (Figura 11) utiliza também um propulsor S43, mas com uma diferença substancial de dimensões em sua tubeira, em virtude da operação deste estágio ocorrer em maior altitude.

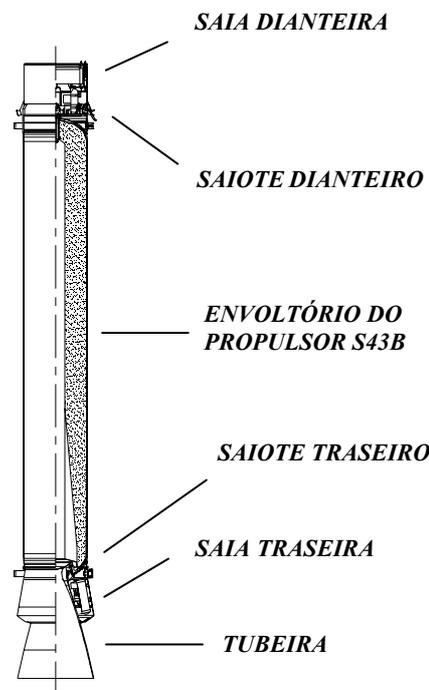


Figura 11 – Configuração do segundo estágio.

O terceiro estágio (Figura 12) é composto por três subsistemas principais: o propulsor a propelente sólido S40, a baia de controle e a baia de equipamentos. A baia de controle, como sugere seu nome, aloja o sistema de controle de rolamento, que é um sistema propulsivo baseado em dois pares de propulsores a propelente líquido do tipo "on-off", utilizando como propelentes o tetróxido de nitrogênio e a dimetil-hidrazina assimétrica. Esse sistema destina-se a fornecer o empuxo necessário para gerar os torques de controle que evitam o rolamento do veículo em torno do eixo longitudinal, durante as fases de vôo propulsado pelo segundo e terceiro estágios. A baia de equipamentos é o compartimento onde estão alojados os principais equipamentos elétricos para comando e controle dos eventos de vôo, entre eles a plataforma inercial, o computador de bordo, as unidades de comando de pirotécnicos, as baterias e o sistema de telemetria, entre outros. Os equipamentos de controle permitem controlar o veículo ao longo de sua trajetória de referência durante os vôos do primeiro, segundo

e terceiro estágios e permitem, ainda, a manobra de "basculamento" (inclinação) durante a fase balística entre o fim da queima do terceiro estágio e a ignição do quarto. Além dos equipamentos da rede de controle, telemetria e seqüenciamento de eventos, a baía de equipamentos abriga dois sistemas propulsivos: o sistema de "basculamento", que utiliza gás frio (nitrogênio); e o sistema impulsor de rolamento ("Spin-up"), este composto por quatro micropropulsores a propelente sólido, montados na parte externa da baía de equipamentos, com a função de induzir rotação ao conjunto formado pelo quarto estágio e o satélite. Esta rotação é induzida antes da ignição do quarto estágio e tem por objetivo garantir, por meio da estabilização giroscópica, a manutenção da orientação do veículo ("atitude") durante todo o vôo propulsado pelo quarto estágio. A precisão do posicionamento do satélite em órbita depende, em grande parte, da manutenção da orientação, obtida na manobra de "basculamento". O propulsor S40 possui também um sistema de tubeira móvel que permite o controle de atitude em torno dos eixos de arfagem e guinada.

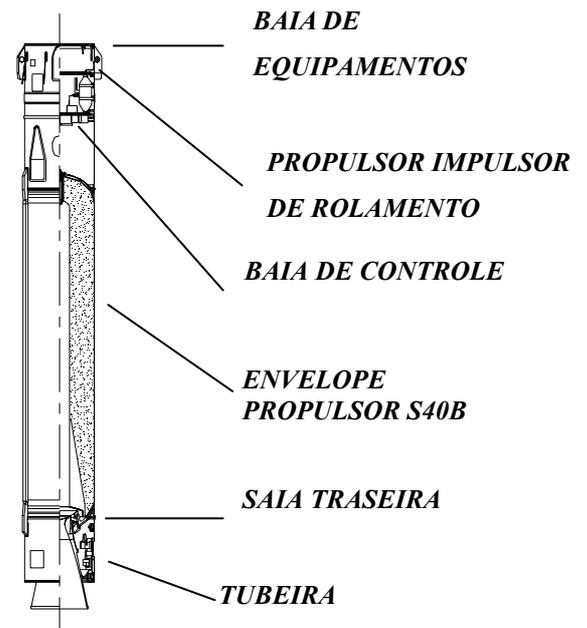


Figura 12 – Configuração do terceiro estágio.

O quarto estágio (Figura 13) é composto pelo propulsor S44 e pelo cone de acoplamento do satélite. Grande parte dos equipamentos para as funções de localização e destruição está localizada no cone de acoplamento do satélite. Outros equipamentos, como as antenas do respondedor do radar e o receptor do telecomando e telemetria, estão alojados nas saias dianteiras e traseiras do propulsor S44.

A coifa principal (Figura 14) tem como função dar forma aerodinâmica adequada ao veículo e proteger o satélite, desde a fase de preparação do lançamento até o final da travessia do veículo através da atmosfera mais densa. A separação da coifa ocorre no início do vôo do terceiro estágio, quando as condições de pressão dinâmica e aquecimento cinético sobre o satélite já são desprezíveis. A separação é iniciada por meio do acionamento de pirotécnicos que liberam a cinta ejetável na sua base, ao mesmo tempo em que é iniciada a liberação das travas mecânicas por meio de um atuador pirotécnico alimentado por um sistema gerador de gás.

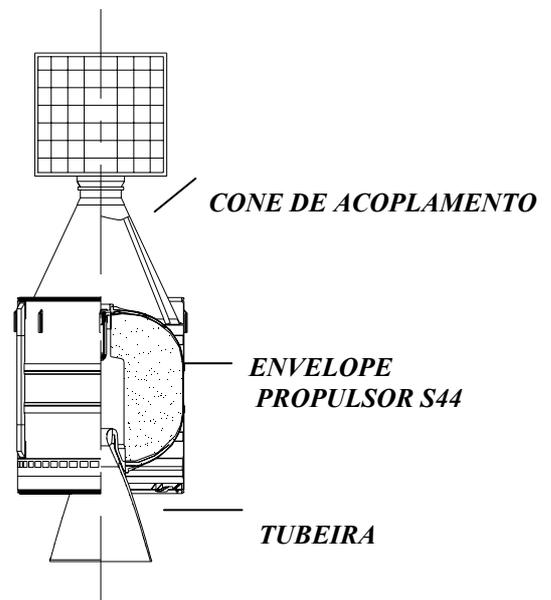


Figura 13 - Configuração do quarto estágio.

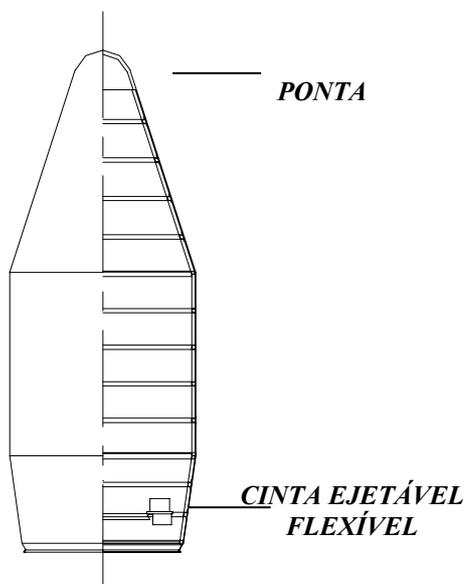


Figura 14 – Configuração da coifa principal.

Os sistemas elétricos do VLS-1 compreendem quatro subsistemas:

- rede elétrica de serviço;
- rede elétrica de controle;
- rede elétrica de telemidas; e
- rede elétrica de segurança.

A rede elétrica de serviço tem a função de comandar os principais eventos de vôo (tais como as separações de estágios, ignições, ativamento de subsistemas, etc.), de suprir potência elétrica para todos os equipamentos elétricos do veículo e, também, de condicionar os sinais de sensores para a rede elétrica de telemidas. Ela é, portanto, subdividida em três partes: rede elétrica de serviço para seqüenciamento de eventos, rede elétrica de serviço para suprimento de energia e rede elétrica de serviço para condicionadores de sinais e sensores (termistores, acelerômetros, transdutores de pressão, etc.).

A rede elétrica de controle tem como função realizar a navegação, a guiagem e o controle de atitude do veículo, desde a decolagem até pouco antes do vôo do quarto estágio.

A rede elétrica de telemidas é destinada a coletar, codificar e transmitir para o solo informações e medidas de diversos

parâmetros de bordo. No VLS-1, esta função é realizada por meio de três sistemas ou enlaces de telemetria.

A rede elétrica de segurança tem as funções de facilitar a localização do veículo pelos radares em solo e de receber, de maneira criteriosa, o telecomando de destruição do veículo, nos casos em que sua trajetória evolui de forma perigosa para as áreas consideradas de proteção. O telecomando de destruição é a única forma possível de intervenção a partir do solo sobre o veículo após a decolagem. Todas as funções e operações, para o cumprimento da missão, se processam automaticamente a bordo do veículo.

A compreensão do VLS-1, enquanto sistema, é complementada pela apresentação do conjunto de pirotécnicos e suas respectivas funções. Como já discutido anteriormente, neste relatório, o termo "rede" é aqui usado de forma não rigorosa, significando o agrupamento conceitual dos 244 pirotécnicos em dois subconjuntos (redes), de acordo com suas finalidades

A rede pirotécnica de serviço tem a função de executar comandos provenientes da rede elétrica de serviço e envolvem, portanto, ativações de sistemas hidropneumáticos, ignições e separações de estágios.

A rede pirotécnica de destruição é destinada a executar a destruição do veículo em vôo sempre que comandada pela rede elétrica de segurança. Entretanto, há também um modo de destruição automática para cada um dos propulsores dos três primeiros estágios, à medida que se separam do veículo.

A Figura 15 apresenta o perfil típico de missão do VLS-1.

Em 1997, desenvolvido o primeiro protótipo (VLS-1 V01), foi dado início ao plano de qualificação em vôo, consistindo de quatro lançamentos.

A primeira tentativa recebeu o nome de Operação Brasil e tinha por objetivo, além da verificação do funcionamento do veículo em vôo, colocar em órbita o satélite SCD-2, construído pelo INPE. Todavia, no início da decolagem, um dos propulsores do primeiro estágio não acendeu, obrigando à destruição do protótipo.

A investigação conduzida posteriormente apontou o mau funcionamento de

um equipamento, chamado "dispositivo mecânico de segurança" (DMS), como o fator causador da falha.

Em 1999, tendo sido feita a substituição dos dispositivos mecânicos de segurança (DMS) por um sistema alternativo de proteção, assim como efetuadas outras alterações julgadas necessárias foi conduzida a segunda tentativa de lançamento, batizada de Operação Almenara, na qual o VLS-1 V02 transportava o satélite científico SACI II. Nesse lançamento, os quatro propulsores que constituem o primeiro estágio funcionaram corretamente, assim como todos os demais conjuntos e sistemas embarcados, porém, logo após o acendimento do propulsor do segundo estágio, o veículo foi destruído por uma explosão.

A investigação indicou que a falha foi devida à penetração de chama na parte superior do bloco de propelente do propulsor do segundo estágio. Como medida corretiva, foram efetuadas modificações no desenho interno do propulsor, bem como implementadas mudanças na infraestrutura da Usina Coronel Abner, onde é feito o processamento do envoltório-propulsor e de suas proteções e interfaces.

Desde a falha em vôo do segundo protótipo (VLS-1 V02), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), passou a trabalhar na preparação do terceiro veículo (V03).

Para lançá-lo, foi executada, em 2003, a Operação São Luís.

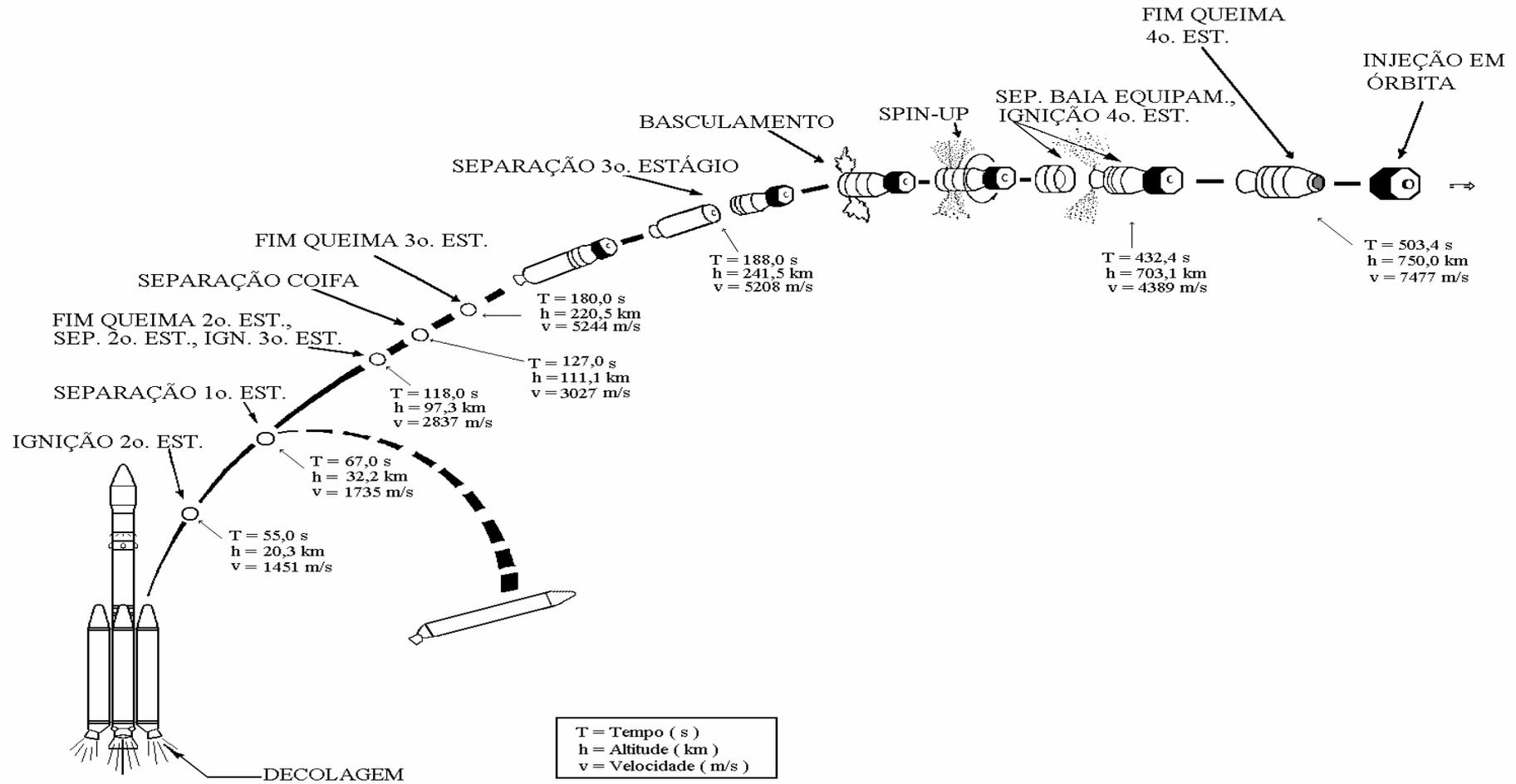


Figura 15 - Perfil típico de missão do VLS-1.

CAPÍTULO 2

A Operação São Luís

De forma resumida, os principais objetivos da Operação eram:

- realizar o terceiro voo de qualificação do VLS-1;

- colocar em órbita circular equatorial com inclinação de 16°, a 630 km de altura, o satélite tecnológico denominado SATEC, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e um segundo satélite, mecanicamente solidário ao primeiro, denominado UNOSAT, desenvolvido pela Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR). O SATEC tinha a massa total de 53,5 kg e dimensões de 660x660x1150 mm, consistindo, basicamente, de um receptor GPS para determinação da órbita final alcançada; enquanto o UNOSAT, com 7,5 kg, dimensões de 85x250x460 mm e funcionamento independente do SATEC, tinha a missão de transmitir sinais de áudio na frequência de 148,135 MHz;

- permitir a verificação dos meios do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) para lançamentos orbitais; e

- usar o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) como estação de rastreamento da trajetória do veículo e de registro de parâmetros transmitidos, via telemetria, e testar se os meios implantados, interligando as estações do CLA e CLBI, são adequados e estão operacionais para essa função.

Em 15 de julho de 2002, foi elaborado o documento Plano de Operações Nº 006/2002, considerado o ponto de partida para a Operação São Luís. Nesse documento, que faz referência a diversos outros, são informadas, além das organizações participantes, a situação que antecede ao lançamento e a missão a ser realizada pelas organizações envolvidas. Constam, ainda, os objetivos, a cronologia dos eventos

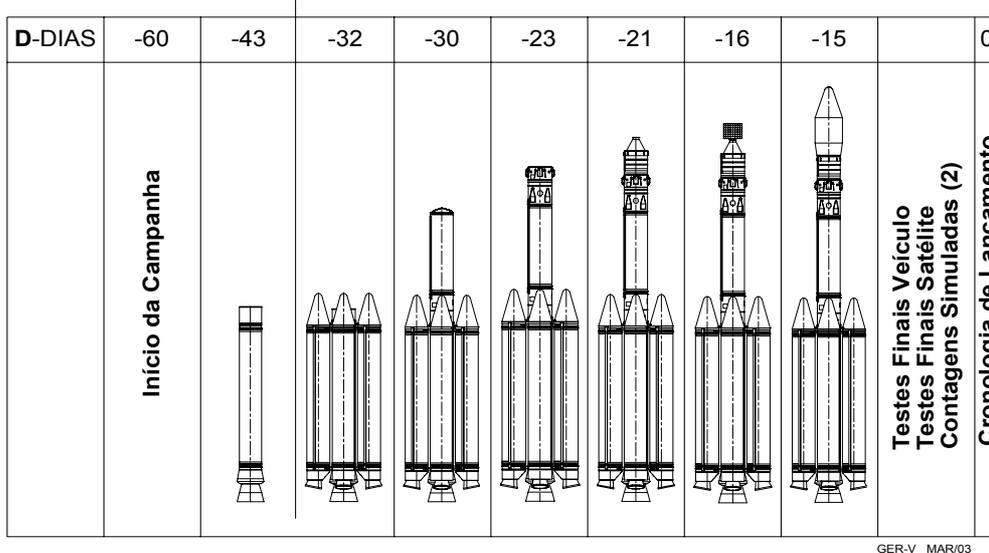
principais e as tarefas atribuídas, tanto ao Coordenador Geral da Operação (CGO) quanto às organizações do Comando da Aeronáutica participantes da Operação São Luís: Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento, Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), Centro de Lançamento de Alcântara e Centro de Lançamento da Barreira do Inferno. Esse documento apresenta, também, a estrutura de coordenação empregada na Operação e fornece outras informações e instruções sobre as áreas técnica, logística, de inteligência e de comunicação social.

Sob o aspecto gerencial, os coordenadores técnicos de primeiro nível (coordenadores dos quatro estágios, da coifa principal, das redes elétricas e das redes pirotécnicas) eram os responsáveis pela verificação da aplicação do Plano de Montagem e pela qualidade dos trabalhos e operações nele contidos. Os incidentes ocorridos durante a preparação e testes previstos no Plano de Montagem e as sugestões para melhoria do referido Plano eram relatados no verso das fichas de operações. Esses relatos eram analisados e incorporados, quando aprovados, nas operações posteriores.

O seqüenciamento das atividades era definido em um cronograma mestre elaborado pela equipe de planejamento, que controlava a execução por meio de fichas preenchidas pelos chefes de equipe. Para a elaboração e condução do cronograma, foi utilizada a Técnica de Revisão e Avaliação de Projeto/Método do Caminho Crítico PERT/CPM.

A Figura 16 mostra, de forma esquemática, a evolução dos trabalhos programados, destacando as etapas de integração na torre móvel de integração.

VLS-1 V03 - SÍNTESE DO PLANO DE MONTAGEM



GER-V MAR/03

Figura 16 - Síntese do plano de montagem.

O VLS-1 V03 é composto por cerca de 12.500 peças mecânicas, 244 itens pirotécnicos, 42 toneladas de produtos químicos processados, dezenas de milhares de componentes eletrônicos e mais de uma dezena de quilômetros de fios.

Uma operação, envolvendo um veículo com tal complexidade, exige planejamento detalhado e cuidados especiais de execução, que começam já na fabricação ou aquisição de componentes e sistemas.

A título de exemplo, pode ser tomado o processo de construção dos envoltórios metálicos dos propulsores do VLS-1 V03.

Os envoltórios (também chamados de "envelopes" dos propulsores) são controlados desde a corrida do aço. Durante o processo de fabricação, são feitos ensaios de análise química, metalúrgica e dimensional; todas as soldas são radiografadas e inspecionadas por líquidos penetrantes. Finalmente, antes da liberação para uso, é realizado ensaio hidrostático.

As Figuras 17, 18 e 19 mostram alguns tipos de testes realizados durante a fase de preparação do veículo.



Figura 17 - Teste das redes elétricas integradas.



Figura 18 - Teste de pirotécnicos do sistema de separação do primeiro estágio.



Figura 19 - Teste de separação da coifa principal.

Os transportes das partes do VLS-1 V03 e dos meios de solo associados foram realizados antes do início da Operação São Luís propriamente dita. Para isso, foram utilizadas embalagens definidas de acordo com critérios técnicos de segurança e volume disponível nos meios de transporte. Depois de embalados, os itens foram acondicionados em contêineres apropriados e identificados por categorias:

- materiais explosivos (componentes pirotécnicos e propelente sólido);
- materiais inflamáveis (solventes, lubrificantes, etc.);
- materiais frágeis (módulos do VLS-1 V03, equipamentos eletrônicos);
- materiais de apoio (ferramental, dispositivos, elementos de fixação, etc.); e
- material de escritório (disquetes, fitas, documentos, etc.).

Cada contêiner com módulo pré-integrado do VLS-1 V03 tinha cor branca e era identificado por meio de etiquetas com os logotipos do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Constavam, também, o nome do item contido na embalagem, os símbolos indicativos da fragilidade do material e o lado que deveria ficar para cima. Além disso, os módulos do VLS-1 V03 e seus respectivos contêineres eram equipados com sensores de choque ao lado da etiqueta de identificação. Esses sensores davam indicação se o item sofreu ou não algum impacto superior ao permitido, durante o transporte.

Os demais materiais foram transportados em embalagens apropriadas com uma codificação de cores e faixas indicativas da

divisão funcional de origem, com o objetivo de facilitar também a identificação das mesmas, apesar da existência de etiquetas semelhantes às dos demais módulos do VLS-1 V03.

Devido à complexidade de seus subsistemas, os módulos tinham que passar por várias inspeções e testes de recebimento após o transporte, e testes adicionais durante a preparação final do Veículo.

Todas as etapas eram acompanhadas pelo pessoal da qualidade e da segurança e pelo coordenador técnico responsável, entre outros.

O primeiro transporte ocorreu em 23 de agosto de 2002, consistindo dos equipamentos e materiais do prédio de carregamento de propelente líquido necessários aos trabalhos de preparação e recebimento daquela instalação que havia sofrido reforma recente.

Nos dias 19, 24 e 27 de setembro de 2002, foram transportados, respectivamente, os propulsores A e C do primeiro estágio e o propulsor do terceiro.

Em outubro também foram feitos três transportes (propulsor B do primeiro estágio; saias traseiras, coifas e tuberias do primeiro estágio; e todo o segundo estágio), respectivamente nos dias 08, 17 e 23.

Após uma interrupção para a realização das Operações Pirapema e Cumã, consideradas preparatórias para a Operação São Luís, em 03 de dezembro de 2002 foi transportado o propulsor D do primeiro estágio. O retorno da aeronave foi aproveitado para trazer de volta as equipes e os materiais relacionados com as duas operações preparatórias.

Nos dias 01 e 02 de abril de 2003, foram realizados os transportes de pessoal e carga que caracterizaram o início efetivo da Operação São Luís (em princípio, menos 68 dias para a primeira tentativa de lançamento). Mais tarde, no dia 08 de abril, a baia de controle, a unidade de comando e controle de fluidos, e as saias traseiras do segundo e terceiro estágios foram transportadas, realizando-se a primeira troca de equipes, complementada em 10 de abril.

Todos os regressos de aeronaves ocorriam um dia depois do transporte de ida e eram aproveitados para o transporte de contêineres vazios do VLS-1 e de pessoal, ou ainda para outro transporte de interesse do Comando da Aeronáutica.



Figura 20 - Carregamento da aeronave Hércules (C-130) em D-68.

Um outro transporte e nova troca de equipes estavam marcados para 22 de abril, mas na noite do dia 16 anterior, ainda na fase de integração dos primeiros propulsores do veículo VLS-1 V03, conduzida no prédio de preparação de propulsores, foi recebida ordem do Comando da Aeronáutica para interrupção da Operação e retorno do pessoal ao CTA. Assim, uma aeronave decolou do CLA para o CTA em 19 de abril, com 68 dos participantes da Operação.

Na ocasião da interrupção, foi feito um relatório, denominado Relatório Imediato de Interrupção, assinado pelos chefes de equipe envolvidos, contemplando as medidas de proteção tomadas, recomendações de manutenção dos módulos e propulsores montados, e alertas sobre possíveis conseqüências deletérias em caso de longo tempo de paralisação. Além disso foi deixada uma equipe mínima do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), no CLA, com atividades programadas para preservação dos itens estocados e meios de solo já preparados. Essa equipe sofreu diversos revezamentos e, próximo à retomada da Operação São Luís, uma equipe maior, com diversos especialistas, foi enviada ao CLA para examinar, detalhadamente, todos os itens, não tendo sido encontrado qualquer indício de anormalidade que impedisse a retomada da Operação.

Na Figura 21, é mostrado um dos propulsores que permaneceram estocados no CLA, quando da interrupção da Operação, e na Figura 22, uma vista geral do salão do prédio de preparação de propulsores, na retomada da Operação.

Uma vez autorizada a retomada da Operação São Luís, ocorreram cinco transportes. No dia 01 de julho seguiram as equipes para

reinício dos trabalhos e no dia 07 seguiu o banco de controle do VLS-1. Em 14 de julho houve uma troca de equipes e no dia 21 do mesmo mês ocorreu o transporte da coifa principal, do quarto estágio e da baia de equipamentos. Em 30 de julho, finalmente, foram transportados os satélites SATEC e UNOSAT, e seus meios de solo, juntamente com a plataforma inercial.



Figura 21 - Propulsor estocado no CLA, quando da interrupção da Operação São Luís.



Figura 22 - Vista do prédio de preparação dos propulsores na retomada da Operação.

No dia seguinte à retomada da Operação, em 02 de julho, foi realizada nova vistoria nos sistemas parcial ou totalmente montados, não sendo detectada qualquer não conformidade.

Na retomada da Operação, foi assumido como ponto de referência, o dia D-52 (menos 52 dias para o lançamento no dia D). As atividades desenvolveram-se a partir de então, seguindo o cronograma com ajustes, quando necessário. A maior parte dos trabalhos relacionados com o Veículo era desenvolvida no prédio de preparação de propulsores, enquanto que na torre móvel de integração continuavam as atividades de preparação para recebimento dos propulsores.

No período de 02 de julho até 04 de agosto, foram realizadas atividades no prédio de preparação de propulsores, envolvendo diversas equipes. A equipe de química, de uma maneira geral, examinava o bloco de propelente e suas interfaces, e cuidava da aplicação de adesivos e selantes em diversos sistemas e subsistemas dos propulsores. A equipe de pirotecnia examinava e montava ignitores, transdutores de pressão e outros componentes, integrando-os e montando os sistemas de destruição, de separação e de ignição de cada propulsor. A equipe de propulsão cuidava, entre outras atividades, da integração e montagem de sistemas de atuação da tubeira móvel, incluindo a instalação de atuadores e outros componentes, o carregamento de óleo, a realização de ensaios funcionais e de interferência mecânica com outros conjuntos e o alinhamento da tubeira. A equipe de integração e ensaios cuidava da montagem dos módulos (saiote dianteiro, saia traseira e outros), calhas e anéis no propulsor; realizava testes de estanqueidade e cuidava da pressurização, entre outras atividades. A equipe de massas executava medidas de massa e centro de gravidade de cada propulsor completo. A equipe de controle da qualidade acompanhava as operações, anotando e reportando as eventuais não conformidades à coordenação técnica (que também acompanhava as operações por meio de um responsável por cada estágio). A equipe de segurança do trabalho, integrada com a equipe de segurança de solo do CLA, também acompanhava as atividades, orientando quanto ao uso de equipamentos de proteção individual e procedimentos de segurança. As atividades eram filmadas em vídeo e fotografadas pela equipe de registro de imagens.

Essas equipes tinham constituição variável, conforme as tarefas a serem executadas, e sofriam revezamento ao longo da Operação. Os números totais de participantes de cada equipe do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) são apresentados a seguir:

- acústica – 03;
- apoio técnico – 34;
- coordenação técnica – 09;
- eletrônica – 28;
- integração e ensaios – 16;
- logística – 08;
- meteorologia* – 11;
- planejamento – 06;
- pirotecnia – 07;
- projeto** – 04;
- propulsão – 09;
- qualidade – 07;
- química – 10;

- registro de imagens – 11; e
- segurança do trabalho*** – 02.

- * compoendo a equipe de meteorologia com o CLA;
- ** dispositivos pirotécnicos, sensores e controle;
- *** incorporados à equipe de segurança de solo, que contava ainda com 02 integrantes do CLBI e 01 do CLA.

Havia, ainda, especialistas do Instituto incluídos nas equipes de Segurança de vôo (01) e de Tratamento de Dados de Lançamento do CLA (02).

Em outros prédios do setor de preparação e lançamento, paralelamente às atividades que se desenvolviam no prédio de preparação de propulsores, foram instalados equipamentos como o banco de controle do VLS-1, o sistema de aquisição e processamento dos dados de telemetria e a unidade de controle e carregamento de fluidos.

Em 14 de julho, o propulsor do segundo estágio foi transportado, içado (Figura 23) e montado na mesa de lançamento. No dia seguinte, foi transportado e integrado o saiote dianteiro do segundo estágio e, posteriormente, o propulsor A do primeiro estágio (Figura 24). A cada integração na mesa de lançamento era feita uma verificação de alinhamento do conjunto, com eventuais ajustes.



Figura 23 - Içamento para integração do segundo estágio.



Figura 24 - Içamento para integração do primeiro estágio.

Nos dias 16, 17 e 18 de julho, foram transportados para a torre móvel de integração e integrados os propulsores C, D e B do primeiro estágio, respectivamente (Figura 25). Paralelamente, outras equipes prepararam os meios de solo necessários à realização dos ensaios de redes elétricas, efetuados após cada integração completa de estágio.

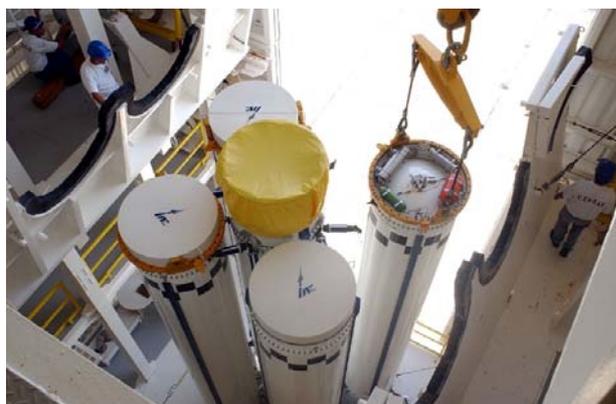


Figura 25 - Colocação propulsor B do primeiro estágio.

Em 25 de julho, foi transportado e integrado o propulsor do terceiro estágio (Figura 26).



Figura 26 - Terceiro estágio já acoplado no VLS-1 V03.

Ainda no dia 25 de julho, começou o carregamento do propelente líquido oxidante da baía de controle, sendo que no dia 28 foi carregado o propelente líquido combustível. A baía de controle foi transportada para a torre móvel de integração e instalada em 30 de julho (Figura 27).



Figura 27 - Baía de controle sendo integrada ao Veículo, na torre móvel de integração.

A baía de equipamentos (Figura 28) recebeu a plataforma inercial e o computador de bordo, passando por testes de recebimento em 30 de julho.



Figura 28 - Vista interna da baía de equipamentos.

A baía de equipamentos foi integrada ao Veículo na torre móvel de integração, em 31 de julho.

No dia 06 de agosto, foi transportado e instalado o quarto estágio (Figura 29).



Figura 29 - Integração do quarto estágio.

No dia 07 de agosto, foram transportados para a torre móvel de integração a coifa principal e o satélite SATEC, com o UNOSAT solidário.

No dia 08, foi feita a integração do satélite ao Veículo (Figura 30) e, posteriormente, o fechamento da coifa principal (Figura 31).



Figura 30 - Acoplamento do satélite ao Veículo.



Figura 31 - Fechamento da coifa principal.

Em 11 de agosto, foi verificada a verticalidade do Veículo (Figura 32), encerrando a etapa de integração e montagem do VLS-1 V03, passando-se, no outro dia, aos ensaios finais de redes elétricas, carregamento de óleo e

nitrogênio, ajustes de cabos umbilicais (desplugamento e recolhimento), colocação de carenagens e outras atividades de pré-vôo.



Figura 32 - Verificação da verticalidade do Veículo.

Em 17 de agosto foi realizada uma reunião geral (*Briefing* da Operação), envolvendo técnicos de todas as estações com ações durante o lançamento. O primeiro guarnecer para as equipes envolvidas com o Veículo na primeira repetição geral (espécie de treinamento operacional em que todos os setores envolvidos no lançamento executam funções idênticas ou semelhantes às do dia de lançamento) ocorreu na noite desse mesmo dia, com início às 23h 16min.

O horário do guarnecer (horário em que as pessoas têm que estar em sua posição operacional) é definido levando-se em conta o tempo estimado para cada tarefa de integração, montagem e testes do Veículo, além dos testes e atividades das diversas estações, partindo-se, de forma regressiva, do horário de lançamento (09h 56min, local) requerido pelo satélite (existe um intervalo de tempo em que ele pode ser lançado, com pequena variação diária). O horário desejado de lançamento e o horário limite a partir do qual o satélite não pode ser lançado ("janela de lançamento") é definido pelo cliente, no caso o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Na primeira repetição geral ocorreram diversas interrupções por motivos técnicos (sobretudo relacionados com a comunicação

interna ou devido a duração subestimada na contagem regressiva para determinadas tarefas) ou climáticos (ocorreu chuva na área do setor de preparação e lançamento), que exigiram mudanças na contagem e no revezamento de equipes para a segunda repetição geral. Essa primeira repetição encerrou-se em torno de 16h do dia 18 de agosto.

Na reunião que se seguiu ao término da primeira repetição geral, ficou decidido adiar a segunda repetição por um dia, para descanso das equipes. Assim, no dia 20, o primeiro guarnecer para as equipes envolvidas na segunda repetição geral ocorreu às 21h 16 min, com o encerramento em torno das 10h 30min do dia 21.

Após esse treinamento, o Coordenador Geral da Operação consultou os participantes acerca de se sentirem preparados para o lançamento na segunda-feira, 25, ou se achavam conveniente fazer mais um adiamento. A opção escolhida foi manter a data marcada. Em uma outra reunião, realizada a seguir com o Coordenador Geral da Operação, definiram-se as atividades a serem realizadas até o lançamento, prevendo-se atividades para sexta-feira, sábado e, talvez, domingo (poucas).

Na seqüência dos trabalhos, logo no início da tarde do dia 22 de agosto, quando estavam sendo realizadas algumas atividades, ocorreu o acidente.

CAPÍTULO 3

A Investigação

Ocorrido o acidente, o Coordenador Geral da Operação (CGO), de imediato instituiu uma comissão técnica de investigação, com a finalidade de conduzir ações de pós-acidente, entre elas: a documentação e preservação da cena do acidente, a coleta de evidências e o resgate e identificação das vítimas. Essa comissão, em razão da natureza de suas atribuições transitórias, não teve formalização em documento.

Ato contínuo e conseqüente, o Diretor-Geral do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento (DEPED), órgão de primeiro nível do Comando da Aeronáutica e ao qual o CTA é subordinado, expediu duas portarias:

- Portaria DEPED nº C-74/DG, de 26 de agosto de 2003, instaurando Inquérito Policial Militar; providência regulamentar, uma vez que do acidente resultaram vítimas; e

- Portaria DEPED nº C-75/DG, de 28 de agosto de 2003, designando uma Comissão Técnica de Investigação, composta por nove membros, oito dos quais já haviam participado dos trabalhos conduzidos pela comissão provisória de investigação. Essa mesma portaria autorizava o Presidente da Comissão a incluir novos membros, referidos no texto como especialistas, com o objetivo de "auxiliar na análise da falha e para acompanhamento dos trabalhos de investigação".

Constituída a Comissão Técnica, seu Presidente contactou o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes da Aeronáutica (CENIPA),

solicitando a indicação de profissionais para complementar o efetivo da Comissão.

O objetivo, ao agregar à Comissão pessoas com formação e experiência em investigação de acidentes aeronáuticos, foi transmitir e aplicar aos trabalhos a filosofia e a metodologia preconizadas pelo CENIPA, órgão executivo e doutrinário do Estado-Maior do Comando da Aeronáutica, dedicado à investigação e à prevenção de acidentes aeronáuticos, assim como à formação de recursos humanos especializados.

Em termos práticos e doutrinários, os acidentes aeronáuticos são abordados no contexto do trinômio "o homem - o meio - a máquina"⁸.

A ação do homem é analisada segundo duas vertentes, também referidas como fatores:

- Fator Humano, que compreende o estudo dos aspectos físico, fisiológico e psicológico, e

- Fator Operacional, que engloba a pesquisa das ações do homem no desempenho de suas atividades.

O meio, aqui entendido como a análise da influência das condições atmosféricas, é estudado sob o título de Fator Meteorológico.

Por fim, a máquina, objeto de investigação do Fator Material, refere-se genericamente a aeronaves. No presente acidente, o âmbito do estudo do Fator Material é

representado pelo VLS-1 V03 e seus sistemas de apoio.

Dessa forma e a pedido do Presidente da Comissão Técnica de Investigação, o CENIPA indicou profissionais para presidirem as Subcomissões do Fator Humano e do Fator Meteorológico. Foram designados, respectivamente, a Chefe da Divisão de Segurança do Trabalho do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA), elemento credenciado do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) para a investigação do Fator Humano/Aspecto Psicológico nos acidentes aeronáuticos; e o Chefe do Centro Meteorológico de Porto Alegre, do Destacamento Técnico de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA-PA).

A escolha dos nomes para condução das Subcomissões do Fator Material e do Fator Operacional, por sua vez, foi feita pelo próprio Presidente da Comissão Técnica de Investigação, levando em conta as características do acidente.

Assim, para presidir a Subcomissão do Fator Material, foi convidado um servidor com especialização em árvore de falhas, pertencente ao efetivo do Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI). O IFI é, usualmente, o órgão do CTA encarregado pelo CENIPA de conduzir a investigação do Fator Material relativo a acidentes ocorridos com aeronaves civis e militares, em território brasileiro.

Quanto ao Fator Operacional, a escolha recaiu sobre um oficial que ocupava a Chefia da Divisão de Engenharia do Parque de Material Aeronáutico do Campo das Afonsos e que havia sido recém-transferido para o CTA, elemento credenciado do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos como Oficial de Segurança de Vôo (OSV).

Os selecionados para presidir as quatro subcomissões tinham em comum o fato de não serem familiarizados com o Projeto VLS-1, nem terem pertencido ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), onde o projeto é desenvolvido.

Adicionalmente, em diferentes momentos, novos membros foram sendo agregados, dentre eles especialistas de nacionalidade russa.

Face às muitas indagações surgidas em função da participação desses especialistas estrangeiros, cabem aqui algumas considerações esclarecedoras.

Em primeiro lugar, há que se levar em conta que o Comandante da Aeronáutica Brasileira encontrava-se justamente em Moscou, em entrevista com o Comandante da Força Aérea da Rússia, no momento em que foi notificado sobre o acidente.

Um segundo aspecto a ressaltar é a reconhecida competência daquele país na área espacial e, em particular, em propulsão sólida.

Por fim, o histórico positivo de cooperação tecnológica entre o Brasil e a Rússia permitia concluir que haveria receptividade a um pedido de assistência técnica à investigação do acidente.

Assim, tendo obtido autorização do Ministro de Estado da Defesa do Brasil, o Comandante da Aeronáutica deu início às tratativas relativas ao suporte técnico de especialistas russos, posteriormente formalizadas por expediente do Ministério das Relações Exteriores.

Como esperado, o Governo Russo respondeu com a máxima presteza e enviou ao Brasil um alto executivo da área espacial, acompanhado de cinco de seus mais experientes especialistas.

A Comissão Técnica de Investigação recebeu ainda três representantes da comunidade científica brasileira e dois das famílias das vítimas.

Ao longo dos trabalhos, com a agregação de um especialista cedido pelo INPE, um pela EMBRAER e outros do próprio CTA, a Comissão alcançou o número de trinta e oito membros (Anexo A).

3.1 FATOR METEOROLÓGICO

O período de realização das operações de lançamento é definido a partir de uma série de fatores, entre eles as chamadas "janelas" meteorológicas.

Por essa expressão, entendem-se períodos em que, historicamente, o fator meteorológico apresenta condições favoráveis para o lançamento, como estações com pouca chuva.

O apoio da meteorologia é conduzido por equipes do CLA, do CLBI e da Divisão de Ciências Atmosféricas do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE/ACA); as duas últimas deslocadas para as campanhas de lançamento.

Essas equipes, trabalhando em conjunto durante a campanha de lançamento, realizam análise e avaliação dos resultados dos modelos de previsão numérica de tempo, monitoramento das condições meteorológicas reinantes, previsão de curto período (da ordem de até uma hora) e para as próximas horas e dias, para a região de Alcântara.

Objetivamente, para a elaboração das previsões meteorológicas, são usadas imagens de satélite, dados coletados por balões de sondagem e por estações e equipamentos específicos em solo. As informações de atividade elétrica e de eletromagnetismo atmosférico, produzidos por nuvens nas proximidades, são obtidas por meio de equipamentos de medição de campo elétrico "Electric Field Mill" (EFM), modelo EFM II, e de campo eletromagnético "Thunderstorm Sensor" (TSS), modelo TSS-928, e analisadas através de um aplicativo para computador tipo padrão IBM/PC.

A previsão de curtíssimo prazo é dificultada pela inoperância do radar meteorológico local. A busca nos registros relativos ao radar meteorológico mostra que foi levado para o CLA em 1989, onde chegou inoperante, condição em que permanece desde então.

Para atenuar a falta do radar durante as operações de lançamento no CLA, tem sido colocado um observador meteorológico, postado na cobertura da casamata. Utilizando-se de um binóculo, o observador avalia as condições meteorológicas, inclusive à noite, procurando identificar a aproximação de fenômenos meteorológicos adversos que possam influenciar o lançamento (chuva, trovoadas, relâmpago,

aumento de nebulosidade, etc.). As condições observadas são repassadas por telefone, a cada meia hora, para o meteorologista (previsor) que se encontra na estação de meteorologia do CLA.

Durante a Operação São Luís, foram realizadas previsões meteorológicas com frequência diária, realizadas no início da tarde pelos meteorologistas da Divisão de Ciências Atmosféricas do CTA (CTA/IAE/ACA).

Para o período das 12h, do dia 17, até às 12h, do dia 19 de agosto, foram previstas possibilidades de pancadas de chuvas ocasionais e, das 12h, do dia 22, até às 12h do dia 23, foi previsto tempo parcialmente nublado, com pouca probabilidade de chuva.

A Figura 33 mostra a imagem do satélite GOES, do dia 17 de agosto de 2003, de 00h 11min, horário local, onde pode ser observado, um sistema frontal atuando ao sul do Estado da Bahia e ao norte da região centro-oeste brasileira até a região norte da Amazônia.

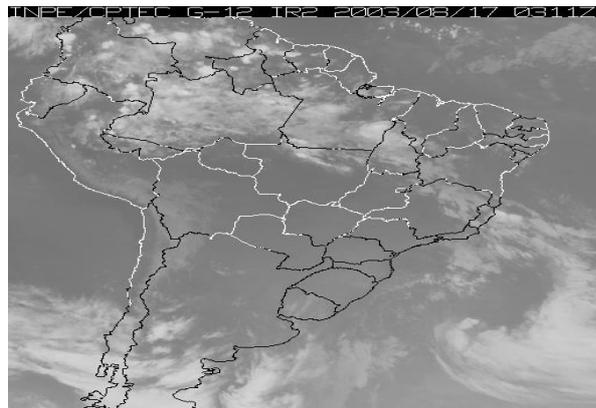


Figura 33 - Imagem do satélite meteorológico GOES - 12, canal dois infravermelho, à 00h 11min, horário local, do dia 17 de agosto.

A imagem Figura 34, do mesmo dia, porém no horário das 18h 39min, horário local, mostra que a aproximação frontal estimulou a formação de atividade convectiva, gerando instabilidades que se espalharam pela região norte e noroeste do Nordeste. A passagem de sistemas frontais no sudeste brasileiro causa o aumento da atividade convectiva na região amazônica. Esse efeito de modulação é bem conhecido na literatura. O Estado do Maranhão, especificamente, fica em uma região geográfica de transição da Amazônia para o Nordeste, tendo

sofrido, dessa forma, influência do sistema frontal.

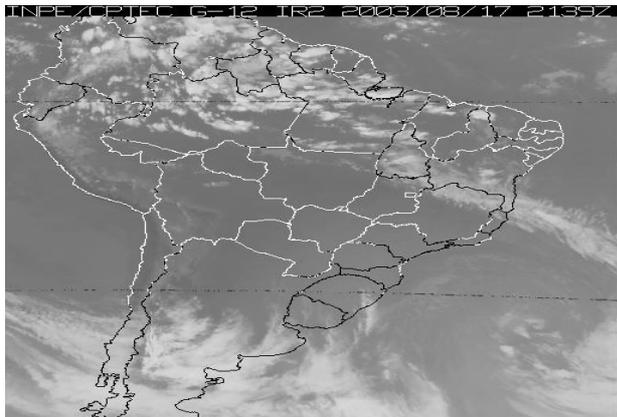


Figura 34 - Imagem do satélite meteorológico GOES - 12, canal dois infravermelho, às 18h 39min, horário local, do dia 17 de agosto.

Na madrugada do dia 18 de agosto, ocorreu formação de nebulosidade convectiva isolada, influenciada pela aproximação da frente fria, causando pancadas de chuvas esparsas sobre a região da torre móvel de integração e adjacências, chuva essa que não ocorreu na área da estação meteorológica automática de superfície DAVIS, distante oito quilômetros da área de lançamento.

Concomitantemente, estava em curso a primeira repetição geral de simulação de lançamento. Nessa condição, a torre móvel de integração é afastada do Veículo, para permitir o teste das redes elétricas.

Cerca de 00h 30min, o observador, postado na casamata, alertou para a iminência de chuva. Ato contínuo, a torre móvel de integração foi destravada e posta em movimento, visando envolver e proteger o Veículo. Todavia, em função do movimento necessariamente lento da torre, o VLS-1 V03 acabou por ser molhado, inclusive em algumas de suas partes internas, tendo sido feita secagem manual, através das janelas de inspeção.

Em análises posteriores, conduzidas pelas equipes técnicas, concluiu-se que não teria havido comprometimento dos circuitos elétricos/eletrônicos, pirotécnicos ou outros, existentes nos locais molhados, o que permitiria a continuidade do preparo do VLS-1 V03.

Ainda no dia 18 de agosto, ocorreu a formação de nebulosidade frontal sobre a região do CLA, atuando da tarde desse dia até a madrugada do dia 19. A Figura 35 mostra a imagem do satélite GOES-12, às 21h 12min. A chegada deste sistema frontal, no dia 18, ocasionou a formação de larga banda de nebulosidade sobre o Estado do Maranhão e, especificamente, sobre o CLA, associando-se à Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e gerando atividade convectiva com *cumulunimbus*, trovoada e pancada de chuva forte.

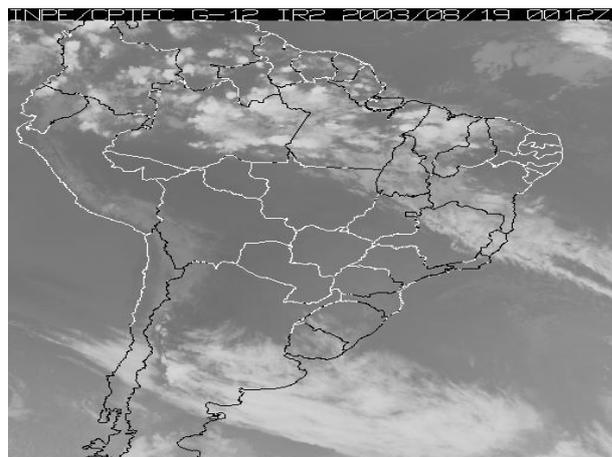


Figura 35 - Imagem do satélite meteorológico GOES - 12, canal dois infravermelho, às 21h 12min, horário local, do dia 18 de agosto.

A Figura 36 mostra o gráfico de precipitação do período da madrugada do dia 19 de agosto, quando ocorreu precipitação forte, cujo valor totalizado foi de 18,2 milímetros em duas horas. Foi o único dia de agosto, antes do acidente, no qual ocorreu precipitação significativa. Entretanto, essa ocorrência não ocasionou contato físico da chuva com o VLS-1 V03, posto que o mesmo estava agora protegido no interior da torre móvel de integração. A atividade frontal diminuiu no decorrer do dia 19 de agosto, sendo que nos dias 20 e 21 já não era significativa.

As condições gerais do tempo, durante o dia 22 de agosto, no CLA, apresentavam-se boas durante todo o período.

A imagem do satélite meteorológico GOES-12, das 12h do dia 22, permite que se faça uma análise mais ampla das condições sinóticas observadas no início da tarde do acidente.

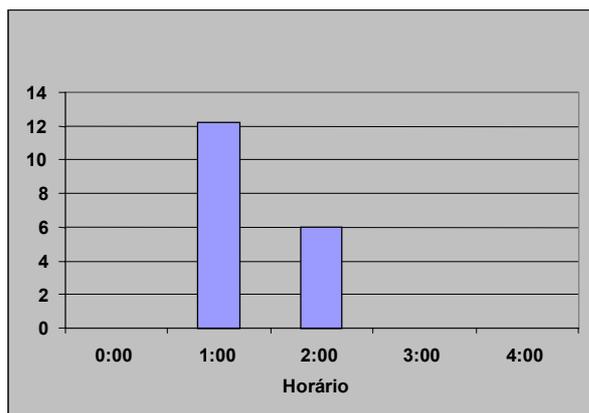


Figura 36 - Distribuição dos valores de precipitação que ocorreram na madrugada do dia 19 de agosto. Dados coletados pela estação DAVIS.

Observa-se, na Figura 37, a presença de nuvens baixas do tipo *stratocumulus* e *cumulus* de bom tempo na região de Alcântara e adjacências. A Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) encontra-se sobre o oceano nas imediações dos 5º norte de latitude, portanto muito distante do litoral maranhense, reduzindo bastante as chances de serem observadas atividades convectivas naquela região. No litoral leste da região Nordeste, mais precisamente no sudeste da Bahia, pode ser observado um aglomerado de nuvens médias e baixas, que é o resto de nebulosidade deixada por uma frente fria que passou na região nos dias anteriores.

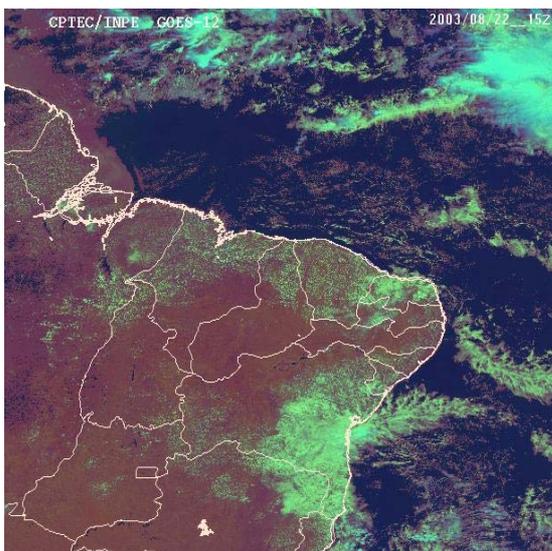


Figura 37 - Imagem GOES 12 – visível, das 12h, horário local, do dia 22 de agosto.

Os ventos de superfície, no horário do acidente, apresentavam-se relativamente fracos,

da ordem de 3,6 m/s, enquanto a umidade relativa apresentava valores entre 69 e 74%.

Os registros do sistema de detecção dos campos elétrico e magnético mostraram que no dia do acidente não ocorreram magnitudes que evidenciassem níveis críticos de campo elétrico e incidência de descargas atmosféricas que pudessem ser consideradas perigosas, na área coberta pelos equipamentos.

Conclusões parciais

As condições meteorológicas reinantes no dia do acidente, 22 de agosto, apresentavam-se boas, com ventos fracos e sem formação de nuvens que possibilitassem a ocorrência de chuva ou de descargas elétricas. Com base nessas condições favoráveis, a subcomissão que efetuou a análise do Fator Meteorológico concluiu não haver evidências de que as condições meteorológicas existentes no CLA tenham contribuído diretamente para o acidente. Em que pese a conclusão acima estar intrinsecamente correta, há que se observar, sob o ponto de vista operacional, alguns aspectos relevantes:

a) o radar meteorológico está inoperante. A existência de um radar é de grande importância operacional na vigilância meteorológica nas operações de lançamento no CLA, seja para monitoramento contínuo, seja para a realização de previsões de curtíssimo prazo;

b) na estação de meteorologia não foram encontradas normas operacionais completas que abranjam planos de degradação. Estes planos descrevem, progressivamente, as medidas a serem adotadas quando do aparecimento de problemas que afetem a atividade operacional. Como exemplo, a falta do radar meteorológico provavelmente seria restritiva para a simulação de lançamento no período noturno (e para o lançamento em si mesmo), já que a previsão de curtíssimo prazo estaria comprometida, caracterizando um nível operacional degradado;

c) não há Oficial Especialista em Meteorologia (QOEMET) ou civil de nível superior dessa especialidade para chefiar o setor de meteorologia e coordenar as atividades operacionais do CLA. Já houve tentativas anteriores de fixar um profissional nessa posição, sem sucesso. Em função do baixo número de lançamentos realizados anualmente e da dificuldade de fixar um profissional nessa posição, a solução que vem sendo empregada é

complementar a equipe do CLA, durante as operações, com elementos oriundos do CTA e do CLBI. O ideal seria que houvesse um profissional de meteorologia de nível superior no efetivo do CLA. A falta de um profissional com essa qualificação faz com que o comandamento das ações relativas à meteorologia seja exercido pelo operador, no caso o CTA, pois os cinco sargentos que compõem o efetivo local dessa especialidade não são qualificados para realizar previsão meteorológica.

Recomendações parciais

- a) Desenvolver normas operacionais relativas à degradação do sistema meteorológico do CLA.

- b) Instalar radar meteorológico para acompanhar a evolução temporal e espacial da cobertura de nuvens, melhorando e aumentando, significativamente, a precisão da vigilância meteorológica e da previsão de curtíssimo prazo nas atividades espaciais do CLA⁹.

- c) Alocar um Oficial Especialista em Meteorologia (QOEMET) ou civil de nível superior dessa especialidade no CLA.

3.2 FATOR MATERIAL



Figura 38 - Vista aérea do setor de preparação e lançamento do CLA.

Na Figura 38 é mostrada a vista aérea do cenário em que se desenvolveu o acidente com o VLS-1 V03, no dia 22 de agosto de 2003.

No momento do acidente, a maioria das pessoas que o testemunharam encontrava-se no prédio de preparação de propulsores, na casamata e na casa de apoio, com algumas em trânsito entre as instalações do setor de preparação e lançamento.

A torre móvel de integração estava deslocada para a posição em que abrigava o Veículo (Figura 39), permitindo, assim, que as diversas equipes trabalhassem nele.

Na parte esquerda da Figura 40, é apresentado o esboço de um corte lateral da torre móvel de integração, como seria visto por um observador que, estando inicialmente vendo a torre móvel de integração de frente, como na Figura 39, a contornasse no sentido de sua mão esquerda.



Figura 39 - Vista frontal da torre móvel de integração

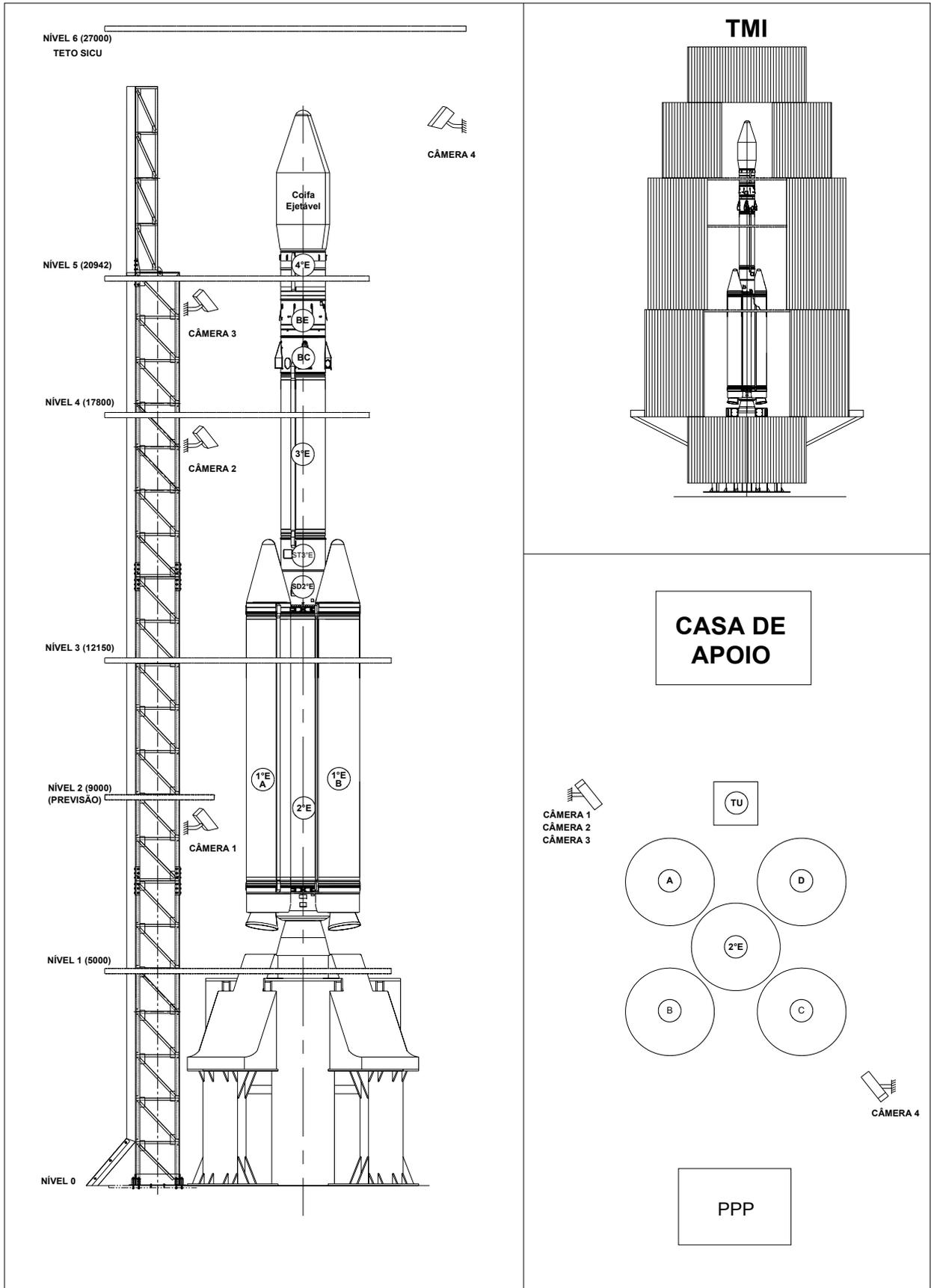


Figura 40 - Esboço representando o VLS-1 V03 no interior da torre móvel de integração. As siglas utilizadas no esboço são: TMI – torre móvel de integração; PPP – prédio de preparação dos propulsores.

É interessante notar, nesse esboço, a posição das câmeras de vigilância e das diversas plataformas internas (descritas como "nível") em relação às partes do Veículo. A estrutura de treliças à esquerda do Veículo, no esboço, é a torre de umbilicais.

Na parte inferior direita, são mostradas as câmeras de vigilância em relação aos propulsores, como seriam vistos por um observador postado na parte mais alta da torre móvel de integração. Os propulsores A e D ficavam ao fundo, próximos à parede traseira da torre móvel de integração. Os propulsores B e C eram os voltados para as portas dianteiras, que, no momento do acidente, estavam abertas.

Às 13h 26min 06s, conforme o relógio do sistema de vídeo do CLA, a câmera 2, situada no terceiro nível, flagrou o surgimento de um clarão alaranjado no vão entre o piso da plataforma e o propulsor A (Figura 41).

Segundo o laudo pericial feito pela Polícia Federal, os quatro quadros que aparecem nas imagens não eram gravados simultaneamente e, sim, na seqüência 1,2,3,4 retornando novamente ao quadro 1 ao fim de cada ciclo de gravação. A defasagem entre a gravação de cada quadro era de 250 milissegundos.

Nesse seqüenciamento, o quadro 2 era o que estava justamente sendo gravado, quando surgiu o clarão. O quadro 1 havia sido gravado 250 milissegundos antes; o quadro 4, 500 milissegundos; e o quadro 3, 750.

Esse conjunto de quadros permite concluir, preliminarmente, que o fogo iniciou abaixo do terceiro nível, ou seja em um ou mais propulsores do primeiro estágio, ou ainda no propulsor do segundo. Entretanto, por ter sido gravado 250 milissegundos antes do surgimento do clarão, o quadro 1 não registrou o surgimento do fluxo de gases através das tubeiras dos propulsores.

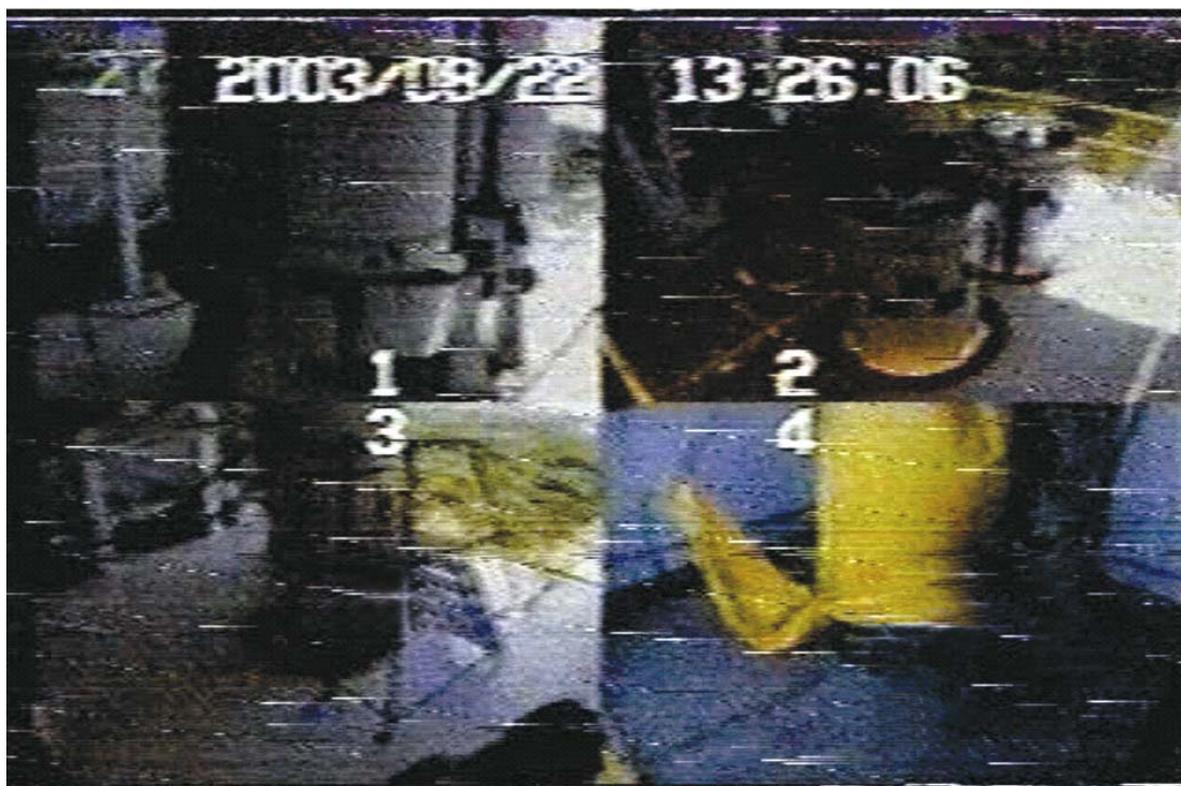


Figura 41 - Registro das câmeras de vigilância do CLA, no instante de 13h 26min 06s. A imagem da câmera 4 foi editada com o objetivo de remover as pessoas presentes no local.

No segundo seguinte (13h 26min 07s) as câmeras 1 (nível 1) e 2 (nível 3) já haviam saído de operação, em função da fumaça (Figura 42).

A câmera 3 deixou de mostrar imagens às 13h 26min 08s e a câmara 4 às 13h 26min 14s. Ou seja, em apenas 8 (oito) segundos toda a

torre móvel de integração já havia sido tomada pela fumaça dos gases a alta temperatura (até 3.000° C), tornando qualquer tentativa de escape literalmente impossível, mesmo que a torre móvel de integração fosse dotada de outros recursos de proteção ou fuga.

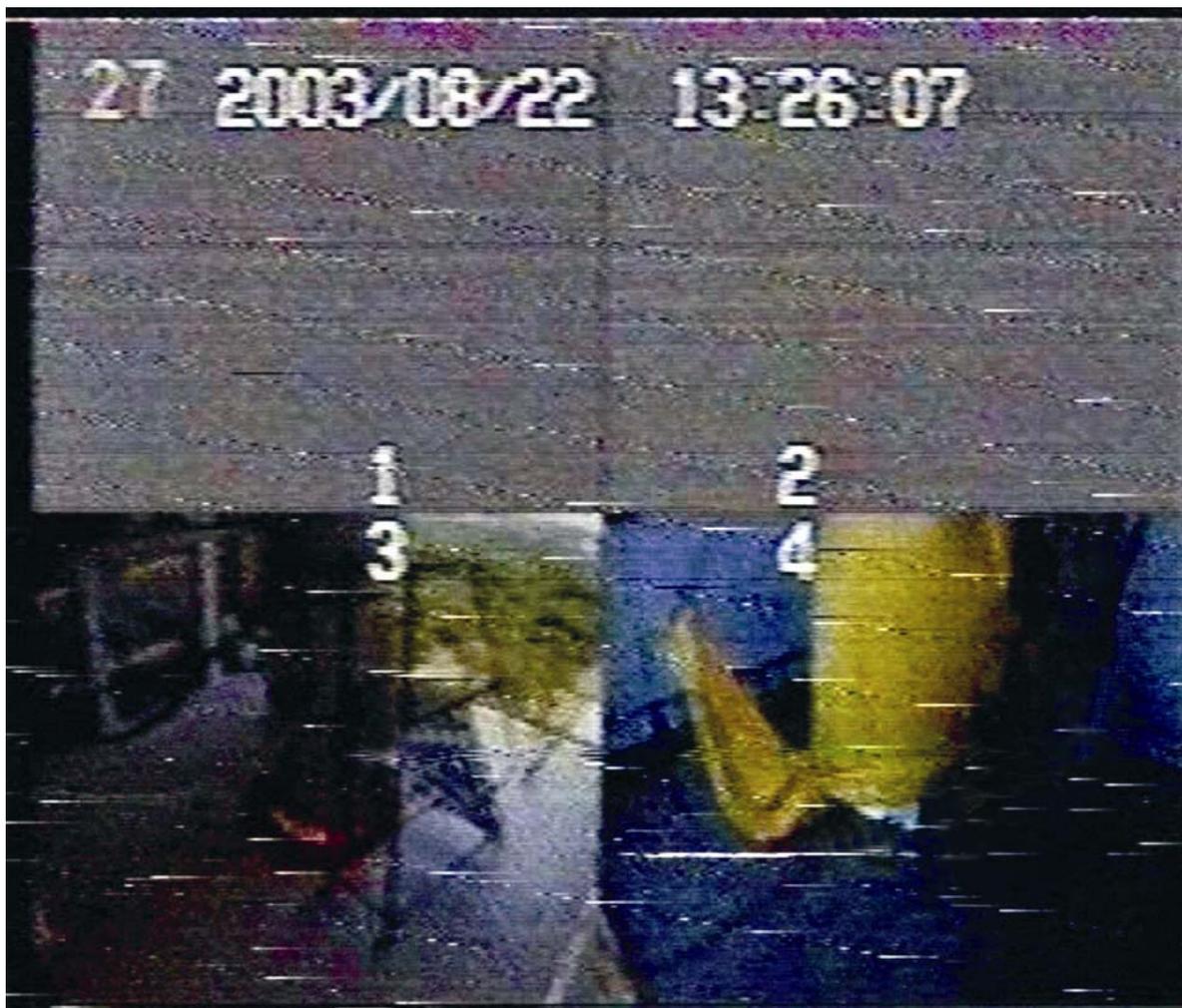


Figura 42 - Registro das câmeras de vigilância do CLA, no instante de 13h 26min 07s. A imagem da câmera 4 foi editada com o objetivo de remover as pessoas presentes no local.

Alguns instantes depois que a imagem da última câmera em operação desapareceu da tela do monitor, um servidor do CTA comutou a imagem para a câmera 6 situada sobre o prédio de preparação de propulsores (Figura 43).



Figura 43 - Registro da imagem tomada pela câmera 6, localizada sobre o prédio de preparação de propulsores.

Às 13h 30min 27s, um clarão intenso apareceu na parte mais alta da torre móvel de integração (Figura 44). Na seqüência, um fragmento de bloco propelente, que mais tarde constatou-se ser o propulsor do quarto estágio, foi lançado para fora (Figura 45), continuando a queimar no solo (Figura 46).



Figura 44 - Clarão observado na parte mais alta da torre móvel de integração às 13h 30min 27s.

Às 13h 31min 08s, a torre móvel de integração foi vista em pé pela última vez, indicando que se sustentou nessa posição por cinco minutos.

Todo o processo de queima, desde o início, às 13h 26min 06s, consumiu apenas 08 minutos e 45 segundos.



Figura 45 - Propulsor do quarto estágio é lançado para fora da torre móvel de integração.



Figura 46 - Fragmento de bloco propelente do quarto estágio queimando no solo.

Um sargento da equipe de apoio fotográfico, com grande familiaridade com testes de queima de propulsores em banco de provas, e que estava entre a torre móvel de integração e o prédio de preparação de propulsores, no momento em que teve início o acidente, descreveu que ouviu o ruído típico de acendimento normal de um propulsor: um forte estrondo, seguido do ruído de jato de gases a alta temperatura, fluindo através da tubeira. Virou-se para a torre móvel de integração e viu, de fato, um jato saindo da parte inferior esquerda do VLS-1 V03. Da posição em que estava, apenas não conseguiu precisar se era de um dos propulsores A ou B, ou de ambos.

Pessoas que estavam na casa de apoio e que também tinham grande familiaridade com ensaios de propulsores em banco de prova descreveram o mesmo ruído e afirmaram não ter dúvidas de que pelo menos um propulsor havia funcionado normalmente. Reportaram ainda terem ouvido sucessivos estrondos, ao longo da queima, presumivelmente devido à detonação dos pirotécnicos de destruição do Veículo ou à explosão de cilindros pressurizados.

Na tarde do dia seguinte, quando se tornou possível o acesso aos arredores e ao interior do que restou da torre móvel de integração, foi iniciada a pesquisa sobre as causas do acidente.

O exame da mesa de lançamento, sobre a qual o VLS-1 V03 ficava apoiado, mostrou que o defletor correspondente ao propulsor A do primeiro estágio apresentava o desgaste característico da ação de gases quentes. Defletores são componentes da mesa de lançamento que possuem a função de desviar ("defletir") o jato de gases dos propulsores do primeiro estágio, a fim de evitar que seu refluxo perturbe o Veículo quando da decolagem do mesmo da mesa de lançamento (Figura 47).



Figura 47 - Detalhe dos planos inclinados formados pelos defletores.

No caso particular do defletor do propulsor A, havia um sulco no centro do mesmo, correspondente à remoção de material pela ação dos gases quentes (Figuras 48 e 49).



Destroço da tubeira

Desgaste e furo no meio do defletor

Figura 48 - Defletor que ficava posicionado sob o propulsor A.



Figura 49 - Defletor que ficava posicionado sob o propulsor A.

Apenas para comparação, é mostrado na Figura 50 um dos demais defletores. Observa-se que, apesar de queimado, não há sinais de desgaste.



Figura 50 - Defletor de um dos três outros propulsores do primeiro estágio.

Na parte central da mesa de lançamento (Figura 51), foi encontrado o envoltório do propulsor do segundo estágio. Não foi constatado também qualquer sinal de que tenha funcionado como um propulsor.



Figura 51 - Vista superior da parte central da mesa de lançamento. O vão central ficava exatamente em baixo do propulsor do segundo estágio. À esquerda, no vão, é possível observar o que restou do propulsor.

Ainda como parte da pesquisa sobre o possível funcionamento dos propulsores, foi realizado o exame visual e dimensional do inserto de material carbono-carbono que conforma as gargantas das tubeiras.

Tubeiras (Figura 52) são dispositivos existentes na saída dos propulsores por onde fluem os gases quentes, durante o funcionamento normal dos propulsores.

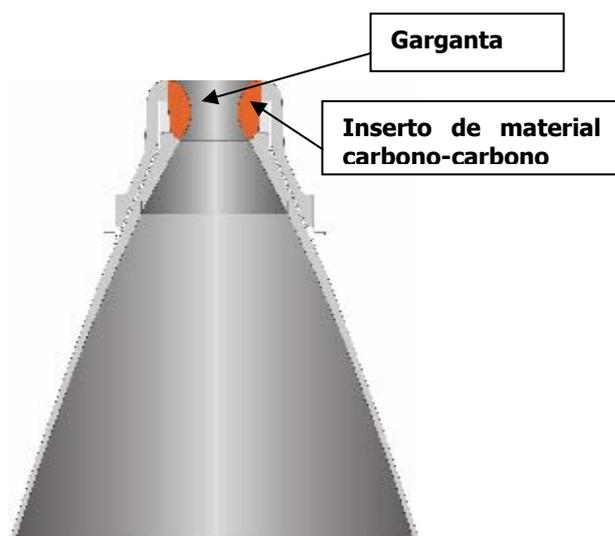


Figura 52 - Representação esquemática de uma tubeira.

Nas Figuras 53 a 56 são mostradas as gargantas das tubeiras do propulsor do segundo

estágio e do propulsor A, do primeiro estágio, para fins de comparação.



Figura 53 - Garganta do propulsor do segundo estágio.



Figura 54 - Detalhe do inserto carbono-carbono da garganta do propulsor do segundo estágio.



Figura 55 - Garganta do propulsor A do primeiro estágio.



Figura 56 - Detalhe do inserto carbono-carbono da garganta do propulsor A do primeiro estágio. Observa-se que há "estrias" (ou desgaste) aparentes, o que indica que fluxo de gases passou por essa região.

O resultado da inspeção das gargantas é apresentado na Tabela 1.

O exame das gargantas das tubeiras confirmou a dedução inicial, feita a partir das imagens das câmeras de vigilância (Figura 41), de que o funcionamento nominal de um propulsor, ouvido pelas testemunhas, não foi produzido por qualquer dos propulsores posicionados acima do terceiro nível, ou seja, a queima não teve início nos propulsores do terceiro e quarto estágios. Indicou ainda que os propulsores C e D, do primeiro estágio, e o propulsor do segundo estágio não foram os que dispararam intempestivamente, deixando em aberta, entretanto, essa possibilidade em relação ao propulsor A ou ao B.

Durante a investigação, a inspeção conduzida no interior da torre móvel de integração e em seus arredores, permitiu coletar uma série de outras evidências.

Como mostra a Figura 57, houve a remoção de material, por fusão, de uma viga cuja seção tinha cerca de 30 cm de altura. Essa região da viga ficava justamente na posição de incidência do jato de gás quente do propulsor A. Em nenhuma outra região interna da torre móvel de integração foi constatado fenômeno semelhante.

PROPULSOR	DIAGNÓSTICO
1 ^o A	Estima-se que o propulsor funcionou, em regime nominal de operação, durante 40 segundos.
1 ^o B	Garganta encontrada, mas não foi possível retirá-la dos escombros até a data de fechamento deste relatório.
1 ^o C	Não houve fluxo pela garganta da tubeira.
1 ^o D	Não houve fluxo pela garganta da tubeira.
2 ^o	Não houve fluxo pela garganta da tubeira.
3 ^o	Não houve fluxo pela garganta da tubeira.
4 ^o	Não houve fluxo pela garganta da tubeira.

Tabela 1 - Condição constada nos exames a que foram submetidas as gargantas de tubeiras encontradas.



Figura 57 - Imagem das vigas que tiveram material removido por ação do jato de gás quente do propulsor A (ação de maçarico).

Adicionalmente, pôde ser constatado que as laterais da torre móvel de integração, em sua parte mais baixa, estavam bastante destruídas, especialmente na direção do defletor do propulsor A (Figuras 58 e 59).



Figura 58 - Vista lateral da torre móvel de integração, lado dos propulsores A e B.



Figura 60 - Vista da parte traseira da torre móvel de integração, lado dos propulsores A e B.



Figura 59 - Vista lateral da torre móvel de integração, lado dos propulsores C e D.

Isso pode ser melhor observado pela vista da parte traseira da torre, pelo lado do propulsor A (Figura 60), onde aparece com mais nitidez a destruição causada pelo fluxo de gases quentes de exaustão. É também perceptível que as "patolas" de fixação da torre ao solo foram severamente afetadas nessa região.

Nesse mesmo lado, houve acentuada deposição de resíduos de alumínio sobre o piso de concreto, formando um cone (Figuras 61 e 62), com vértice na posição do defletor do

propulsor A (o propelente utilizado possui parcela significativa de alumínio em sua composição). Dois outros pontos de deposição de resíduos de alumínio aparecem também na Figura 61, significando que pedaços de propelente queimaram ali.

Essa deposição de alumínio, entretanto, não aparece na direção dos defletores dos propulsores B, C e D do primeiro estágio, nem sob a mesa de lançamento, abaixo do propulsor do segundo estágio.

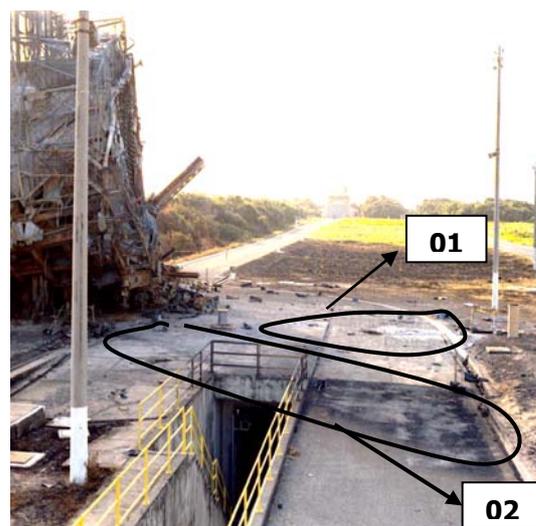


Figura 61 - Vista lateral direita da torre móvel de integração, mostrando, no detalhe, as regiões de deposição de resíduos de alumínio. A região identificada com o número 02 é a do cone de deposição de alumínio; a de número 01 assinala dois pontos onde blocos de propelente queimaram.



Figura 62 - Detalhe do piso de concreto, na lateral direita da torre móvel de integração, podendo-se perceber, com clareza, a deposição de resíduos de alumínio em forma de cone, projetando-se, inclusive, sobre o guarda-corpo que protege a entrada da sala de interface.

Com base em todas essas evidências, concluiu-se que o acidente teve início com o funcionamento intempestivo do propulsor A do primeiro estágio. Essa foi também a conclusão a que chegaram os especialistas russos que participaram da investigação.

A partir desse ponto, a pesquisa seguiu o rumo de identificação das causas que levaram ao funcionamento do propulsor, começando pela análise das tarefas realizadas na manhã do dia 22 e, particularmente, pelo que estava sendo executado no momento do disparo intempestivo.

Segundo os registros e as entrevistas conduzidas, na parte da manhã do dia do acidente foram realizadas as seguintes tarefas:

a) Equipe de integração e ensaios

- retirada das saias traseiras dos propulsores A, B, C e D do primeiro estágio, visando propiciar os trabalhos da equipe de propulsão. Essa tarefa era realizada no nível 1 da torre;

- retirada das coifas dos propulsores dos propulsores A, B, C e D do primeiro estágio, visando propiciar as atividades das equipes de propulsão, pirotecnia e eletrônica. Tarefa realizada no nível 3;

- retirada parcial do escudo térmico do propulsor do 2º estágio, para a atividade da equipe de propulsão. Tarefa realizada no nível 1;

- integração final dos terminais de calhas traseiras (elétricas) dos propulsores A, B, C e D do primeiro estágio e do terminal de calha traseira (elétrica) do propulsor do segundo estágio. Tarefa realizada no nível 1; e

- integração final da carenagem da câmara embarcada, situada na baía de equipamentos. Tarefa realizada no nível 4.

b) Equipe de propulsão

- carregamento com óleo dos reservatórios dos sistemas de atuação de tubeira móvel dos primeiro, segundo e terceiro estágios. Tarefa realizada nos níveis 1 e 3; e

- troca do sensor de pressão de nitrogênio dos sistemas de atuação de tubeira móvel do segundo estágio. Tarefa realizada no nível 1.

c) Equipe de pirotecnia

- instalação dos detonadores dos propulsores A, B, C e D do primeiro estágio. Tarefa realizada no nível 3; e

- ajuste da carenagem do sistema de separação dos primeiro e segundo estágios, localizada na parte inferior, entre os propulsores C e D do primeiro estágio. Tarefa realizada no nível 1.

d) Equipe de eletrônica

- finalização da descarga de baterias;

- realização de testes do módulo sensor inercial (MSI);

- conexão elétrica do sistema de ignição dos detonadores dos propulsores D e A, nessa ordem. Tarefa realizada no nível 3;

- aplicação de vedante (silicone) nos terminais das calhas traseiras (elétricas) dos primeiro e segundo estágios. Tarefa realizada no nível 1;

- acompanhamento da troca de sensor de nitrogênio do sistema de atuação de tubeira móvel do segundo estágio. Tarefa realizada no nível 1; e

- verificação dos transdutores de pressão (do propulsor e do ignitor) dos propulsores A, B, C e D do primeiro estágio. Tarefa realizada no nível 3.

e) Equipe de registro de imagens

- registro das atividades das equipes de pirotecnia, eletrônica e propulsão no nível 3.

f) Equipe de coordenação técnica

- acompanhamento das atividades em todos os segmentos do veículo.

g) Equipe da garantia da qualidade

- acompanhamento das atividades em todos os segmentos do veículo.

h) Equipe de segurança

- acompanhamento das atividades em todos os segmentos do veículo.

Para a composição do quadro de tarefas que estavam sendo executadas no momento do acidente, foram considerados: a continuidade da execução dos trabalhos previstos (período da tarde) para as equipes, o registro filmado (vídeo) pelas câmeras de segurança do CLA (situadas nos vários níveis da torre móvel de integração) e as declarações dos chefes de equipe, tomadas após o acidente.

a) Equipe de integração e ensaios (4 pessoas)

- atuava na fixação definitiva das calhas do quarto estágio, nos níveis 4 e 5 da torre móvel de integração. No momento do acidente, a calha do quarto estágio, correspondente ao lado dos propulsores A e B do primeiro estágio, já havia sido integrada. A calha do lado correspondente aos propulsores C e D estava sendo integrada (parte superior da calha) no nível 5 da torre.

b) Equipe de propulsão (5 pessoas)

- atuava na pressurização, com nitrogênio, dos sistemas de atuação de tubeira móvel dos propulsores A, B, C e D do primeiro, do segundo e do terceiro estágios, nos níveis 1 e 3; e

- realizava, ainda, o recolhimento dos materiais e equipamentos utilizados nos

carregamentos com óleo dos reservatórios dos sistemas de atuação de tubeira móvel dos propulsores do primeiro, segundo e terceiro estágios (realizado pela manhã), nos níveis 1 e 3.

c) Equipe de eletrônica (5 pessoas)

- parte da equipe atuava no ajuste dos conectores umbilicais do quarto estágio, no nível 5 da torre; e

- a outra parte da equipe acompanhava a integração final das calhas do quarto estágio, nos níveis 4 e 5, e as atividades que estavam sendo executadas no nível 3.

d) Equipe de desplugamento (2 pessoas)

- participava dos ajustes dos umbilicais elétricos do quarto estágio. Atuava em conjunto com a equipe de eletrônica, no nível 5 da torre.

e) Equipe de registro de imagens (3 pessoas)

- ajustava a câmera de vídeo, situada na parte superior da torre de umbilicais, no nível 5 da torre móvel de integração.

f) Equipe de coordenação técnica (1 pessoa)

- acompanhava as atividades que se realizavam no nível 3 e nível 4.

g) Equipe da garantia da qualidade (1 pessoa)

- acompanhava as atividades da equipe de propulsão, no nível 1.

As atividades desenvolvidas na casamata, no momento do acidente e que eram registradas pelo banco de controle, consistiam da monitoração do Veículo (por exemplo, dos sensores de pressão, relativos ao trabalho de pressurização dos sistemas de atuação de tubeira móvel) e não havia atividades envolvendo o painel de disparo.

Tendo essas informações como referência inicial, foi montada uma árvore de falhas, composta por 26 eventos, assumindo-se o funcionamento intempestivo do propulsor A como o evento de topo. Desses 26 eventos, 11 são aqui discutidos resumidamente. A árvore de falhas completa é apresentada nas Figuras 90 e 91.

3.2.1 Construção e discussão da árvore de falha

No primeiro nível da árvore, foram identificadas três possíveis causas do evento funcionamento intempestivo do propulsor A (Figura 63).

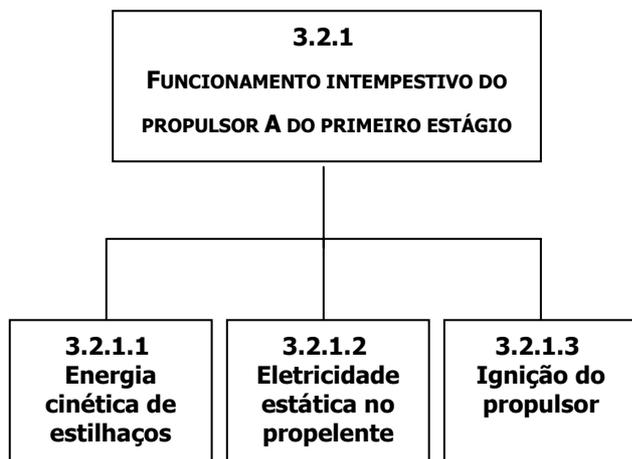


Figura 63 - Causas possíveis do funcionamento intempestivo do propulsor A (primeiro nível da árvore de falha).

Cada uma dessas três primeiras hipóteses foi então investigada.

3.2.1.1 Energia cinética de estilhaços

Esta primeira hipótese supõe a explosão de um cilindro com nitrogênio, sob uma pressão de 300 bar, fazendo surgir estilhaços, com energia cinética suficiente para perfurar a carcaça do propulsor. Esses estilhaços seriam, em seguida, freados no propelente sólido, produzindo calor suficiente para levá-lo à combustão.

A análise das condições de projeto e de testes dos cilindros utilizados nos protótipos do VLS-1 mostrou que a ruptura por pressão ocorre entre 700 e 900 bar. Adicionalmente, os cilindros, ao serem recebidos do fornecedor, foram todos testados com pressão de até 1,5 vezes a pressão nominal de operação.

Deve-se ainda considerar que os cilindros do sistema de controle da tubeira móvel, que são os mais perigosos por trabalharem com maior pressão (300 bar), instalados na parte inferior dos propulsores do primeiro estágio, estavam a uma pressão de apenas 50 bar no momento do acidente.

A inspeção das imagens do sistema de

vigilância do CLA também não indicou sinais de explosão dos cilindros do propulsor A ou dos propulsores vizinhos pouco antes do acidente (a câmera de vídeo estava disposta justamente em frente ao propulsor A).

Por fim, um evento com estes contornos - em que estilhaços teriam perfurado a carcaça e iniciado a combustão do propelente - dificilmente teria o comportamento de queima observado nos destroços.

Por conseguinte, esta hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

3.2.1.2 Eletricidade estática no propelente

Esta segunda hipótese supõe a acumulação de eletricidade estática na carga principal do propelente ou na camada protetora adesiva, dando origem ao surgimento de descarga elétrica potente, com energia igual ou superior à energia de ativação do propelente.

Essas descargas seriam desencadeadas em pequenas rachaduras ou bolhas, surgidas quando do processo de produção do propelente ou do carregamento e finalização da produção dos propulsores, ou ainda resultantes do manuseio e transporte até a montagem final no Veículo.

Em reforço a esta tese, os especialistas russos citaram a inexistência de ligações elétricas (pontes) entre o propelente e a carcaça dos propulsores brasileiros.

Reconheceram, entretanto, que descargas elétricas dessa ordem de potência são eventos raros.

Em termos efetivos, foi considerado que somente uma descarga atmosférica (raio) de alta intensidade poderia passar para o interior do propulsor e produzir a combustão. A esse respeito, a investigação conduzida sobre o fator meteorológico concluiu pela não ocorrência de descarga atmosférica no dia do acidente.

Em consequência, esta hipótese foi considerada como de baixa probabilidade de ocorrência.

3.2.1.3 Ignição do propulsor

Para melhor entendimento desta terceira hipótese, faz-se necessária uma explicação adicional.

A ignição normal dos propulsores do VLS-1 ocorre através do acendimento de um dispositivo de propelente sólido, alojado no orifício central do bloco de propelente principal, na parte superior do próprio propulsor, denominado **Conjunto de Ignição**. A Figura 64 apresenta a vista superior e o corte vertical de um desses dispositivos.

O processo inicia-se com a passagem de uma corrente elétrica da ordem de 5 A por um

primeiro elemento denominado **Detonador**, que, em função do aquecimento de um filamento interno, envolto por uma pequena quantidade de material explosivo, provoca uma detonação.

A detonação, por sua vez, faz surgir uma onda de choque que inicia outra composição pirotécnica, dentro de um segundo elemento, o **Iniciador**, gerando gases a alta temperatura e dando início ao processo de acendimento (combustão) do **Ignitor**.

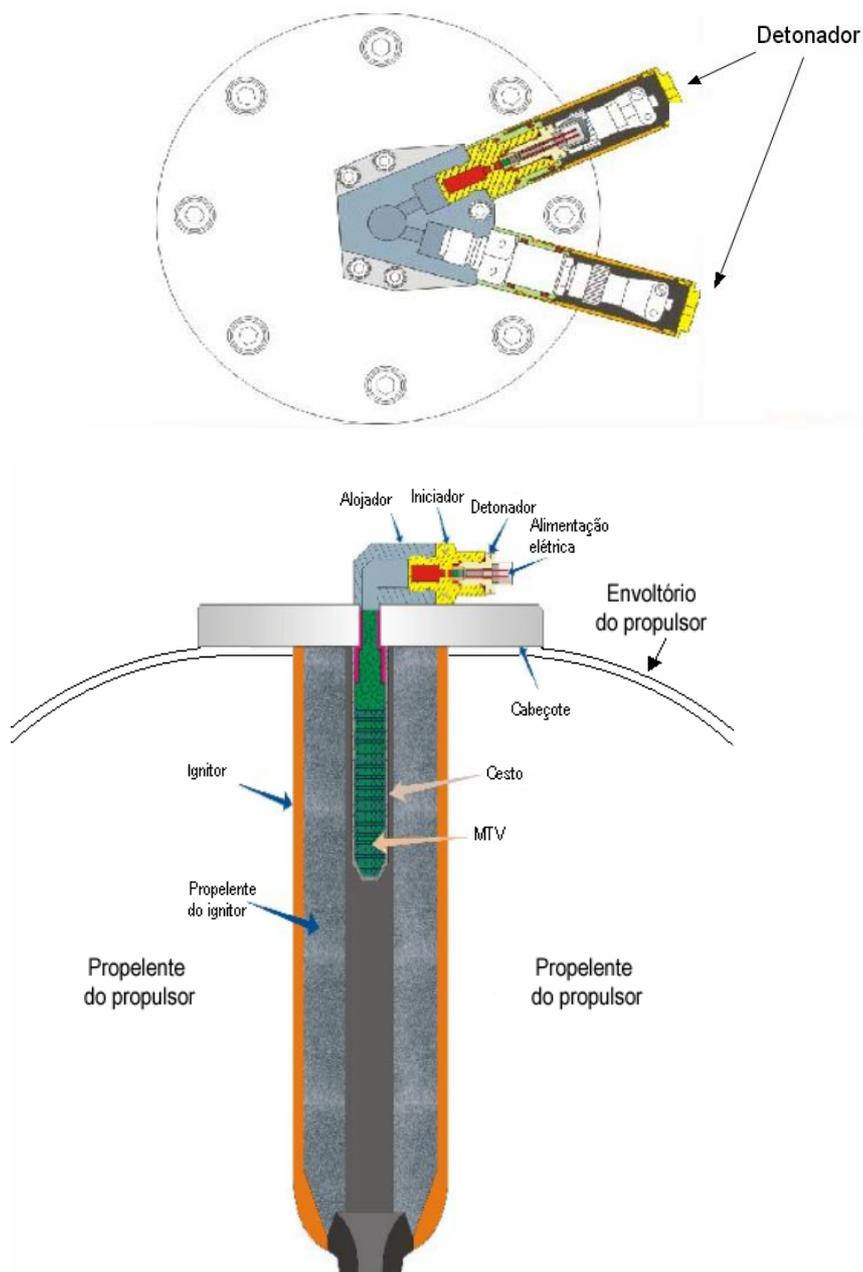


Figura 64 - Conjunto de ignição dos propulsores do VLS. A sigla MTV, refere-se às pastilhas pirotécnicas a base de magnésio e organofluorados

A corrente necessária para acender a carga explosiva do detonador surge normalmente por meio de comando programado de uma fonte de tensão elétrica, provocando o acendimento intencional do propulsor. No caso do acidente com o VLS-1 V03 foi analisada também a hipótese de acionamento não intencional, ou ainda de acionamento intencional por ação de oponente racional. Esta última hipótese é discutida na Seção 3.3 "Fator Operacional".

No total, quatro possíveis causas de ignição do propulsor A do primeiro estágio foram investigadas (Figura 65): ocorrência de uma descarga atmosférica (raio); ocorrência de uma descarga elétrica interna (centelha) no sensor de pressão do ignitor; corrente elétrica ao longo da linha normal de ignição, mesmo com essa linha nas condições de segurança; ou ainda por uma descarga eletrostática (centelha) entre um dos pinos do detonador e a carcaça.

3.2.1.3.1 Ocorrência de descarga atmosférica (raio)

No CLA, conforme discutido na Seção 3.1 "Fator Meteorológico", existe um equipamento com capacidade para registrar descargas atmosféricas na área, não tendo sido detectada ocorrência de fenômeno dessa natureza no dia do acidente.

Por conseguinte, esta hipótese foi considerada improvável.

3.2.1.3.2 Ocorrência de uma descarga elétrica interna (centelha) no sensor de pressão do ignitor

Esta segunda hipótese para a ignição do propulsor A foi concebida a partir da informação que os sensores de pressão, posicionados nos ignitores, apresentaram aquecimento anormal.

No conjunto de ignição, são instalados dois sensores. Um mede a pressão interna no interior do ignitor, enquanto o outro, a do propulsor.

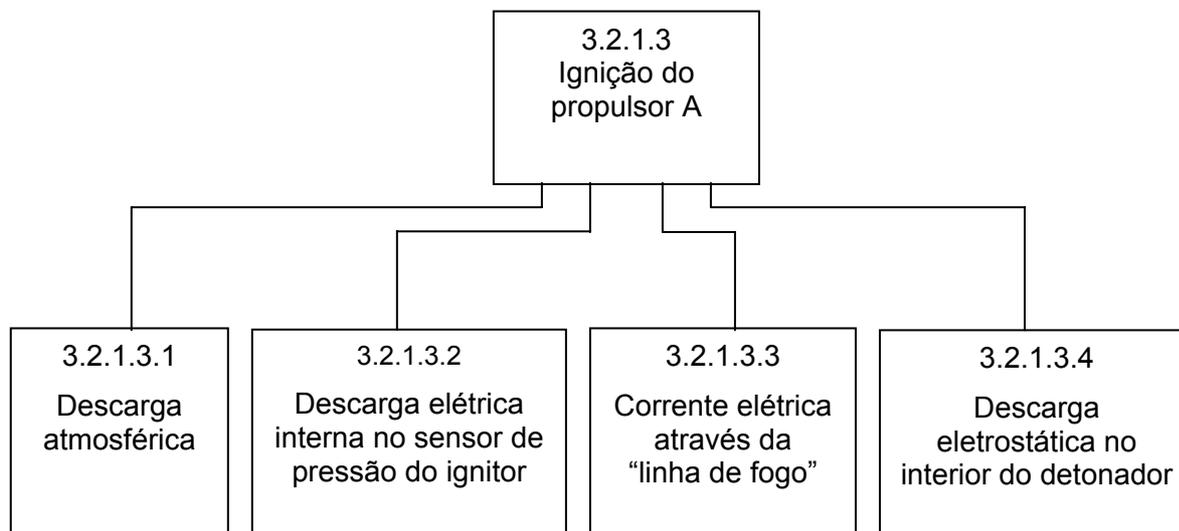


Figura 65 - Possíveis causas de ignição do propulsor A do primeiro estágio.

O sensor de pressão do ignitor está instalado no cabeçote do mesmo, na posição horizontal, ao passo que o sensor do propulsor está instalado na posição vertical. Na Figura 66 é possível distinguir esses sensores, bem como o conjunto iniciadores/detonadores, com as devidas proteções dos cabos elétricos.

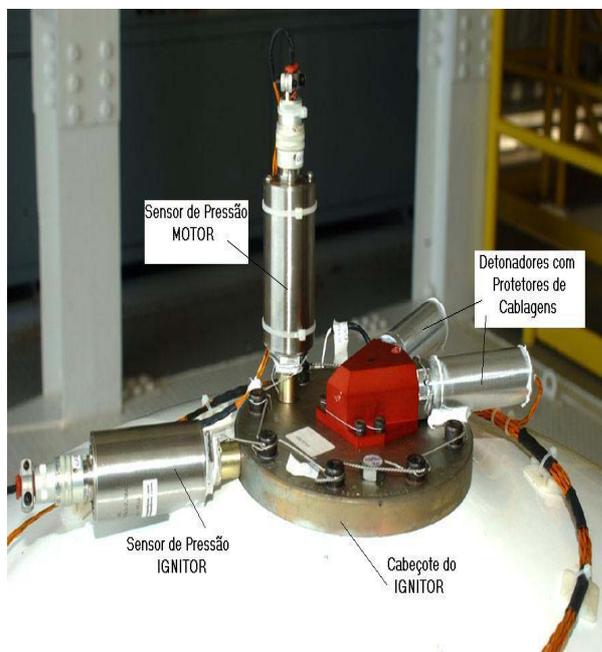


Figura 66 - Vista superior de um propulsor, mostrando a posição dos detonadores e dos dois sensores de pressão.

A hipótese parte do princípio de que na parte superior do bloco de propelente, incluindo o ignitor, poderia ter havido acúmulo de gases (metano, oxigênio, etc), eventualmente produzidos pela decomposição lenta do combustível sólido.

O diafragma do sensor poderia ter sofrido ruptura, por aquecimento, permitindo que gases tivessem atingido a parte elétrica, de onde poderia ter saltado uma centelha, produzindo assim a inflamação da mistura de gases.

Entretanto, há que se considerar que, para a efetivação dessa versão, é necessária a coincidência de três eventos: o acúmulo de gases na proporção necessária, dentro da cavidade do ignitor ou no canal de carga; a presença de uma descarga elétrica; e a ruptura do diafragma do sensor.

A cavidade do ignitor é separada da cavidade da carga mediante um tampão. Por esse motivo, no ignitor poderia haver acúmulo de gases somente a partir de um volume

relativamente pequeno de combustível dentro do ignitor.

Todavia, durante a instalação dos pirotécnicos, realizada algumas horas antes do acidente, a cavidade do ignitor esteve em contato com a atmosfera. Além disso, uma análise preliminar da composição do propelente mostrou que ele não gera substanciais emanações de gases. Assim, considerando o tempo decorrido após o fechamento, à atmosfera, da cavidade do ignitor e a baixa emanação por parte do propelente, não poderia ter havido acúmulo de gases, em concentração considerável.

Contra esta hipótese, contam também os registros do banco de controle, situado na casamata, que indicam que o sensor não estava recebendo alimentação elétrica no momento do acidente.

Pelas razões apresentadas, esta hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

3.2.1.3.3 Corrente elétrica através da "linha de fogo"

Esta terceira hipótese para a ignição do propulsor A fica melhor compreendida com o auxílio da Figura 64, onde se vê que cada propulsor possui um conjunto de ignição composto de um ignitor e dois conjuntos de iniciação. Cada conjunto de iniciação, por sua vez, é composto de um detonador elétrico e um iniciador por onda de choque.

Todos os conjuntos de iniciação estavam montados nos respectivos propulsores do VLS-1 V03, mas apenas os conjuntos dos propulsores A e D do primeiro estágio estavam conectados à cablagem de alimentação elétrica.

Para que a hipótese ora em análise pudesse ter ocorrido, seria necessário que os detonadores do propulsor A tivessem recebido corrente elétrica com intensidade suficiente para acioná-los.

Assim, a verificação da hipótese dependia de que fosse encontrado e inspecionado, pelo menos, o conjunto de iniciação do propulsor A.

Nos destroços do VLS-1 V03, foram encontrados treze conjuntos de iniciação dos propulsores, sendo dois do propulsor A, dois do B, dois do C e um do D; um do segundo estágio, dois do quarto e três reservas, que estavam no local do acidente. Não foram encontrados dois

conjuntos de iniciação do terceiro estágio, um do segundo estágio e um do propulsor D do primeiro estágio.

Nas Figuras 67, 68 e 69 são mostrados os conjuntos de iniciação recuperados.



Figura 67 - Conjuntos de iniciação recuperados. Da esquerda para a direita: par de conjuntos pertencentes ao propulsor A, conjunto do estoque, conjunto do propulsor B e conjunto reserva, queimado no incêndio.



Figura 68 - Da esquerda para a direita, o primeiro conjunto pertence ao propulsor B e o segundo e terceiro pertencem ao propulsor do quarto estágio.



Figura 69 - Da esquerda para a direita, os dois primeiros conjuntos eram conjuntos reservas; o terceiro é um conjunto que estava montado no propulsor "D"; o quarto conjunto pertencia ao segundo estágio e o quinto e o sexto pertenciam ao propulsor "C".

A identificação dos componentes pirotécnicos encontrados, na sua maioria, não

pôde ser feita pelos números de série, devido à perda de documentos no incêndio e pela destruição das inscrições dos números de série das peças que integravam os domos dianteiros dos propulsores, encontrados nos destroços.

A confirmação da identidade dos conjuntos de iniciação dos propulsores A e C foi possível devido à identificação dos números de série dos transdutores de pressão encontrados nos ignitores. A localização do domo dianteiro do propulsor A está indicada na Figura 70, onde é visto sobre a mesa de lançamento, na posição referente à de montagem do propulsor A.

O conjunto de iniciação, identificado como sendo do propulsor D, foi encontrado no chão, no mesmo local do domo dianteiro, na posição correspondente à posição de montagem do referido propulsor (Figura 70).

A mesma analogia, por local, foi feita para a identificação dos dois conjuntos de iniciação do propulsor B do primeiro estágio, para o conjunto de iniciação do segundo estágio e para os dois do quarto estágio.

A inspeção dos conjuntos consistiu, inicialmente, de radiografia por raio X. Para melhor entendimento da análise, são mostradas, na Figura 71, imagens de radiografias para referência.

As imagens das radiografias de seis dos conjuntos recuperados são mostradas na Figura 72.

Observa-se, na Figura 72, que o material explosivo de um dos conjuntos de ignição do propulsor A, dois do propulsor B, dois do quarto estágio e outro reserva, que estava no local, foram destruídos no incêndio, porém não houve o efeito da deformação por explosão dos detonadores, como apresentado na radiografia inferior da Figura 71.

Também foi observado que não ocorreram deformações nas regiões da carga explosiva dos iniciadores por onda de choque, indicando que não houve detonação nestas regiões.

A análise das radiografias e a inspeção visual dos conjuntos de ignição do propulsor D do primeiro estágio, do propulsor do segundo estágio e dos dois conjuntos do estoque, mostrados na Figura 69, indicam marcas de uma reação exotérmica, com formação de gases, sem, entretanto, caracterizar detonação. Já os

conjuntos de ignição do propulsor C, apresentados na mesma Figura 69 e destacados, em corte, na Figura 73, apresentam

características de detonação, tanto nos detonadores quanto nos iniciadores por onda de choque.



COMPONENTES ENCONTRADOS NA MESA DE LANÇAMENTO E REGIÃO PRÓXIMA

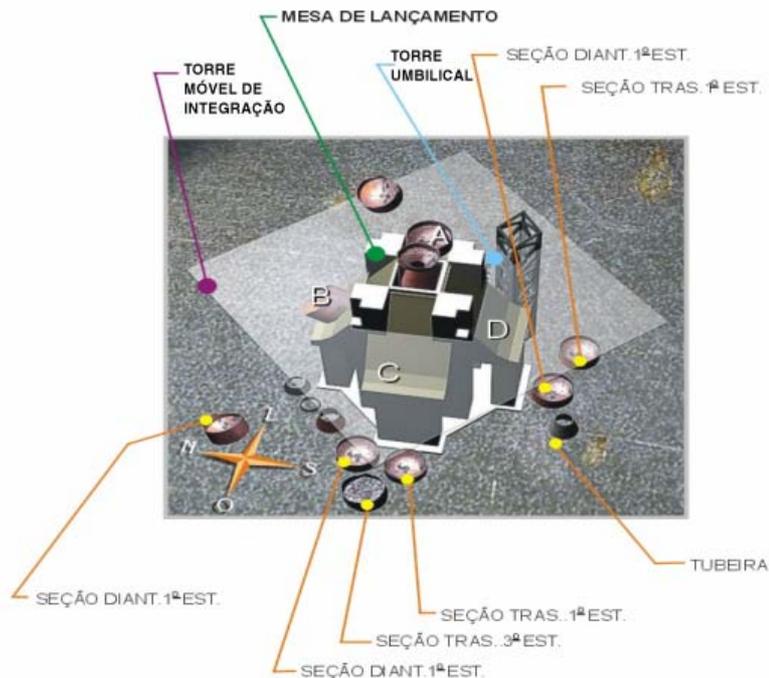


Figura 70 - Esboço da mesa de lançamento, em duas vistas, mostrando a posição dos destroços identificados.

Um dos fatores que influenciam na detonação, ou não, de um eletropirotécnico é a energia de ativação fornecida ao explosivo. A transferência de calor à massa explosiva é, assim, determinante para fornecer a energia de ativação necessária para iniciação da cadeia explosiva.

Isso pode explicar o fato de somente os

detonadores do propulsor C terem sido detonados durante o incêndio, pois foram os únicos conjuntos encontrados ainda montados nos alojadores de alumínio, fixados ao cabeçote do ignitor (Figura 74), o que é uma indicação de que foram submetidos a aquecimento diferenciado dos demais, que tiveram os alojadores de alumínio fundidos.

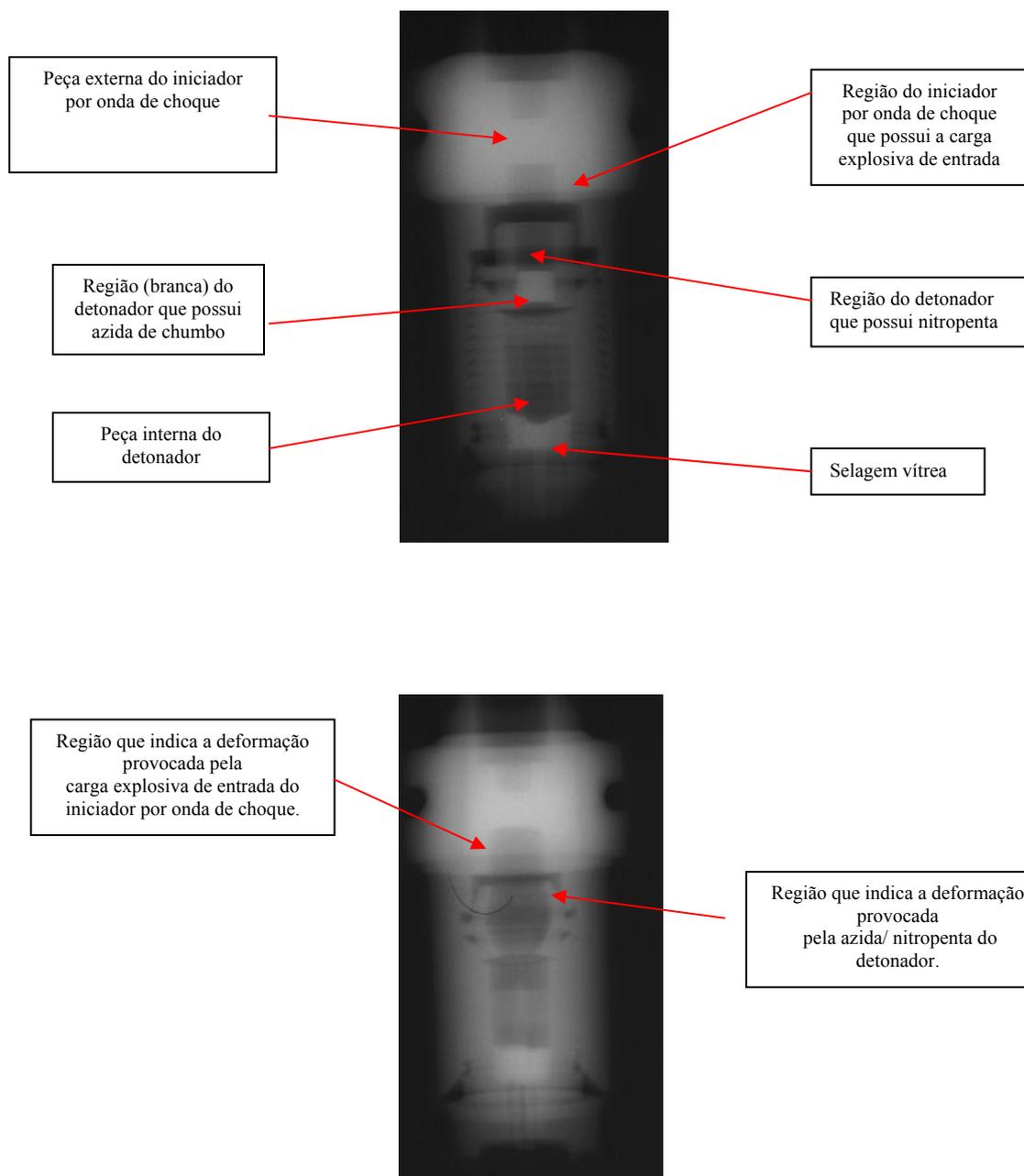


Figura 71 - Radiografia superior: conjunto original do sistema de ignição (não acionado), com destaque de algumas partes do detonador elétrico (peça inferior) e do iniciador por onda de choque (peça superior). Radiografia inferior: conjunto de iniciação ensaiado no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) (conjunto acionado).

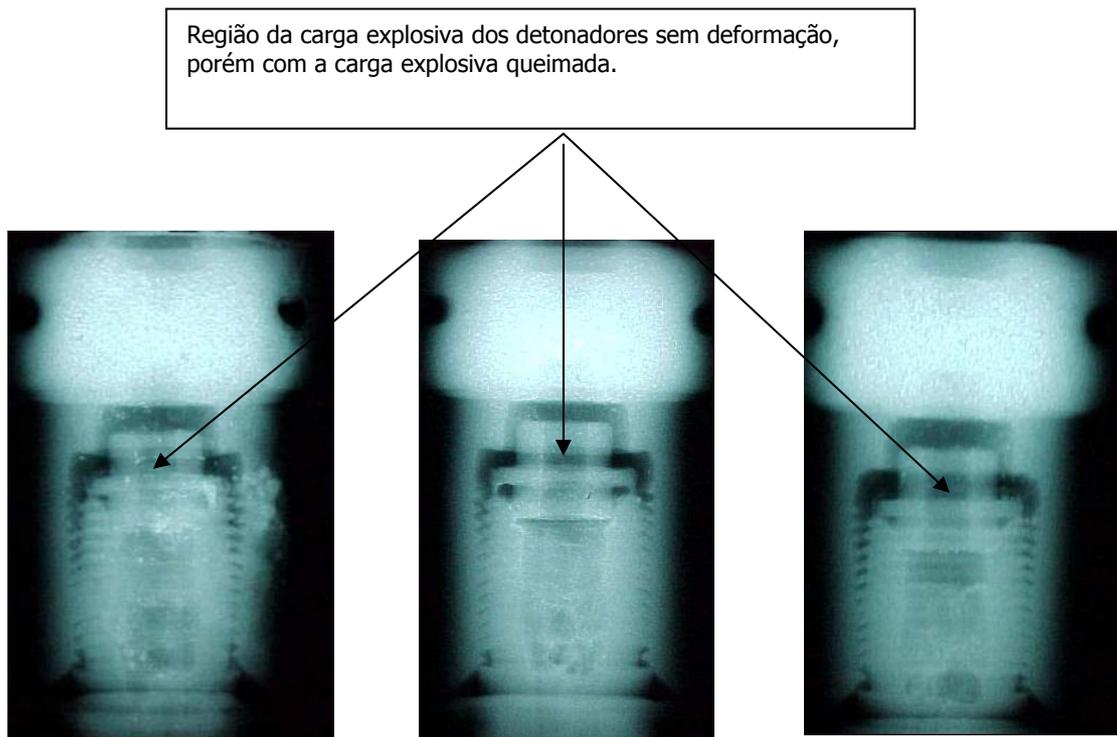
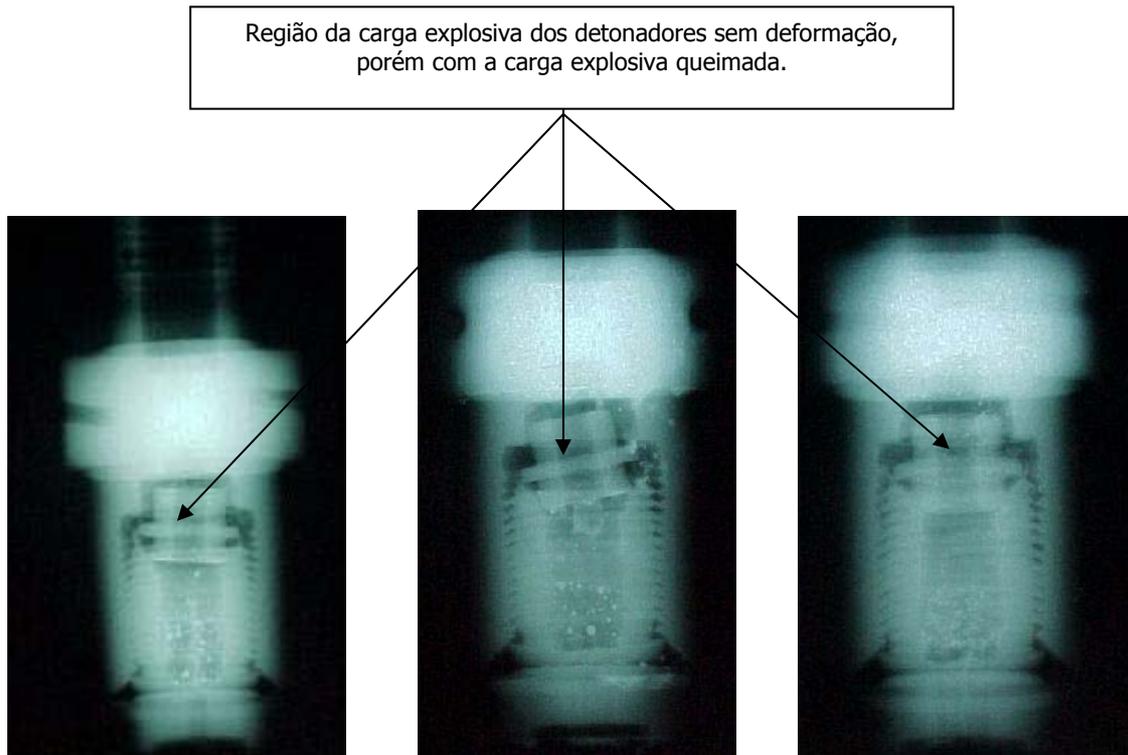


Figura 72 - Radiografias dos conjuntos de iniciação recuperados. Na primeira linha, da esquerda para a direita: conjunto dos propulsores A e B; o terceiro é um dos reservas. Segunda linha, também da esquerda para a direita: conjunto do propulsor B e dois do propulsor do quarto estágio.

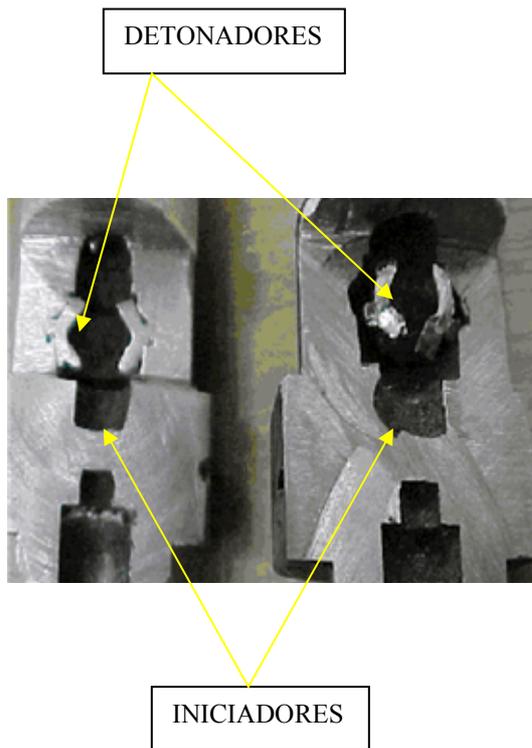


Figura 73 - Conjuntos de iniciação do propulsor C (em corte), evidenciando características de detonação, tanto nos detonadores quanto nos iniciadores por onda de choque.



Figura 74 - Conjuntos de iniciação do propulsor C, únicos encontrados em seus alojamentos de alumínio.

A radiografia do segundo conjunto de ignição do propulsor A, também encontrado nos destroços (Figura 75), mostra as mesmas deformações características de detonadores

acionados por corrente elétrica em ensaios no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

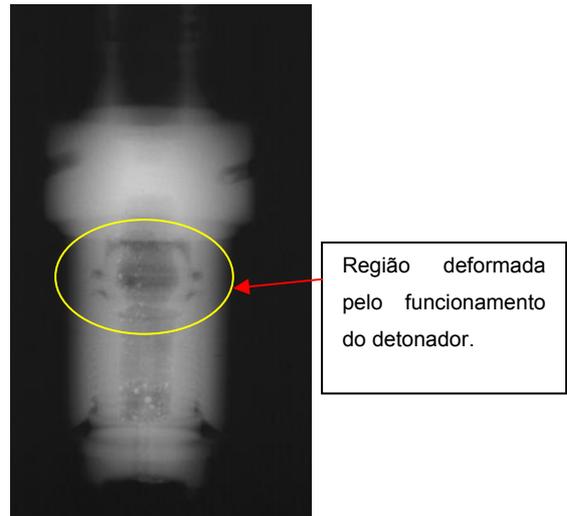


Figura 75 - Radiografia do segundo conjunto de iniciação do propulsor A do primeiro estágio.

A fim de facilitar a visualização da deformação ocorrida no segundo conjunto do propulsor A, é repetida, na Figura 76, uma radiografia de um conjunto de iniciação original, não acionado, com destaque na região do detonador.

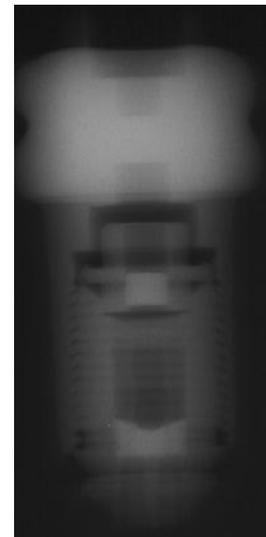


Figura 76 - Radiografia de um conjunto de iniciação original (não acionado).

Para comprovar as possibilidades de detonação ou de simples combustão de um eletropirotecnico em condições de aquecimento diferenciado, um conjunto de ignição similar ao utilizado no VLS-1 V03 foi submetido ao ensaio

de explosão térmica ("cook off") e outro ao ensaio de chama.

No ensaio de explosão térmica, o equipamento foi aquecido a 350°C e o conjunto foi posicionado no seu interior com monitoração de temperatura do corpo de prova. Foram observadas duas explosões, sendo que a primeira ocorreu quando o corpo de prova atingiu a temperatura de 186°C, depois de 7 minutos de ensaios.

No ensaio de chama, o corpo de prova foi colocado no centro das chamas de quatro maçaricos, cuja temperatura é superior a 700°C. O ensaio durou 20 minutos destruindo o material explosivo, sem detonação.

Estes dois ensaios comprovaram que, dependendo do aquecimento a que é submetido o componente, pode ocorrer uma detonação ou uma simples combustão do material explosivo.

Dessa forma, é razoável supor que os conjuntos de iniciação do propulsor C, mesmo não estando conectados aos cabos elétricos da "linha de fogo", foram detonados pela condição particular de aquecimento a que foram submetidos (o propulsor C ficava na diagonal

formada com o propulsor A, tendo o corpo do propulsor do segundo estágio entre eles).

No caso do propulsor A, em que um dos conjuntos de iniciação apresentou-se detonado e o outro queimado, a explicação em termos de transferência de calor não é aplicável, principalmente pela proximidade física dos dois conjuntos (referir-se às Figuras 65 e 66).

A explicação mais provável para a diferença observada nos dois conjuntos do propulsor A é que um deles tenha sido de fato detonado e o outro queimado posteriormente, durante o incêndio que se seguiu. Infelizmente, por não terem sido encontrados no bloco de alumínio em que estiveram alojados e por ter-se perdido o registro da montagem, este também queimado no incêndio, fica impossível determinar qual deles estava ligado a cada uma das derivações da "linha de fogo".

Para a hipótese de acionamento de um dos detonadores de um dos conjuntos de iniciação do propulsor A pela "linha de fogo", quatro possibilidades foram levantadas (Figura 77).

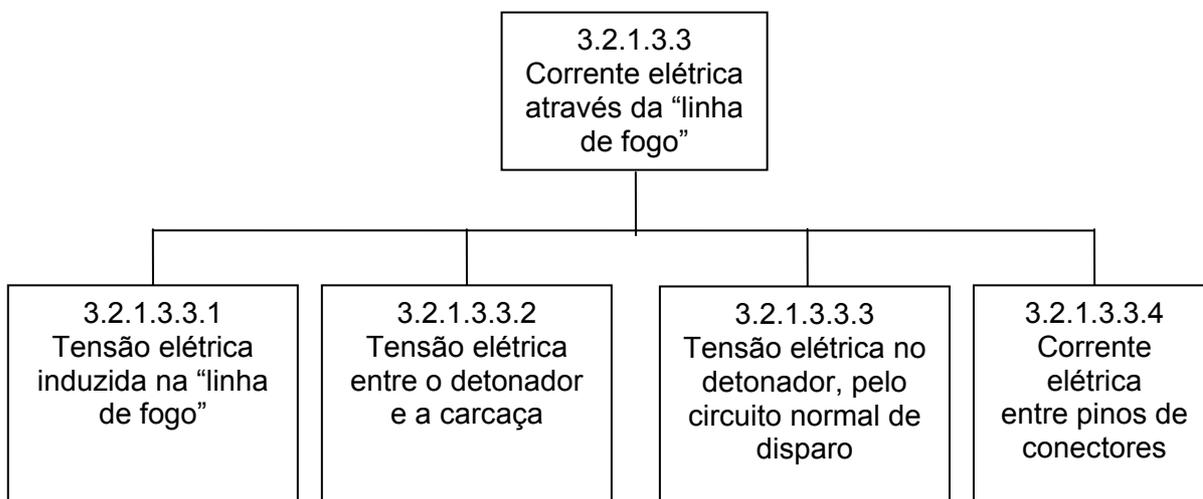


Figura 77 - Causas possíveis de acionamento do detonador pela "linha de fogo".

3.2.1.3.3.1 Tensão elétrica induzida na "linha de fogo"

A indução de uma tensão elétrica poderia ocorrer em virtude de transientes de corrente, no momento de ligar ou desligar algum circuito, cujos fios trafegam nas vizinhanças dos fios da "linha de fogo".

Poderia ocorrer também em decorrência de uma interferência eletromagnética externa nesses fios, a partir de um transmissor de radiofrequência, com potência suficientemente elevada, localizado nas imediações da torre móvel de integração, ou ainda por um aparelho transmissor de menor potência (como um telefone celular), localizado no interior da torre.

O ato de ligar e desligar circuitos elétricos foi simulado em laboratório, comprovando-se que a potência elétrica induzida na "linha de fogo" é insuficiente para habilitar um dos relés de segurança do circuito ou para acender a carga explosiva de um detonador.

Adicionalmente, os únicos transmissores de rádio-frequência, com alta potência, nas proximidades da torre, eram o radar de rastreamento Adour e o transmissor de teledestruição de segurança; ambos comprovadamente desligados no momento do acidente.

Como será discutido na Seção 3.3 "Fator Operacional", grupos especializados do Comando da Aeronáutica e do Comando do Exército faziam varredura do espectro de rádio-frequência e não detectaram emissões clandestinas.

Quanto à possível indução proveniente de um telefone celular, mesmo se usado nas proximidades da "linha de fogo", sua potência seria insuficiente para induzir a energia elétrica necessária para armar um dos relés de segurança ou ainda acionar um dos detonadores ou qualquer outro dos pirotécnicos do Conjunto Ignitor, como comprovado experimentalmente nas simulações em laboratório. Adicionalmente, o circuito da "linha de fogo" não é dotado de componentes que funcionem com pequenas potências (como circuitos digitais, sensíveis a interferências eletromagnéticas causadas por esse tipo de emissão).

Face ao exposto, esta hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

3.2.1.3.3.2 Tensão elétrica entre o detonador e a carcaça

Esta segunda hipótese de corrente através da "linha de fogo" pressupõe a ocorrência do acidente a partir de energia elétrica proveniente de uma fonte aterrada.

Isso somente seria possível com a aplicação de energia elétrica diretamente em algum ponto dos fios da "linha de fogo", entre o módulo de relés de segurança e um dos detonadores do propulsor A, requerendo ainda que um dos pinos do conector do detonador tivesse sido entortado, encostando no corpo do conector e fechando o circuito para a carcaça do propulsor (terra).

Com relação à aplicação intencional de uma tensão elétrica à "linha de fogo", deve-se considerar a grande dificuldade para a identificação desses fios e para o acesso aos mesmos, uma vez que, na fase em que se encontravam os trabalhos, eles já estavam agrupados em feixes (comumente chamados de chicotes) e em conectores já preparados para vôo.

Além disso, na manhã do acidente, foram realizados testes das redes elétricas do Veículo, com resultados considerados normais.

Para avaliar se pelo menos um dos pinos do detonador teria dobrado durante a fixação do conector de vôo, no dia do acidente, causando com isso um possível aterramento na carcaça do Veículo, foi decidido cortar o conjunto de iniciação do propulsor A, suspeito de ter recebido alimentação de energia elétrica.

Feito o corte (Figura 78), pôde-se observar que os pinos de conexão estão na posição normal (paralelos), não havendo, portanto, nenhuma possibilidade de qualquer um deles ter encostado no corpo do conector.

Diante desses fatos a hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

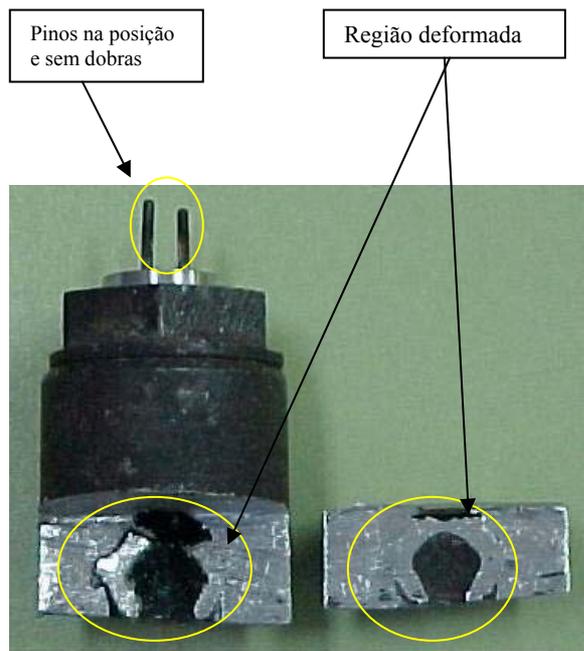


Figura 78 - Fotografia do detonador suspeito de ter provocado o acionamento intempestivo do propulsor A. Observa-se que os pinos de conexão não sofreram entortamento. Em aproveitamento, é mostrada também a deformação provocada pelo acionamento do detonador.

3.2.1.3.3 Tensão elétrica no detonador pelo circuito normal de disparo

A compreensão da análise realizada sobre esta terceira hipótese de corrente através da "linha de fogo" passa pelo entendimento do sistema de ignição dos propulsores do primeiro estágio.

O sistema está representado esquematicamente na Figura 79. É constituído essencialmente pelo **painel de disparo** e pelo **módulo de comando** (ambos localizados na casamata), e pela "linha de fogo".

A "linha de fogo" é um conjunto de linhas elétricas entre o painel de disparo e os detonadores de ignição dos propulsores do primeiro estágio. Consiste, inicialmente, de um circuito elétrico formado por um par de fios torcidos e blindados que parte do painel de disparo, passa por um quadro denominado **distribuidor de linhas umbilicais**, localizado na casamata, e prossegue até um outro distribuidor de linhas umbilicais, localizado na sala de interface, esta posicionada sob a mesa de lançamento.

A partir desse distribuidor, o par de fios da "linha de fogo" ramifica-se em oito pares de fios paralelos, que sobem pela torre de umbilicais até um módulo denominado **caixa de relés**, na altura da parte dianteira do segundo estágio.

Nessa caixa, cada um desses oito pares passa por um relé de segurança, totalizando oito relés.

Da caixa de relés, os oito pares formam um cabo flexível, que chega a um conector posicionado na parte dianteira superior do propulsor do segundo estágio, conector esse que se desprende com o movimento do Veículo, no momento do lançamento.

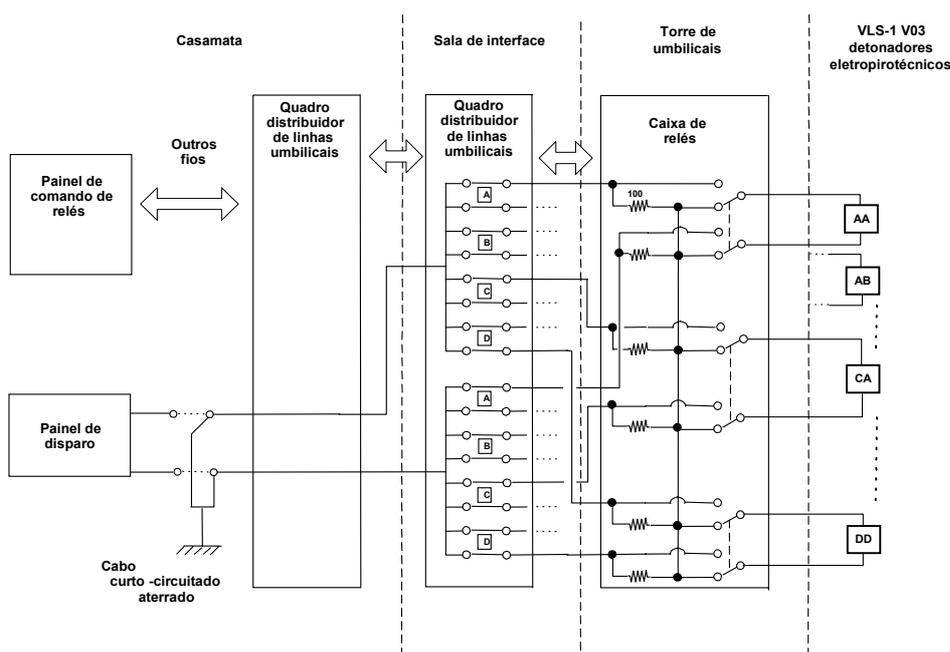


Figura 79 - Sistema elétrico de ignição dos propulsores do primeiro estágio.

Depois desse conector, já no interior do módulo dianteiro do segundo estágio, esses oito pares ramificam-se em quatro conjuntos de dois pares, sendo então distribuídos para outros quatro conectores, localizados na mesma parte dianteira do segundo estágio. Esses conectores desprendem-se no momento da separação, em vôo, dos propulsores do primeiro estágio. Cada par, ao entrar na parte superior de um propulsor do primeiro estágio, bifurca-se para alimentar os dois detonadores do propulsor.

O módulo de comando serve para monitorar e comandar individualmente cada um dos oito relés de segurança, que possuem duas posições mutuamente excludentes:

a) SEGURANÇA - Corresponde à posição de repouso do relé. Nessa posição, a linha que sai da caixa de relés e leva a corrente ao detonador é curto-circuitada, mantendo-se um vínculo com a "linha de fogo" proveniente da casamata através

de resistores de 100 k Ω .

b) ARMADO - Nessa posição, é estabelecida a continuidade da "linha de fogo" entre o painel de disparo e o detonador elétrico correspondente, localizado no propulsor do primeiro estágio.

No momento do acidente, o painel de disparo encontrava-se na condição de SEGURANÇA, terminais de segurança na parte frontal curto-circuitados, chave de segurança (tipo Yale) com o responsável e sistema de sinalização operacional inibido (nesse sistema, as luzes devem necessariamente estar verdes, condição exigida para todas as posições do campo, e o relógio de contagem regressiva deve estar com tempo ZERO, sem o que a "linha de fogo" não é energizada). Na casamata, a "linha de fogo" estava desconectada, curto-circuitada e aterrada. As fotos tiradas após o acidente comprovam detalhes dessa configuração e são apresentadas nas Figuras 80 e 81.

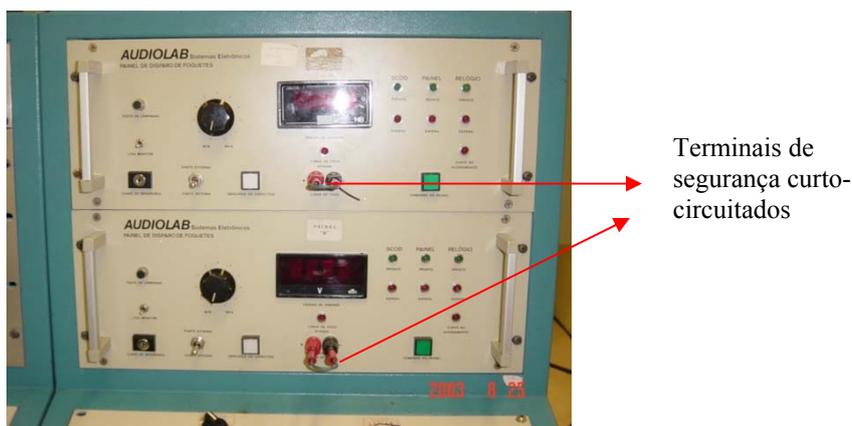
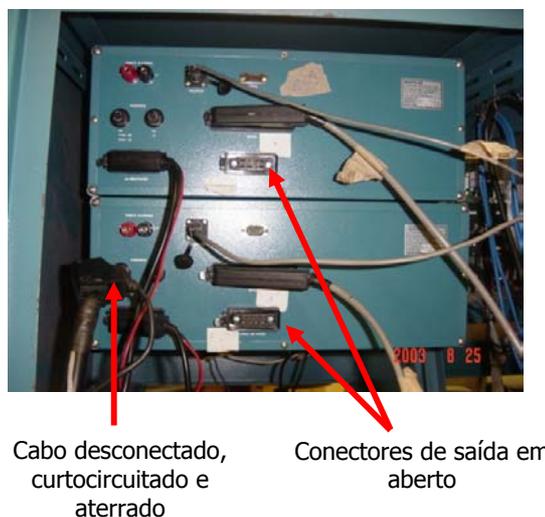


Figura 80 - Vista frontal do painel de disparo (titular – superior - e reserva – inferior).



Cabo desconectado,
curto-circuitado e
aterrado

Conectores de saída em
aberto

Figura 81 - Vista traseira do painel de disparo. (titular – superior - e reserva – inferior).

Os quadros de distribuição de linhas umbilicais da casamata e da sala de interface são apresentados na Figura 82 e 83, mostrando a integridade das ligações das linhas utilizadas para comandar o funcionamento dos propulsores do primeiro estágio.

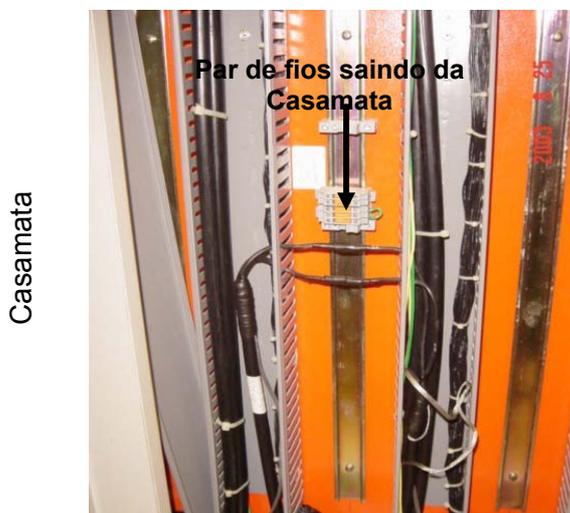


Figura 82 - Quadro de distribuição de linhas umbilicais da casamata mostrando a integridade das ligações das linhas utilizadas para comandar o funcionamento dos propulsores do primeiro estágio.



Figura 83 - Quadro de distribuição de linhas umbilicais da sala de interface mostrando a integridade das ligações das linhas utilizadas para comandar o funcionamento dos propulsores do primeiro estágio.

Se feita nos momentos que antecederam o acidente, uma intervenção no sistema elétrico da "linha de fogo" muito provavelmente seria notada, em função da presença de outras pessoas executando atividades na área próxima a esses equipamentos, tanto na casamata como na sala de interface.

Ainda como parte do estudo sobre a possibilidade do acionamento ter ocorrido por alimentação direta, como seria o caso da existência de uma corrente não conhecida no sistema, foi investigada a possibilidade de iniciação do detonador elétrico com alimentação de baixas correntes, aplicadas durante um tempo prolongado.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Pirotecnia, aplicando uma corrente de 1A (corrente limite de não acionamento) em um eletropirotécnico, utilizando uma fonte que permitia controlar a corrente.

O componente eletropirotécnico utilizado no ensaio possuía as mesmas condições de acendimento do sistema de ignição do primeiro estágio do VLS-1 V03. Ou seja, a ponte elétrica tinha a mesma massa primária (explosivo da ponte elétrica), resistência e configuração, e pertencia ao mesmo lote utilizado no VLS-1 V03.

Como referência para o experimento, foram assumidos, inicialmente, os parâmetros conhecidos sobre o pirotécnico:

- a corrente limite de não funcionamento do componente pirotécnico é 1A;
- quanto menor a corrente aplicada maior o tempo para o funcionamento do componente pirotécnico;
- correntes superiores a 3A, iniciam os eletropirotécnicos em um tempo inferior a 1 segundo; e
- a corrente de alimentação utilizada no VLS-1 é de 5A, iniciando os eletropirotécnicos com um tempo aproximado de 12 milissegundos.

O ensaio teve a duração de duas horas e três minutos. Após este tempo, o componente pirotécnico (Figura 84) continuava íntegro e apresentava uma temperatura superior a 60°C. Para finalizar o ensaio, a corrente foi aumentada gradativamente, até ocorrer o funcionamento em 1,44 A.



Figura 84 - Componente pirotécnico íntegro após 02 horas e 03 minutos de ensaio com baixa corrente.



Figura 85 - Detalhe do dispositivo de passagem de corrente pela carcaça do detonador.

De forma reversa, foi realizado um ensaio para avaliar a possibilidade de disparar o detonador pela passagem de uma corrente através da carcaça do mesmo.

Utilizando-se a mesma fonte de corrente anterior, fez-se passar uma corrente de 8,8A (o maior valor possível de ser gerado por aquela fonte) pela carcaça do detonador, conforme a Figura 85, mas não foi observado o seu acionamento.

Diante dos resultados negativos obtidos, a probabilidade de ocorrência desta hipótese foi considerada muito baixa.

3.2.1.3.3.4 Corrente elétrica entre pinos de conectores

A presença de energia elétrica entre pontos da "linha de fogo" pode ser considerada de duas formas: (a) por contacto físico entre pinos adjacentes energizados; e (b) por transferência de energia elétrica entre pinos, através de pistas condutoras salinas, provenientes da eventual penetração de água da chuva ocorrida dia 18 de agosto, combinada com a salinidade do ambiente.

O diagrama da Figura 86 mostra o posicionamento dos conectores envolvidos nesta análise.

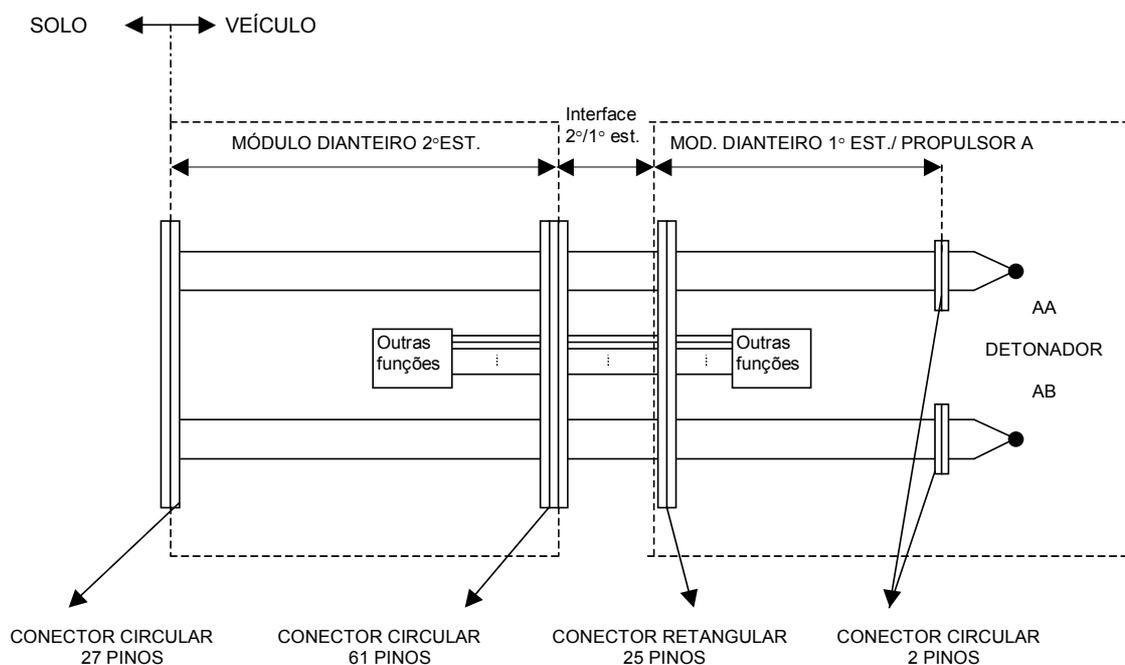


Figura 86 - Posicionamento dos conectores.

O primeiro caso, *contacto físico entre pinos adjacentes energizados*, foi aventado porque, nos conectores que contêm os fios da "linha de fogo" dos propulsores do primeiro estágio, chegam também outros fios da rede elétrica de serviço. Assim, para cada conector, foi identificada a posição dos pinos energizados adjacentes à "linha de fogo". Para cada um desses pinos, foram analisadas a energia existente e sua capacidade de fornecer corrente, em diversas situações, capaz de acionar o detonador. Apesar de terem sido constatadas fontes de alimentação elétrica com energia suficiente para acionar os detonadores, a transferência de energia somente poderia ocorrer se, simultaneamente, dois curto-circuitos tivessem acontecido. Além disso, as conexões já haviam sido testadas e não houve também indicação de que as mesmas estivessem sendo manuseadas no momento do acidente. Em consequência, essa hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

A Figura 87 mostra o tipo de conector utilizado no Veículo.



Figura 87 - Conector utilizado no Veículo.

O segundo caso, *transferência de energia elétrica entre pinos*, foi uma hipótese aventada em função da chuva ocorrida dias antes do acidente, que molhou parcialmente o Veículo.

Por se tratar de uma região costeira, poder-se-ia supor que essa chuva teria um certo grau de salinidade e, no caso de infiltração em um desses conectores, poderia permitir o fluxo de corrente elétrica entre pinos. Foram, então, realizados testes em laboratório, verificando-se que, mesmo com um conector embebido em uma solução salina saturada e excitada com uma tensão de 28 V CC (maior valor de tensão de alimentação existente no Veículo), a corrente

elétrica conduzida foi da ordem de fração de ampere (menor que 400 mA), intensidade insuficiente para ativar um detonador. Como demonstração acessória da insuficiência da corrente para iniciação do detonador, foi investigada a possibilidade de iniciação com alimentação de baixas correntes (no caso deste teste, foi utilizada corrente de 1A, aplicada durante duas horas e três minutos, como já discutido anteriormente neste relatório), sem que houvesse resultado positivo.

Além disso, os conectores estavam protegidos com silicone, na sua parte externa, o que dificultaria a penetração de água.

Em vista do exposto, esta hipótese foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência.

3.2.1.3.4 Descarga eletrostática no interior do detonador

O argumento para a ocorrência de uma descarga eletrostática no interior de um dos detonadores do propulsor A do primeiro estágio baseia-se nas seguintes considerações:

- iniciação de apenas um dos quatro detonadores conectados (cada propulsor é dotado de dois detonadores, havendo, no momento do acidente, dois propulsores já conectados à "linha de fogo": A e D);
- descargas eletrostáticas ocorrem sempre no ponto de menor isolamento de um circuito; e
- ausência de blindagem na "linha de fogo", no trecho compreendido nos propulsores do primeiro estágio, o que tornaria difícil impedir uma eventual indução eletrostática nesse trecho.

A carga eletrostática, por sua vez, poderia ter duas origens:

- contato direto de um objeto carregado com a "linha de fogo"; ou
- contato de um objeto carregado com um circuito vizinho à "linha de fogo", saltando uma faísca carregada desse circuito vizinho para a "linha de fogo".

Durante a investigação, não foram encontradas evidências de que possa ter havido contato direto de um objeto carregado com a "linha de fogo", porém a possibilidade de saltar uma faísca de um circuito para outro mostrou-se merecedor de análise mais detalhada.

Com efeito, as características de construção da "linha de fogo" dos propulsores do primeiro estágio permitem deduzir que uma descarga eletrostática, independentemente de onde tivesse sido originada no Veículo, só poderia ser transferida para a "linha de fogo" no trecho compreendido entre a caixa de relés e os detonadores dos conjuntos de ignição dos propulsores (Figura 88).

Essa dedução resulta do fato de que, estando o painel de controle na condição de SEGURANÇA, ou seja, os relés de proteção desarmados, o circuito de cada "linha de fogo" dos propulsores do primeiro estágio pode ser considerado como "flutuante", apesar da existência de dois resistores de 100 k Ω em cada fio (Figura 88) e de haver aterramento na casamata.

Assim, se uma descarga eletrostática fosse introduzida na "linha de fogo", em qualquer ponto entre a caixa de relés e o detonador, e não tendo, em princípio, pontos de fuga por onde escoar para a carcaça do Veículo, ela "procuraria" um caminho de menor isolamento, que poderia ser a própria massa explosiva de um dos quatro detonadores já conectados à "linha de fogo" (provavelmente aquele que, devido a possíveis

pequenas diferenças de fabricação, oferecesse a menor isolamento). Nesse pirotécnico, a alta tensão da carga eletrostática nos condutores romperia o isolamento da substância inflamável, produzindo um arco voltaico (centelha) entre o filamento/pino e a carcaça do detonador, através da substância inflamável, semelhante a um raio entre nuvens e solo, gerando calor com temperatura suficiente para iniciar a combustão.

A possibilidade da transferência de uma centelha entre fios que estavam amarrados comendo um feixe, a propriedade de inflamar-se mediante centelha e a possibilidade de se acender apenas um detonador de um par de detonadores conectados num mesmo propulsor foram confirmadas em testes de laboratório, com *detonadores simulados*.

Detonadores simulados são dispositivos pirotécnicos confeccionados no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), com configuração física simplificada em relação ao detonador de ignição utilizados em vôo, sendo constituídos de uma ponte com as mesmas características elétricas e com composição pirotécnica similar.

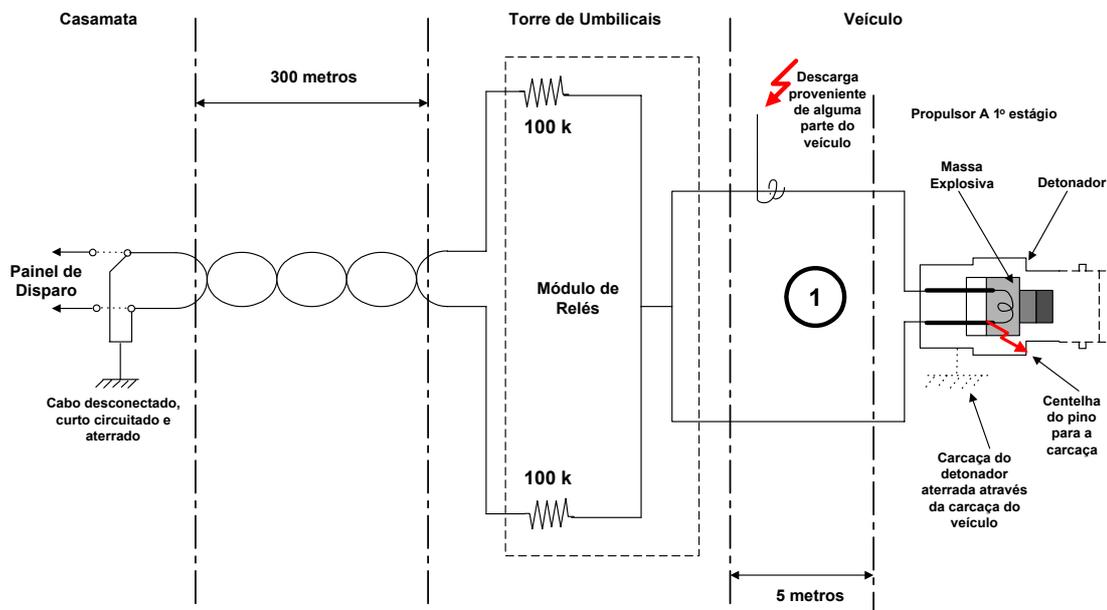


Figura 88 - Representação simplificada da "linha de fogo" com a caixa de relés na condição de SEGURANÇA.

Os testes de verificação dessa possibilidade consistiram de:

- aplicação de descargas eletrostáticas em tensões crescentes, num *detonador simulado*. O detonador foi acionado;

- aplicação de descargas eletrostáticas em tensões crescentes, num par de *detonadores simulados* ligados num mesmo circuito. Somente um deles foi acionado. Isso sugere que uma descarga eletrostática passa pelo caminho de menor isolamento; e

- aplicação de descargas eletrostáticas a um fio frouxamente enrolado no par de fios de um *detonador simulado*. O detonador foi acionado. Isso indica que uma descarga eletrostática pode se transferir para um circuito vizinho, mesmo estando ambos os fios isolados.

A Figura 89 ilustra uma centelha, oriunda da aplicação de uma descarga eletrostática induzida, que salta do pino para a carcaça em um *detonador simulado*. Neste exemplo, foi utilizado um detonador sem massa explosiva para facilitar a visualização.

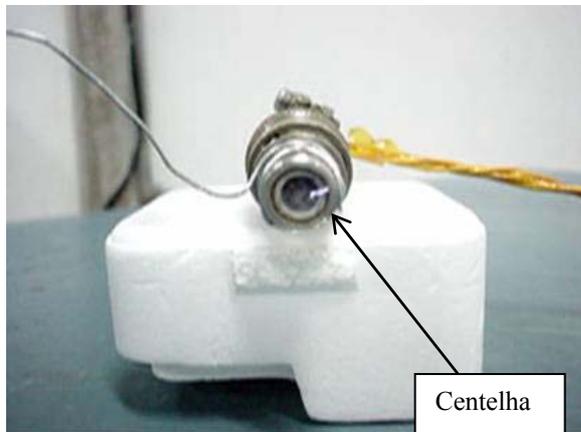


Figura 89 - Centelha saltando do pino para a carcaça, durante a simulação em laboratório.

A ocorrência de descargas eletrostáticas normalmente não é considerada um fator de grande relevância em países tropicais, em função de temperaturas e umidade do ar elevadas. Entretanto, podem ter contribuído para esta hipótese a instalação de uma capa de plástico não condutor na parte superior do Veículo, insuflada constantemente por ar seco e frio, e a proximidade dos fios não blindados da "linha de fogo" com outros fios do sistema elétrico.

Todavia, para esta hipótese, a análise das causas prováveis não foi exaustivamente realizada.

3.2.2 Árvore de falha completa

Para efeito de melhor compreensão da extensão da pesquisa de causas efetuada, é mostrada nas Figuras 90 e 91 a árvore de falha completa.

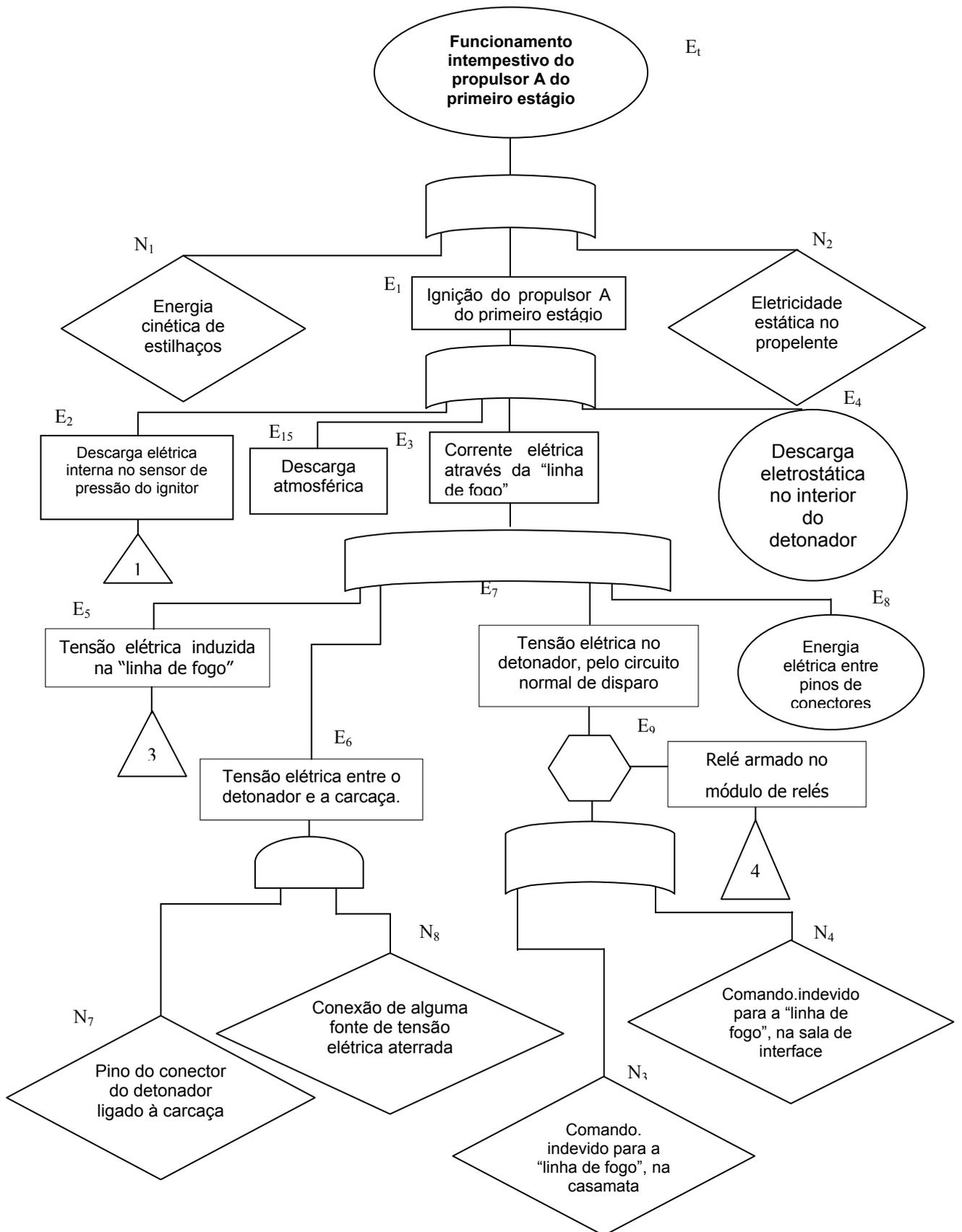


Figura 90 – Árvore de falhas(a).

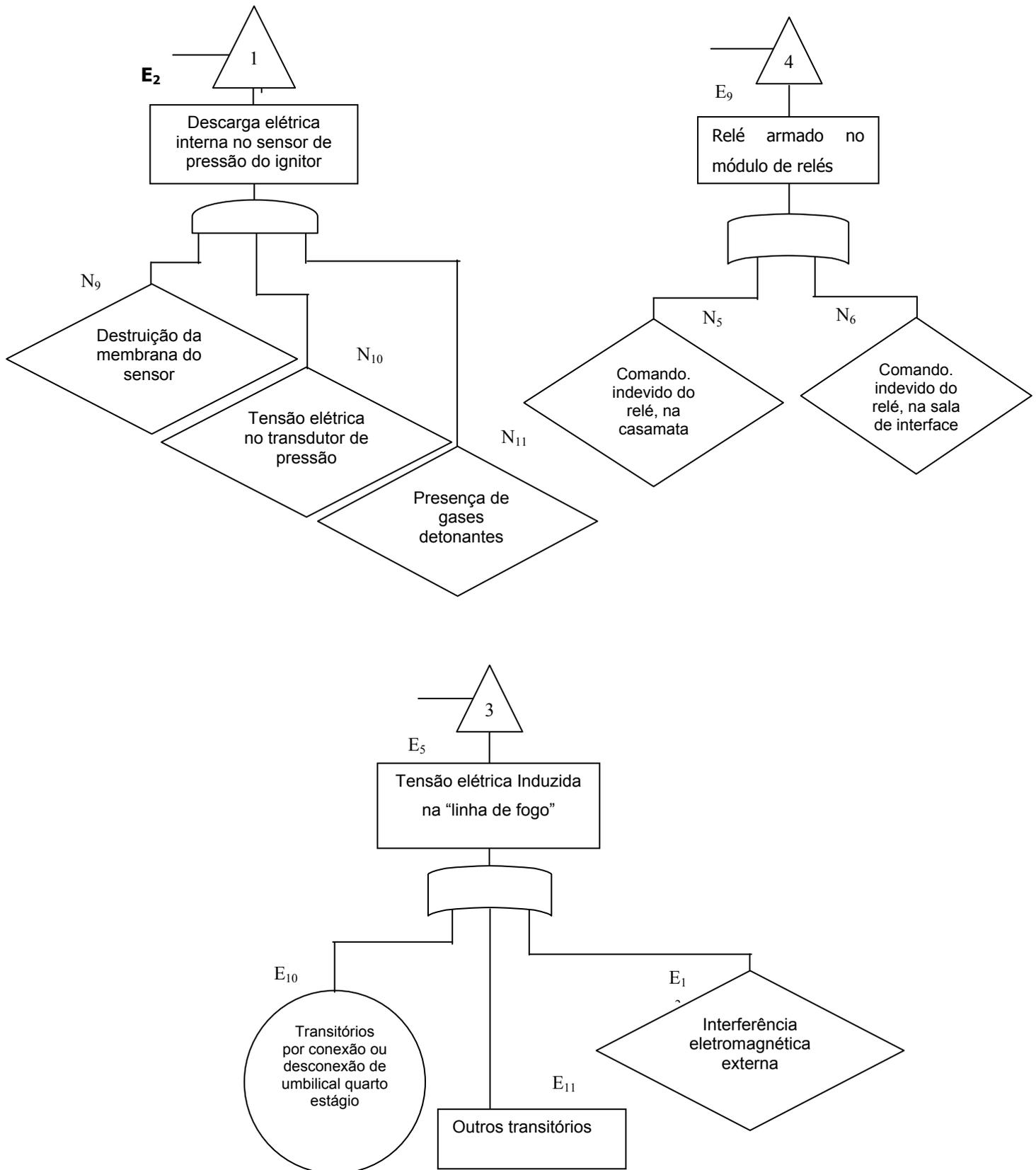


Figura 91 – Árvore de falhas (b).

3.2.3 Considerações adicionais

Tão logo ocorreu o acidente, uma série de conjecturas foi levantada, envolvendo possíveis problemas com VLS-1 V03, com a torre móvel de integração e com aterramento, entre outras. Ao longo da investigação, cada uma delas foi analisada, conforme aqui apresentado.

- Choques elétricos no Veículo e na torre móvel de integração

Após cruzamento das informações, um único caso foi constatado.

Esse caso, relatado em alguns depoimentos, ocorreu quando da utilização de um conjunto de equipamentos externos ao Veículo (câmera de teste, fonte de alimentação e monitor), utilizado para comparar a coloração de imagens em relação às imagens geradas pela câmera de bordo do VLS-1 V03.

A análise do incidente revelou que a extremidade da extensão elétrica utilizada pelos técnicos para alimentar o equipamento não possuía pino terra de proteção.

Ao manusear a câmera de teste e aproximá-la da câmera de vôo, esta desligada no momento descrito, o técnico, acidentalmente, tocou, simultaneamente, a câmera de teste, ligada à extensão elétrica energizada, e a carcaça do Veículo, fechando o circuito através de seu corpo, sentindo, assim, um choque elétrico.

Substituída a extensão por uma outra com três pinos, o problema foi corrigido.

- Aterramento

Após o acidente e no decorrer da investigação, foram levantados questionamentos quanto a uma possível deficiência do sistema de aterramento da torre móvel de integração e do Veículo.

A investigação dos fatos, entretanto, mostrou que:

- nas imediações da mesa de lançamento, há um ponto comum de uma malha de aterramento, de boa qualidade, com conexões para o sistema de aterramento da sala de interfaces, conexão para a mesa de lançamento e também para a base da torre móvel de integração;

- a resistência de terra no ponto comum foi medida por uma empresa especializada, em março, antes do início da campanha, tendo o resultado se mostrado conforme;

- por ocasião da montagem do propulsor do segundo estágio e dos quatro propulsores do primeiro estágio no Veículo, foi medida a resistência de terra da mesa de lançamento e encontrados valores considerados também normais;

- na parte baixa da mesa, foi escolhido um ponto, que, após raspado e lixado, foi utilizado para conectar as malhas de cobre para os propulsores do primeiro estágio e, a partir desses pontos, para conectar as malhas para os estágios superiores;

- foi também verificada a continuidade do ponto na base da mesa com a face inferior da plataforma do primeiro nível da TMI, bem como com outras hastes da malha de aterramento;

- a mesa de lançamento é conectada ao ponto de terra por um cabo de cobre;

- as sapatas de apoio do primeiro estágio e as sapatas da mesa de lançamento têm tratamento superficial condutor;

- os anéis de interface das baias dos propulsores do VLS-1 V03, do segundo estágio para cima, são também condutores, com graxa de cobre coloidal colocada nas suas interfaces; e

- as malhas de conexão de terra acima descritas são, portanto, redundantes, após a operação de montagem dos propulsores dos primeiro e segundo estágios.

Em síntese, não foram constatados quaisquer problemas com o sistema de aterramento.

- Aquecimento dos sensores de pressão dos ignitores dos propulsores do primeiro estágio

Há relato de que, na manhã do dia 22 de agosto, os sensores de pressão dos ignitores dos propulsores do primeiro estágio estavam apresentando aquecimento superior aos sensores de pressão da cavidade interna dos respectivos propulsores. Essa percepção decorreu de medida qualitativa (sensorial) e foi reportada uma única vez.

Esses sensores foram ligados às 09h 48min do dia do acidente, e desligados às 11h 33min, apresentando funcionamento esperado. Testes posteriores, efetuados no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), comprovaram que o funcionamento desses sensores, durante um determinado período de tempo, causam aumento de temperatura da ordem de 2 a 3°C no invólucro, o que é considerado normal.

- "Ruído" dos sensores de pressão do ignitor e da cavidade interna dos propulsores do primeiro estágio

Há registros de dados de telemetria mostrando que os sensores de pressão do ignitor e da cavidade interna dos propulsores do primeiro estágio estavam apresentando valores fora do especificado, em determinadas configurações de teste.

Foi verificado, durante a Operação São Luís, que essas medidas discrepantes surgiam quando o transmissor de telemetria de bordo, que operava na banda P, estava ligado. O problema foi solucionado.

Testes efetuados no IAE constataram que as anomalias apresentadas eram decorrentes de interferência eletromagnética na cablagem desses sensores, quando o transmissor estava ligado. Esse transmissor é mais potente e os sensores, mais sensíveis do que os utilizados no VLS-1 V02. Essa problemática não foi detectada no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), quando do recebimento desses subsistemas, porque exigiria a montagem de uma maquete representativa de um VLS-1 para a realização dos diversos testes das redes elétricas.

No momento do acidente, os sensores de pressão do propulsor e do ignitor, bem como o transmissor estavam desligados.

- Falha no sensor de pressão de nitrogênio do sistema de atuação de tubeira móvel do propulsor do segundo Estágio

O sensor fica localizado na saia traseira do segundo estágio. Há relato de duas substituições do sensor, o que levou à desconfiança de que havia alguma pane elétrica repetitiva em algum ponto da torre móvel de integração ou no Veículo.

Testes efetuados posteriormente no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE)

identificaram que as falhas apresentadas por esses sensores foram ocasionadas pela infiltração, no corpo do sensor (que não é hermético), de líquido penetrante ("snoop"), utilizado para verificação de vazamento na junção do sensor com o toróide de distribuição de nitrogênio.

- Coincidência do início do acidente com o eventual acionamento de um alarme de carro

Foi considerada a hipótese, devido a uma publicação na imprensa de que o acidente poderia ter sido causado pelo acionamento de um controle remoto automotivo por um técnico que deixava a torre móvel de integração. Contudo, constatou-se que nenhum carro utilizado durante a Operação São Luís possuía sistema elétrico acionado por controle remoto.

- Eventual problema de isolamento dos cabos elétricos nas caixas de inspeção

Houve relatos de que os cabos elétricos poderiam estar sofrendo degradação com comprometimento de sua integridade estrutural em decorrência da umidade e da sujeira existentes nas caixas de inspeção subterrâneas que interligam a casamata e a sala de interface. As caixas foram limpas, no início da Operação, por solicitação da gerência do VLS-1 V03.

Foram, também, realizadas medições do isolamento dessas cablagens (uma dezena de cabos contendo aproximadamente 700 fios) em dezembro de 2002 e repetidas em julho de 2003, não tendo sido identificados problemas de isolamento. Ainda assim, durante a Operação, ocorreu um evento que levou à troca de uma linha de monitoração (um par de fios) por uma reserva disponível.

Após o acidente, nova medição da isolamento dessas cablagens foi feita, sem que tivesse sido constatada qualquer anormalidade em relação aos valores de isolamento nominais.

- Corrente elétrica eventualmente gerada por equipamento de medição

Esta possibilidade foi levantada porque os equipamentos de medição elétrica, abaixo listados, foram perdidos no incêndio que consumiu a torre móvel de integração. A tese seria a de que seu uso indevido poderia ter induzido corrente elétrica na "linha de fogo":

- ohmímetro "low ohmmeter": específico para medição de resistência de linhas pirotécnicas. Pertencia à equipe de eletrônica;

- ohmímetro "Alinco": específico para medição de resistência de linhas pirotécnicas. Pertencia à equipe de pirotecnia; e

- multímetro digital: usado para medição em cablagens que não faziam parte das linhas pirotécnicas.

Ao que se constatou, o equipamento "Alinco" não estava em uso (estava guardado na caixa de ferramentas da equipe de pirotecnia).

Quanto aos demais, pelas imagens não há evidência de que alguém na torre móvel de integração estivesse utilizando um desses equipamentos no momento do acidente.

- Choque mecânico (pancada) sobre a carcaça do propulsor ou diretamente sobre detonadores eletropirotécnicos, ou ainda acionamento involuntário do sistema pirotécnico de destruição dos propulsores

Por choque mecânico entende-se um forte golpe causado por algum objeto diretamente sobre a carcaça do propulsor, gerando energia suficiente para acendimento do propelente sólido, ou diretamente sobre os detonadores eletropirotécnicos, que são componentes mais sensíveis.

Pelo exame das imagens de vídeo, não há evidência de que qualquer objeto tenha atingido o propulsor ou os detonadores do propulsor A do primeiro estágio. Além disso, a energia advinda do impacto mecânico não seria suficiente para acender diretamente o propelente, sem contar o fato de que o bloco propelente estava protegido pelo envoltório metálico do propulsor. Quanto aos detonadores, sabe-se que estavam protegidos por uma estrutura de alumínio, o que tornava difícil seu acionamento por choque mecânico.

O acionamento inadvertido e intempestivo do sistema pirotécnico de destruição dos primeiro e segundo estágios, por outro lado, levaria ao rompimento do envoltório dos propulsores, podendo provocar o acendimento do propelente sólido. Entretanto, não há qualquer evidência de que estes sistemas pirotécnicos tenham sido acionados antes do acidente.

- Problemas nos conectores das cablagens elétricas dos eletropirotécnicos

Houve comentários quanto à dificuldade de fixação de alguns conectores, o que poderia acarretar problemas, como o entortamento dos pinos ou conexão incorreta.

Em função da mudança de fornecedor dos conectores das cablagens da rede elétrica do Veículo, foram realizadas reuniões no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), antes da Operação, com o objetivo de definir procedimentos de conexão da cablagem nos eletropirotécnicos. Tais procedimentos previam inspeção visual, pré-integração dos conectores e substituição de pirotécnicos.

Durante a Operação, em duas oportunidades (ambas durante a montagem de propulsor no prédio de preparação de propulsores), decidiu-se desmontar os prensa-cabos e protetores dos conectores das cablagens elétricas do sistema de destruição, para facilitar as montagens nos eletropirotécnicos, sendo em seguida reposicionados, não sendo constatado qualquer prejuízo na qualidade da conexão, comprovada, inclusive, por medidas realizadas pela equipe da eletrônica.

Conclusões parciais

- O acidente teve início com o funcionamento intempestivo, porém nominal, durante 40 segundos, do propulsor A do primeiro estágio.

- Foram encontradas fortes evidências de que este funcionamento intempestivo do propulsor A foi iniciado pelo acionamento, também intempestivo, de um dos detonadores do conjunto de ignição do propulsor.

- A análise das causas físicas do acidente ficou prejudicada pelo elevado grau de destruição ocorrido na plataforma móvel de integração. Por isso, a análise sobre a causa do acionamento do detonador do propulsor A baseia-se em fatos e também em inferências.

- Ficou comprovado que a falta de blindagem dos fios torcidos da "linha de fogo", que leva energia aos detonadores dos propulsores do primeiro estágio, torna-os passíveis de sofrerem indução eletrostática.

- As características do acidente permitem concluir que a existência de uma barreira

mecânica de segurança no sistema de ignição dos propulsores do primeiro estágio, após os detonadores, poderia ter impedido o acidente.

- Duas hipóteses foram analisadas para o acionamento do detonador do propulsor A:

- a) corrente elétrica pela "linha de fogo"; e
- b) descarga eletrostática no interior do detonador.

A hipótese da corrente elétrica pela "linha de fogo" foi considerada de menor probabilidade que a descarga eletrostática no interior do detonador, devido a existência de obstáculos a este tipo de efeito no circuito de acionamento.

A hipótese de descarga no interior do detonador foi considerada com probabilidade superior à corrente elétrica devido a inexistência de obstáculos, especialmente considerando-se a retirada da blindagem dos fios da "linha de fogo". Podem ter contribuído para esta hipótese a instalação de uma capa de plástico não condutor na parte superior do Veículo, insuflada constantemente por ar seco e frio; e a proximidade dos fios não blindados da "linha de fogo" com outros fios do sistema elétrico.

Entretanto, para esta hipótese, a análise de causas possíveis não foi tão exaustiva quanto para a hipótese da corrente elétrica.

Não se descarta a realização de novos estudos, em função de eventos pertinentes que possam vir a ser identificados no futuro.

Recomendações parciais

- Realizar nova revisão das redes elétricas do VLS-1, com especial atenção à proteção contra descargas eletrostáticas, sobrecorrentes e análise de circuitos ocultos (**Sneak Circuit Analysis**), conforme previsto na MIL-STD-1543: Reliability Program Requirements for Space and Launch Vehicles.

- Reavaliar as orientações contidas no documento **Especificações de Regras Gerais para Concepção e Ensaio dos Sistemas Pirotécnicos do VLS-1 (590-000000/B2004)** à luz de outras recomendações, como por exemplo a norma **MIL-STD-1576: (Electroexplosive Subsystem Safety Requirements and Test Methods for Space Systems)**.

- Reavaliar os dispositivos de segurança associados à ignição do primeiro estágio, incluindo sistemas de solo e dispositivos mecânicos de segurança para as funções pirotécnicas de ignição de propulsores, de destruição e, eventualmente, para outras de alto risco, de forma que, na posição de segurança, seja garantido o isolamento físico entre o detonador e o restante da cadeia pirotécnica.

- Considerar a implementação, no programa de testes das redes elétricas, de aspectos de compatibilidade eletromagnética, ao nível de sistemas integrados com os dispositivos pirotécnicos reais presentes.

3.3 FATOR OPERACIONAL

São abordados, nesta seção, aspectos relacionados: à infra-estrutura de apoio ao lançamento, à segurança operacional, ao planejamento e coordenação das atividades, à qualidade, à documentação técnica e ao controle da configuração do projeto VLS-1.

3.3.1 Considerações sobre o apoio ao lançamento por parte do CLA

Embora as atenções, durante uma campanha, fiquem voltadas para o veículo a ser lançado, existe consenso, sobre a importância do suporte provido pelo centro de lançamento.

De uma maneira geral, cabe ao centro de lançamento, entre outras atribuições: dirigir o lançamento; fornecer a infra-estrutura física para recebimento da carga útil e das partes do veículo (ou o veículo pronto, em certos casos); o transporte, o armazenamento, a hospedagem, a alimentação; o fornecimento de energia e a segurança, entre outros serviços de apoio.

A análise dos fatos ocorridos durante a Operação São Luís conduz ao entendimento de que, a despeito do empenho demonstrado pelo efetivo do CLA, alguns aspectos relativos ao apoio provido necessitam ser reavaliados.

Relatos dão conta, por exemplo, da oscilação da energia elétrica fornecida pela concessionária local e de interrupções por problemas com os geradores do CLA.

Um segundo indicador foi o estado das canaletas e das caixas de inspeção por onde passam os cabos do sistema operacional, reportado, no início da operação, como estando em condições inadequadas de conservação, com risco de comprometimento da integridade dos cabos, devido ao acúmulo de água. A Figura 92 apresenta duas dessas caixas, já após a limpeza solicitada pelas equipes do CTA.

No que diz respeito à torre móvel de integração, foi observado que sua manutenção dependia, em parte, da assistência técnica por parte do CTA, em função da falta de pessoal e de capacitação específica no CLA.

Ainda na linha de análise das condições da infra-estrutura do CLA, e embora sempre se possa colocar dúvidas sobre a real possibilidade de fuga nas condições em que ocorreu o acidente do dia 22 de agosto, constatou-se que a torre móvel de integração apresentava deficiências

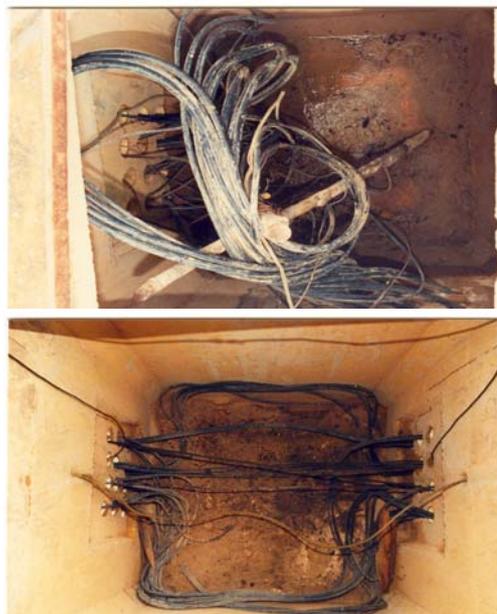


Figura 92 - Vistas de caixas de passagem de cabos elétrico.

quanto a aspectos de segurança, como a falta de um sistema de alarme e de ser dotada de uma única escada externa como alternativa de fuga em situações de emergência. Originalmente, havia um segundo dispositivo, em forma de cilindro, provido de rede elástica, que levava ao pé da torre, por onde, em tese, seria possível a fuga rápida em determinadas situações. No entanto, nos primeiros testes do dispositivo, verificou-se a impraticabilidade de utilização, o que acarretou seu abandono.

A falta de um radar meteorológico, como discutida na Seção 3.1 "Fator Meteorológico", constitui um outro indicador da necessidade de reavaliação das condições de apoio providas pelo CLA.

Na raiz desses problemas está o aporte insuficiente de recursos financeiros e humanos, agravados pelo isolamento geográfico e pelas condições agressivas do ambiente físico.

Esse conjunto de variáveis, atuando de forma encadeada, gera efeito cumulativo expressivo: a restrição financeira não permite que sejam realizados lançamentos suficientes para manter o adestramento operacional e para a manutenção da capacidade instalada; o pequeno número de lançamentos, por sua vez, eleva a relação custo-benefício de alocação de pessoal.

Da mesma forma, o isolamento geográfico dificulta a fixação de pessoal especializado oriundo de outras regiões, lacunas essas que não são facilmente supridas pelo mercado de trabalho local.

Sem recursos financeiros suficientes e, sobretudo, sem recursos humanos qualificados, o CLA deixa de ter condições de dirigir o lançamento e de estabelecer as regras de operação, papel que vem sendo assumido pelo CTA.

3.3.2 Considerações sobre a segurança operacional

Sob este título incluem-se a segurança de terra (ou *de superfície* ou ainda *de solo*), a segurança de plataforma e a segurança de voo, conforme esquematizado na Figura 93.



Figura 93 - Organograma das funções de segurança operacional do CLA. Referência: documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais.

Segundo o documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais, de março de 2003, editado pelo CLA, o Coordenador do Lançamento (COL), responsável por toda a operação no Centro de Lançamento, está subordinado diretamente ao Coordenador Geral da Operação (CGO) e a ele estão subordinados os

coordenadores de segurança, como mostrado na Figura 94.

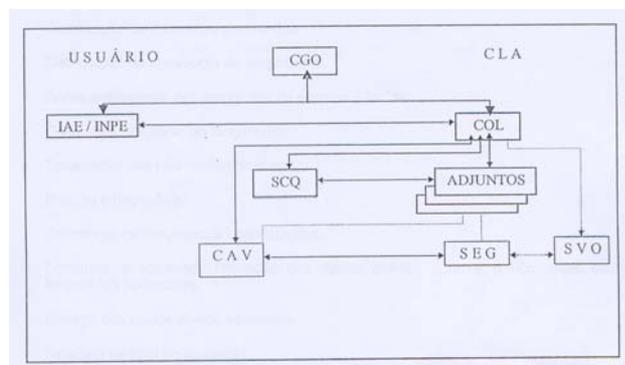


Figura 94 - Estrutura funcional da Operação, segundo o documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais.

Entretanto, segundo o Plano de Operações, editado pelo Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento, órgão a quem tanto o CTA quanto o CLA são subordinados, o Coordenador de Lançamento está no mesmo nível funcional do Coordenador de Segurança (Figura 95).

Há, portanto, uma divergência entre o organograma funcional, previsto no Plano de Operações 006/2002, e a Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais.

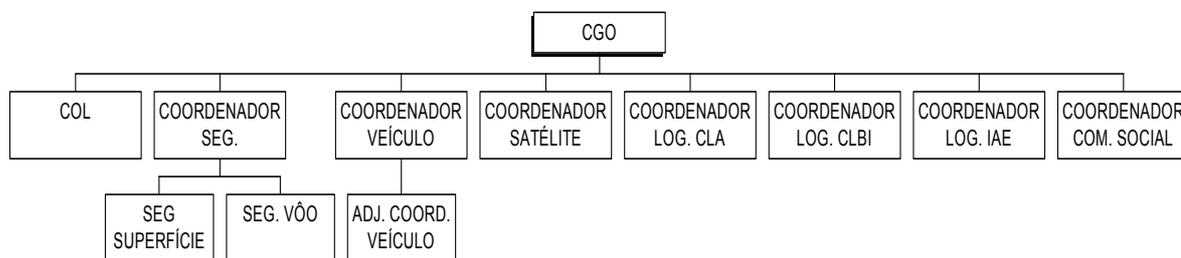


Figura 95 - Organograma de coordenação da Operação São Luís, segundo o Plano de Operações 006/2002 – DEPED (de 15 de julho de 2002).

3.3.2.1 Segurança de terra (algumas vezes chamada de *segurança de superfície* ou ainda de *segurança de solo*)

A segurança de terra consiste:

- na segurança de pessoas e bens fora da ZNPP (zona **n**ão **p**rotegida **p**incipal: designa uma área circular na vizinhança da plataforma de lançamento), devendo fazer cumprir as ordens de evacuação de áreas interditadas;

- em caso de acidente, na coordenação das atividades das equipes que lhe estiverem subordinadas, colocando em prática os procedimentos específicos; e

- na ação de evitar o acesso de pessoas não credenciadas à ZNP (zona **n**ão **p**rotegida: designa o setor de preparação e lançamento, mais a área marítima de provável impacto de partes do Veículo).

Em relação às providências relativas a acidentes, foi verificado que, coincidentemente, no dia 22 de agosto, havia sido feito treinamento de socorro a vítimas, inclusive com o uso de helicópteros.

Quanto à proteção da Operação São Luís, constatou-se ser composta de duas partes: uma consistindo do controle de acessos ao setor de preparação e lançamento e às suas instalações internas, atribuição esta de responsabilidade do CLA; e uma segunda, atuando como um "escudo" externo, visando a segurança, de espectro amplo, com ênfase nas comunicações, no controle da área marítima, terrestre e aérea, e nas emissões eletromagnéticas.

O relato apresentado baseia-se em informações fornecidas pelos diversos órgãos da estrutura do Comando da Aeronáutica que atuaram conjuntamente na Operação.

Para melhor compreensão, é abordada inicialmente a parte relativa ao "escudo" externo, seguindo-se a descrição do controle de acesso ao setor de preparação e lançamento e às suas instalações internas.

Entre as medidas preventivas voltadas para proteção das comunicações de serviço, foi empregada criptografia, tanto para voz quanto para transmissões escritas.

O controle da área marítima próxima a São Luís, por apresentar normalmente intenso fluxo de embarcações, exigiu a implementação de

medidas de vigilância e de redução de tráfego, levadas a efeito com a cooperação da Marinha do Brasil e complementadas com esclarecimentos aéreos efetuados por aeronaves P-95 da Força Aérea, não sendo constatada a presença de meios navais suspeitos na região de controle.

Para o controle do espaço aéreo, foram mantidas aeronaves de interceptação em posição de alerta no solo contra a penetração de vetores aéreos na área de segurança, não sendo constatado qualquer incidente.

O controle da área terrestre, por sua vez, foi organizado em dois níveis de profundidade. Ao 24º Batalhão de Caçadores do Exército, sediado em São Luís, coube a patrulha e o controle das estradas e áreas adjacentes ao CLA. No âmbito interno, além do emprego de sentinelas e patrulhas, foram empregadas câmeras para monitoramento permanente. O ingresso no setor de preparação e lançamento, onde eram realizados os trabalhos relativos ao VLS-1 V03, era controlado nominalmente, no único portão de acesso.

Na parte interna do setor de preparação e lançamento, era feito controle de acesso à plataforma de lançamento (descrito na Seção 3.3.2.2, a seguir), ao prédio de carregamento de propelente líquido (feito por relação nominal, quando havia tarefas em execução nele) e à casamata.

O acesso à casamata era monitorado de duas formas. Em condições normais, ou seja, excetuando-se o momento do lançamento e as repetições gerais, não era feito controle nominal. Dessa forma, pessoas que tivessem acessado a área do setor de preparação e lançamento poderiam entrar na casamata em qualquer instante, desde que fizessem parte do efetivo envolvido na operação, condição esta que era verificada por inspeção visual conduzida por um elemento do CLA familiarizado com o efetivo envolvido. Esse elemento tinha como atribuição principal a vigilância sobre os painéis de controle e de disparo. No momento do lançamento ou durante as repetições gerais, era feito controle nominal.

Todo o aparato de controle era complementado por helicópteros e aeronaves em patrulha aérea, cumprindo plano de vôo previamente estabelecido. Durante a noite, a área onde se encontrava o VLS-1 V03 era guardada por sentinelas, permanecendo bastante iluminada. Não houve registro de eventos anormais.

As emissões eletromagnéticas foram também objeto de monitoramento, conduzido por elementos especializados do Centro Integrado de Guerra Eletrônica do Exército (CIGE), e por um grupo do CTA. Aeronaves R-99A, da Força Aérea, cumprindo planejamento específico de vôo, complementaram o esquema de monitoramento. Não houve registro de sinais espúrios.

Apesar do CLA não dispor de efetivo para prover um amplo controle de acesso a todas as instalações do setor de preparação e lançamento, a hipótese de que o acidente tenha sido desencadeado pela ação intencional por parte de pessoa não pertencente ao efetivo envolvido na operação, foi considerada de baixa probabilidade de ocorrência, uma vez que, para produzir os efeitos observados, seria necessário que ele, simultaneamente:

- conhecesse, com detalhes, os circuitos eletro-eletrônicos, tanto do CLA quanto do VLS-1 V03;

- tivesse acesso físico a algumas áreas que estavam permanentemente vigiadas; e

- introduzisse dispositivo de retardo ou de acionamento a distância, uma vez que o disparo do propulsor A ocorreu duas horas após sua conexão elétrica à "linha de fogo".

Contra esta possibilidade, conta também o fato de não ter sido observada, nas imagens das câmeras de vigilância do CLA, qualquer indicação da existência de dispositivos estranhos. Ainda contra essa hipótese, convém notar que pessoas do CTA trabalharam no propulsor duas horas antes do sinistro e não poderiam ter deixado de notar a existência de volume estranho, por menor que fosse. A possibilidade de acionamento por emissão de radiofrequência com alta potência foi hipótese considerada de baixa probabilidade de ocorrência pelo fato de estar havendo varredura de frequência, como comentado anteriormente nesta seção, e pelo fato de que todos os propulsores do primeiro estágio estavam com os conjuntos de ignição instalados, dois dos quais, inclusive, ligados à "linha de fogo", porém somente um dos dois detonadores do propulsor A disparou.

Quanto à possibilidade de ação intencional por parte de pessoa pertencente ao efetivo envolvido na Operação, as indicações apontam no sentido de que sua ocorrência também pode ser considerada como de baixa probabilidade, até mesmo porque pouco tempo antes havia sido realizada uma investigação

relativa a suspeita de sabotagem no CTA, de forma que as atenções estavam voltadas para esse tipo de ação.

A investigação mencionada consistiu de sindicância interna, aberta pelo Diretor do CTA em meados de 2002, quando da constatação de mau funcionamento de um equipamento de processamento de dados do Laboratório de Telemetria, utilizado em solo nas campanhas de lançamento. A inspeção realizada no aparelho mostrou que dois fios internos estavam invertidos.

Terminada a sindicância, o Diretor do CTA concluiu ser a inversão dos fios resultado de falha técnica.

No início do ano de 2003, a sindicância chegou ao conhecimento do Comandante da Aeronáutica, possivelmente pelos canais de inteligência, decidindo ele, em 16 de abril, pela interrupção temporária da Operação São Luís, àquela altura em sua fase inicial, e determinando a abertura de inquérito policial militar.

Terminado o inquérito, cujo resultado confirmou o parecer inicial do Diretor do CTA, a Operação São Luís foi reassumida no primeiro dia de julho.

3.3.2.2 Segurança de plataforma

Consiste do controle de acesso à plataforma de lançamento, aí incluída a torre móvel de integração. Trata-se de atividade que exige grande coordenação entre o operador, que no caso era o CTA, e o centro de lançamento, representado pelo CLA.

A segurança de plataforma, em princípio, é atribuição do centro de lançamento, conforme prevê o já mencionado documento Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais, editado pelo CLA.

Em tese, a segurança consiste em controlar o acesso à área da plataforma onde os serviços de preparação do veículo estão sendo realizados. Dessa forma, é necessário que o operador forneça informações claras e precisas ao responsável pela segurança, relativas a quem e quando deve ser permitido o acesso.

A análise das características e dos procedimentos executados durante a Operação São Luís mostra que o CLA não possui efetivo suficiente para conduzir a tarefa de controle de acesso à plataforma, tendo que complementá-lo com elementos do CLBI e do CTA.

Ao não contar com efetivo próprio especializado, o CLA passa a não ter condições de estabelecer normas e procedimentos operacionais que devem ser seguidos pelo operador, além do fato de que o controle de acesso à plataforma perde em eficácia.

Sobre esse aspecto, é interessante atentar para o que preceitua a **Norma NBR – 14 882 Sistemas Espaciais – Requisitos de Segurança – Parte 2, Item 4.5.2:**

- "...cada organização de operador deve permitir que sua organização de segurança de superfície seja operacionalmente independente da organização que executa operações perigosas em um centro de lançamento. Esta independência deve ser garantida pelas regras de segurança do operador encarregado".

Na Operação São Luís, especificamente, foi observado que o acesso à plataforma era feito por indicação dos chefes de equipes, a partir de uma lista de tarefas definida anteriormente, sem que houvesse registro de quem entrou ou saiu, e em que momento. Quando se tratava de acesso por parte de pessoas não pertencentes a uma das equipes envolvidas em tarefas na plataforma, a questão era remetida ao Coordenador Técnico do Veículo Projeto VLS-1 V03. Esse procedimento evidencia a subjetividade com que era conduzida a avaliação do risco.

É importante ressaltar que a montagem do Veículo e as tarefas associadas, realizadas no interior da torre móvel de integração, pressupõem algum grau de risco inerente, independentemente das medidas de segurança adotadas.

Por conseguinte, todas as tarefas devem ser prévia e metodologicamente avaliadas no que se refere ao grau de risco e à compatibilidade com outras tarefas, evitando-se, ao máximo, a exposição de pessoas.

Ambientes de trabalho com essas características requerem um planejamento detalhado, com uma seqüência de ações cuidadosamente estudada, controlada formalmente a partir de um centro de acompanhamento, para onde devem ser passadas as informações sobre as tarefas finalizadas, as que estão em andamento e as que irão iniciar.

Nesse contexto, a falta de controle sobre a aplicação das normas de segurança emitidas pelo CLA e o seu desconhecimento por parte do Instituto de Aeronáutica e Espaço

(CTA/IAE) permitiu que o processo se tornasse potencialmente crítico.

Deve-se observar, ainda, que o controle de acesso ficava prejudicado pela inexistência de cerca ou qualquer obstáculo entre a plataforma e o prédio de preparação de propulsores ou a casamata. Como esse controle era feito na casa de apoio, verificou-se ser possível que pessoas adentrassem a plataforma vindas de um desses prédios, sem serem interceptadas pelos controladores.

3.3.2.3 Segurança de voo

O responsável pela segurança de voo recebe a delegação, de direito, do Diretor do CLA, e tácita, do operador do veículo para a tomada de decisão, em tempo real, quanto a deixar continuar ou destruir o veículo em voo, segundo critérios pré-definidos, visando a salvaguarda de pessoas e bens.

A segurança de voo é, e deve ser, atribuição do centro de lançamento, visto que exige isenção quanto à decisão crítica de destruir o veículo que estiver sendo lançado.

Durante a investigação, constatou-se que o CLA não tem uma equipe qualificada para esse tipo de tarefa, tendo que recorrer ao CLBI e, complementarmente, ao Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento e ao próprio CTA.

Obeve-se, ainda, a informação de que o sistema de tratamento de dados relativos à evolução da trajetória de voo precisa ter a confiabilidade melhorada.

3.3.3. Planejamento e coordenação das atividades

Em função da complexidade das operações de lançamento, é gerada extensa documentação, tanto pelo CTA quanto pelo CLA. Parte da documentação referente à Operação São Luís é aqui apresentada com o objetivo de fornecer uma visão de conjunto do planejamento realizado e da forma como eram conduzidas as atividades antes e durante a Operação.

- **Plano de Ensaio – Plano de Preparação do Veículo VLS-1 V03 – 590-00000/F4020** (de 14 de agosto de 2002), que fornece as informações necessárias para a realização da campanha de lançamento nos aspectos: operacional, transporte, preparação, testes finais e documentação de registro (cine e foto).

- **Plano de Montagem do VLS-1 V03, Doc. Nº 590-000000/B5005 9 (Revisão A)**, de 14 de março de 2002; constituído de dois volumes, contendo os descritores das tarefas para a integração e montagem do veículo no CLA;

- **Plano de Ensaio das Redes Elétricas do VLS-1, Doc. 590-500000/B4001**, de 20 de abril de 1995, contendo a lista de tarefas a serem realizadas por ocasião dos ensaios das redes elétricas do Veículo;

- **Plano de Registro de Imagens do VLS-1 V03 Doc. 003/AIE/R/2002**, (de 25 de junho de 2002), contendo o planejamento das atividades de registro de foto e vídeo da Operação São Luís;

- **Plano de Operações do DEPED Doc. 006/2002**, (de 15 de julho de 2002), detalha as tarefas para o lançamento do VLS-1 V03 atribuídas, respectivamente, ao Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e ao Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Em seu Anexo B – Logística constam as atribuições do Centro de Lançamento de Alcântara;

- **Suporte Técnico do CLA ao Lançamento do VLS-1 V03**, (de 04 de julho de 2002), contendo detalhadamente todos as responsabilidades do Centro de Lançamento com respeito ao suporte técnico à Operação São Luís.

- **Informações sobre o Veículo lançador de Satélites VLS-1, Doc.007/GER-V/2002, Nº 590-000000/F4019** (de 20 de junho de 2002), que fornece uma visão geral do sistema do VLS-1.

O **Plano de Montagem do VLS-1 V03, Doc. Nº 590-000000/B5005 9 (Revisão A)**, mencionado anteriormente, detalha cada uma das tarefas constantes em um sétimo documento, nomeado **Planejamento das Atividades do CTA/IAE para Montagem do VLS-1 V03 no CLA – Operação São Luís, Documento 590-000000/F4021**, (de 26 de novembro de 2002), que tem por finalidade informar a cada equipe o seqüenciamento das atividades de montagem do Veículo.

Esse conjunto de documentos é complementado pela **Síntese da Qualidade dos Meios Operacionais (Operação São Luís)**, (editada pelo CLA, em março de 2003), que tem por finalidade mostrar a organização daquele Centro para viabilizar as atividades técnicas e operacionais, ligadas aos processos de

coordenação e controle de operação dos diversos setores envolvidos.

Para a coordenação da execução das tarefas de integração, montagem e testes do Veículo no CLA, conforme estabelecido no documento **Planejamento das Atividades do CTA/IAE para Montagem do VLS-1 V03 no CLA – Operação São Luís**, era adotada uma sistemática que consistia de uma reunião, às 07h 30min da manhã, nos dias úteis de campanha, denominada "Bom Dia VLS", da qual participavam o Adjunto do Coordenador Geral da Operação, também Coordenador de Logística do CTA; o Coordenador do Projeto VLS-1; o Chefe do Grupo de Engenharia de Sistemas (**GES-V**); o Chefe do Grupo de Coordenação Técnica de Veículos (**GCT-V**), também Adjunto do Coordenador do Veículo; o Chefe do Grupo de Planejamento e Controle de Veículos (**GPL-V**); e os chefes de equipes. Durante e após a reunião eram ainda realizadas as seguintes tarefas:

- o Chefe do Grupo de Planejamento e Controle de Veículos distribuía as fichas contendo as atividades do dia aos chefes das equipes; e

- os chefes das equipes devolviam as fichas do dia anterior, preenchidas com as informações de início e fim das atividades, além de informações de quando uma atividade não tivesse sido concluída.

Após a reunião, o Adjunto do Coordenador Geral da Operação e o Coordenador do VLS-1 dirigiam-se ao centro técnico para a reunião diária com o Diretor do CLA e seus principais assessores (Operações, Logística e Segurança), com o objetivo de apresentar o andamento e o planejamento das atividades sob responsabilidade do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e discutir eventuais problemas técnicos e logísticos.

De forma semelhante, já na área do setor de preparação e lançamento:

- o Chefe do Grupo de Coordenação Técnica de Veículos coordenava e fazia os acertos necessários com os chefes de equipes, para viabilizar a realização das atividades do dia;

- o Chefe do Grupo de Planejamento e Controle de Veículos atualizava o cronograma de acordo com as informações recebidas, e imprimia as fichas de atividades para o próximo dia útil, que seriam entregues aos chefes de equipes. Concluída essa tarefa, passava a acompanhar as

atividades no setor de preparação e lançamento até o final do expediente.

No final das atividades do dia, era geralmente realizada reunião no setor de preparação e lançamento, dela participando o Chefe do Grupo de Coordenação Técnica de Veículos, o Chefe do Grupo de Planejamento e Controle de Veículos e os chefes de equipes, com a finalidade de resolver problemas ocorridos, verificar o que foi realizado e planejar o dia seguinte. Nessa reunião discutia-se também a necessidade de efetuar modificações no planejamento previsto no documento editado antes do início da Operação São Luís.

A partir da fase de repetições gerais de lançamento, as reuniões do "Bom Dia VLS" foram substituídas por reuniões denominadas "Briefing" e "Debriefing", relacionadas às repetições gerais de lançamento, e por reuniões técnicas especificamente convocadas, incluindo não apenas o pessoal do CTA, como também das demais organizações envolvidas.

Essa sistemática, entretanto, não foi complementada com um eficiente controle e registro das tarefas executadas vis-a-vis com as tarefas a executar, principalmente no que se refere às interfaces de risco. Não foram identificadas as razões que levaram à alteração da sistemática que vinha sendo aplicada.

Assim é que, no dia anterior ao acidente, estava previsto ser realizada a carga e descarga das baterias de bordo. Especialmente, a descarga é considerada uma atividade de risco, tanto assim, que era previsto ser realizada à noite, quando não deveria haver pessoas trabalhando na torre móvel de integração. No entanto, em função de atraso, a descarga do segundo conjunto de baterias foi, de fato, concluída na manhã do dia 22, conforme pode ser visto na lista de tarefas relacionadas para realização naquela manhã.

Da mesma forma, o conjunto de ignição dos propulsores A e D do primeiro estágio foram ligados à "linha de fogo" no final da manhã do dia 22, restando ainda tarefas a fazer.

Neste particular, no documento **"Planejamento das Atividades do CTA/IAE para a montagem do VLS-1 V03 no CLA – Operação São Luís"** (Doc. 590-00000/F4021, de 26 de novembro de 2002), a tarefa VLS-60.40 ("Fazer a preparação elétrica final da ignição 1º estágios 'A', 'B', 'C' e 'D'") estava programada para ser executada em D-2,

ou seja, em 22 de agosto, pela programação vigente até o início daquela semana. A inspeção desse documento indica que, após a tarefa VLS-60.40, as tarefas remanescentes caracterizam-se, predominantemente, por serem do tipo que não podem ser feitas antes que a tarefa VLS-60.40 esteja concluída (como integração das coifas do primeiro estágio, por exemplo). Com o adiamento da data do lançamento, a tarefa VLS-60.40 deveria ter sido postergada para 23 de agosto, o que permitiria a execução de outras atividades atrasadas ou novas necessidades surgidas (como ajustar a câmera de vídeo, situada na parte superior da torre de umbilicais, no nível 5 da torre móvel de integração), porém foi executada na data anteriormente planejada.

O grupo, como um todo, também compartilhava uma grande sensação de segurança, fruto de um longo histórico sem acidentes dessa natureza, e do fato de que os propulsores do segundo, terceiro e quarto estágios, que compõem o corpo central do Veículo, estarem com seus sistemas de ignição completos praticamente desde o momento em que são montados sobre a plataforma de lançamento.

Essa impressão resulta mais forte a partir de depoimentos, segundo os quais as tarefas que estavam sendo realizadas no momento do acidente eram consideradas, individualmente, como de baixo risco.

Independentemente de o serem, o fato de haver 21 pessoas (relação nominal no Anexo B) na torre móvel de integração no momento do acidente indica a subestimação do fator risco, fruto da forma subjetiva como a avaliação desse fator era realizada.

De fato, quando se considera cada tarefa individualmente, chega-se à conclusão de que o número de pessoas presentes na torre, no momento do acidente, era o necessário, já que cada chefe de equipe dimensionava a quantidade de pessoas em função das tarefas a realizar.

Entretanto, a simultaneidade de equipes em um ambiente de risco intrínseco (resultante do elevado número de eletropirotécnicos e da grande quantidade de propelente, os quais, uma vez iniciados, não é possível controlar a progressão da queima), principalmente após a conexão do conjunto de ignição de dois propulsores à "linha de fogo", demonstra que não era hábito avaliar o índice de risco (parâmetro que considera, simultaneamente, a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e magnitude do dano se

o evento vier a ocorrer). Por essa avaliação, é recomendável atuar de forma conservadora, procurando reduzir o número de pessoas a um mínimo indispensável, se necessário escalonando as tarefas, sempre com o objetivo de evitar acúmulo de pessoas.

No mesmo sentido da subestimação do risco, conta ainda a remoção dos dispositivos mecânicos de segurança (DMS) do VLS-1.

Após o acidente com o VLS-1 V01, constatou-se que o não acendimento de um dos propulsores do primeiro estágio deveu-se ao funcionamento deficiente de um desses dispositivos.

Em conseqüência, a solução adotada foi a utilização de um novo detonador eletropirotécnico junto ao iniciador por onda de choque, compondo um sistema similar ao usado nos foguetes da série Sonda, sistema esse testado tanto no veículo de sondagem VS-40 V02 quanto no VLS-1 V02.

Na ausência dos dispositivos mecânicos de segurança, foi introduzida uma caixa de relés próxima ao Veículo, com a função, entre outras, de manter as linhas elétricas dos detonadores ("linha de fogo") em curto, durante a fase de preparação.

Quando se analisa o atual acidente e se considera a hipótese de que a ignição do propulsor A possa ter começado a partir do acionamento intempestivo do respectivo detonador, deduz-se que a existência de um dispositivo mecânico de segurança poderia ter impedido o disparo do propulsor.

Nesse sentido, a norma MIL-STD-1576 ELECTROEXPLOSIVE SUBSYSTEM AND SAFETY REQUIREMENTS AND TEST METHODS FOR SPACE SYSTEMS, de 31 de julho de 1984, traz uma série de recomendações, entre elas que:

- os circuitos de segurança devem ser passíveis de serem postos em segurança, manualmente, durante qualquer fase das operações em terra; e

- as indicações de bloqueado e armado devem ficar visíveis na configuração completamente montada.

3.3.4 Considerações sobre gestão da qualidade

Segundo Leonam dos Santos¹⁰:

"qualidade é a medida da qual um produto específico se encontra adaptado aos requisitos para os quais ele é destinado a atender. A norma define-a como a 'capacidade de um produto de satisfazer as necessidades dos utilizadores'. Rigorosamente, a qualidade de um produto é caracterizada não somente pela sua conformidade às especificações que o definem, mas também pela sua capacidade de permanecer conforme suas especificações durante toda a sua vida útil. Uma das características fundamentais de um produto, que concorre para sua qualidade, é a confiabilidade, isto é, sua capacidade de conservar as características de origem. Em realidade, o conceito de Segurança de Funcionamento de Sistemas está intimamente ligado ao de Qualidade, mais precisamente, ao de Garantia da Qualidade. A Qualidade de um produto se reflete diretamente na sua Confiabilidade, ou seja, na sua capacidade em cumprir a função destinada em um intervalo de tempo pré-fixado sem falhas".

A Operação São Luís, como referido na parte inicial deste relatório, fazia parte do processo de qualificação do VLS-1.

A qualificação de sistemas complexos e onerosos, como o VLS-1, não pode ser baseada em um número elevado de amostragens, sob pena de torná-los inviáveis. Por conseguinte, deve-se buscar que suas partes e processos atendam a rigorosos critérios de qualidade, como forma de obter-se um produto final confiável.

Embora se tenha observado um bom nível geral de elaboração nos trabalhos de projeto, fabricação, integração e testes, sobretudo quando se considera o efetivo reduzido, a complexidade do VLS-1 V03 e o número elevado de itens e sistemas existentes, constatou-se também a necessidade de uma maior atenção aos aspectos de gestão da qualidade.

Como exemplo, pode ser citada a substituição dos fios blindados na parte interna da "linha de fogo" dos propulsores do primeiro estágio. O primeiro protótipo do Veículo conservou a especificação original de projeto, com as "linhas de fogo" internas construídas com fios torcidos e blindados.

Todavia, desde a construção do VLS-1 V02, têm sido utilizados fios sem blindagem.

A decisão por utilizar fio trançado sem blindagem resultou da existência de um memorando técnico que autorizava o uso de fios torcidos não blindados nas linhas dos detonadores de destruição e também nas linhas do sistema de ignição dos propulsores ("linha de fogo").

A origem do memorando (Memorando Técnico nº 011/GES-VLS/98) remonta a setembro de 1998, durante a integração elétrica do VLS-1 V02, quando o Grupo de Engenharia de Sistemas do VLS-1, respondeu a consulta formulada pela Divisão de Eletrônica do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) a respeito do uso desse tipo de fio, em virtude da indisponibilidade de fio trançado e blindado para o circuito de teledestruição.

Quando se analisa essa decisão sob o ângulo da gestão da qualidade, constata-se que a alteração foi feita sobre a especificação original de um sistema que havia operado corretamente no primeiro protótipo, tendo por base apenas um memorando técnico e conduzida no setor encarregado da confecção do sistema, sem que tivesse sido formalizada, comunicada ou consultada a gerência do projeto.

Neste particular, a **NBR 15100 Sistema de qualidade – aeroespacial – modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados**, editada pela ABNT, que reproduz texto da norma SAE AS9100, de 1999, recomenda, em seu Artigo 7.3.7: "As alterações de projeto e desenvolvimento devem ser identificadas e registros devem ser mantidos. As alterações devem ser analisadas criticamente, verificadas e validadas, como apropriado, e aprovadas antes da sua implementação. A análise crítica das alterações de projeto e desenvolvimento devem incluir a avaliação do efeito das alterações em partes componentes e no produto já entregue".

Um segundo exemplo, também representativo da necessidade de maior atenção aos aspectos da qualidade aconteceu durante a montagem da plataforma inercial em um módulo do Veículo.

Devido a características de projeto do local que abriga a plataforma, a colocação desse dispositivo em sua correta posição exige que o operador execute movimentos de corpo que não podem ser classificados como ergonômicos.

No decorrer da Operação, foi reportado que um dos técnicos, buscando facilitar a

execução dessa tarefa, adentrou na seção interna da baía de equipamentos, procedimento esse não previsto, podendo ter sido essa a razão da necessidade de ajuste dos parâmetros iniciais da plataforma, em função de possível desnivelamento acidental da base em que aquele equipamento ficava apoiado.

Observou-se também que não foram seguidas na íntegra as recomendações estabelecidas no relatório de falha com o VLS-1 V02, no que diz respeito ao item c - "Realizar estudos sobre a integridade estrutural do bloco propelente, visando a simulação de possíveis falhas estruturais devido aos esforços internos e os níveis de vibração a que está sujeito o veículo durante a queima dos motores-foguetes do primeiro estágio".

Esses exemplos apontam na direção de que um esforço institucional deve ser conduzido visando garantir elevados padrões de qualidade compatíveis com os exigentes requisitos espaciais.

No passado, foi solicitado ao Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI) alocar representantes das áreas de produto e sistema da qualidade para acompanhar a integração do VLS-1 V02, tanto no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) quanto no CLA, caracterizando a intenção de adotar procedimentos de certificação de produtos e Garantia da Qualidade na área espacial. Infelizmente, o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI), na época, não contava com o efetivo suficiente para conduzir o processo.

3.3.5 Considerações sobre a documentação de projeto e controle de configurações

Conceitualmente, a documentação técnica de desenvolvimento de sistemas tem dupla função:

- constituir o repositório formal de todas as informações relevantes do processo de desenvolvimento de um sistema, nele contidas as ações de projeto e desenvolvimento, testes e ensaios, qualidade e logística; e

- constituir, ela mesma, marcos de projeto, configurando-se, assim, no atestado da consecução de uma fase ou etapa (com a qualidade exigida).

Desde o início do Projeto VLS-1, houve a preocupação em constituir uma documentação estruturada. Nesse sentido, a gerência técnica do

Projeto fez o desmembramento dos constituintes do Veículo, obtendo assim seu organograma técnico ("workbreakdown structure"). Este desmembramento define níveis usualmente vinculados aos seus respectivos graus de complexidade. Cada elemento do organograma técnico pode ser genericamente denominado "item da configuração". O documento **590-0000/A2001 Procedimento para Confecção, Alteração e Controle da Documentação**, de 30 de abril de 1987, define os tipos de documentos a serem emitidos pelo Projeto VLS-1. Na realidade, não se tratam de documentos e sim de famílias de documentos a terem seus conteúdos estruturados de forma sistêmica segundo o organograma técnico e segundo a fase do ciclo de vida do projeto em que se esteja - sua natureza "evolutiva".

Nesse contexto, o seguimento natural do documento 590-0000/A2001 seria um "Plano Geral de Documentação" (ou "Plano Mestre de Documentação"), definindo que documentos e com quais conteúdos deveriam ser emitidos, de forma a se ter famílias de documentos consolidadas. Um Plano Geral de Documentação, uma vez implementado, garantiria a minimização da possibilidade de falta de informações ou de trabalhar com informações equivocadas a respeito de um dado item de configuração. Mais explicitamente, a ausência de um tal plano deixa a critério do pesquisador afeto deduzir os tipos e os respectivos conteúdos dos documentos, sem necessariamente considerar os outros eventuais usuários das informações que lhe compete emitir.

O sistema informatizado (SCDT - Sistema de Controle da Documentação Técnica) atual é capaz de recuperar, para cada item da configuração, quais documentos foram emitidos, sem referência a quais deveriam existir, para caracterizar de modo inequívoco o seu desenvolvimento.

Tendo em conta o custo da documentação e as necessidades acima descritas, verifica-se que seria desejável que um projeto do porte do VLS-01 contasse com uma gerência da documentação exercida, preferencialmente, por um engenheiro sênior e com experiência no ramo, com assento no comitê gestor do projeto ou equivalente. Atualmente, a GER-V/GDO (documentação), que é a responsável pela custódia da documentação de projetos da Vice-direção de Espaço, do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), conta apenas com um técnico de nível médio.

Quanto à gestão de configuração, é aqui entendida como um processo pelo qual, uma vez dada uma configuração "básica" ou "de projeto", são conduzidos esforços para fazer com que o realizado convirja para o projetado, assim como para reportar os desvios, analisar todas as implicações dos mesmos e documentá-los adequadamente para assegurar a rastreabilidade do procedimento.

É recomendável que o Controle da Configuração seja exercido por uma Comissão de Controle da Configuração, com poderes para tal, consoante um Plano de Gerência da Configuração e um Plano Geral de Documentação. Há, inclusive, uma norma brasileira que disciplina o assunto, a **NBR ISO 10007 Sistema de Gestão da Qualidade - Diretriz para a Gestão da Configuração**, de 1996.

No caso do Projeto VLS-1, o documento "Procedimento de Controle das Modificações - 590-0000/A4201", instituiu um programa de gestão de configuração, classificando as alterações em "A", "B" e "C", num crescente de importância para o sistema. Descreveu, ainda, as etapas do encaminhamento de alteração, criou uma Comissão de Modificação (que é a Comissão de Controle da Configuração), definiu a periodicidade das suas reuniões e instituiu a documentação de modificação: Proposta de Modificação (PM) e Relatório de Modificação (RM).

Todavia, foi observado que, na prática, ocorre uma certa informalidade, com decisões sobre alterações tomadas em reuniões.

Conclusões parciais

- Há indicações de que a infra-estrutura de apoio, provida pelo CLA a campanhas de lançamento, com relação a recursos humanos e físicos possui pontos de fragilidade que devem ser minimizados.

- A segurança operacional do CLA, composta pela segurança de terra, de vôo e de plataforma apresenta alguns pontos de fragilidade.

- Foi constatada a necessidade de haver um melhor intercâmbio de informações entre as organizações participantes, inclusive com desconhecimento, por parte dos operadores do CTA, CLBI e INPE, de regras ou normas estabelecidas pelo CLA.

- Foi observada a falta de um gerenciamento de risco, realizado de maneira formal e criteriosa, principalmente na condução das atividades de integração e preparação para o lançamento.

- As atividades, pelo menos na última semana da Operação, não foram controladas de maneira eficiente, permitindo, por exemplo, que tarefas de risco fossem realizadas juntamente com outras tarefas, como foi o caso da conclusão da descarga das baterias, conduzida concomitantemente com outras tarefas, e a execução de tarefas, após a conexão dos detonadores dos propulsores A e D à "linha de fogo", que poderiam ter sido realizadas antes.

- Há necessidade de aperfeiçoamento da gestão da qualidade.

- Nem todas as tarefas eram delineadas de maneira criteriosa, com estabelecimento de processos detalhados para o seu cumprimento.

- O grupo de gerenciamento de documentação está reduzido em excesso, dificultando o registro, o controle e a recuperação de documentos, sobretudo os mais antigos.

- Não existe uma comissão de gerenciamento da configuração formalmente constituída.

- Não foram implementadas na íntegra as recomendações contidas no relatório de falha do VLS-1 V02.

Recomendações parciais

- Revisão do plano geral para a manutenção da infra-estrutura do campo de lançamentos

Deverá ser revisado o plano geral de manutenção preventiva e corretiva de toda a infra-estrutura direta e indiretamente relacionada às operações de superfície e vôo da campanha de lançamento.

Nesta revisão, atenção particular deverá ser dada para o período que antecede o início das campanhas de lançamento. Nesta fase, a infra-estrutura deverá ser totalmente inspecionada mediante procedimentos previamente estabelecidos e validados, por mão-de-obra qualificada para tal, dotada dos equipamentos requeridos pelos procedimentos.

As inspeções deverão ser periódicas e com prazos de validade estabelecidos no plano geral de manutenção.

O plano geral deverá considerar os fatores de risco das operações de lançamento, descritos em suas respectivas análises de risco. Ele também deverá passar por revisões e atualizações em virtude dos novos sistemas a serem desenvolvidos ou de modificações de engenharia dos já existentes.

Deverá ser adotada uma norma que discipline as atividades de projeto e manutenção da infra-estrutura do campo de lançamentos.

Para tanto, deverá ser estudada a conveniência da adoção certificada da norma ABNT NBR 14881 (Sistemas espaciais – Equipamentos de apoio no solo para uso em lançamento, aterrissagem ou locais de resgate – Requisitos gerais), ou de outra equivalente.

- Projeto da torre móvel de integração

O projeto da torre móvel de integração deverá contemplar, além da funcionalidade, especialmente os aspectos relativos à segurança de pessoal, adaptado aos requisitos da norma ABNT NBR 14881 ou de outra equivalente.

O novo projeto deverá estabelecer o isolamento da torre das demais instalações na área do setor de preparação e lançamento, e o controle de acesso à mesma deverá ser nominal.

- Revisão de planos e procedimentos de segurança

Deverá ser adotada uma norma que discipline os procedimentos de segurança para as operações de superfície e vôo do VLS-1.

Para tanto, deverá ser estudada a conveniência da adoção certificada da norma ABNT NBR 14882 (Sistemas Espaciais – Operações de centro de lançamento – Requisitos de segurança) ou de outra equivalente.

Todas as instituições envolvidas no desenvolvimento e nas operações de superfície e vôo do VLS-1 deverão revisar, atualizar, completar e validar individualmente seus planos e procedimentos de segurança.

Os novos planos e procedimentos de segurança deverão ser controlados em configuração e deverão obrigatoriamente passar

por revisão sempre que houver uma modificação de engenharia nos sistemas de solo ou voo.

Cumprida a fase de elaboração, revisão e aprovação dos procedimentos de segurança, estes só poderão ser alterados se passarem novamente pelo mesmo processo formal. Nenhum membro das equipes envolvidas nas operações de lançamento, independente de seu nível hierárquico ou de responsabilidade, poderá ter autoridade para alterar os procedimentos de segurança a revelia do processo formal.

O novo conjunto de planos e procedimentos de segurança deverá distinguir, de forma sistemática, as tarefas de segurança das de defesa.

- O planejamento das atividades de integração e montagem do veículo

O planejamento das atividades de integração e montagem do veículo deverá ser preparado, revisado, aprovado e mantido sob controle de configuração.

A partir do início da campanha, qualquer desvio do plano somente será admitido se submetido e aprovado por uma comissão permanente da qual participe, entre outros, os responsáveis pela segurança de superfície e voo, que terão direito a vetar a alteração e sustar as operações até que o plano original possa ser retomado.

- Treinamento das equipes de comando de lançamento

As equipes responsáveis pelas operações de lançamento, se não forem permanentes, deverão ser designadas com antecedência suficiente, para dedicação ao treinamento e ao aperfeiçoamento dos procedimentos aplicáveis à missão em vista.

As equipes deverão realizar treinamento continuado que inclua recursos de simulação com grau adequado de fidelidade aos processos a serem controlados no CLA.

- Elaboração de análise de risco do sistema VLS-1

Deverá ser elaborada uma análise de risco do sistema VLS-1, independentemente da adoção de normas que o requeiram.

Deverá ser adotada uma norma que discipline a atividade de gerenciamento de risco.

- Adoção de normas para a garantia da qualidade e gerenciamento de projetos e de procedimentos de certificação

Deverão ser adotadas normas que disciplinem as atividades de garantia da qualidade e gerenciamento de projetos e programas.

Para tanto, deverá ser estudada a conveniência da adoção certificada das normas ABNT: NBR 14857-1 (Sistemas espaciais – Gerenciamento do programa – Parte 1: Estruturação de um programa); NBR 14857-2 (Sistemas espaciais – Gerenciamento do programa – Parte 2: Garantia do produto); NBR 15100 (Sistema da qualidade – Aeroespacial – Modelo para a garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados); ou de outras equivalentes.

As direções das instituições envolvidas no desenvolvimento e operação do VLS-1 deverão contemplar, como meta de longo prazo, a obtenção de certificação ISO-9001 ou equivalente.

Deverão, também, ser adotados procedimentos de certificação do Projeto VLS-1 a serem conduzidos junto com o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI).

- Realização de revisões de engenharia e segurança

Deverá ser reforçada a importância das revisões intermediárias de engenharia (revisões preliminar e crítica de projeto), que deverão passar a integrar de forma obrigatória os planos de desenvolvimento.

Deverão ser estruturadas revisões de segurança nos estágios de projeto preliminar, projeto completo e lançador integrado à carga útil. Esta última deverá ser repetida a cada nova missão.

- Criação de comissão para o acompanhamento da implementação das recomendações

Deverá ser estabelecida uma comissão para acompanhar a implantação das recomendações da Comissão Técnica de

Investigação do acidente com o VLS-1 V03 nas diversas organizações envolvidas.

Essa comissão deverá ser constituída por indivíduos que não estejam envolvidos na implantação destas recomendações.

Ao final do processo, a comissão deverá atestar a completa implantação das recomendações aprovadas, particularmente as que forem requeridas antes de um próximo lançamento do VLS-1.

- Liberação do campo para o início da campanha de lançamento

As operações da campanha de lançamento só poderão ter início após inspeção e aprovação, pelos operadores, da infra-estrutura disponível para a campanha de lançamento.

Os procedimentos de segurança do operador e do campo de lançamento deverão ser compatibilizados e aprovados por ambas as partes antes do início de cada campanha.

Os operadores deverão obrigatoriamente passar por novo processo de validação, se as operações críticas por eles realizadas tiverem tido seus procedimentos de segurança alterados.

Constituir formalmente uma comissão de gerenciamento da configuração.

3.4 FATOR HUMANO

Acidentes, embora indesejáveis, ocorrem durante o desempenho de tarefas.

O desempenho do ser humano, por sua vez, quando da realização de tarefas, resulta da interação de **fatores internos**, referentes a variáveis ligadas às características do estado físico, fisiológico e psicológico do indivíduo que executa, com **fatores externos** relacionados às características da atividade a ser executada, a relações interpessoais e a condições de trabalho e vida, entre outros.

Por conseguinte, a abordagem do Fator Humano requer um enfoque sistêmico das muitas variáveis que interferem na dinâmica da relação homem-máquina.

A análise, aqui apresentada, engloba uma apreciação dos recursos humanos e financeiros disponíveis para o Projeto, a percepção que os servidores que participaram da Operação São Luís têm do seu trabalho, e uma avaliação da capacitação técnica, o que amplia a capacidade que a Organização tem de se conhecer e agir com base nesse conhecimento.

Sob o ângulo do **aspecto psicológico**, foi adotada uma abordagem, envolvendo fatores **condicionantes** da qualidade e quantidade de tarefas executadas, considerados segundo três planos:

- **individuais**, tais como motivação, atitude, experiência na função e hábitos;
- **psicossociais**, relativos aos fenômenos que ocorrem na relação do indivíduo com as pessoas no ambiente de trabalho e fora dele; e
- **organizacionais**, ligados às características da Organização que influenciam os comportamentos dos indivíduos e grupos que dela fazem parte, tais como cultura, normas, política de pessoal e condições de trabalho.

Esses condicionantes usualmente atuam como uma "rede", interagindo e se combinando, estabelecendo um contexto onde o resultado pode ser o desempenho seguro ou não¹¹.

Um dos elementos básicos dos sistemas é constituído por aqueles que **tomam decisões** (alta gerência, órgão normativo ou diretivo), responsáveis por estabelecer objetivos e manejar recursos para atingi-los.

Um segundo elemento é constituído daqueles que **executam as decisões** adotadas pela alta gerência.

Para que as decisões e respectivas implementações sejam bem sucedidas, através de operações eficazes e produtivas realizadas pelos recursos humanos, são necessárias **condições prévias**. Por exemplo, deve-se dispor de equipamentos adequados e confiáveis, capacitação, conhecimentos e motivação, além de condições ambientais seguras.

O elemento final, as **defesas do sistema**, existe para prevenir danos ou interrupções do trabalho¹².

O ser humano, atuando nesses sistemas organizados, pode contribuir para a ocorrência de falhas, a ponto de produzir um acidente.

Genericamente, as falhas podem ser percebidas como:

- **falhas latentes** – são o resultado de medidas adotadas ou de decisões tomadas muito antes do acidente, cujas conseqüências podem permanecer latentes por longo período. Em geral, têm sua origem em pessoas que estão longe do evento, no tempo e no espaço¹³.

- **falhas ativas** – constituem erros ou violações e têm resultado imediato. São cometidas, geralmente por alguém que está executando uma tarefa.

É comum que **falhas latentes** e **ativas** interajam, sem comprometer as **defesas do sistema**. Porém, caso essa interação ocorra em combinação com **condições prévias** comprometidas e **defesas** inadequadas, ocasionam a chamada **janela de acidente**, conforme o modelo Reason (Figura 96).

O acidente ocorrido com o VLS-1 V03, quando considerado à luz desse modelo, permite evidenciar possíveis sinais "precursores, prenunciadores"¹⁵ ou "**falhas latentes**"¹³ que complementam a descrição objetiva do acidente, revelando o que está na base da "cascata de eventos" que o desencadearam.

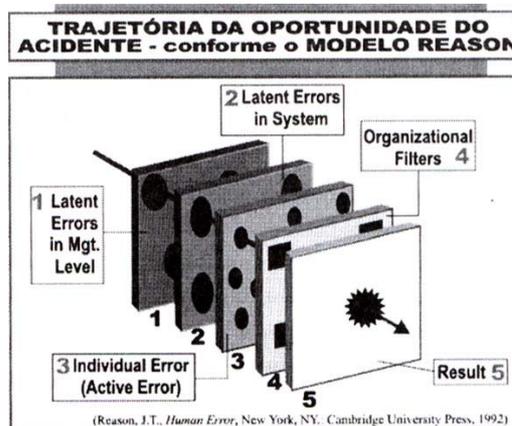


Figura 96 - Modelo Reason, apresentado por Moreira¹⁴.

Com efeito, a trajetória do programa espacial brasileiro, pelo menos no que tange às atividades relativas a lançadores, a campos de lançamento e a tecnologias associadas, pode ser didaticamente caracterizada por três fases bem distintas, podendo-se identificar, na última dessas fases e com clareza, **falhas latentes** inequívocas.

Como delineado no Capítulo 1 - "O VLS-1 no contexto do programa espacial brasileiro", a primeira das três fases, compreendendo o período desde o início das atividades espaciais no Brasil até a criação da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), em 20 de janeiro de 1971, foi marcada pela iniciativa de ações por parte do então Ministério da Aeronáutica.

Durante essa fase, o Ministério da Aeronáutica conseguiu viabilizar a vertente do programa espacial sob sua responsabilidade, traduzido na formação de recursos humanos, em qualidade e quantidade, compatíveis com as exigências de um programa espacial e adequado ao estágio de desenvolvimento requerido para a época; além da implantação de uma sólida infraestrutura capaz de produzir engenhos de complexidade crescente, operados a partir do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno.

Com a criação da COBAE, teve início a segunda fase, que se estendeu até praticamente o final do primeiro governo civil, após o ciclo de governos militares.

Foi um período caracterizado por gestão sistêmica das atividades espaciais, sob a égide do então Estado-Maior das Forças Armadas, órgão com *status* de ministério.

Nesse período, foi delineada a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB – 1979), cujo objetivo-síntese era traduzido pela expressão "lançar satélites nacionais, por veículo lançador nacional, a partir de um centro de lançamento brasileiro".

Tanto na primeira quanto na segunda fase, foram alocados recursos humanos, em quantidade e qualidade, suficientes para fazer face ao desafio representado pela implantação de um programa espacial.

Essa constatação pode ser melhor percebida quando se compara o ramo inicial das Figuras 97 (recursos humanos, conforme visualizado para fazer face à demanda visualizada) e 98 (recursos humanos efetivamente alocados).

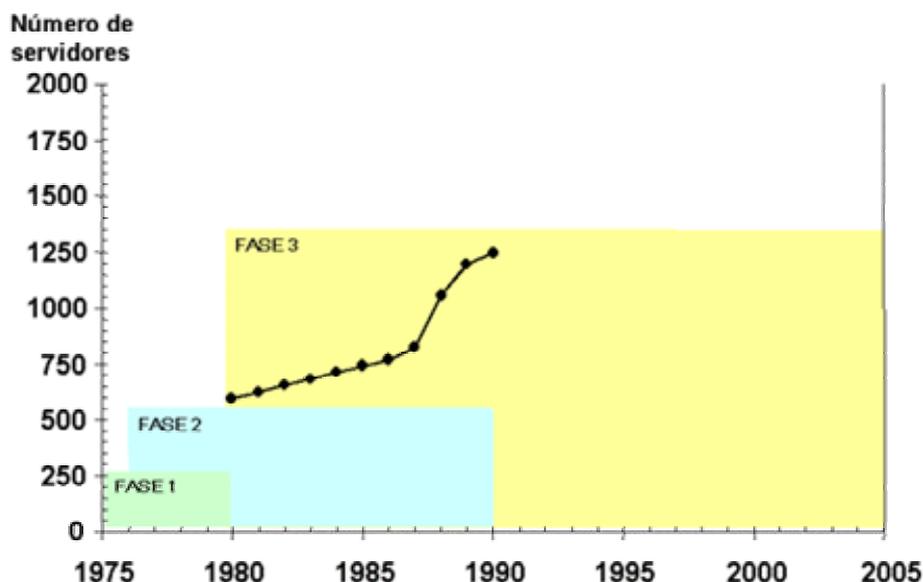


Figura 97 - Necessidade de recursos humanos, conforme visualizado pela Missão Espacial Completa Brasileira, para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica.

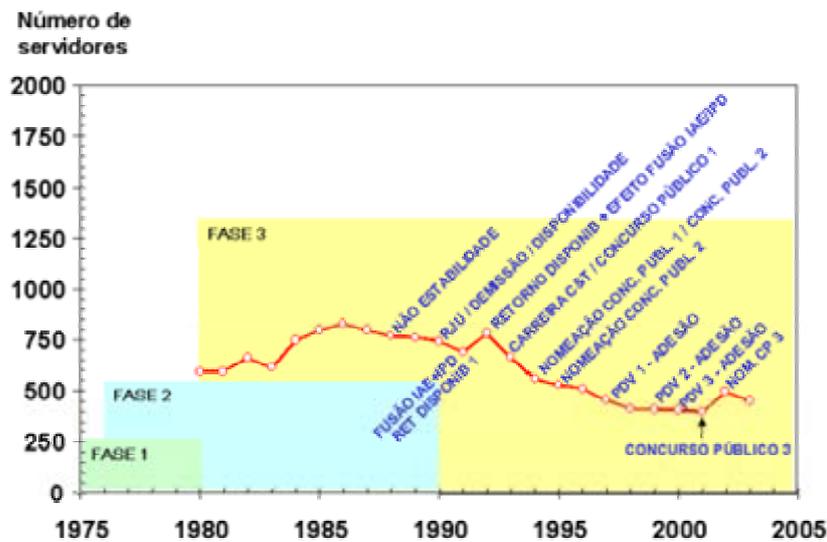


Figura 98 - Recursos humanos efetivamente alocados para desenvolvimento de lançadores e tecnologias associadas. Fonte: Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE). Referência: julho de 2003.

A partir de 1987, tornou-se mais perceptível a defasagem entre o quantitativo mínimo de recursos humanos necessário e o efetivamente alocado; condição essa que marcou o início da terceira e atual fase do programa espacial.

Essa defasagem, que se acentuou nos anos seguintes (Figura 99), justamente quando

recursos humanos eram requeridos em maior grau, em função do desenvolvimento e construção dos protótipos do VLS-1 e de diversos foguetes de sondagem, além da implantação do Centro de Lançamento de Alcântara, pode ter produzido impacto negativo sobre o segmento do Ministério da Aeronáutica voltado para atividades espaciais.

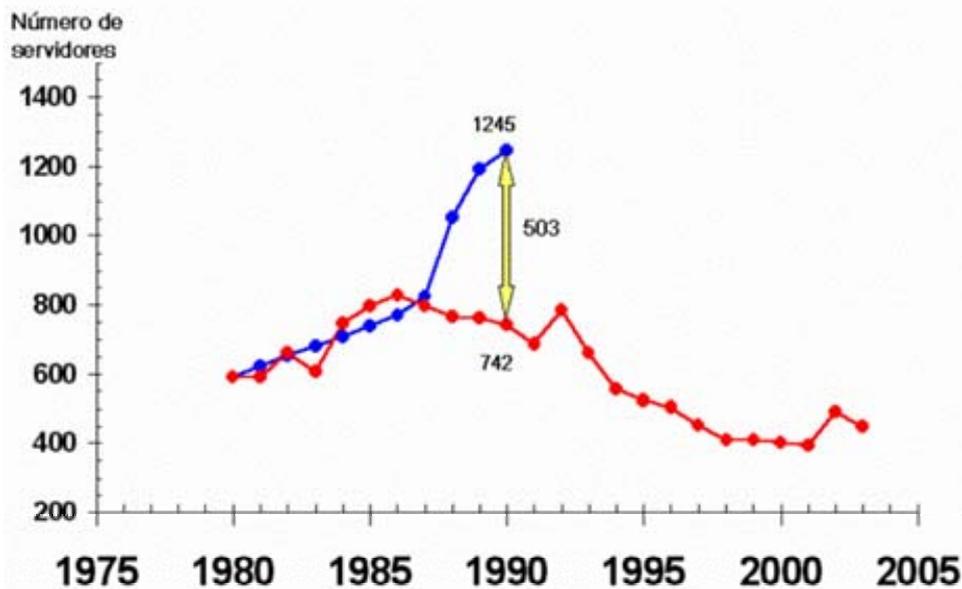


Figura 99 - Comparação entre os recursos humanos mínimos necessários e os efetivamente alocados.

Constatada a situação de recursos humanos, foi conduzida uma pesquisa às causas, com o objetivo de melhor compreender o processo.

Nesse sentido, a compreensão da evolução do quadro de recursos humanos do CTA, como um todo, permite melhor compreender a evolução do efetivo do Instituto de Aeronáutica Espaço (CTA/IAE), em particular.

A pesquisa aos registros existentes no setor de recursos humanos mostra que a primeira "tabela de lotação" oficial do CTA foi aprovada em 17 de maio de 1983, através da Exposição de Motivos nº 95-R, da SEPLAN, pela qual era previsto o seguinte quantitativo de servidores civis:

NÍVEL	QUANTITATIVO DE SERVIDORES
SUPERIOR	862
INTERMEDIÁRIO	2.599
TOTAL	3461

Tabela 2 – Tabela de lotação para o CTA, segundo a Exposição de Motivos nº 95-R, da SEPLAN. Obs. refere-se a todo o CTA, incluindo a Direção do Centro, o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI), o Instituto de Estudos Avançados (CTA/IEAv), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA), o Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e o Grupo de Infra-estrutura e Apoio (CTA/GIA).

Em 05 de fevereiro de 1985, através da Exposição de Motivos nº 078, da mesma SEPLAN, a tabela de lotação foi aumentada para:

NÍVEL	QUANTITATIVO DE SERVIDORES
SUPERIOR	1.100
INTERMEDIÁRIO	3.083
TOTAL	4.183

Tabela 3 - Tabela de lotação para todo o CTA, segundo a Exposição de Motivos nº 078, da SEPLAN.

A partir de então, por motivos diversos e em função de alterações de leis, a tabela de lotação foi sendo gradualmente alterada, sempre para valores menores.

Em paralelo, pelo Decreto nº 95.682, de 28 de janeiro de 1988, o Governo Federal proibiu

a contratação de pessoal para o Serviço Público, ainda que para reposição de efetivo perdido.

Com a edição da Constituição da República Federativa do Brasil, em 1988, os servidores que tinham ingressado no CTA até 14 de outubro de 1988 tiveram a estabilidade assegurada, ficando os demais, que não haviam completado cinco anos no serviço público, sido colocados na condição de *não estáveis*.

Em 1990, atendendo a determinação governamental, contida na reforma administrativa em curso na época, 152 servidores civis *não estáveis* foram demitidos sem justa causa, ao que se somou o afastamento de 574 servidores, colocados em *disponibilidade*.

Quando da aplicação da Lei nº 8.112/90, que instituiu o Regime Jurídico Único dos servidores civis federais, outros 456 servidores entraram com pedido de aposentadoria nos anos de 1991 e 1992.

O Decreto sem número, de 19 de julho de 1991, veio a permitir o reaproveitamento de 58 dos 574 servidores anteriormente colocados em disponibilidade. Posteriormente, em 1992, outros 401 servidores em disponibilidade retornaram.

Nesse contexto, quando foi editada a Lei nº 8.691/93, que criou as carreiras de Ciência e Tecnologia (C&T), e, posteriormente, quando foi publicado o Decreto nº 1.085, de 14 de março de 1994, que fixou a lotação dos órgãos de Ciência e Tecnologia com base na transposição somente dos cargos ocupados, a tabela de lotação de servidores civis previsto para o CTA foi reduzida a:

NÍVEL	QUANTITATIVO DE SERVIDORES
SUPERIOR	829
INTERMEDIÁRIO	2.053
AUXILIAR	540
TOTAL	3.422

Tabela 4 - Tabela de lotação para todo o CTA, segundo o Decreto nº 1.085, de 14 de março de 1994.

É interessante observar que, na transposição dos cargos e em função do longo tempo sem contratações de novos servidores, a maioria dos servidores do CTA foi classificada no topo da carreira, com pouca ou nenhuma possibilidade de ascensão profissional.

Em 1993, após um jejum de contratações de 06 anos, o CTA admitiu 31 novos servidores, porém, em função principalmente da grande defasagem salarial, 12 desses novos servidores pediram exoneração nos dois anos seguintes.

Em 1994 foram admitidos 433 novos servidores dos quais 179 pediram exoneração.

O primeiro Programa de Desligamento Voluntário do Serviço Público Federal (PDV), de 1997, instituído de forma inesperada e rápida, provocou novo impacto negativo, pela saída de mais 101 servidores.

Ainda nesse ano e no ano seguinte (1998), o CTA assistiu a um novo surto de aposentadorias, totalizando 200 afastamentos, provavelmente motivado pela discussão sobre a reforma do sistema previdenciário, que veio a ser aprovada pela da Emenda Constitucional nº 20, de 15 de dezembro de 1998.

Os anos de 1999 e 2000 também não foram favoráveis. A conjugação de um segundo PDV com a retomada do crescimento da EMBRAER provocou a evasão de 90 servidores, dentre eles alguns dos melhores e mais capacitados da área espacial do CTA.

Em 2001, após diversas solicitações infrutíferas, o segmento de ciência e tecnologia do agora Comando da Aeronáutica foi autorizado a admitir, por concurso público, 345 novos servidores, 25 dos quais demitiram-se no ano e

meio que se seguiu, em função da baixa remuneração.

Assim, tendo sofrido continuamente significativas perdas, sem capacidade para atrair novos recursos humanos civis (em função dos baixos salários e da falta de perspectiva profissional, em um programa que já não era percebido como prioritário para o Governo) e não podendo contar, nos anos mais recentes, com militares com formação específica para pesquisa e desenvolvimento, recém-formados no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA) (em função das muitas prioridades do próprio Comando da Aeronáutica), o segmento da área espacial do CTA foi submetido a contínua degradação.

A situação dos recursos humanos do CTA, assim como do CLA e do CLBI, pode ser entendida como parte de toda a problemática relacionada ao quadro geral de servidores públicos do País, com raras exceções em algumas carreiras.

A degradação da base de recursos humanos ocorreu simultaneamente com a restrição de recursos financeiros, conforme pode ser constatado a partir das Figuras 100 (totais acumulados de recursos financeiros, como estimados no início da Missão Espacial Completa Brasileira – MECB) e 101 (comparação entre os recursos financeiros estimados e os efetivamente alocados para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas).

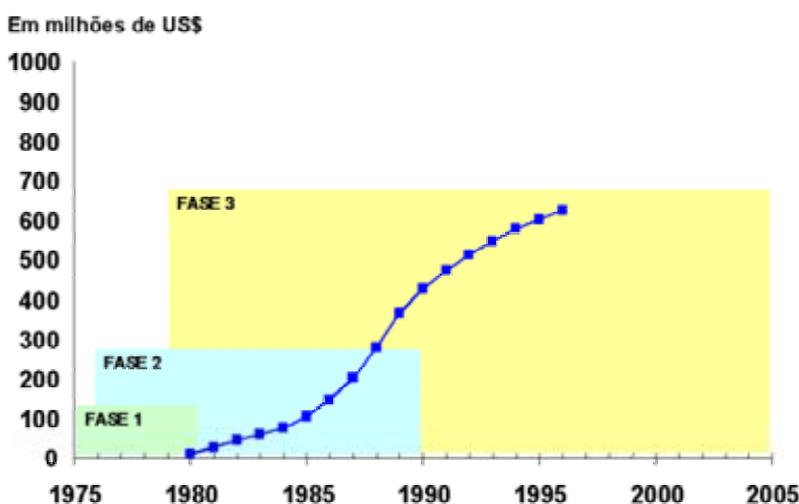


Figura 100 - Totais acumulados de recursos financeiros, conforme estimados pela Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica. O planejamento da MECB estendeu-se até 1996, apenas. Fonte: CTA/IAE.

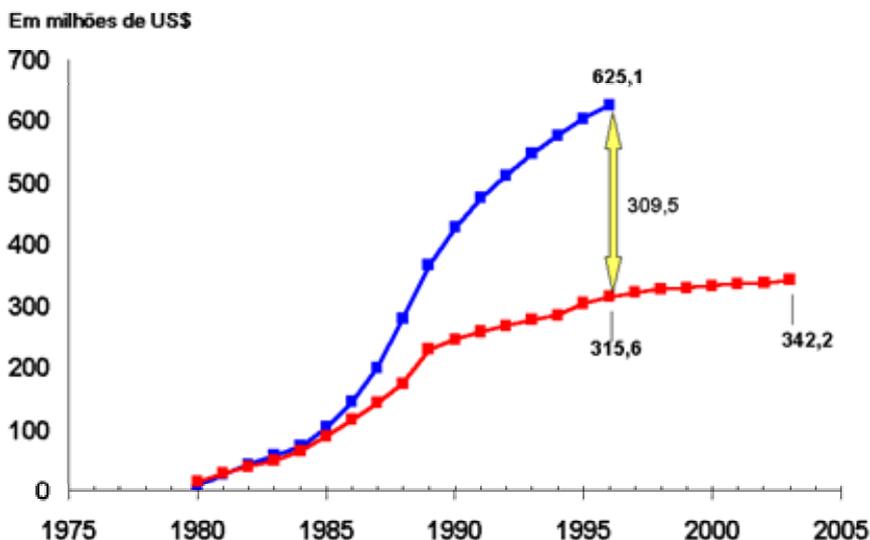


Figura 101 - Comparação entre valores acumulados de recursos financeiros estimados (curva superior) e os efetivamente alocados (curva inferior) para a condução da vertente de lançadores e tecnologias associadas. Fonte: CTA/IAE.

Quando se analisa o perfil de desembolso de recursos financeiros, por ano, percebe-se, com mais facilidade, o impacto da política governamental em relação a essa vertente do programa espacial.

Como pode ser visto na Figura 102, essa vertente, no ano de 1999, praticamente só recebeu recursos para a campanha de lançamento do VLS-1 V02.

Em milhões de US\$

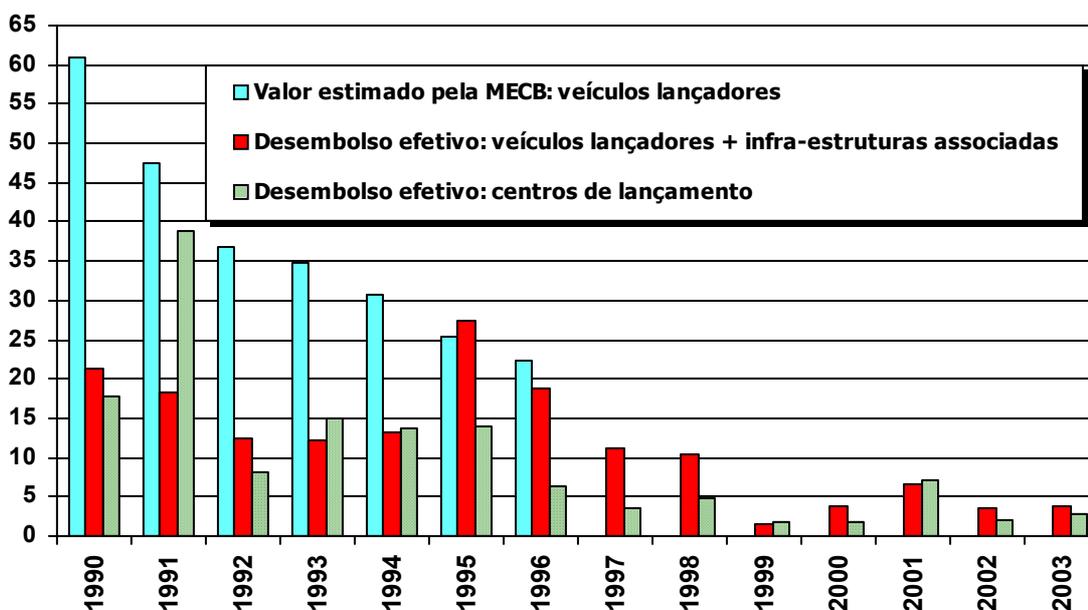


Figura 102 - Desembolso anual de recursos financeiros para a condução da vertente de veículos lançadores e infra-estruturas associadas, a cargo do Ministério da Aeronáutica. Fontes: Agência Espacial Brasileira - AEB (Jan/2004) e MECB.

Constata-se, assim, a existência de **falhas latentes**, associadas ao deficiente aporte de recursos humanos e financeiros durante a terceira e atual fase do programa espacial brasileiro, em sua vertente de lançadores e tecnologias associadas.

Para adquirir a compreensão de possíveis outras falhas latentes e eventuais falhas ativas que pudessem ter contribuído, direta ou indiretamente, para a conformação do cenário em que ocorreu o acidente, a Subcomissão do Fator Humano realizou um estudo descritivo englobando os servidores envolvidos na operação São Luís. Foram abordadas as condições de trabalho e vida no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e na campanha no CLA.

A coleta dos dados foi realizada através de entrevistas (semi e não estruturadas) com profissionais dos Centros de Lançamento de Alcântara (CLA) e da Barreira do Inferno (CLBI) e integrantes do efetivo do CTA/IAE que participaram da Operação São Luís; assistentes sociais e psicóloga do CTA e membros da Comissão Técnica de Investigação (Presidente e Chefes das Subcomissões do Fator Operacional e do Fator Material), perfazendo o total de 90 entrevistas.

Realizaram-se entrevistas tanto individuais como em grupo, além de consultas às normas técnicas encontradas e aos relatórios emitidos por participantes da Operação São Luís. Cabe ressaltar que os relatos marcados mais fortemente por componentes emocionais não foram considerados nesta apreciação.

CTA/ Comissão	Entrevistas individuais
Psicóloga	1
Assistentes Sociais	2
Membros da Comissão Técnica de Investigação	4
Total	7

Tabela 5 - Distribuição das entrevistas com profissionais do CTA e com membros da Comissão Técnica de Investigação.

As entrevistas em grupo, por sua vez, foram conduzidas por três psicólogas do Instituto de Psicologia da Aeronáutica, duas em cada grupo, visando o controle da subjetividade dos registros das verbalizações dos participantes.

As entrevistas com as assistentes sociais e com uma das psicólogas do CTA objetivaram coletar informações de ordem pessoal e de histórico profissional das vítimas do acidente. As realizadas com os demais integrantes da Comissão Técnica de Investigação visaram esclarecer aspectos relativos a assuntos técnicos.

Especificamente para obtenção da amostra representativa dos 148 profissionais do CTA/IAE que retornaram da Operação São Luís, foram selecionados 70 profissionais, subdivididos em três extratos: gerentes, engenheiros e técnicos. Os resultados quantitativos, obtidos com este procedimento, apresentaram erro amostral compreendido no intervalo de 7 a 12%, dentro de um nível de significância de 95%.

IAE	Entrevistas em grupo	Entrevistas individuais	Total
Gerentes *	-	7	7
Engenheiros **	19	6	25
Técnicos ***	34	4	38
Total	53	17	70

Tabela 6 - Distribuição das entrevistas com profissionais do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Nesta tabela, as seguintes definições são aplicadas:

* Gerentes: Diretor, Vice-Diretor de Espaço, quatro membros do grupo gerencial do VLS-1 (GER-V) e um representante da Coordenadoria da Qualidade e Confiabilidade (AVE-Q).

** Engenheiros das Divisões: de Eletrônica (AEL), de Integração e Ensaios (AIE), de Mecânica (AME), de Química (AQI), de Sistemas Espaciais (ASE) e de Sistemas Bélicos (ASB) - Laboratório de Pirotecnia : 3 grupos de entrevista.

*** Técnicos das Divisões: de Ciências Atmosféricas (ACA), de Eletrônica (AEL), de Integração e Ensaios (AIE), de Mecânica (AME), de Química (AQI), de Sistemas Espaciais (ASE), de Sistemas Bélicos (ASB) e da Coordenadoria de Qualidade e Confiabilidade (AVE-Q): 5 grupos de entrevistas.

Com relação aos engenheiros e técnicos do CTA/IAE, os profissionais foram selecionados nas diversas frações funcionais daquele Instituto, pela técnica probabilística simples (escolha aleatória).

Quanto ao extrato de gerentes, tendo em vista o quantitativo reduzido, optou-se pela

técnica não-probabilística, por julgamento, em que o critério de escolha é a contribuição que o indivíduo selecionado possa fornecer para a compreensão do processo de trabalho e contexto do acidente.

Com relação à coleta de dados junto aos integrantes do CLA e CLBI, a técnica adotada foi a não probabilística, por julgamento, sendo que as entrevistas foram assim distribuídas:

CLA	Entrevistas individuais
Gerentes	2
Engenheiros	5
Técnico	1
Médico	1
Total	9

Tabela 7 - Distribuição das entrevistas com os integrantes da Operação São Luís, pertencentes ao CLA.

CLBI	Entrevistas de grupo
Oficiais	1
Graduados	3
Total	4

Tabela 8 - Distribuição das entrevistas com os integrantes da Operação São Luís, pertencentes ao CLBI.

Os dados coletados por meio das entrevistas em grupo e individuais com os integrantes do CTA/IAE foram posteriormente organizados em categorias, a saber: ambiente de trabalho, apoio do CLA, suportes diversos, aspectos motivacionais, atuação pós-acidente, capacitação técnica, clima psicossocial, efetivo, fluxo de informações, macro-ergonomia, normalização de procedimentos, organização do trabalho, posto de trabalho, relacionamento interpessoal, salários e benefícios, segurança do trabalho e tomada de decisão.

Cada categoria foi dividida em aspectos favoráveis e desfavoráveis à realização do trabalho. Entendem-se como favoráveis aspectos relativos às categorias mencionadas que facilitam o desempenho humano no trabalho, atuando como reforço às **defesas do sistema**. Desfavoráveis são aqueles que dificultam o desempenho humano no trabalho e comprometem as **defesas do sistema**, tais como **falhas latentes** associadas a **condições prévias** comprometidas. Para cada categoria foi tabulada a frequência e calculada a porcentagem, tomando por base o total de opiniões favoráveis e desfavoráveis no extrato, a saber: gerentes, engenheiros e técnicos.

3.4.1 Considerações sobre o clima psicossocial

"Trata-se do conjunto de percepções, sentimentos, atitudes, estados de humor, opiniões manifestas ou não, o qual se forma em uma comunidade, nas relações intra e interindivíduos e grupos, frente a todo um sistema de variáveis, das quais os indivíduos podem ou não estar conscientes e que são capazes de afetar a comunidade. Este conjunto de vivências pode retroagir no comportamento dos grupos, com efeitos sobre a produtividade e sobre o próprio conjunto de vivências dos indivíduos, porque se generaliza à maioria deles, embora diferencialmente, segundo os grupos a que pertençam. Tende também a se tornar mais ou menos estável no tempo, conforme o arranjo e alterações das variáveis em jogo"¹⁶.

Segundo os dados coletados nas entrevistas individuais e de grupo, o clima de expectativa, gerado pela proximidade do lançamento do veículo, provocou na comunidade envolvida na Operação São Luís estados generalizados de tensão, ansiedade, entusiasmo crescente e autoconfiança elevada.

Tal panorama ampliou-se após a bem sucedida segunda repetição geral de lançamento ("segunda simulada"), acentuando a crença no sucesso do futuro lançamento. O clima favorável entre os participantes da Operação, verificado nos três extratos (gerentes, engenheiros e técnicos), nas entrevistas de grupo, foi tido como decorrente dos "sentimentos de respeito, espírito de equipe e felicidade pelo retorno à campanha", considerada a mais humana entre todas as operações de lançamento do VLS-1 já realizadas. Esta percepção foi reforçada nas entrevistas individuais, com os engenheiros e técnicos.

Quanto às opiniões referentes ao clima atual no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), observou-se que a situação traumática vivenciada com o acidente (unicamente expressa pelos técnicos) traduziu-se por sentimentos negativos de descrença, ameaça, desânimo e incerteza frente ao futuro próximo.

3.4.2 Considerações sobre macro-ergonomia

A Macro-ergonomia consiste na organização global, na análise das interfaces tecnologia-organização-homem e nas interações entre a cultura, gerenciamento e tecnologia,

concentrando-se no desenvolvimento e estudo dos fatores humanos na amplitude macro-organizacional, visando incrementar os processos de decisão sobre cursos de ação que atendam aos múltiplos objetivos organizacionais.

Nesse âmbito, ressaltam-se a complexidade, a centralização e a formalização organizacionais, podendo considerar-se vários fatores que, direta ou indiretamente, se relacionam com o trabalho: circunstâncias vividas pela organização (reestruturação, desenvolvimento de projetos), organograma, metas organizacionais, *status* conferido aos cargos e salários, liderança e autoridade, políticas gerais de recursos humanos e financeiros, avaliação de desempenho, contratação e composição da mão-de-obra e relacionamento humano.

3.4.2.1 Reestruturação funcional

Membros originários do antigo Instituto de Atividades Espaciais, que era representado pela mesma sigla IAE, têm a percepção de que a fusão daquele instituto com o também extinto Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento (IPD) acabou por constituir um fator de desprestígio para o segmento espacial.

A fusão, levada a efeito em 1991, com o objetivo de buscar melhor utilização da capacidade instalada do CTA, ocorreu em um período em que os recursos para a área espacial estavam já em declínio e havia dificuldade, mais precisamente, total impossibilidade de contratação de recursos humanos, mesmo que para repor parte do efetivo perdido. Adicionalmente, e por injunções diversas, os diretores do novo instituto criado (Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE) passaram a provir, majoritariamente, do segmento aeronáutico, que era o núcleo do extinto IPD. Com a fusão, o atual IAE passou a contar com três segmentos: espacial, aeronáutico e bélico.

3.4.2.2 Condicionantes externos que dificultam a execução dos trabalhos

De acordo com os dados coletados, percebe-se uma concordância de opiniões nos três extratos, referente à política governamental em relação aos recursos financeiros, vistos como insuficientes e sem aporte regular.

A isso se junta o processo de aquisições, realizado por meio de certames licitatórios, pelo critério de menor preço. O

processo é percebido como moroso, pouco eficiente e inadequado, principalmente para trabalhos da área espacial, caracterizada como exigente, em termos de qualidade.

3.4.2.3 Recursos humanos

Foi observado que todos os gerentes entrevistados referiram-se à perda de pessoal como fator desfavorável à execução de suas atividades, o que foi corroborado pelos engenheiros, que apontaram como maior destaque o reflexo dessa perda no efetivo atual do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Com relação à evasão de pessoal, merece relevo a opinião dos engenheiros nas entrevistas individuais, no que se refere ao insucesso do CTA para manter seu capital intelectual.

Curiosamente, a percepção dos técnicos é que o efetivo atual é suficiente para atender a demanda de trabalho, porém reconhecem como desfavorável a perda de gerentes experientes do VLS-1.

Além da elevada evasão de pessoal e da dificuldade para renovação e complementação do efetivo técnico (estas já discutidas na parte introdutória desta fração do relatório (Seção 3.4 "Fator Humano"), engenheiros e técnicos manifestaram-se quanto à falta de perspectivas de carreira. Para isso contribui o fato de que parcela significativa do efetivo encontra-se no topo da tabela de remuneração, assim como a defasagem salarial e as poucas oportunidades para realização de cursos de reciclagem ou de aperfeiçoamento técnico.

Engenheiros, em particular, consideram que a carreira de ciência e tecnologia privilegia apenas o aspecto acadêmico (mestrado agrega gratificação de 35% ao salário e doutorado de 70%), em detrimento da qualificação técnica especializada (que agrega gratificação de apenas 18%), mas que é também de fundamental importância em atividade práticas de pesquisa e desenvolvimento.

Os gerentes ressentem-se da pouca autonomia que a gestão pública permite ao desempenho de suas funções.

Os engenheiros e técnicos demonstraram insatisfação com a alteração do adicional de periculosidade, reduzido por

disposição federal a um percentual menor do que o pago a trabalhadores que não são servidores públicos, quando trabalhando em condições semelhantes.

Manifestaram, também, sentimento de insatisfação em relação ao valor das diárias, que não consideram compatível com o custo de vida na cidade de Alcântara, onde está sediado o CLA.

Alguns técnicos, em particular, reclamaram do recebimento atrasado de diárias por ocasião de campanhas de lançamento. Consultada a administração, entretanto, foi informado que as diárias relativas a campanhas, como foi o caso da Operação São Luís, em geral são adiantadas, mas não pagas de uma só vez, por medida de precaução. Por essa sistemática, valores são pagos passo a passo para cobrir períodos limitados, evitando-se elevado pagamento a maior, difícil de ser restituído na eventualidade de interrupção da missão. Todavia, houve o reconhecimento, pela administração, de que além de raros atrasos que porventura tenham ocorrido na rotina da Operação São Luís, as diárias referentes a missões de curta duração são pagas posteriormente.

Nas entrevistas individuais, alguns engenheiros consideraram a rotatividade de chefias exercidas por militares como fator de interferência na continuidade do trabalho.

3.4.2.4 Organização do trabalho, fluxo de informações e relacionamento interpessoal

O conceito de organização do trabalho exige estratégias diferenciadas, as quais são executadas em função da natureza, particularidade da tarefa e dos recursos, necessidades e limitações humanas. Deve ser organizado, ainda, de maneira que proporcione ao operador o sentimento de auto-valorização, integração, autonomia, participação e responsabilidade pelo trabalho. Abrange ritmo, previsão de pausas para recuperação (descanso), jornada, turnos, escalas e rodízios entre diferentes tarefas, a fim de reduzir repetições e proporcionar distribuição racional e equânime da carga de trabalho, evitando extremos de monotonia e fadiga.

Trabalhar em uma organização requer também a capacidade de relacionar-se com colegas, superiores e subordinados. Isso contribui para o estabelecimento de um clima de trabalho agradável e profícuo, e para a

otimização do fluxo de informação, tanto ascendente quanto descendente, favorecendo, inclusive, as atividades de supervisão e gerência.

Com relação aos dados levantados, pode-se observar que, no extrato de gerentes, há uma percepção positiva do relacionamento com superiores, pares e subordinados, no sentido de que o grupo é percebido como uma equipe afinada e integrada pelo tempo de convivência.

Os engenheiros e técnicos, tanto nas entrevistas individuais como em grupo, consideraram que o relacionamento pessoal com pares é um aspecto favorável no ambiente de trabalho, por ser amistoso e haver bom entrosamento. Quanto ao relacionamento funcional com superiores, os engenheiros, nas entrevistas de grupo, referiram-se a uma condição em que a assessoria técnica nem sempre é valorizada pelos gerentes, prevalecendo o fluxo de comunicação basicamente descendente. Essa mesma percepção apareceu na relação entre técnicos e engenheiros, porém restrita a alguns setores funcionais.

Nas entrevistas individuais, entretanto, alguns engenheiros comentaram que a interação com os superiores foi favorecida pelo bom relacionamento pessoal com o oficial que exerceu a função de Coordenador Geral da Operação.

Alguns indicadores de uma possível necessidade de aprimoramento da sistemática de veiculação de informações foram observados a partir de relatos referentes a aspectos operacionais ocorridos durante a Operação São Luís.

Por exemplo, os gerentes entrevistados, ao se referirem à reunião diária, no início de cada manhã, sugestivamente batizada de "Bom Dia VLS", a consideraram como uma oportunidade de discussão sobre não conformidades, problemas técnicos e outros aspectos de ordem geral, facilitando a integração entre as equipes e entre elas e os coordenadores, além de favorecer a coordenação entre a logística do CTA/IAE e do CLA, e o controle de qualidade dos processos.

Os gerentes consideram que as modificações efetuadas no cronograma das atividades, durante a Operação, tiveram caráter facilitador, na medida em que objetivaram compatibilizá-lo com as necessidades do dia-a-dia. Julgavam, assim, que os engenheiros e

técnicos tinham a mesma percepção da necessidade e da oportunidade desses ajustes.

No entanto, para os técnicos, entrevistados em grupo, este aspecto foi considerado desfavorável, por causar, no entender deles, a necessidade de adaptações de normas e procedimentos. Para essa percepção, contribuíram alguns fatos, como a realização de tarefas no CLA no mesmo dia em que o transporte aéreo os trasladou de São José dos Campos (duas ocorrências na segunda fase da campanha), a aparente falta de uma rotina para o horário de rendição de equipes e a carência de pessoal para rodízio em algumas delas.

Os engenheiros pareceram reforçar a opinião dos técnicos, quando se referiram ao planejamento como aparentemente desvinculado do trabalho cotidiano, acarretando sobrecarga de trabalho em alguns setores durante a fase de pré-embarque, gerando a necessidade de horas extras e pressão para o cumprimento dos prazos. Nas entrevistas individuais, a opinião dos engenheiros mostrou-se dividida quanto à carga de trabalho e ao cumprimento do cronograma durante a campanha.

Em comum, os três extratos qualificaram a interrupção da Operação, em abril, e sem que os entrevistados tivessem sido informados do motivo, como um fator desmotivador, gerando frustração e insegurança.

3.4.3 Considerações sobre o ambiente físico de trabalho

O ambiente de trabalho atua direta e indiretamente na qualidade de vida e de desempenho das pessoas através de diversos fatores interdependentes.

Assim, o atendimento aos requisitos de conforto possibilita maximizar a satisfação e o bem-estar, garantem a segurança, minimiza constrangimentos, custos humanos e carga cognitiva, psíquica e física do operador e/ou usuário. Desempenho da tarefa, rendimento no trabalho e produtividade do sistema homem-máquina são otimizados a partir das práticas de higiene do trabalho.

Especial atenção ao ambiente de trabalho e às condições em que se desenvolvem as tarefas devem ser observadas: físico-ambientais (iluminação, ruído, temperatura, vibração, ventilação e radiação), nos níveis de tolerância e conforto recomendados pelas normas

reguladoras, e químico-ambientais, tais como toxicidade, vapores aerodispersóides, agentes biológicos, que respeitem padrões de assepsia, higiene e saúde.

Com relação a este aspecto, técnicos ressaltam o seu descontentamento, referindo-se a algumas oficinas do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE): o estado de conservação (pintura, presença de infiltração e limpeza deficiente), o ambiente ruidoso, o qual não sofre controle e medições, bem como a ausência de tratamento acústico para determinadas máquinas. O ambiente conjugado na oficina mecânica não favorece, da mesma maneira, a proteção coletiva desejável do nível de pressão sonora. A baixa luminosidade (poucas lâmpadas), o aumento de temperatura ambiental, provocado pelo teto sem isolamento adequado, a presença de odores em concentração no ar (tintas e solventes), de pó e fumaça (solda e queima de propulsores no banco de provas) e a manipulação de produtos caracterizados como cancerígenos foram apontados pelos técnicos como fatores de insatisfação e desconforto.

3.4.4 Considerações sobre o apoio proporcionado pelo Centro de Lançamento de Alcântara

Esta categoria inclui o conjunto de suportes proporcionados pela organização com a finalidade de fornecer os meios humanos e materiais para a realização das tarefas e prover os indivíduos de condições de segurança, no caso de imprevistos ou emergências, condições físicas e psicológicas de repouso e facilidades para melhorar sua qualidade de vida.

Basicamente, cinco tipos de apoio foram investigados, com base em relatos de participantes da Operação São Luís: alimentação, pousada, transporte, saúde e infra-estrutura material e de recursos humanos para a Operação.

Dentre os cinco, a alimentação fornecida foi a mais criticada, principalmente quanto à qualidade, embora a variedade e a quantidade tenham sido também objeto de reclamações.

Em termos gerais, o apoio de alimentação consistia no fornecimento de almoço, já incluído na diária de pousada, e de lanches para as equipes que, eventualmente, executavam atividades fora do horário de expediente. Contudo, para quem o desejasse, o jantar poderia ser realizado no refeitório principal do CLA, desde que indenizado.

Aqueles que não estavam engajados em tarefas na área operacional do setor de preparação e lançamento realizavam o almoço no refeitório do CLA. Os que estavam naquela área dirigiam-se a um refeitório próximo ao portão de acesso ao setor de preparação de lançamento.

As demais refeições ficavam a cargo dos próprios servidores. A insatisfação com a alimentação fornecida pelo CLA, o custo elevado das refeições em Alcântara, a distância dos locais de hospedagem em relação ao refeitório do CLA e as facilidades oferecidas para preparar refeições nas casas onde se hospedavam faziam com que levassem alimentos de São José dos Campos ou os adquirissem no restrito comércio de Alcântara, preparando-os nas casas onde pousavam.

O apoio de pousada era realizado em casas de três padrões distintos, as quais foram mobiliadas pelo CLA, buscando prover conforto aos habitantes durante a estada. A distribuição dos servidores pelas residências era feita segundo uma variedade de critérios, dentre eles o agrupamento por equipes na Operação, afinidade pessoal e período de permanência, havendo residências compartilhadas por gerentes, engenheiros e técnico, independentemente de serem civis ou militares.

Para o transporte, foi disponibilizado pelo CTA/IAE um carro para cada residência, o que facilitava os deslocamentos durante a campanha, sendo esse um dos aspectos mais prezados pelos servidores.

O suporte de saúde foi considerado precário, principalmente diante de uma operação da envergadura da São Luís. Casos mais graves eram transportados por avião para São Luís, em função da pouca infra-estrutura do CLA. Foi apontada, nas entrevistas de grupo, a inexistência, para os servidores civis, de inspeção de saúde antes do início da campanha e de exames médicos periódicos. Consultado o Regime Jurídico Único (Lei 8112 de 11 dez 1990), verifica-se que não há obrigatoriedade explícita da realização de inspeção médica periódica para servidores que trabalham em atividades perigosas, exceto os trabalhadores que operam com Raios-X ou substâncias radioativas (Artigo 72).

A infra-estrutura de apoio material e de recursos humanos por parte do CLA para a realização de tarefas foi um dos aspectos mais criticados, conforme pode ser constatado na Seção 3.3 "Fator Operacional", embora tenham havido muitos relatos de que o CLA se esforçou,

no limite de seus meios, para prover o apoio necessário. Essas deficiências, sintomaticamente, foram confirmadas nas entrevistas realizadas com os profissionais do próprio efetivo do CLA.

Ainda sob o ponto de vista da infraestrutura, alguns servidores demonstraram insatisfação quanto à falta de condições adequadas para descanso na casa de apoio (instalação fisicamente localizada próxima à plataforma de lançamento e à torre móvel de integração, destinada ao apoio às equipes que nelas efetuam atividades).

3.4.5 Considerações sobre o transporte aéreo

No que se refere ao apoio de transporte aéreo entre São José dos Campos e Alcântara, parcelas dos três extratos relataram insatisfação por considerá-lo desconfortável. Além de relatos de atraso excessivo na partida, foi mencionado que as aeronaves C-130 Hércules, do Comando da Aeronáutica, também transportavam carga, sendo que em uma dessas saídas foram transportados itens pirotécnicos (acondicionados adequadamente conforme previsto nas normas de segurança).

3.4.6 Considerações sobre a atuação pós-acidente

Os programas de resposta à emergência constituem uma ferramenta essencial para que as organizações respondam de forma rápida, eficiente e eficaz a eventos catastróficos como um acidente.

Esses programas envolvem o estabelecimento de um centro de gerenciamento de crise que controle as operações de emergência, dentre elas: identificação; custódia e retorno dos restos mortais; proteção e devolução de bens e valores; visita do local do acidente; fornecimento de informações; assistência jurídica; ligação com outras famílias (associações familiares) e assistência psicológica para sobreviventes e familiares de vítimas, a fim de prevenir a ocorrência de problemas psicológicos a longo prazo, como a síndrome do transtorno por estresse pós-traumático.

Nesse aspecto, os dados coletados junto aos técnicos, apontam para uma desorientação, imediatamente após a ocorrência do acidente, por parte dos médicos, paramédicos, bombeiros e alguns integrantes da Operação quanto às ações a serem implementadas.

Cabe ressaltar que, no dia do acidente, foi realizado um treinamento de operações de resgate e traslado de feridos, inclusive com a utilização de helicóptero.

Quanto às ações posteriores, constatou-se um adequado apoio aos familiares das vítimas, mas algum retardo em providenciar assistência médico-psicológica aos servidores que retornaram, muitos deles visivelmente abalados.

3.4.7 Considerações sobre postos de trabalho

O posto de trabalho é constituído pelo conjunto de componentes presentes no ambiente físico imediato, no qual o operador trabalha e com o qual interage diretamente. Inclui mobiliário, máquinas, ferramentas, materiais e produtos. Deve apresentar um bom arranjo dos seus componentes, uma boa disposição espacial dos mesmos; as estações de trabalho devem dispor de equipamentos e ferramentas projetadas ergonomicamente, ou seja, compatíveis com a anatomia humana, manuseio (pegas, formas, tamanhos) e redução do dispêndio energético ao transportar cargas (peso). O suprimento de material deve também atender à necessidade da tarefa, facilitando a atividade laborativa e evitando a tendência a imprevistos.

Um posto de trabalho harmônico é o pressuposto para operações precisas, ao mesmo tempo em que reduz o risco das operações.

A avaliação dos dados extraídos das entrevistas indica uma sintonia entre as opiniões dos técnicos e engenheiros, no que se refere à utilização de equipamentos e ferramentas para a realização do trabalho no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Os engenheiros citam a existência de máquinas obsoletas, embora ainda funcionando adequadamente, mas consideram ser necessário substituí-las por equipamentos mais modernos, disponíveis no mercado, opinião também compartilhada pelos técnicos.

A carência de material de consumo (de almoxarifado) para efetuar a manutenção dos equipamentos, a compra de itens básicos pelos próprios técnicos e, ainda, manuais em língua estrangeira e não traduzidos, caracterizam pontos desfavoráveis apontados no extrato dos técnicos.

3.4.8 Segurança do trabalho

Por segurança do trabalho entende-se "o conjunto de medidas técnicas, educacionais, médicas e psicológicas utilizadas para prevenir acidentes, quer eliminando as condições de insegurança do ambiente, quer instruindo ou convencendo as pessoas sobre a implantação de práticas preventivas"¹⁷. Para cumprir esse fim, a administração deve ser respaldada e alicerçada numa política cuidadosamente definida, em conformidade com as obrigações legais e sociais e com os princípios fundamentais de promover o combate aos infortúnios do trabalho e a qualidade de vida operacional.

A segurança de solo foi percebida, tanto por engenheiros como por técnicos, como vulnerável propiciando, por exemplo: "o acesso à torre móvel de integração desguarnecido pela praia", o "excesso de operadores na torre móvel de integração no dia do acidente", "a contagem do número de vítimas a partir do número de sobreviventes" (relato dos técnicos).

A ausência de reciclagem do treinamento para enfrentar emergências; a falta de uma metodologia adequada à avaliação do risco operacional e do ambiente de trabalho (ocorrida do modo subjetivo); a necessidade de aquisição de equipamentos de proteção individuais mais modernos (gerentes); a deficiente comunicação na campanha: "desconhecimento sobre o fato dos ignitores estarem armados no dia do acidente" (engenheiros e técnicos); bem como a "falta de registro sobre a retirada de itens como os dispositivos mecânicos de segurança" (engenheiros), apresentam-se como fatores desfavoráveis à segurança, segundo a visão de gerentes, engenheiros e técnicos.

As entrevistas individuais com técnicos apontam para a pouca valorização das atividades de segurança do trabalho, produzida, entre outras ocorrências, pelo esvaziamento da Seção de Segurança com relação à quantidade de profissionais que integram o seu efetivo e a sua subordinação hierárquica inadequada no IAE. Os engenheiros, por sua vez, reforçam as percepções mencionadas nas entrevistas de grupo, referentes à subjetividade na avaliação das atividades de risco.

Observa-se que a percepção dos entrevistados, nos três extratos, indica uma cultura de segurança pouco sedimentada na organização. Entende-se por cultura de

segurança "um conjunto de crenças, normas, atitudes, funções e métodos sociais e técnicos que se preocupa em reduzir ao mínimo a exposição de empregados, diretores, clientes e membros do público em geral a condições que se avaliam como perigosas ou que podem por em perigo."¹⁸.

3.4.9 Considerações sobre a capacitação técnica

A avaliação da capacitação teve por objetivo diagnosticar se as competências e habilidades do pessoal diretamente envolvido na Operação São Luís são consistentes com as exigências da função desempenhada na operação, a fim de subsidiar a análise da possível contribuição desse condicionante do desempenho humano nas causas do acidente sob investigação.

Nesse sentido, foram entrevistados 12 participantes da campanha e, a seguir, aplicado um questionário complementar aos 148 servidores do CTA que retornaram da Operação. Desse total, 114 responderam, perfazendo um total de 85% do universo de interesse.

Para esta análise, a capacitação é avaliada em termos das competências e habilidades desenvolvidas na formação básica e específica.

Entende-se como formação básica os cursos regulares: técnico, para o pessoal de nível médio, e superior (graduação, mestrado, doutorado), para os pesquisadores e tecnólogos.

E, por formação específica, a realização de cursos de especialização, treinamentos e experiência profissional.

A avaliação da formação básica e específica foi feita separadamente para a função exercida pelo servidor e para a segurança do trabalho. Para facilitar a análise estatística das distribuições de frequências das avaliações individuais foram estabelecidos cinco escores (graus) de avaliação:

1 – Insuficiente (I): tanto a formação básica, quanto a especialização, estão muito abaixo do mínimo necessário para o desempenho

da função. Por exemplo: curso em área distinta daquela da atividade do servidor, pouco tempo de experiência, falta de treinamento, etc;

2 – Deficiente (D): a formação básica ou a especialização apresenta deficiências para as atividades do servidor, havendo a necessidade de aprimoramento e complementação;

3 – Satisfatório (S): a formação básica e especialização são compatíveis com as necessidades da função;

4 – Bom (B): a formação básica e especialização são plenamente satisfatórias, apresentando o servidor qualificação um pouco acima do que as necessidades da função exercida; e

5 – Excelente (E): a qualificação está muito acima do que é necessário para a função exercida.

Cabe ressaltar que, segundo esse critério de classificação, os casos extremos não são bons indicadores. No caso da qualificação estar muito acima das exigências da função (escore 5: Excelente), pode estar havendo insuficiente utilização da capacidade do profissional, com conseqüente falta de motivação de sua parte, tendo como resultados prováveis o desinteresse, o excesso de confiança e a subestimação do risco, entre outros efeitos indesejados. No caso da qualificação estar muito abaixo do mínimo exigido para a atividade (escore 1: Insuficiente), o desconhecimento dos riscos e o erro operacional tornam-se muito prováveis.

O resultado desta avaliação é apresentado separando-se o pessoal em dois grupos: vítimas do acidente e demais participantes da Operação São Luís.

3.4.9.1 Grupo das vítimas

A composição do grupo das 21 vítimas, por cargo, é mostrada na Figura 103.

Observa-se que, praticamente, a metade do grupo é composta de servidores de nível técnico e auxiliar (dez servidores) e a metade restante (onze servidores) corresponde a servidores de nível superior.

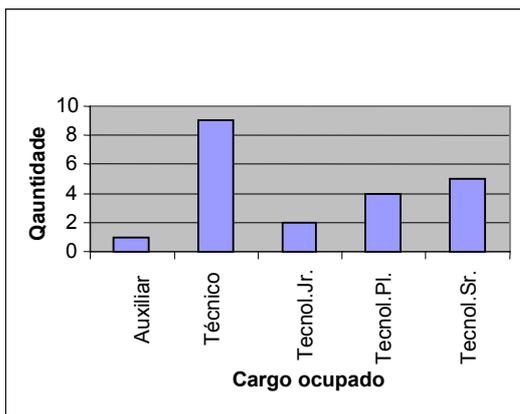


Figura 103 - Distribuição, por cargo, dos servidores vitimados no acidente.

A distribuição por tempo de serviço é mostrada na Figura 104. Depreende-se, de imediato, que o grupo, objeto desta análise, era constituído de servidores bastante experientes.

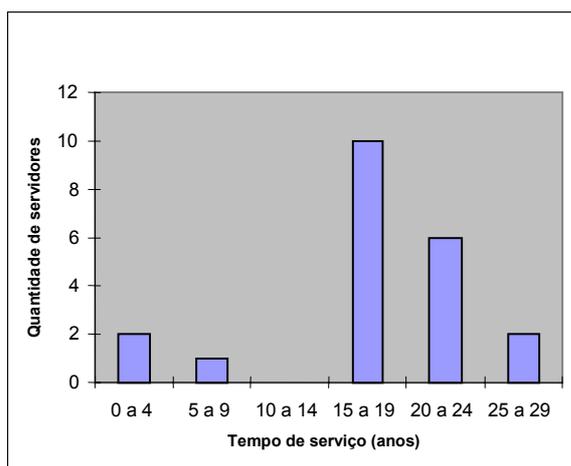


Figura 104 - Distribuição, por tempo de serviço, dos servidores vitimados no acidente.

Ao tempo de serviço, está associada faixa etária relativamente alta, conforme pode ser visto na Figura 105. Com exceção de um único servidor, recém-contratado, o grupo era constituído de pessoas com idade entre 36 e 53 anos, com intervalo de maior frequência entre 45 e 47 anos.

A capacitação para o desempenho da função, como discutido no início desta seção, foi avaliada em termos de dois fatores principais, que contribuem com o mesmo peso: a formação básica e a específica.

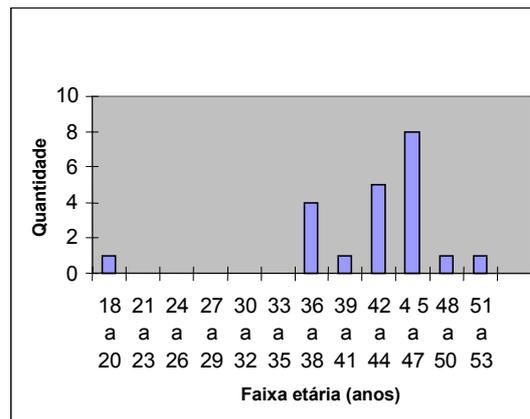


Figura 105 - Distribuição por faixa etária.

Quanto à formação básica, o critério que determina o escore é a compatibilidade da formação escolar (curso técnico, graduação e pós-graduação) com os requisitos do cargo e função desempenhada no projeto, levando-se em conta as competências e habilidades adquiridas com tais cursos.

Na Figura 106, observa-se que a formação básica dos servidores vitimados no acidente era centrada no nível satisfatório, sendo quase simétrica, com uma leve distorção para os níveis bom e excelente. A classificação deficiente, três casos na formação básica e quatro casos na formação específica, não se referem necessariamente a desvio de função ou servidor fora de sua área de formação. Trata-se, em especial, da falta de cursos complementares na formação do servidor avaliado. Em se tratando de uma atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D), sempre há a necessidade de uma formação básica forte que possibilite o desenvolvimento de novas competências e habilidades, sendo assim desejável alguma distorção da formação básica para os níveis bom e excelente, sem implicar em pouco aproveitamento da capacitação, uma vez que, em pesquisa e desenvolvimento.

Dessa forma, o componente da formação básica na capacitação do grupo apresenta-se satisfatória.

No que concerne à formação específica, as competências e habilidades técnicas são fundamentais para uma campanha com a complexidade da Operação São Luís. Os fatores

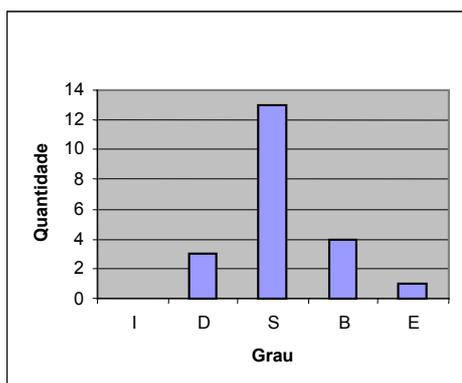


Figura 106 - Qualificação básica para a função.

que determinam o escore desta avaliação são: por um lado, a realização de cursos de especialização, reciclagens e treinamentos, e, por outro lado, a experiência profissional. O tempo decorrido entre a última missão de especialização do servidor e a sua participação na campanha atua como um fator atenuador do escore, ou seja: quanto mais antiga for a especialização, entende-se, que esta pode ter perdido a sua eficácia, por estar desatualizada ou o servidor estar sem treino. Por outro lado, a experiência do servidor na área de veículos lançadores e foguetes, em especial em ensaios em banco e lançamentos no CLA ou CLBI, atua como um fator de aumento do escore para a avaliação da especialização.

Da distribuição apresentada na Figura 107, observa-se na formação específica o mesmo comportamento da formação básica. Entretanto, em se tratando de uma atividade de pesquisa e desenvolvimento em tecnologia sensível, variada e não convencional, é desejável uma maior distorção da distribuição do grupo para os níveis bom e excelente.

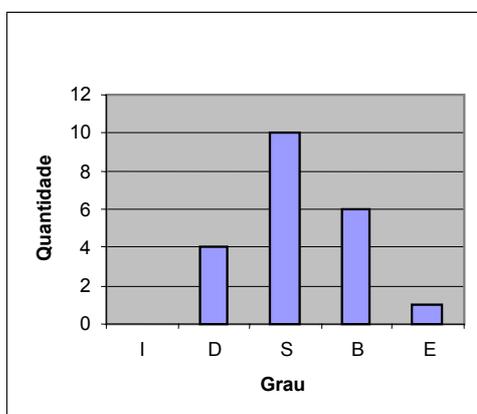


Figura 107 - Qualificação específica para a função.

A leve tendência observada na distribuição deve-se, principalmente, ao fator experiência, medido pelo tempo de serviço, conforme pode ser constatado pelo tempo médio de 15 a 20 anos de trabalho nesta área e demais dados profissionais dos servidores, conforme discutido anteriormente nesta seção. O fator que atuou no sentido oposto foi a falta de treinamento e atualização dos servidores. Desse grupo, apenas três servidores executaram missão no exterior nos últimos cinco anos.

No caso deste grupo, não foi possível avaliar o conhecimento e as atitudes dos servidores quanto à segurança do trabalho nas suas atividades no projeto VLS-1 e na Operação São Luís, o que seria melhor obtido por meio de entrevista com os próprios servidores.

Por conseguinte, as avaliações basearam-se nos currículos dos servidores e na entrevista com o técnico de segurança do trabalho do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), que os acompanhou tanto no trabalho diário no Instituto quanto em suas participações na Operação.

A formação básica em segurança do trabalho foi avaliada em termos dos conhecimentos dos servidores e a específica em termos de suas atitudes (práticas) no ambiente de trabalho. As distribuições de freqüências são mostradas nas Figuras 108 e 109, respectivamente.

Ambas as distribuições de freqüências apresentam a sua moda (qualificação mais freqüente) na avaliação satisfatória, o que é desejável. Entretanto nota-se que a formação básica apresenta uma assimetria para a capacitação mais desejável (graus bom e excelente) e, por outro lado, a especialização (atitudes) apresenta distorção em direção à deficiência. Esta situação pode ser perfeitamente entendida ao se considerar a falta de atualização e reciclagem do pessoal em segurança do trabalho.

Como demonstra o perfil do grupo analisado, são servidores antigos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e que passaram por cursos e treinamentos no passado, quando, no Instituto, o setor de segurança do trabalho contava com servidores em número e com qualificação suficiente para dar o suporte e treinamento necessários. Hoje, o setor conta com

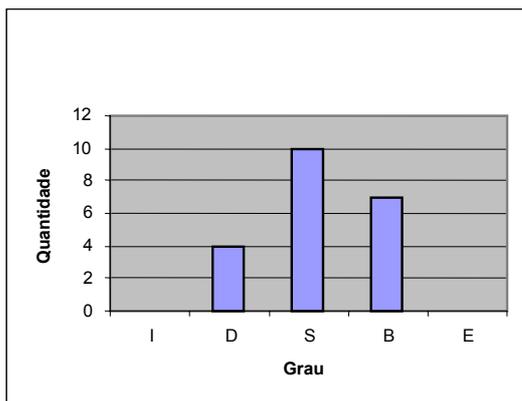


Figura 108 - Quantidade de servidores por escore (grau) de avaliação da formação básica para a capacitação em segurança do trabalho.

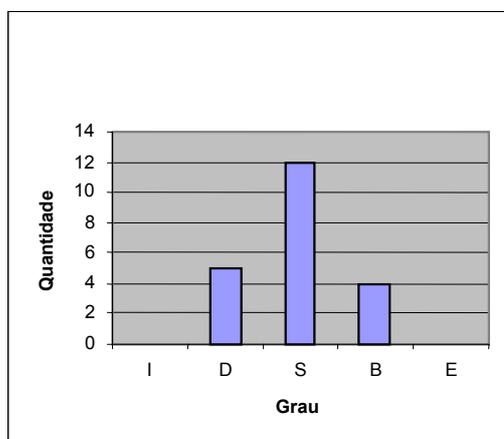


Figura 109 - Quantidade de servidores por escore (grau) de avaliação da formação específica para a capacitação em segurança do trabalho.

apenas um técnico de nível médio e um auxiliar de nível intermediário, quantidade esta abaixo da mínima necessária (um engenheiro e quatro

técnicos) para uma instalação de grau de risco 4, de acordo com as normas trabalhistas (NR-4 da Portaria 3214, de 8 de junho de 1978, do Ministro do Trabalho).

Assim, a combinação dos fatores correspondentes à formação básica e específica na composição da capacitação resulta num grau satisfatório desse grupo para o exercício de suas funções no atual projeto do VLS-1 e uma pequena tendência para a deficiência na formação específica em segurança do trabalho, considerando-se as competências e habilidades necessárias para o trabalho em área perigosa. Adicionalmente, o tempo de experiência da maioria dos servidores do grupo nesse tipo de atividade aponta para níveis de qualidade e confiabilidade satisfatórias na execução de suas tarefas específicas na torre móvel de integração e um pequeno viés para a deficiência nas atitudes de segurança de trabalho.

Da mesma forma que os outros indicadores, este denota perda relativa de capacitação do efetivo, quer pela diminuição significativa dos investimentos em capacitação, quer pela perda de servidores qualificados, sem substituição, como é o caso aqui de engenheiros e técnicos de segurança do trabalho do Instituto.

3.4.9.2 Grupo formado pelos demais participantes da Operação São Luís

A composição, por nível de escolaridade e por cargos, dos demais 114 participantes da Operação São Luís é mostrada nas Tabelas 9 e 10. A apresentação na forma percentual permite uma visualização da contribuição relativa de cada nível no grupo de participantes da campanha.

Nível de escolaridade		Quantidade de servidores	Porcentagem
Auxiliar		5	4,39
Médio ⁽¹⁾		63	55,26
Superior ⁽²⁾	Graduação ⁽³⁾	28	24,56
	Mestrado ⁽⁴⁾	14	12,28
	Doutorado	4	3,51
Total		114	100

(1) 9 técnicos declararam que possuem curso superior

(2) 8 dos profissionais de nível superior são militares, sendo 7 com graduação e 1 com mestrado

(3) 2 mestrados em andamento

(4) 4 doutorados em andamento

Tabela 9 - Distribuição dos servidores participantes da Operação São Luís, por nível de escolaridade (excetuando os vitimados no acidente).

Cargo ou função	Quantidade de servidores	Porcentagem
Auxiliar e Assistente C&T	5	4,39
Técnico (auxiliar e médio)	57	50,00
Analista C&T	3	2,63
Pesquisador	6	5,26
Tecnologista	32	28,07
Militar	11	9,65
Total	114	100,00

Tabela 10 - Distribuição dos servidores, por cargo.

Na Tabela 11 e Figura 110 são apresentadas as distribuições de servidores por tempo de serviço no CTA e por tempo de serviço com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova (*experiência específica*).

As duas distribuições apresentam relativa simetria, com a moda (valor mais comum) no intervalo entre 15 e 19 anos de serviço, com exceção do intervalo de 0 a 4 anos, que exibe 22 servidores (19%) para a distribuição de tempo no

CTA e 45 servidores (39%) para a distribuição de tempo em atividades com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova (*experiência específica*). No primeiro caso, trata-se de 22 servidores novos os quais, por sua vez, integram o grupo dos 45 servidores da distribuição *experiência específica*. Os 23 restantes desse grupo de 45 constituem servidores que participaram de campanha pela primeira vez.

Tempo de serviço (anos)	CTA		Experiência específica	
	Quantidade	(%)	Quantidade	(%)
0 a 4	22	19,30	45	39,47
5 a 9	5	4,39	8	7,02
10 a 14	3	2,63	13	11,40
15 a 19	32	28,07	22	19,30
20 a 24	31	27,19	17	14,91
25 a 29	18	15,79	8	7,02
30 a 34	2	1,75	1	0,88
35 a 39	1	0,88	0	0,00
Totais	114	100,00	114	100,00

Tabela 11 - Distribuição dos servidores que participaram da Operação São Luís, por tempo de serviço no CTA e por experiência específica com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova.

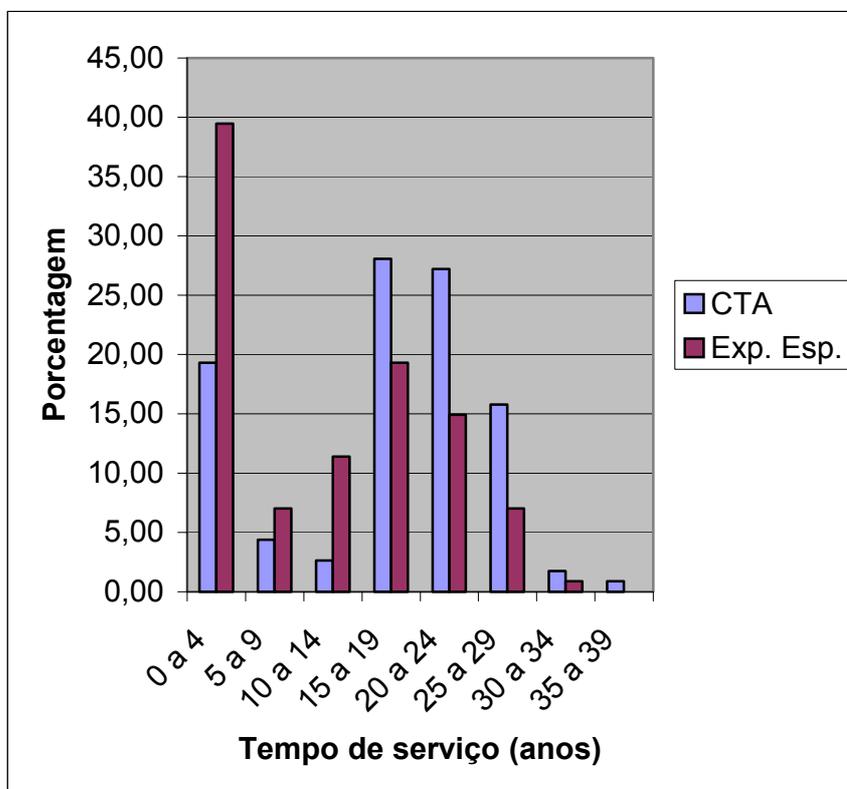


Figura 110 - Representação na forma de diagrama de barras das distribuições dos servidores que participaram da Operação São Luís, por tempo de serviço no CTA e por experiência específica com foguetes, veículos lançadores e bancos de prova.

A partir do início da Operação São Luís, em abril de 2003, os servidores permaneciam no CLA por períodos que variavam, em média, entre 10 a 25 dias e retornavam a São José dos Campos. Dessa forma, os servidores do grupo em análise deslocaram-se ao CLA entre 1 e 5 vezes (1 a 5 períodos). Na Tabela 12 é apresentada a distribuição de servidores em função do número de períodos de deslocamento ao CLA, durante a Operação. Os números evidenciam que 52,6% dos participantes deslocaram-se ao CLA uma única vez, sendo que o deslocamento ocorreu exatamente no último período, quando houve maior necessidade de mão de obra para a preparação e acompanhamento do lançamento.

Quantidade de períodos no CLA	Quantidade de servidores	Porcentagem
1	60	52,63
2	26	22,81
3	18	15,79
4	6	5,26
5	4	3,51
Total	114	100,00

Tabela 12 - Número de períodos de participação na Operação São Luís.

A composição do grupo, por faixa etária, é apresentada na Tabela 13.

Faixa etária (anos)	Quantidade de servidores	Porcentagem
20 a 24	4	3,51
25 a 29	4	3,51
30 a 34	8	7,02
35 a 39	20	17,54
40 a 44	34	29,82
45 a 49	32	28,07
50 a 54	10	8,77
55 a 59	1	0,88
60 a 64	1	0,88
Totais	114	100,00

Tabela 13 - Distribuição dos participantes da Operação São Luís, por faixa etária.

Nesta distribuição observa-se que a maior parte do grupo (75,4%) está na faixa etária acima de 40 anos, o que é corroborado pelo tempo de serviço desses servidores (cujas maiores frequências estão nos intervalos entre 15 e 25 anos).

Sob o ponto de vista de experiência profissional este é um aspecto positivo, entretanto a falta de ingresso de novos servidores e a baixa taxa de aperfeiçoamento e reciclagem, pode indicar a tendência à perda de capacitação e à desatualização do grupo.

Essa tendência aparece com mais clareza quando é analisada a quantidade de cursos de especialização que os servidores declararam ter frequentado durante o seu tempo de serviço no CTA.

Na Tabela 14 é apresentada a distribuição de servidores desse grupo em função do tempo decorrido entre a sua última especialização (diretamente relacionada com o projeto do VLS-1 e tecnologias associadas) e a Operação São Luís. Na Figura 111, é mostrada a distribuição relativa ao número de especializações concluídas entre 1999 a 2003.

Na Tabela 14, observa-se que:

a) 19,3% dos servidores declararam ter feito algum tipo de especialização diretamente relacionada com o projeto nos últimos quatro anos, sendo que quase a metade destes concluiu a especialização em 2001;

b) 1,75% dos servidores não possuem nenhum tipo de especialização; e

c) 50,88% dos servidores não responderam esta questão da pesquisa, embora conste nos seus prontuários que recebem o adicional de especialização (18% sobre o vencimento), decorrente de diversos cursos na sua área de formação, que perfazem um total de 180 h/a para técnicos e 360 h/a para tecnologistas.

Tempo (anos)	Quantidade de servidores	Porcentagem
0 a 4	22	19,30
5 a 9	12	10,53
10 a 14	7	6,14
15 a 19	8	7,02
20 a 24	5	4,39
25 a 29	0	0,00
Nenhum treinamento	2	1,75
Não responderam*	58	50,88
Total	114	100,00

* Estes servidores recebem o adicional de especialização

Tabela 14 - Distribuição dos servidores participantes da Operação São Luís tomando por base o tempo decorrido entre sua última especialização (curso ou estágio diretamente relacionado com o projeto do VLS-1 e tecnologias associadas) e a Operação.

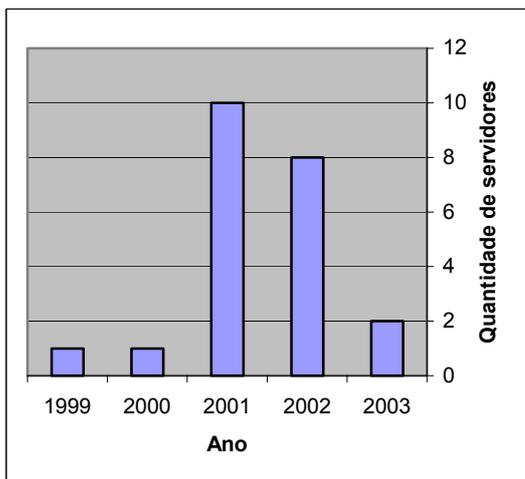


Figura 111 - Número de especializações concluídas entre 1999 e a data da Operação São Luís.

A menor quantidade de especializações com mais de 10 anos não significa que, no passado, o CTA investisse menos na capacitação de pessoal. Até ao contrário, a aparente queda da quantidade de cursos de especialização reflete, na realidade, a perda de capacitação da organização como um todo, em função da evasão de recursos humanos, seja para a iniciativa privada, seja por motivo de aposentadoria por tempo de serviço.

É importante ressaltar, tendo em vista a metodologia adotada no âmbito deste relatório, que a realização de cursos ou estágios de especialização é considerado como parcela da formação específica, uma das duas componentes da avaliação da capacitação para o exercício da função.

Entretanto, quando se considera a capacitação, como um todo, ainda não é possível perceber queda na qualificação necessária aos 114 servidores do grupo em estudo.

Como pode ser observado na Figura 112, na qual as distribuições referentes à formação básica e específica são mostradas lado a lado, há uma grande similaridade entre ambas, o que indica algum grau de compatibilidade entre as formações básica e a específica do grupo.

A capacitação, em termos gerais, está centrada na faixa do "satisfatório" (S) para as duas formações. A leve distorção para a qualificação "boa" (B), observada em ambas as distribuições, é desejada e esperada para equipes de pesquisa e desenvolvimento. A baixa frequência dos casos extremos é um bom indicador da adequação e homogeneidade do grupo.

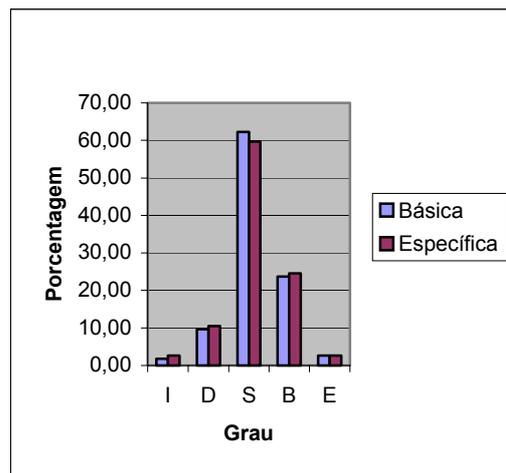


Figura 112 - Qualificação básica e específica para o desempenho da função.

De forma a complementar a análise da capacitação do presente grupo, e à semelhança do que foi feito em relação ao primeiro grupo analisado (o das 21 vítimas), foi investigada a capacitação básica e a específica em segurança do trabalho, cujo resultado é apresentado na Figura 113.

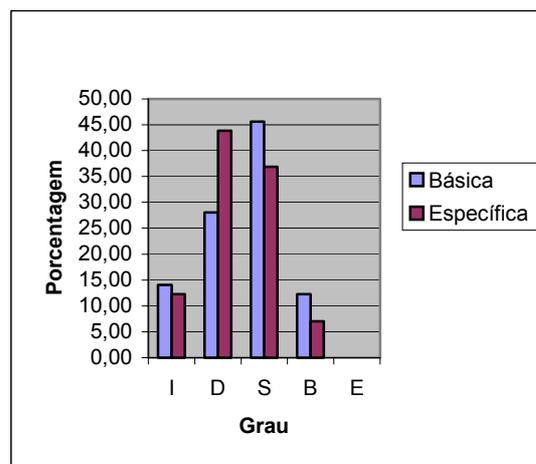


Figura 113 - Distribuições relativas à formação básica e especializada em segurança do trabalho.

Observa-se que estas distribuições não são similares.

Na formação básica em segurança do trabalho, o centro está no escore "satisfatório" (S), com a distribuição um pouco distorcida para a qualificação "deficiente" (D). Assim, pode-se inferir que a formação básica deste grupo, para fins de segurança do trabalho, é satisfatória, com alguma tendência à deficiência.

Por outro lado, a formação específica está centrada na qualificação "deficiente" (D), com distorção no sentido do escore "satisfatório" (S).

Assim, há uma indicação de que a formação específica em segurança do trabalho do grupo está algo deficiente, com tendência a satisfatória.

Estes resultados corroboram um aspecto importante relativo a segurança do trabalho, já comentado quando da análise do grupo precedente (o das vítimas). O grupo é constituído principalmente por funcionários antigos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), os quais já exerciam este tipo de atividade na época em que o Instituto tinha um serviço de segurança do trabalho organizado e de boa qualidade.

Entretanto, ao longo do tempo, houve significativa perda de qualificação em segurança do trabalho, em especial na parte específica, que está associada aos treinamentos e reciclagens.

Essa degradação deve-se, em boa medida, à diminuição do efetivo da área de segurança do trabalho do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), que conta hoje, como já comentado anteriormente, com apenas um técnico e um auxiliar.

Em síntese, a combinação dos fatores correspondentes à formação básica e específica na composição da capacitação resulta num grau satisfatório para a capacitação desse grupo, para o exercício de suas funções no atual projeto do VLS-1. A qualificação em segurança do trabalho, por outro lado apresenta deficiências neste grupo.

Nas entrevistas com participantes da campanha, foi apontado pelos entrevistados o problema da falta de conhecimento das atividades e dos riscos nas tarefas realizadas pelas outras equipes. Desse modo, não obstante a experiência profissional dos servidores, seria muito difícil para eles detectarem falhas ou deficiências pré-existentes, que proporcionassem situações de risco quando fosse executar o seu trabalho.

3.4.10 Outras considerações

Tem sido divulgado, que a rotatividade de chefias exercidas por militares causa interferência na continuidade dos trabalhos da área espacial.

Foi observado no Regimento Interno do CTA que, no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), apenas o cargo de Diretor é restrito a militares e que a rotatividade de chefias não é mandatória. No entanto, verificou-se, ainda no caso da Direção do IAE, que a rotatividade tem efetivamente ocorrido nos últimos anos. A rotatividade não é boa para a continuidade do desenvolvimento de um programa de porte e complexidade, como por exemplo o VLS-1. Cabe lembrar que já houve diretores no IAE com período de exercício bem superior a 2 anos.

Além disso, na área espacial do IAE, na época do acidente, só havia 2 chefias (em 9 cargos de primeiro nível) ocupadas por militares (Divisão de Sistemas Espaciais e Chefia do Grupo de Gerência de Veículos). Essas chefias eram ocupadas por engenheiros com formação técnica (graduação no ITA) e com pós-graduação (doutor e mestre, respectivamente). Atualmente, só existe um militar em cargo de chefia de primeiro nível.

Conclusões parciais

Identificou-se uma expressiva defasagem entre os recursos humanos e materiais previstos como necessários ao projeto e os efetivamente disponíveis.

O estudo descritivo sobre a percepção dos servidores quanto as suas condições de trabalho identificou os seguintes pontos:

- defasagem expressiva de recursos financeiros e descontinuidade na sua liberação, provocando, ao longo dos anos, redução de investimento em capacitação técnica e em desenvolvimento ou aquisição de tecnologias atualizadas, gerando inevitável atraso no programa e influenciando negativamente a motivação dos servidores envolvidos na fase de desenvolvimento do projeto;

- política de restrição à contratação de recursos humanos, associada à defasagem salarial, ocasionando considerável perda de pessoal tecnicamente qualificado, sem sua reposição, acarretando perda de capacitação e desnivelamento de experiência entre os servidores mais antigos e os mais novos;

- possibilidade de diminuição da consciência situacional (capacidade para manter o estado de alerta que permite perceber uma variedade de estímulos externos ao indivíduo, fundamentais para a tomada de decisão e para a manutenção de níveis satisfatórios de segurança) na primeira

repetição geral de lançamento, em função da sobrecarga de trabalho, acarretando estresse por efeito cumulativo devido ao desgaste mental e físico dos operadores;

- vulnerabilidade do sistema de segurança do trabalho: subjetividade na avaliação dos riscos operacionais e do ambiente de trabalho; sistemática de controle ineficaz do acesso e permanência de pessoas na torre móvel de integração, permitindo a ocorrência de número elevado de operadores e obrigando, no dia do acidente, ao levantamento do número de vítimas por exclusão dos sobreviventes; subordinação hierárquica inadequada da Seção de Segurança do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) (que pertence à Divisão de Administração quando deveria estar subordinada diretamente à Direção) e redução de seu efetivo com relação ao número de servidores e às atribuições do Instituto. Tais aspectos indicam uma cultura de segurança pouco sedimentada e degradada ao longo dos anos;

- processo de comunicação funcional apresentando-se pouco eficaz, no sentido de ser basicamente descendente, com pouca valorização das contribuições oferecidas e, em alguma medida, inibidor da emissão de dúvidas quanto à pertinência de certos procedimentos e dificuldades para a execução do trabalho; e

- falta de autonomia, intimamente relacionada à administração pública em geral, com conseqüente sensação de impotência dos gerentes frente à necessidade de resolver problemas, cujas soluções encontram-se muito além de sua esfera de ação.

Recomendações parciais

Para atender a crescente demanda de conhecimento científico requerida para a continuidade do programa espacial e evitar eventuais falhas latentes associadas à segurança do trabalho evidenciadas nesta avaliação, recomenda-se:

- investir em especialização, aperfeiçoamento, treinamento e reciclagem de servidores na sua área de atuação, com o objetivo de evitar a estagnação da capacitação existente. Cabe lembrar que conhecimentos atualizados e novas tecnologias, hoje, incorporam conceitos de garantia da qualidade e de segurança do trabalho;

- incentivar a continuidade da formação, no nível de mestrado e doutorado, das atuais equipes envolvidas com as tarefas de gerenciamento e desenvolvimento, e ampliação do quadro de especialistas, pessoal de apoio e pesquisadores; estes com a qualificação de doutor;

- ampliar o intercâmbio com instituições externas e o aproveitamento da capacitação de outros órgãos do próprio CTA, o que poderia trazer novos conceitos e tecnologias para um projeto de grande porte, como é o caso do VLS-1;

- aperfeiçoar o modelo de gestão integrada de sistemas, incluindo gerência de riscos, meio-ambiente, gestão da qualidade, segurança e saúde ocupacional, tendo em vista a sustentabilidade dos projetos desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE);

- desenvolver um programa de qualidade de vida no trabalho, visando aumentar o grau de satisfação do servidor e comprometimento com a instituição, entendendo-se como itens importantes desse programa, a segurança do trabalho, o controle de saúde ocupacional e a contínua formação, aperfeiçoamento e treinamento de recursos humanos, além da atenção para outras necessidades dos servidores no ambiente de trabalho;

- prover treinamento gerencial e de desenvolvimento de equipe: técnica interativa que visa melhorar a comunicação, a integração e o desenvolvimento da cultura de segurança da Organização (referência CRM: Crew Research Management);

- dar continuidade à implementação do Programa de Segurança do Trabalho do Centro Técnico Aeroespacial, com diretrizes claramente definidas e amplamente divulgadas, partindo da autoridade máxima da Organização, e participação desses profissionais em todos os níveis do projeto VLS-1, incluindo o nível gerencial;

- incentivar o desenvolvimento de um Programa de Segurança do Trabalho no Centro de Lançamento de Alcântara e no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, com diretrizes claramente definidas e amplamente divulgadas, partindo da autoridade máxima da Organização;

- criar, normatizar e implementar um Plano de Gerenciamento de Crise e Apoio à Emergência, incluindo a prevenção do Transtorno por Estresse Pós-traumático;

- atentar para o projeto ergonômico dos postos de trabalho relacionados aos projetos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e dos Centros de Lançamento, prioritariamente aqueles que forem identificados como mais críticos pelo mapeamento de risco, que deve integrar o Programa de Segurança do Trabalho; e

- realizar uma análise organizacional do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

CAPÍTULO 4

Conclusões

A análise das informações coletadas durante a investigação conduziu às seguintes conclusões de caráter geral:

(1) o acidente teve início com o funcionamento intempestivo, porém nominal, do propulsor A do primeiro estágio;

(2) foram encontrados fortes indícios de que o funcionamento intempestivo do propulsor A tenha sido causado pelo acionamento, também intempestivo, de um dos detonadores do conjunto de ignição do referido propulsor.

(3) Dentre as causas analisadas do acionamento do detonador do propulsor A, destacam-se: corrente elétrica pela "linha de fogo" e descarga eletrostática no interior do detonador. Não foi possível, entretanto, identificar com precisão se uma dessas duas hipóteses foi a causa do acionamento do detonador;

(4) não foi identificada *falha ativa* (erro ou violação com resultados imediatos) que tenha, diretamente, dado início ao acidente;

(5) foram identificadas *falhas latentes* (medidas adotadas ou decisões tomadas, geralmente muito antes do acidente, cujas conseqüências podem permanecer latentes por longo período); e

(6) a longa convivência do projeto com a escassez de recursos humanos e materiais pode ter conduzido a uma dificuldade crescente em perceber a degradação das condições de trabalho e da segurança.

No quadro a seguir são reproduzidas as conclusões parciais dos quatro fatores analisados.

FATOR METEOROLÓGICO

As condições meteorológicas reinantes no dia do acidente, 22 de agosto, apresentavam-se boas, com ventos fracos e sem formação de nuvens que possibilitassem a ocorrência de chuva ou de descargas elétricas. Com base nessas condições favoráveis, a subcomissão que efetuou a análise do Fator Meteorológico concluiu não haver evidências de que as condições meteorológicas existentes no CLA tenham contribuído diretamente para o acidente. Em que pese a conclusão acima estar intrinsecamente correta, há que se observar, sob o ponto de vista operacional, alguns aspectos relevantes:

a) o radar meteorológico está inoperante. A existência de um radar é de grande importância operacional na vigilância meteorológica nas operações de lançamento no CLA, seja para monitoramento contínuo, seja para a realização de previsões de curtíssimo prazo;

b) na estação de meteorologia não foram encontradas normas operacionais completas que abranjam planos de degradação. Estes planos descrevem, progressivamente, as medidas a serem adotadas quando do aparecimento de problemas que afetem a atividade operacional. Como exemplo, a falta do radar meteorológico provavelmente seria restritiva para a simulação de lançamento no período noturno (e para o lançamento em si mesmo), já que a previsão de curtíssimo prazo estaria comprometida, caracterizando um nível operacional degradado;

c) não há Oficial Especialista em Meteorologia (QOEMET) ou civil de nível superior dessa especialidade para chefiar o setor de meteorologia e coordenar as atividades operacionais do CLA. Já houve tentativas anteriores de fixar um profissional nessa posição, sem sucesso. Em função do baixo número de lançamentos realizados anualmente e da dificuldade de fixar um profissional nessa posição, a solução que vem sendo empregada é complementar a equipe do CLA, durante as operações, com elementos oriundos do CTA e do CLBI. O ideal seria que houvesse um profissional de meteorologia de nível superior no efetivo do CLA. A falta de um profissional com essa qualificação faz com que o comandamento das ações relativas à meteorologia seja exercido pelo operador, no caso o CTA, pois os cinco sargentos que compõem o efetivo local dessa especialidade não são qualificados para realizar previsão meteorológica.

FATOR MATERIAL

- O acidente teve início com o funcionamento intempestivo, porém nominal, durante 40 segundos, do propulsor A do primeiro estágio.

- Foram encontradas fortes evidências de que este funcionamento intempestivo do propulsor A foi iniciado pelo acionamento, também intempestivo, de um dos detonadores do conjunto de ignição do propulsor.

- A análise das causas físicas do acidente ficou prejudicada pelo elevado grau de destruição ocorrido na plataforma móvel de integração. Por isso, a análise sobre a causa do acionamento do detonador do propulsor A baseia-se em fatos e também em inferências.

- Ficou comprovado que a falta de blindagem dos fios torcidos da "linha de fogo", que leva energia aos detonadores dos propulsores do primeiro estágio, torna-os passíveis de sofrerem indução eletrostática.

- As características do acidente permitem concluir que a existência de uma barreira mecânica de segurança no sistema de ignição dos propulsores do primeiro estágio, após os detonadores, poderia ter impedido o acidente.

- Duas hipóteses foram analisadas para o acionamento do detonador do propulsor A:

- a) corrente elétrica pela "linha de fogo"; e
- b) descarga eletrostática no interior do detonador.

A hipótese da corrente elétrica pela "linha de fogo" foi considerada de menor probabilidade que a descarga eletrostática no interior do detonador, devido a existência de obstáculos a este tipo de efeito no circuito de acionamento.

A hipótese de descarga no interior do detonador foi considerada com probabilidade superior à corrente elétrica devido a inexistência de obstáculos, especialmente considerando-se a retirada da blindagem dos fios da "linha de fogo". Podem ter contribuído para esta hipótese a instalação de uma capa de plástico não condutor na parte superior do Veículo, insuflada constantemente por ar seco e frio; e a proximidade dos fios não blindados da "linha de fogo" com outros fios do sistema elétrico.

Entretanto, para esta hipótese, a análise de causas possíveis não foi tão exaustiva quanto para a hipótese da corrente elétrica.

Não se descarta a realização de novos estudos, em função de eventos pertinentes que possam vir a ser identificados no futuro.

FATOR OPERACIONAL

- Há indicações de que a infra-estrutura de apoio, provida pelo CLA a campanhas de lançamento, com relação a recursos humanos e físicos possui pontos de fragilidade que devem ser minimizados.

- A segurança operacional do CLA, composta pela segurança de terra, de vôo e de plataforma apresenta alguns pontos de fragilidade.

- Foi constatada a necessidade de haver um melhor intercâmbio de informações entre as organizações participantes, inclusive com desconhecimento, por parte dos operadores do CTA, CLBI e INPE, de regras ou normas estabelecidas pelo CLA.

- Foi observada a falta de um gerenciamento de risco, realizado de maneira formal e criteriosa, principalmente na condução das atividades de integração e preparação para o lançamento.

- As atividades, pelo menos na última semana da Operação, não foram controladas de maneira eficiente, permitindo, por exemplo, que tarefas de risco fossem realizadas juntamente com outras tarefas, como foi o caso da conclusão da descarga das baterias, conduzida concomitantemente com outras tarefas, e a execução de tarefas, após a conexão dos detonadores dos propulsores A e D à "linha de fogo", que poderiam ter sido realizadas antes.

- Há necessidade de aperfeiçoamento da gestão da qualidade.

- Nem todas as tarefas eram delineadas de maneira criteriosa, com estabelecimento de processos detalhados para o seu cumprimento.

- O grupo de gerenciamento de documentação está reduzido em excesso, dificultando o registro, o controle e a recuperação de documentos, sobretudo os mais antigos.

- Não existe uma comissão de gerenciamento da configuração formalmente constituída.

- Não foram implementadas na íntegra as recomendações contidas no relatório de falha do VLS-1 V02.

FATOR HUMANO

Identificou-se uma expressiva defasagem entre os recursos humanos e materiais previstos como necessários ao projeto e os efetivamente disponíveis.

O estudo descritivo sobre a percepção dos servidores quanto as suas condições de trabalho identificou os seguintes pontos:

- defasagem expressiva de recursos financeiros e descontinuidade na sua liberação, provocando, ao longo dos anos, redução de investimento em capacitação técnica e em desenvolvimento ou aquisição de tecnologias atualizadas, gerando inevitável atraso no programa e influenciando negativamente a motivação dos servidores envolvidos na fase de desenvolvimento do projeto;

- política de restrição à contratação de recursos humanos, associada à defasagem salarial, ocasionando considerável perda de pessoal tecnicamente qualificado, sem sua reposição, acarretando perda de capacitação e desnivelamento de experiência entre os servidores mais antigos e os mais novos;

- possibilidade de diminuição da consciência situacional (capacidade para manter o estado de alerta que permite perceber uma variedade de estímulos externos ao indivíduo, fundamentais para a tomada de decisão e para a manutenção de níveis satisfatórios de segurança) na primeira repetição geral de lançamento, em função da sobrecarga de trabalho, acarretando estresse por efeito cumulativo devido ao desgaste mental e físico dos operadores;

- vulnerabilidade do sistema de segurança do trabalho: subjetividade na avaliação dos riscos operacionais e do ambiente de trabalho; sistemática de controle ineficaz do acesso e permanência de pessoas na torre móvel de integração, permitindo a ocorrência de número elevado de operadores e obrigando, no dia do acidente, ao levantamento do número de vítimas por exclusão dos sobreviventes; subordinação hierárquica inadequada da Seção de Segurança do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) (que pertence à Divisão de Administração quando deveria estar subordinada diretamente à Direção) e redução de seu efetivo com relação ao número de servidores e às atribuições do Instituto. Tais aspectos indicam uma cultura de segurança pouco sedimentada e degradada ao longo dos anos;

- processo de comunicação funcional apresentando-se pouco eficaz, no sentido de ser basicamente descendente, com pouca valorização das contribuições oferecidas e, em alguma medida, inibidor da emissão de dúvidas quanto à pertinência de certos procedimentos e dificuldades para a execução do trabalho; e

- falta de autonomia, intimamente relacionada à administração pública em geral, com conseqüente sensação de impotência dos gerentes frente à necessidade de resolver problemas, cujas soluções encontram-se muito além de sua esfera de ação.

CAPÍTULO 5

Recomendações

As recomendações aqui propostas são enquadradas nas três categorias descritas a seguir:

- **Retorno ao Vôo (RAV)** – Recomendações que deverão ser obrigatoriamente implementadas, independentemente do prazo requerido, antes que outra operação de lançamento do VLS-1, ou de outro veículo de porte semelhante, seja realizada no CLA.

- **Médio Prazo (MP)** – Recomendações ainda vinculadas ao VLS-1 e sua operação, mas cuja implementação poderá demandar um prazo superior ao das recomendações do tipo RAV, sendo então completadas após a realização de uma ou mais operações de lançamento.

- **Longo Prazo (LP)** - Recomendações que, por estarem vinculadas à operação de outros veículos da série VLS, ou ainda de outros veículos maiores, poderão ter um prazo de implementação ainda mais longo que as de médio prazo, desde que sejam completadas antes das operações de lançamento desses outros veículos.

Em especial, por sua relevância e por seu caráter abrangente, a Comissão destaca os seguintes pontos:

- Criação de comissão para o acompanhamento da implementação das recomendações (RAV).

- Avaliação crítica das condições necessárias para a continuidade do Projeto VLS-1, especificando-se os recursos humanos e materiais para o bom andamento do Projeto, especialmente no que diz respeito à segurança, à qualidade de gestão e procedimentos (RAV).

- Avaliação dos planos e procedimentos de segurança (RAV).

- Revisão crítica e adequação das redes elétricas do VLS-1, com particular atenção à proteção contra descargas eletrostáticas, sobrecorrentes e análise de circuitos ocultos (RAV).

- Reavaliação crítica da utilização de dispositivos mecânicos de segurança para as funções pirotécnicas de ignição dos propulsores e de destruição em vôo (RAV).

- Adoção de procedimentos de certificação a serem conduzidos junto ao Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI) (RAV).

No quadro a seguir, são reproduzidas as recomendações parciais dos quatro fatores analisados. É entendimento da Comissão que essas recomendações deverão ser adotadas, podendo, entretanto, ser refutadas desde que devidamente fundamentadas e aprovadas pela comissão de acompanhamento da implementação das recomendações.

FATOR METEOROLÓGICO

- (RAV)
- Desenvolver normas operacionais relativas à degradação do sistema meteorológico do CLA.
 - Instalar radar meteorológico para acompanhar a evolução temporal e espacial da cobertura de nuvens, melhorando e aumentando, significativamente, a precisão da vigilância meteorológica e da previsão de curtíssimo prazo nas atividades espaciais do CLA⁹. (RAV)
 - Alocar um Oficial Especialista em Meteorologia (QOEMET) ou civil de nível superior dessa especialidade no CLA. (RAV)

FATOR MATERIAL

- Realizar nova revisão das redes elétricas do VLS-1, com especial atenção à proteção contra descargas eletrostáticas sobrecorrentes e análise de circuitos ocultos (**Sneak Circuit Analysis**), conforme previsto na MIL-STD-1543: Reliability Program Requirements for Space and Launch Vehicles. (RAV)
- Reavaliar as orientações contidas no documento **Especificações de Regras Gerais para Concepção e Ensaios dos Sistemas Pirotécnicos do VLS-1 (590-000000/B2004)** à luz de outras recomendações, como por exemplo a norma **MIL-STD-1576: (Electroexplosive Subsystem Safety Requirements and Test Methods for Space Systems)**. (RAV)
- Reavaliar os dispositivos de segurança associados à ignição do primeiro estágio, incluindo sistemas de solo e dispositivos mecânicos de segurança para as funções pirotécnicas de ignição de propulsores, de destruição e, eventualmente, para outras de alto risco, de forma que, na posição de segurança, seja garantido o isolamento físico entre o detonador e o restante da cadeia pirotécnica. (RAV)
- Considerar a implementação, no programa de testes das redes elétricas, de aspectos de compatibilidade eletromagnética, ao nível de sistemas integrados com os dispositivos pirotécnicos reais presentes. (RAV)

FATOR OPERACIONAL**- Revisão do plano geral para a manutenção da infra-estrutura do campo de lançamentos**

Deverá ser revisado o plano geral de manutenção preventiva e corretiva de toda a infra-estrutura direta e indiretamente relacionada às operações de superfície e vôo da campanha de lançamento. Nesta revisão, atenção particular deve ser dada para o período que antecede o início das campanhas de lançamento. Nesta fase, a infra-estrutura deverá ser totalmente inspecionada mediante procedimentos previamente estabelecidos e validados, por mão-de-obra qualificada para tal, dotada dos equipamentos requeridos pelos procedimentos. As inspeções deverão ser periódicas e com prazos de validade estabelecidos no plano geral de manutenção. O plano geral deverá considerar os fatores de risco das operações de lançamento, descritos em suas respectivas análises de risco. Ele também deverá passar por revisões e atualizações em virtude dos novos sistemas a serem desenvolvidos ou de modificações de engenharia dos já existentes. (RAV)

Deverá ser adotada uma norma que discipline as atividades de projeto e manutenção da infra-estrutura do campo de lançamentos. Para tanto, deve ser estudada a conveniência da adoção certificada da norma ABNT NBR 14881 (Sistemas espaciais – Equipamentos de apoio no solo para uso em lançamento, aterrissagem ou locais de resgate – Requisitos gerais), ou de outra equivalente. (RAV)

- Projeto da torre móvel de integração

O projeto da torre móvel de integração deverá contemplar, além da funcionalidade, especialmente os aspectos relativos à segurança de pessoal, adaptado aos requisitos da norma ABNT NBR 14881, ou de outra equivalente. O novo projeto deverá estabelecer o isolamento da torre das demais instalações na área do setor de preparação e lançamento, o controle de acesso à mesma deverá ser nominal. (RAV)

- Revisão de planos e procedimentos de segurança

Deverá ser adotada uma norma que discipline os procedimentos de segurança para as operações de superfície e vôo do VLS-1. Para tanto, deverá ser estudada a conveniência da adoção certificada da norma ABNT NBR 14882 (Sistemas Espaciais – Operações de centro de lançamento – Requisitos de segurança), ou de outra equivalente. (RAV)

Todas as instituições envolvidas no desenvolvimento e nas operações de superfície e vôo do VLS-1 deverão revisar, atualizar, completar e validar individualmente seus planos e procedimentos de segurança. Os novos planos e procedimentos de segurança deverão ser controlados em configuração e deverão obrigatoriamente passar por revisão sempre que houver uma modificação de engenharia nos sistemas de solo ou vôo. Cumprida a fase de elaboração, revisão e aprovação dos procedimentos de segurança, estes só poderão ser alterados se passarem novamente pelo mesmo processo formal. Nenhum membro das equipes envolvidas nas operações de lançamento, independente de seu nível hierárquico ou de responsabilidade, poderá ter autoridade para alterar os procedimentos de segurança a revelia do processo formal. O novo conjunto de planos e procedimentos de segurança deverá distinguir, de forma sistemática, as tarefas de segurança das de defesa. (MP)

- O planejamento das atividades de integração e montagem do veículo

O planejamento das atividades de integração e montagem do veículo deverá ser preparado, revisado, aprovado e mantido sob controle de configuração. A partir do início da campanha, qualquer desvio do plano somente será admitido se submetido e aprovado por uma comissão permanente da qual participe, entre outros, o responsável pela segurança de superfície e vôo, que terá direito a vetar a alteração e sustar as operações até que o plano original possa ser retomado. (RAV)

- Treinamento das equipes de comando de lançamento

As equipes responsáveis pelas operações de lançamento, se não forem permanentes, deverão ser designadas com antecedência suficiente, para dedicação ao treinamento e ao aperfeiçoamento dos procedimentos aplicáveis à missão em vista. As equipes deverão realizar treinamento continuado que inclua recursos de simulação com grau adequado de fidelidade aos processos a serem controlados no CLA. (RAV)

- Elaboração de análise de risco do sistema VLS-1

Deverá ser elaborada uma análise de risco do sistema VLS-1, independentemente da adoção de normas que o requeiram. Deverá ser adotada uma norma que discipline a atividade de gerenciamento de risco. (RAV)

- Adoção de normas para a garantia da qualidade e gerenciamento de projetos e de procedimentos de certificação

Deverão ser adotadas normas que disciplinem as atividades de garantia da qualidade e gerenciamento de projetos e programas. Para tanto, deverá ser estudada a conveniência da adoção certificada das normas ABNT: NBR 14857-1 (Sistemas espaciais – Gerenciamento do programa – Parte 1: Estruturação de um programa); NBR 14857-2 (Sistemas espaciais – Gerenciamento do programa – Parte 2: Garantia do produto); NBR 15100 (Sistema da qualidade – Aeroespacial – Modelo para a garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados); ou de outras equivalentes. (MP)

As direções das instituições envolvidas no desenvolvimento e operação do VLS-1 deverão contemplar, como meta de longo prazo, a obtenção de certificação ISO-9001, ou equivalente. (LP)

Deverão, também, ser adotados procedimentos de certificação do Projeto VLS-1 a serem conduzidos junto com o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI). (RAV)

- Realização de revisões de engenharia e segurança

Deverá ser reforçada a importância das revisões intermediárias de engenharia (revisões preliminar e crítica de projeto), que deverão passar a integrar de forma obrigatória os planos de desenvolvimento. Deverão ser estruturadas revisões de segurança nos estágios de projeto preliminar, projeto completo e lançador integrado à carga útil. Esta última deverá ser repetida a cada nova missão. (RAV)

- Criação de comissão independente para o acompanhamento da implementação das recomendações

Deverá ser estabelecida uma comissão para acompanhar a implantação das recomendações da Comissão Técnica de Investigação do acidente com o VLS-1 V03 nas diversas organizações envolvidas. Essa comissão deverá ser constituída por indivíduos que não estejam envolvidos na implantação destas recomendações. Ao final do processo, a comissão deverá atestar a completa implantação das recomendações aprovadas, particularmente as que forem requeridas antes de um próximo lançamento do VLS-1. (RAV)

- Liberação do campo para o início da campanha de lançamento

As operações da campanha de lançamento só poderão ter início após inspeção e aprovação pelos operadores da infra-estrutura disponível para a campanha de lançamento. Os procedimentos de segurança do operador e do campo de lançamento deverão ser compatibilizados e aprovados por ambas as partes antes do início de cada campanha. Os operadores deverão obrigatoriamente passar por novo processo de validação, se as operações críticas por eles realizadas tiverem tido seus procedimentos de segurança alterados. Constituir formalmente uma comissão de gerenciamento da configuração. (RAV)

FATOR HUMANO

Para atender a crescente demanda de conhecimento científico requerida para a continuidade do programa espacial e evitar eventuais falhas latentes associadas à segurança do trabalho evidenciadas nesta avaliação, recomenda-se:

- investir em especialização, aperfeiçoamento, treinamento e reciclagem de servidores na sua área de atuação, com o objetivo de evitar a estagnação da capacitação existente. Cabe lembrar que conhecimentos atualizados e novas tecnologias, hoje, incorporam conceitos de garantia da qualidade e de segurança do trabalho; (MP)

- incentivar a continuidade da formação, no nível de mestrado e doutorado, das atuais equipes envolvidas com as tarefas de gerenciamento e desenvolvimento, e ampliação do quadro de especialistas, pessoal de apoio e pesquisadores; estes com a qualificação de doutor; (MP)

- ampliar o intercâmbio com instituições externas e o aproveitamento da capacitação de outros órgãos do próprio CTA, o que poderia trazer novos conceitos e tecnologias para um projeto de grande porte, como é o caso do VLS-1; (MP)

- aperfeiçoar o modelo de gestão integrada de sistemas, incluindo gerência de riscos, meio-ambiente, gestão da qualidade, segurança e saúde ocupacional, tendo em vista a sustentabilidade dos projetos desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE); (RAV)

- desenvolver um programa de qualidade de vida no trabalho, visando aumentar o grau de satisfação do servidor e comprometimento com a instituição, entendendo-se como itens importantes desse programa a segurança do trabalho, o controle de saúde ocupacional e a contínua formação, aperfeiçoamento e treinamento de recursos humanos, além da atenção para outras necessidades dos servidores no ambiente de trabalho; (MP)

- prover treinamento gerencial e de desenvolvimento de equipe: técnica interativa que visa melhorar a comunicação, a integração e o desenvolvimento da cultura de segurança da Organização (referência CRM: Crew Research Management); (MP)

- dar continuidade à implementação do Programa de Segurança do Trabalho do Centro Técnico Aeroespacial, com diretrizes claramente definidas e amplamente divulgadas, partindo da autoridade máxima da Organização, e participação desses profissionais em todos os níveis do projeto VLS-1, incluindo o nível gerencial; (RAV)

- incentivar o desenvolvimento de um Programa de Segurança do Trabalho no Centro de Lançamento de Alcântara e no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, com diretrizes claramente definidas e amplamente divulgadas, partindo da autoridade máxima da Organização; (MP)

- criar, normatizar e implementar um Plano de Gerenciamento de Crise e Apoio à Emergência, incluindo a prevenção do Transtorno por Estresse Pós-traumático; (MP)

- atentar para o projeto ergonômico dos postos de trabalho relacionados aos projetos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) e dos Centros de Lançamento, prioritariamente aqueles que forem identificados como mais críticos pelo mapeamento de risco, que deve integrar o Programa de Segurança do Trabalho (MP); e

- realizar uma análise organizacional do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE). (RAV)

Anexos

Anexo A

RELAÇÃO DOS PARTICIPANTES DA COMISSÃO TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO DO ACIDENTE DO VLS-1 V03

PRESIDENTE DA COMISSÃO - Brig.-do-Ar Marco Antonio Couto do Nascimento – CTA

Formação acadêmica – Oficial Aviador (AFA, 1973); Engenharia Aeronáutica (ITA, 1983) com mestrado e doutorado na mesma área.

Principais funções – Diretor do Instituto de Estudos Avançados (CTA/IEAv); Chefe da Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa.

Função atual – Vice-Diretor do CTA.

SUBCOMISSÕES

Adalberto Pacífico Comiran – INPE

Formação acadêmica - Física na Universidade *Drujba Narodov* (Moscou, 1981); Ph. D. em Ciências Físico-Matemáticas no Instituto de Telecomunicações de Moscou (*MIS*, 1992).

Cursos – “Tecnologia de satélites – Garantia do produto: confiabilidade”, INPE; “Teoria e cálculo de turbobombas para motores de foguete a propulsão líquida”; “Processos tecnológicos e equipamentos para produção de motores de foguete”, Instituto Aeronáutico de Moscou (*MAI*), IAE; “Testes de motores de foguete a propelente líquido”, Instituto Aeronáutico de Moscou (*MAI*), IAE.

Principais funções - Trabalhou em modelagem da atmosfera superior na Divisão de Aeronomia, (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 1993-96); em propulsão líquida (Instituto de Aeronáutica e Espaço - CTA/IAE, 1996-97); em compatibilidade eletromagnética no LIT/INPE, desde 1997.

Função Atual – Trabalha no Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

Adriano Gonçalves – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Mecânica (Universidade Mackenzie, 1981); Especialização em Técnicas Aeroespaciais pela Ecole Supérieure des Techniques Aérospatiales (ESTA, 1990), Orsay-França, e Mestrado em Mecânica Aeronáutica em Materiais e Processos de Fabricação (ITA, 1997).

Curso - Gerência de Projetos (CTA, 1995).

Principais funções no CTA/IAE - Coordenador do quarto estágio do VLS-1 V01; Coordenador Técnico do VLS-1 V02; Chefe da Subdivisão de Materiais Compósitos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Função atual - Coordenador Técnico do VLS-1 V03.

Afonso Paulo Monteiro Pinheiro, Eng. – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Química (Faculdade de Engenharia Química de Lorena, 1982); Mestrado em Pirotecnia (ITA).

Funções atuais - Coordenador das redes pirotécnicas do VLS-1 e Veículos de Sondagem; Chefe da Subdivisão de Explosivos e Pirotécnicos, da Divisão de Sistemas Bélicos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Ariovaldo Félix Palmério– CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Mecânica (IME, 1974); Mestrado em Engenharia Aeronáutica (ITA, 1980) e Doutorado em Engenharia Mecânica (Virginia Polytechnic Institute, 1989).

Principais funções no CTA/IAE - Membro da Gerência de Veículos Espaciais, atuando em engenharia de sistemas; Chefe da Divisão de Sistemas Espaciais; Chefe da Subdivisão de Estruturas, da Divisão de Sistemas Espaciais.

Função atual – Membro do Grupo de Engenharia de Sistemas, da Gerência de Veículos, da Vice-Direção de Espaço, do IAE.

Arnaldo Wowk – EMBRAER

Formação acadêmica - Engenharia Eletrônica (ITA, 1977).

Cursos - Estágio no Centre National d'Études Spatiales - CNES-Evry, França (1986).

Principais funções - Trabalhou no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) entre maio de 1978 e setembro de 1999; Chefe da Subdivisão de Sistemas Elétricos; Coordenador Técnico das Redes Elétricas do VLS-1 até agosto de 1998.

Função atual – EMBRAER.

Carlos Alberto Gottmann - CTA/VDR

Formação acadêmica - Engenharia Mecânica (EEI, 1983); Especialização em Engenharia Aeroespacial: Ensaios em Vôo, Confiabilidade de Sistemas Aeronáuticos (UNIVAP, 2001).

Cursos - cursos de pós-graduação (ITA, 1987).

Principais funções no CTA/IAE - Trabalhou na Divisão de Dinâmica de Vôo, na Divisão de Projetos/Propulsão e na Divisão de Sistemas Bélicos.

Função Atual - Coordenador de Subprogramas na Vice-Direção do CTA.

Carlos Antonio de Magalhães Kasemodel - Ten.-Cel.-Eng. – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Mecânica Aeronáutica (ITA, 1980); Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo (ITA, 1981); Mestrado em Física Aplicada (Naval Postgraduate School / E.U.A., 1999).

Principais funções no CTA/IAE - Chefe da Divisão de Integração e Ensaios; Chefe da Subdivisão de Ensaios da Divisão de Sistemas Bélicos; Gerente de Projeto de Sistemas Bélicos.

Função atual - Gerente do Projeto VLS-1 e Chefe da Gerência de Veículos Espaciais do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Cintia Saba Fonseca – IPA

Formação acadêmica – Psicologia (Universidade Santa Úrsula, 1982); Especialização em Psicologia do Trabalho e Organizacional e em Ergonomia e Usabilidade (PUC-RJ, 2003).

Principais funções – Psicóloga da Seção de Levantamento e Análise (1983 a 1994) e da Seção de Controle e Arquivo Técnico (1994 a 2002) da Divisão de Seleção do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA); Instrutora do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA).

Função atual - Psicóloga e Chefe da Seção de Aperfeiçoamento Técnico da Divisão de Segurança do Trabalho do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA) desde 2002.

Cleber Souza Corrêa - Cap.-Esp.-Met. – DTCEA-PA

Formação acadêmica – Bacharelado em Meteorologia (Universidade Federal de Pelotas, 1988); Mestrado em Sensoriamento Remoto (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997); Doutorando no Instituto de Pesquisas Hidrológicas (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desde março de 2000).

Cursos - Especialização em meteorologia aeronáutica (Instituto de Proteção ao Vôo – IPV, 1988); Curso de Meteorologia Militar (Instituto de Proteção ao Vôo – IPV, 1989); Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica (Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica – Universidade da Força Aérea Brasileira – UNIFA – Campo dos Afonsos, RJ, 2003).

Principais funções – Oficial Previsor no Centro Meteorológico de Aeródromo do DTCEA-BR - Brasília no Aeroporto Internacional de Brasília (1988 a 1990); Oficial Previsor do Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica – CINDACTA I – Brasília (1990 a 1993); Oficial Previsor no Centro Meteorológico de Aeródromo do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Porto Alegre - DTCEA-PA no Aeroporto Internacional Salgado Filho a partir de julho de 1993; Comandante Interino do DTCEA-PA, (de 23 de julho a 14 de dezembro de 2001).

Função atual - Chefe da Seção de Meteorologia do DTCEA-PA no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

Clóvis José Davoli – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Elétrica (Universidade de Mogi das Cruzes, 1980); Especialização em Técnicas Aeronáuticas e Espaciais em Toulouse (França – ENSAE, 1985-1987).

Principais funções no CTA/IAE - Com 26 anos de experiência no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE), participou em desenvolvimento, integração e testes de foguetes de sondagem e do VLS-1; de operações no Centro de Lançamento na Barreira do Inferno (CLBI), no Campo de Lançamento de Alcântara (CLA) e no Wallops Flight Center (USA); acompanhamento de lançamento do foguete Ariane 3 – Vol 24.

Função atual - Atua na área de ensaios, testes e análise de dados de telemetria de sistemas elétricos embarcados no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE).

Elizabeth Cabral Coelho - Maj.-QFO.-Psc. – IPA

Formação acadêmica – Psicologia (Universidade Federal Fluminense, 1980); Especialização em Psicologia do Trabalho e em Psicologia Social (FGV).

Cursos – Estágio de Segurança de Vôo – Fator Humano (1986); Curso de Gerenciamento de Recursos de Tripulação (CRM) na VARIG e Transbrasil.

Principais funções – Instrutora do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) desde 1987 (incluindo a implantação do CRM na FAB); Chefe da Divisão de Recursos Humanos do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA); Chefe da Seção de Psicotécnica da Divisão de Avaliação da Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica (ECEMAR) e Professora Visitante da Universidade Santa Úrsula.

Função atual – Chefe da Seção de Segurança do Trabalho do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA).

João Bosco Martinolli - Maj.-Av. – CTA/DIR

Formação acadêmica - Oficial Aviador (AFA, 1988); Engenharia Aeronáutica (ITA, 1999).

Cursos - Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA (1991); Auditoria da Qualidade (CTA/IFI/FQI, 2001).

Principais funções - Trabalhou na Divisão de Engenharia do Parque de Material Aeronáutico de Belém e do Parque de Material Aeronáutico do Campo dos Afonsos, RJ.

Função Atual - Chefe da Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos do CTA.

Jolan Eduardo Berquó – CTA/IFI

Formação acadêmica – Engenharia Eletrônica (ITA, 1975); Pós-graduação em Confiabilidade de Componentes e Sistemas (ITA, 2000) e Engenharia de Segurança de Sistemas (2001).

Cursos – Engenharia de Sistemas (Itália, 1983); Análise de Risco (Itália, 1985); Gerenciamento da Configuração (Itália, 1985); Confiabilidade (UNICAMP, 1999).

Principais funções – Membro da Representação do Ministério da Aeronáutica na Itália para o desenvolvimento da aeronave AM-X; Gerente de Logística da Aviação Militar da EMBRAER.

Função atual – Coordenador de Aeronáutica para Certificação da Divisão de Certificação de Produtos Aeroespaciais do Instituto de Fomento e Coordenação Industrial do CTA.

José Eduardo Valentim Fassi – CTA/IFI

Formação acadêmica – Engenharia Eletrônica (ITA, 1969).

Principais funções – Experiência em desenvolvimento e qualidade de equipamentos e sistemas, na área de telecomunicações e aeroespacial, em empresas como a Tecnasa, Avibrás e Embraer; Aeritalia (atual Alenia, Itália) e Becker F. W. (Alemanha). Em quatro ocasiões trabalhou no CTA (IPD e IFI), em desenvolvimento e certificação de produtos aeroespaciais.

Luiz Carlos de Castro – CTA/IAE

Formação acadêmica – Bacharelado em Meteorologia pelo Instituto de Geociências (UFRJ, 1975); Mestrado em Meteorologia pelo Departamento de Meteorologia da Universidade de Wisconsin, Madison (USA, 1986).

Principais funções no IAE - Chefe da Subdivisão de Meteorologia, da Divisão de Ciências Atmosféricas; Chefe da Seção de Climatologia, da Divisão de Ciências Atmosféricas.

Funções atuais – Chefe da Divisão de Ciências Atmosféricas do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE); Presidente da Comissão de Aperfeiçoamento de Recursos Humanos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (CARH/IAE/CTA).

Luiz Roberto Del Mônico – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Eletrônica (Faculdade de Engenharia de São José dos Campos, 1972) com inúmeros cursos de especialização em assuntos da sua área de atuação.

Principais funções no CTA/IAE – Trabalha no Instituto de Aeronáutica e Espaço (CTA/IAE) desde fevereiro de 1973, tendo exercido função de engenheiro de desenvolvimentos de equipamentos para sistema elétricos de foguete; chefia de laboratório de ensaio; chefia de laboratório de desenvolvimento; chefias de seção, sub-Divisão e divisão. Participou do desenvolvimento de inúmeros projetos em conjunto com organizações da Europa e Estados Unidos. No IAE, participou de projetos de foguetes e de cargas úteis (como coordenador técnico, engenheiro de desenvolvimento e de testes) e de operações de lançamento em campos brasileiros e estrangeiros.

Função atual - Responsável pelo Grupo de Engenharia de Sistemas (GES-V) da Gerência dos Projetos de Veículos Lançadores e Foguetes de Sondagem (GER-V).

Márcia Regina Molinari Barreto - Maj.-QFO.-Psc. - IPA

Formação acadêmica – Psicologia (UERJ, 1982); Especialização em Desenvolvimento de Recursos Humanos (FGV, 1987); Especialização em Dinâmica de Grupo em Treinamento (FGV, 1988).

Principais funções – Chefe da Seção de Doutrina e Prevenção (DRHUM) do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA); Chefe das Seções de Desenvolvimento e Divulgação da Divisão de Segurança do Trabalho do IPA; Instrutora de cursos do CENIPA desde 1988; Professora do Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade Estácio de Sá; Professora do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da UFRJ.

Função atual – Chefe da Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento do Instituto de Psicologia da Aeronáutica (IPA).

Mauro Melo Dolinsky – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Química (UFRJ, 1967); Especialização em Química de Propelentes e Explosivos (Chimie-Poudres) (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées – ENSTA, Paris, França, 1970-1971) e em Propulsão (Office National D'Études et de Recherches Aérospatiales (ONERA), Chatillon, França).

Principais funções no IAE - Chefe da Divisão de Química; Coordenador do Convênio Polibutadieno Líquido (PBLH e PBCT) CTA-PETROBRÁS; Coordenador de Tecnologia e de Segurança do Grupo de Implantação da Usina de Propelentes do CTA (Usina Cel. Abner); Vice-Diretor Administrativo.

Funções atuais - Vice-Diretor de Espaço do IAE; Coordenador do Subprograma Espacial do CTA.

Odair Léris Gonçalves – CTA/IEAv

Formação acadêmica: Bacharelado em Física (USP, 1978); Mestrado em Ciências (ITA, 1982) e Doutorado em Tecnologia Nuclear (USP, 1998).

Cursos: Supervisor de Proteção Radiológica (1982), credenciado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), registro IR-0108.

Principais funções: Professor em engenharia de segurança do trabalho (Escola de Engenharia Industrial, 1990-1993) e em medicina do trabalho (UNITAU, 1990); Professor de métodos quantitativos (Centro Universitário Ibero Americano - UNIBERO, 1998-2000).

Funções atuais: Pesquisador Titular no Instituto de Estudos Avançados (CTA/IEAv), desde 1979, exercendo a gerência do projeto do Laboratório de Radiação Ionizante; Chefe da Coordenadoria de Segurança e Higiene do Trabalho do CTA (CTA/VDR/VST); Presidente da Comissão de Auditoria da Avaliação da Periculosidade, Insalubridade e Radiação

Ionizante do CTA; Membro da Comissão Técnica de Elaboração de Laudos para Concessão do Adicional de Radiação Ionizante do CTA; Professor Doutor nas Faculdades Integradas Módulo em Caraguatatuba, SP.

Paulo Roberto Sakai – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Industrial – Mecânica (Escola de Engenharia Industrial de São José dos Campos, 1985).

Curso - "Mastère Spécialisé Management de la Qualité" pela "École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM)", Paris, França.

Principais funções - Trabalha no CTA/IAE desde 1984.

Função atual - Atua na área da qualidade e como coordenador do segundo estágio do VLS-1 V03.

Ramon Machado Cardoso – CTA/IAE

Formação acadêmica - Engenharia Elétrica (ênfase em eletrônica e telecomunicações) (Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, de Santa Rita do Sapucaí, MG, 1982).

Principais funções no CTA/IAE - Trabalha na Divisão de Eletrônica (CTA/IAE/AEL) desde junho de 1983; Chefe da Seção de Integração e Testes de Sistemas Elétricos da Divisão de Eletrônica.

Função atual - Coordenador das Redes Elétricas.

Valter José Carrara – Ten.-Cel.-R/R

Formação acadêmica – Engenharia Eletrônica (ITA, 1970); Specialisation dans le domaine des Systèmes de Poursuite de Lanceurs (Centre National d'Études Spatiales, 1976).

Cursos - Curso de Gestion de Grands Projets Espaciaux (CNES, 1983); Curso de gerência de projetos (CTA, 1994).

Principais funções no CTA/IAE - Reserva remunerada em novembro de 1981; Readmissão no serviço público em 1981, exercendo funções de chefe de divisão até aposentar em junho de 1999; Chefe da Divisão de Eletrônica do IAE (1993 a 1999).

Função atual - Reserva remunerada.

ESPECIALISTAS RUSSOS

Viacheslav Lisitsin, Dr. - Chefe da equipe - Representante da Agência Espacial Russa. Atua na área de cooperação com países estrangeiros, sendo o elo de contato com a Agência Espacial Brasileira.

Dmitry Borisov, Dr. - Especialista em motores a base de combustível sólido, em física do processo de combustão e de envelhecimento de combustíveis sólidos.

George Sytyi, Dr. - Atua na área de projetos para construção de torpedos e em acidentes relacionados com os mesmos.

Victor Poliakov, Dr. - Especialista em pesquisa científica na área de acidentes. Participou de cerca de duzentas comissões de investigação de acidentes, envolvendo mísseis e foguetes, entre outros.

Vladimir Breyman, Dr. - Especialista em química de combustível sólido.

Vladimir Morozov, Dr. - Especialista em sistemas de controle de mísseis, foguetes e satélites.

REPRESENTANTES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA**Carlos Henrique de Brito Cruz – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**

Formação acadêmica – Engenharia Eletrônica (ITA, 1978); Doutorado em Ciências (Instituto de Física, UNICAMP, 1983).

Principais funções – Professor Titular no Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP; Diretor do Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP; Presidente da FAPESP (1996-2002).

Função atual – Reitor da UNICAMP.

Fernando Cosme Rizzo Assunção - Academia Brasileira de Ciências

Formação acadêmica - Engenharia Metalúrgica (PUC-RJ, 1970); Mestrado em Ciência dos Materiais (IME, 1973); Ph.D. em Ciência dos Materiais (Universidade Flórida, 1978); Pós-doutorado (UCLA, 1987).

Principais funções – Diretor do Departamento de Ciência dos Materiais da PUC-RJ (1979-1983); Decano, Centro Técnico Científico da PUC-RJ (1983-1986).

Função atual – Vice-Decano de Desenvolvimento, CTC, PUC-RJ.

Paulo Murilo Castro de Oliveira - Sociedade Brasileira de Física

Formação acadêmica – Física (PUC-RJ, 1973); Mestrado em Física (PUC-RJ, 1976); Doutorado em Física (PUC-RJ, 1981).

Funções atuais – Professor Titular da Universidade Federal Fluminense; Pesquisador nível IA do CNPq; Membro Titular da ABC; Vice-Presidente da SBF.

REPRESENTANTES DAS FAMÍLIAS DAS VÍTIMAS**José Oliveira**

Formação acadêmica – Bacharelado em Direito (UFMG, 1992).

Cursos – Técnico em Mecânica (ETEP, 1977); Técnico em Segurança do Trabalho (SENAC, 1998).

Principais funções – Inspetor de Qualidade – GMB/São José dos Campos; Programador de Produção – EMBRAER; Escrivão de Polícia; Assessoria Jurídica Parlamentar.

Função atual – Servidor Público Municipal.

Luciano Magno Costalonga Varejão

Formação acadêmica – Engenharia Mecânica (UFES, 1969); Mestrado em Engenharia Mecânica (PUC-RJ, 1973); Ph.D. em Engenharia Mecânica (Universidade de Minnesota, USA, 1979).

Cursos – PERT/CPM; Didática.

Principais funções – Professor Adjunto IV da UFES; Vice-Diretor do Centro Tecnológico da UFES; Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica da UFES.

Função atual – Consultor.

COLABORADORES**Edson Cardoso da Silva – CTA/IFI**

Formação acadêmica - Engenharia Mecânica (UNITAU, 1978); Licenciatura em Matemática (UNITAU, 1974).

Cursos - Análise de Tensões – Measurements Group, Inc (Raleigh, North Caroline, USA); Certificador de Produtos Aeroespaciais (CTA/IFI); Auditor da Qualidade (CTA/IFI).

Principais funções - Trabalhou durante 23 anos na Divisão de Integração e Ensaio do Instituto de Aeronáutica e Espaço –CTA/IAE, exercendo atividades técnicas de projeto e recebimento de dispositivos de ensaios.

Funções Atuais - Trabalha no Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (CTA/IFI), Divisão de Homologação Militar, Subdivisão de Estruturas; Instrutor de Cursos de Certificação de Produtos Aeroespaciais – CCPA - e de Representante da Garantia da Qualidade.

Márcio da Silveira Luz

Formação Acadêmica - Engenharia Mecânica – (Universidade Federal Fluminense, 1971-75); Pós-Graduado em Engenharia Mecânica (IME, 1975/76); Mestrado em Engenharia Aeroespacial (ITA, 1978) - área de Propulsão: "Modelo de Segunda Ordem para o Controle do Vetor Empuxo por Injeção Secundária de Fluido"; Doutorado em Ciências (ITA, 1983).

Principais funções - Trabalhou no Grupo de Propulsão da Divisão de Lançadores do IAE no período 1976-1981, durante o desenvolvimento do propulsor Φ 1000 do Sonda IV.

Função Atual - Coordenador de Subprogramas na Vice-Direção do CTA.

Marcos Pereira Rodrigues - CTA/IFI

Formação acadêmica - Técnico classificação M-III IFI/FCP/SCV;

Cursos - Certificador de Material Aeroespacial de Emprego Militar – CTA/IFI; Técnicas e Normas Internacionais aplicáveis na Função de Técnico de Segurança de Plataforma CLA/MAER/INPE/NASA; Preparatório de Auditoria da Qualidade – CTA/IFI.

Principais funções - trabalhou como Técnico na Divisão de Química e Técnico de Segurança em Plataforma de Lançamento de Veículos Espaciais.

Função Atual - Técnico Certificador de Material no Instituto de Fomento e Coordenação Industrial – CTA/IFI

Petrônio Noronha de Souza

Formação Acadêmica - Engenharia Mecânica (UNICAMP, 1982); Mestrado em Ciência Espacial / Mecânica Orbital (INPE, 1986); Doutorado no Cranfield Institute of Technology, 1993.

Principais funções - Coordenador da Ação Participação Brasileira na Estação Espacial Internacional;

Função Atual - Coordenador de Ação do Programa Nacional de Atividades Espaciais, PNAE.

Anexo B

RELAÇÃO DAS VÍTIMAS DO ACIDENTE OCORRIDO COM O VLS-1 V03, EM 22 DE AGOSTO DE 2003, EM ALCÂNTARA, MARANHÃO

AMINTAS ROCHA BRITO

ANTONIO SERGIO CEZARINI

CARLOS ALBERTO PEDRINI

CESAR AUGUSTO COSTALONGA VAREJÃO

DANIEL FARIA GONÇALVES

ELISEU REINALDO MORAES VIEIRA

GIL CESAR BAPTISTA MARQUES

GINES ANANIAS GARCIA

JONAS BARBOSA FILHO

JOSÉ APARECIDO PINHEIRO

JOSÉ EDUARDO DE ALMEIDA

JOSÉ EDUARDO PEREIRA

JOSÉ PEDRO CLARO PERES DA SILVA

LUIS PRIMON DE ARAUJO

MÁRIO CÉSAR DE FREITAS LEVY

MASSANOBU SHIMABUKURO

MAURICIO BIELLA DE SOUZA VALLE

ROBERTO TADASHI SEGUCHI

RODOLFO DONIZETTI DE OLIVEIRA

SIDNEY APARECIDO DE MORAES

WALTER PEREIRA JUNIOR

Referências

- 1 SATO, Hideo. Os primórdios da atividade espacial no Brasil. **CLBI – 30 anos na conquista do espaço**, Natal, RN, p.06-07. 1995. (Revista comemorativa dos 30 anos de fundação do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno).
- 2 INPE. **Caminhos para o espaço**. São Paulo: Editora Contexto. 1991. 112p.
- 3 MOTTA, Adauto Gouveia. **Esboço histórico da pesquisa espacial no Brasil**. 2. ed. Natal, RN: Editora Foco, 118p.
- 4 LEITE, João Verdi Carvalho. **AVIBRÁS AEROESPACIAL**. São José dos Campos, SP, 2003.
- 5 DOLINSKY, Mauro Melo. **IAE- Presença brasileira no espaço**. São José dos Campos, SP, 1992. 33p. Procedimento Técnico (Doc. Nº 003/AVD-P/92, de 21 de setembro de 1992).
- 6 OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araújo Querido. **Proposta de modelo organizacional de gestão de tecnologia para o setor espacial brasileiro: estudo do caso VLS**. Tese de Doutorado. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1998. 341p.
- 7 BOSCOV, Jayme. Foguete Sonda IV. Um marco para o CLBI e o grande passo para a realização do veículo lançador de satélites VLS. **CLBI – 30 anos na conquista do espaço**, Natal, RN, p.12-19. 1995. (Revista comemorativa dos 30 anos de fundação do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno).
- 8 COSTA, Marcus Antonio Araújo da. **A Filosofia SIPAER**. Brasília: Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, Estado-Maior do Comando da Aeronáutica. (Apostila sem referência à data de edição).
- 9 GUEDES, Roberto Lage. **Sugestão de modernização dos meios operacionais da meteorologia do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA)**. São José dos Campos: CTA. 1998. (Monografia apresentada como parte do curso de formação de gerentes de projeto no CTA).
- 10 GUIMARÃES, Leonam dos Santos. **Gerenciamento de riscos e segurança de sistemas**. São Paulo: Ed. iEditora, 2003. 187p.

- 11 COELHO, E. C., MAGALHÃES, F. G. A influência dos aspectos psicológicos na segurança de vôo. In: PEREIRA, M. C., RIBEIRO, S. O (org.). **Os vôos da psicologia no Brasil: estudos e práticas na aviação.** Rio de Janeiro: DAC-NuICAF, 2001, p. 39-46.
- 12 ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. **Conceptos fundamentales sobre factores humanos.** Circular 216-AN/131. Montreal, 1993. 31p.
- 13 ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. **Investigación de factores humanos em accidentes e incidentes.** Circular 240-AN/144. Montreal, 1993. 57p.
- 14 MOREIRA, S. L. B. Fatores humanos e modelos conceituais. In: PEREIRA, M. C., RIBEIRO, S. O (org.). **Os vôos da psicologia no Brasil: estudos e práticas na aviação.** Rio de Janeiro: DAC-NuICAF, 2001. p.34.
- 15 LLORY, M. **Acidentes Industriais: o custo do silêncio: operadores privados da palavra e executivos que não podem ser contratados.** Rio de Janeiro: Multimaís Editorial, 1999, 316 p.
- 16 SILVA M. **Definição de Clima Psicossocial em Levantamento das Condições Psicossociais na Área de Belém.** Ministério da Aeronáutica, Instituto de Psicologia da Aeronáutica – Divisão de Recursos Humanos, 1985.
- 17 CHIAVENATO, I. **Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.
- 18 ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. **Factores humanos, gestión y organización.** Circular nº 247-AN/148. Montreal 1993. 45p.
- 19 VIDAL, M. C. Uma Abordagem Ergonômica da Confiabilidade e a Noção de Modo Degradado de Funcionamento. In: FREITAS C. M. D., SOUZA, M. F. e MACHADO, J.M.H. **Acidentes Industriais Ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção.** Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000, p.88.