



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.21.18.16-TDI

AQUISIÇÃO DE DADOS DE CARGA ÚTIL DE PLATAFORMAS ORBITAIS COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Ivan Márcio Barbosa

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 30 de novembro de 2016.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MRECQH>](http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MRECQH)

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.21.18.16-TDI

AQUISIÇÃO DE DADOS DE CARGA ÚTIL DE PLATAFORMAS ORBITAIS COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Ivan Márcio Barbosa

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, aprovada em 30 de novembro de 2016.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MRECQH>](http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MRECQH)

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Ivan Márcio.

B234a Aquisição de dados de carga útil de plataformas orbitais com o auxílio de técnicas de inteligência artificial / Ivan Márcio Barbosa.
– São José dos Campos : INPE, 2017.
xxvi + 217 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.21.18.16-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientador : Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira.

1. Inteligência artificial. 2. Sistemas especialistas. 3. Satélites.
4. CLIPS. 5. Design science research. I. Título.

CDU 629.563.23:0048



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

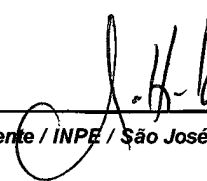
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Aluno (a): **Ivan Marcio Barbosa**

Título: " AQUISIÇÃO DE DADOS DE CARGA ÚTIL DE PLATAFORMAS ORBITAIS COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
**Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng.
Gerenc. de Sistemas Espaciais**

Dra. **Maria de Fátima Mattiello-Francisco**



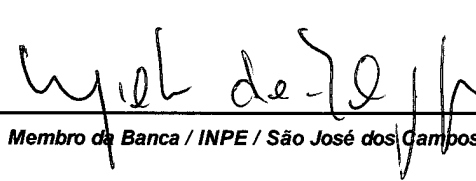
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. **Maurício Gonçalves Vieira Ferreira**



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. **Milton de Freitas Chagas Junior**



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. **Rodrigo Rocha Silva**



Convidado(a) / FATEC-MC / Mogi das Cruzes - SP

Este trabalho foi aprovado por:

☐ **maioria simples**

☒ **unanimidade**

São José dos Campos, 30 de Novembro de 2016

*“Two roads diverged in a yellow wood,
And sorry I could not travel both
And be one traveler, long I stood
And looked down one as far as I could
To where it bent in the undergrowth;*

*Then took the other, as just as fair,
And having perhaps the better claim,
Because it was grassy and wanted wear;
Though as for that the passing there
Had worn them really about the same,*

*And both that morning equally lay
In leaves no step had trodden black.
Oh, I kept the first for another day!
Yet knowing how way leads on to way,
I doubted if I should ever come back.*

*I shall be telling this with a sigh
Somewhere ages and ages hence:
Two roads diverged in a wood, and I—
I took the one less traveled by,
And that has made all the difference.”*

Robert Frost, 1920

Dedico esta Dissertação a Deus, a meu pai Benedito Barbosa (*In memoriam*), a minha mãe Maria Conceição Barbosa, a minha esposa Patrícia e a meus filhos Ivanzinho e Maria Luíza.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus que me possibilitou chegar até aqui.

A meus filhos Ivanzinho e Malu pelo amor, apoio e carinho.

Ao Luiz Eduardo Boa Sorte Carneiro, Daniel Michel Margotti e Eder Cardoso da unidade do INPE de Cuiabá – MT pelo apoio na identificação de anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção.

Ao José Neto da Central IT, amigo de longa data, pelas dicas sobre *json*, *css* e *bootstrap*.

Ao Dr. Oswaldo Miranda pela amizade, incentivo e oportunidade.

Aos colegas do EMBRACE Dr. Clezio DeNardin, Dr. Joaquim Rezende Costa, Dr. Marcelo Banik e Dr. Cristiano Max Wrasse pela amizade e companheirismo.

Aos colegas do BDA Khristhiano Lemos Souza e Narli Baesso pelo apoio, incentivo e amizade.

Ao Dr Milton Chagas, Dra. Fatima Mattiello e os demais professores do curso de Pós Graduação em Engenharia e Tecnologia Espacial pelo conhecimento e pelas experiências compartilhadas.

À Edleusa Ferreira da secretaria ETE/CSE, ao Naoto Shitara, ao Marcos Paulo Salgueiro e aos demais colegas de turma do curso CSE/ETE.

Ao Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira pela orientação, conhecimento, apoio, oportunidade e amizade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela oportunidade de trabalho e de pesquisa científica.

E, finalmente, a minha amada esposa Patrícia Barbosa pelo incentivo, amor, compreensão, paciência e pelas revisões em Português e Inglês que, sem dúvida, contribuíram muito para a qualidade desta dissertação.

A todos os demais colegas, meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho utiliza o método científico *Design Science Research* para condução de pesquisas científicas e propõe a criação de um protótipo de sistema especialista denominado *Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System (PDAD-ES)*. O sistema especialista PDAD-ES contempla o estudo de caso para configuração das estações terrenas de recepção de dados dos satélites COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R e o estudo de caso para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2 e na disseminação dos dados brutos desses satélites para UCAR e para o EMBRACE do INPE. A definição dos requisitos do sistema especialista, o levantamento e o mapeamento das regras de produção e o conhecimento gerado nesse trabalho de pesquisa contribuem para o aperfeiçoamento das atividades relacionadas ao segmento solo no INPE. A construção do protótipo PDAD-ES compreende a codificação na linguagem de programação *CLIPS* e integração ao servidor web *apache* através da extensão *PHLIPS*. Este trabalho também descreve as características técnicas atuais das estações terrenas de recepção de dados de satélites do INPE, o estudo sobre inteligência artificial, sistema especialista e sistemas de solo.

ORBITAL PLATAFORM PAYLOAD DATA ACQUISITION WITH THE AID OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUE

ABSTRACT

This work uses the scientific method Design Science Research to conduct scientific research and proposes the creation of a prototype of an expert system named Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System (PDAD-ES). The PDAD-ES expert system includes a case study to set up the COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R ground receiving stations and the case study to identify anomalies and failures in COSMIC-2 ground receiving station and raw data dissemination from these satellites to UCAR and the INPE EMBRACE. The definition of the requirements of the expert system, the survey and mapping of the production rules and the knowledge generated in this research work contribute to the improvement of the activities related to the ground segment at INPE. The developing of the PDAD-ES prototype comprises coding in the CLIPS programming language and integration to the apache web server through the PHLIPS extension. This work also includes details about the current technical characteristics of INPE's ground receiving stations to acquire the payload data, the study of artificial intelligence, expert systems and ground systems.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1: Demonstração da geometria observacional GNSS-RO e os correspondentes perfis na ionosfera e na atmosfera.	2
Figura 1.2 - Características da constelação COSMIC-2.....	3
Figura 1.3 - Estimativa do tempo de vida dos satélites GOES.	5
Figura 1.4 - Posição atual dos satélites GOES-13, GOES-14, GOES-15.	6
Figura 1.5 - Arquitetura do satélite GOES-R.	7
Figura 2.1 - Elementos do segmento solo.....	18
Figura 2.2 - Estação Terrena básica.	19
Figura 2.3 - Típico sistema de solo.	21
Figura 2.4 – Sistema de solo da constelação COSMIC-2.	24
Figura 2.5 - Antena SPARTE 3m de diâmetro.....	26
Figura 2.6 - Características do GOES-R.	29
Figura 2.7 - Estações terrenas de recepção de dados Banda X (frente do prédio) e Banda X e Banda S (atrás do prédio) instaladas na unidade do INPE em Cuiabá - MT.....	32
Figura 2.8 - Estação terrena de recepção Banda X instalada na unidade do INPE de Cachoeira Paulista - SP.....	34
Figura 2.9 - Estação terrena de recepção Banda L instalada na unidade do INPE em Cuiabá - MT.	36
Figura 2.10 - Estação terrena de recepção Banda L instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP.....	36
Figura 2.11 - Estações terrenas de recepção Banda L utilizadas para aquisição de dados de satélites geoestacionários.	38
Figura 3.1 - Principais áreas de aplicação da inteligência artificial.....	42
Figura 3.2 - Processo de conversão do conhecimento SECI.	54
Figura 3.3 - Criação de <i>templates</i> no JESS.	63
Figura 3.4 - Comandos e variáveis utilizadas no CLIPS.	65
Figura 3.5 - Fatos criados no ambiente CLIPS.....	66
Figura 3.6 – Relação entre o CLIPS e a arquitetura de um sistema especialista.	67
Figura 4.1 - Estrutura da design science.....	73
Figura 6.1 - Arquitetura do sistema especialista PDAD-ES.....	94
Figura 6.2 – Arquivo Fatos_Anomalias_COSMIC-2.clp.	95
Figura 6.3 - Diagrama de atividades do PDAD-ES.....	96
Figura 6.4 - Acesso ao sistema especialista PDAD-ES.	96
Figura 6.5 - Interface do usuário do sistema especialista PDAD-ES.....	98
Figura 6.6 - Árvore de possibilidades para aquisição dos dados brutos do satélite GOES-R.....	102
Figura 6.7 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção GOES-R.	103

Figura 6.8 – Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão número 8 (polarização) do satélite GOES-R.	103
Figura 6.9- Árvore de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.	105
Figura 6.10 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.	106
Figura 6.11 - Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão de número 9 (VCID).	106
Figura 6.12 - Regras utilizadas para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.	107
Figura 6.13 - Árvore de possibilidades para aquisição dos dados brutos do satélite LANDSAT-8.	108
Figura 6.14 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.	109
Figura 6.15 Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão de número 6 (FEC).	109
Figura 6.16 – Código fonte PHLIPS com os fatos utilizados na configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.	110
Figura 6.17 - Árvore de possibilidades para identificação de anomalias e falhas na recepção dos dados transmitidos pelos satélites COSMIC-2.	111
Figura 6.18 - Questões utilizadas na identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos.	112
Figura 6.19 - Aconselhamento do PDAD-ES para conectar o M&CS no <i>localhost</i> do receptor Cortex CRT-Q e no <i>localhost</i> do Cortex ACU.	113
Figura 6.20 - Regras utilizadas para identificação de anomalias e aconselhamento.	114
Figura 6.21 - Código fonte PHLIPS utilizado para identificação de anomalias e falhas.	114
Figura 6.22 - Teste caixa branca para configuração da estação terrena GOES-R.	116
Figura 6.23 - Teste caixa branca utilizado para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-2.	117

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Características da estação terrena de recepção Banda S.	28
Tabela 2.2 - Níveis de processamento dos dados do satélite GOES-R.	30
Tabela 2.3 – Principais características das estações terrenas de recepção Banda X e Banda S.	31
Tabela 2.4 - Principais características da estação terrena de recepção Banda X instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP.	33
Tabela 2.5 - Principais características das estações terrenas de recepção Banda L utilizadas na aquisição de dados de satélites meteorológicos de órbita quase polar.	35
Tabela 2.6 - Principais características das estações terrenas de recepção Banda L utilizadas para aquisição de dados de satélites meteorológicos geoestacionários.	37
Tabela 3.1 - Exemplo de sistemas especialistas.	59
Tabela 4.1 – As sete Diretrizes para condução de pesquisas com a <i>design science research</i>	76
Tabela 4.2 - Métodos de avaliação utilizados em <i>design science research</i>	78
Tabela 5.1 - Sistema especialista PDAD-ES e sistemas especialistas correlatos.	89
Tabela 5.2 - Comparação entre os sistemas especialistas utilizados na área espacial.	92
Tabela 6.1- Tipos de erros causados por problemas no segmento espacial. ..	99
Tabela 6.2- Tipos de erros causados no sistema de solo.	99
Tabela A1 - Teste de tabela de decisão do satélite GOES-R.	135
Tabela B1 - Teste de tabela de decisão da constelação COSMIC-2.	137
Tabela C1 - Teste de tabela de decisão do satélite LANDSAT-8.	141
Tabela D1 - Teste de tabela de decisão utilizada na identificação de anomalias e falhas.	145

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABC	<i>Activity-Based Costing</i>
ABI	<i>Advanced Baseline Imager</i>
ACU	<i>Antenna Control Unit</i>
ADCS	<i>Attitude Determination and Control Systems</i>
ADU	<i>Antenna Drive Unit</i>
AHI	<i>Advanced Himawari Imager</i>
AHRPT	<i>Advanced High-Resolution Picture Transmissions</i>
AOCS	<i>Attitude and Orbit Control Systems</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
BCH	<i>The acronym BCH comprises the initials of its inventors' (Raj Bose, D. K. Ray-Chaudhuri, Alexis Hocquenghem) names.</i>
BoM	<i>Bureau of Meteorology</i>
BPSK	<i>Binary phase-shift keying</i>
C&DH	<i>Command and Data Handling</i>
CADU	<i>Channel Access Data Unit</i>
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resource Satellite</i>
CCS	<i>Centro de Controle de Satélites</i>
CCSDS	<i>Consultative Committee for Space Data Systems</i>
CDAAC	<i>COSMIC Data Analysis and Archive Center</i>
CEA	<i>Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas</i>
CFDP	<i>CCSDS File Delivery protocol</i>
CHRPT	<i>Color High-Resolution Picture Transmissions</i>
CLI	<i>Command-line Interface</i>
CLIPS	<i>C Language Integrated Production System</i>
CNAE	<i>Comissão Nacional de Atividades Espaciais</i>
CNS	<i>Communication, Navigation and Surveillance</i>
COSMIC	<i>Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and</i>

	Climate
COSTI	Coordenação de Tecnologia da Informação
CONUS	Continental United States
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CRC	Centro de Rastreo e Controle de Satélites
CRT	<i>Command Ranging & Telemetry Unit</i>
CSPP	<i>Community Satellite Processing Package</i>
CTI	Coordenação de Tecnologia da Informação
DC	<i>Down Converter</i>
DCS	<i>Data Collection System</i>
DEC	Digital Equipment Corporation
DGI	Divisão de Geração de Imagens
DSA	Divisão de Satélites Ambientais
DTR	<i>PC-based Digital Tracking Receiver</i>
DBV-S2	<i>Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation</i>
ECSS	<i>European Cooperation For Space Standardization</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
ERTS	<i>Earth Resources Techonology Satellite</i>
ESOC	<i>European Space Operations Centre</i>
EXIS	<i>Extreme Ultraviolet and X-Ray Irradiance Sensors</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FM	FORMOSAT
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i>
FY	<i>FengYun</i>
G/T	<i>Gain-to-noise temperature ratios</i>
GLM	<i>Geostationary Lightning Mapper</i>
GOCNAE	Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais
GOES	<i>Geostationary Operational Environmental Satellites</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRB	<i>GOES Rebroadcast</i>

GVAR	<i>GOES VARiable</i>
HES	<i>Human-health risk assessment Expert System</i>
HiRAIS	<i>High Resolution Advanced Imaging System</i>
HRPT	<i>High-Resolution Picture Transmissions</i>
IDE	Integrated Development Environment
IF	Intermediate Frequency
IFDS	IF Data Switch
IMACCS	Integrated Monitoring, Analysis, and Control COTS System
INCO	Integrated Communications Officer Expert System
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRS	<i>Infrared Medium Resolution Scanner</i>
IRIG	<i>Inter-Range Instrumentation Group</i>
IPA	<i>Intelligent Personal Assistant</i>
JARVIS	<i>Just A Rather Very Intelligent System</i>
JESS	<i>Java Expert System Shell</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
KICNP-S	<i>Knowledge Model-based Intelligent Coordinative Network for Spacecraft</i>
KPP	<i>Key Performance Parameters</i>
LPDC	<i>Low Density Parity Check</i>
LEO	<i>Low Orbit Satellite</i>
LISP	<i>LISt Processor</i>
LHCP	<i>Left Hand Circular Polarization</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>
LRD	<i>Low Rate Demodulator</i>
MAG	<i>Magnetometer</i>
MARVEL	<i>Multimission Automation for Real-time Verification of spacecraft Engineering Link</i>
Mbps	<i>Megabits per second</i>
M&CS	<i>Monitoring & Control Software</i>
MCC	<i>Mission Control Center</i>
MECB	Missão Espacial Completa Brasileira

MRS	<i>Multi-Robot System</i>
MOIMS	<i>Mission Operations and Information Management Services</i>
MoU	Memorandum of Understanding
MT	Mato Grosso
MUX	<i>Multispectral Camera</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NORAD	<i>North American Aerospace Defense Command</i>
NSOF	<i>NOAA Satellite Operations Facility</i>
NSPO	<i>National Space Organization</i>
OAIS	<i>Reference Model for an Open Archival Information System</i>
OBDH	<i>On Board Data Handling</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
OOS	<i>On-Orbit Service</i>
PAN	<i>PanMux Camera</i>
PC	Problema Computacional
PCM	<i>Pulse-Code Modulation</i>
PDAD-ES	Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System
PE	Problema Elétrico ou eletrônico
PH	Problema Humano
PM	Problema Mecânico
POCC	<i>Payload Operations Control Center</i>
PSK	<i>Phase-Shift Keying</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase-Shift Keying</i>
RBU	<i>Remote Backup Facility</i>
RECALL	Reusable Experience with Case Based Reasoning for Automating Lessons Learned
REDEX	Ranging Equipment Diagnostic Expert System
RF	Rádio Frequência
RHCP	Right Hand Circular Polarization
RO	<i>Radio Occultation</i>

SCARES	<i>Spacecraft Control Anomaly Resolution Expert System</i>
SCAWES	<i>Spacecraft Collision Avoidance Warning Expert System</i>
SCD	Satélite de Coleta de Dados
SCSTI	Seção de Tecnologia da Informação
SCU	<i>Servo Control Unit</i>
SERCA	Sistema Especialista para Resolução de Conflitos Aéreos
SEM	<i>Space Environment Monitor</i>
SGP	<i>Simplified General Perturbations</i>
SIRI	<i>Speech Interpretation and Recognition Interface</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SLIM6	<i>Surrey Linear Imager Multispectral 6</i>
SUVI	<i>Solar Ultra-Violet Imager</i>
SOAR	Sistema Especialista de Organização e Alocação de Recursos
SOCC	<i>Spacecraft Operations Control Center</i>
SOH	State of Health
SP	São Paulo
STS	<i>Space Transportation Shuttle</i>
SXI	<i>Solar X-Ray Imager</i>
TACC	Taiwan Analysis Center for COSMIC
TDPC	<i>Taiwan Data Processing Center</i>
TC	Telecomando
TECSOAR	Técnica para Sistemas Especialistas em Organização e Alocação de Recursos Aeroportuários
TES	<i>Toxic Gas Expert System</i>
TFR	<i>Timing and Frequency Reference System</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TLE	Two Line Element
TM	Telemetry
TT&C	<i>Telemetry, Tracking and Command</i>
UCAR	<i>University Corporation for Atmospheric Research</i>

UK-DMC-2	<i>United Kingdom Disaster Monitoring Constellation - 2</i>
USAF	<i>United States Air Force</i>
USDPC	<i>United States Data Processing Center</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
VCID	<i>Virtual Channel Identifier</i>
WCDAS	<i>Wallops Command and Data Acquisition Station</i>
WES	<i>Weather Expert System</i>
WFI	<i>Wide Field Imaging Camera</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
ZDS	<i>Zodiac Data Systems</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. COSMIC-1	1
1.2. COSMIC-2	3
1.3. GOES-R.....	4
1.4. Motivações.....	9
1.5. Objetivos.....	10
1.6. Metodologia	11
2 SEGMENTO SOLO	15
2.1. Elementos básicos do segmento solo.....	17
2.2. Segmento solo do INPE.....	21
2.3. Sistema de solo da Constelação COSMIC-2	24
2.4. Sistema de solo do satélite GOES-R	28
2.5. Sistema de solo para aquisição de dados brutos em Banda X e Banda S 30	30
2.6. Sistema de solo para recepção de dados em Banda L.....	34
3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	41
3.1. Sistemas Especialistas	43
3.1.1. Estrutura básica de um Sistema Especialista	48
3.1.2. Interface com o Usuário	48
3.1.3. Motor de inferência.....	48
3.1.4. Base de Conhecimento	51
3.1.5. Memória de Trabalho	52
3.1.6. Especialista de Domínio.....	52
3.1.7. Engenheiro do Conhecimento.....	55
3.2. Aquisição do Conhecimento	56
3.3. Ferramentas para construção de Sistemas Especialistas	60
3.3.1. Shells	60
3.3.1.1. Expert Sinta	60
3.3.1.2. FuzzyCLIPS	61
3.3.1.3. JESS.....	61
3.3.1.4. CLIPS.....	63
4 DESIGN SCIENCE	71
4.1. <i>Design Science</i> aplicada na construção do protótipo PDAD-ES	78
5 TRABALHOS RELACIONADOS.....	83
6 ESTUDO DE CASO	93
6.1. Interface do Usuário do sistema especialista.....	93
6.2. Sistema especialista PDAD-ES	98
6.2.1. Sistema especialista para treinamento e configuração dos sistemas de recepção dos dados brutos das constelações COSMIC-1 e COSMIC-2 e dos satélites LANDSAT-8 e GOES-R.	101

6.2.2. Sistema especialista para identificação de anomalias e falhas no segmento espacial e/ou segmento solo e aconselhamento para solução do problema	110
7 CONCLUSÃO	119
7.1. Principais contribuições	119
7.2. Trabalhos futuros	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
APÊNDICE A: Teste de tabela de decisão do satélite GOES-R	135
APÊNDICE B: Teste de tabela de decisão da constelação COSMIC-2	137
APÊNDICE C: Teste de tabela de decisão do satélite LANDSAT-8.....	141
APÊNDICE D: Teste de tabela de decisão utilizado na identificação de anomalias e falhas	145
APÊNDICE E: CÓDIGO FONTE index.php.....	149
APÊNDICE F: CÓDIGO FONTE dashboard.php	153
APÊNDICE G: CÓDIGO FONTE GOES-R_Q8.php.....	191
APÊNDICE H: CÓDIGO FONTE CLIPS Regras_GOES-R.clp	197
APÊNDICE I: CÓDIGO FONTE Ano_COSMIC-2_Q9.php.....	203
APÊNDICE J: CÓDIGO FONTE CLIPS Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp .	209

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Kelso (2016), há atualmente 1.562 satélites artificiais na órbita da Terra. São missões espaciais de observação da Terra, científicas, meteorológicas e de comunicação que, diariamente, coletam dados do ambiente terrestre e do ambiente espacial e possibilitam a comunicação entre pontos remotos do globo terrestre.

1.1. COSMIC-1

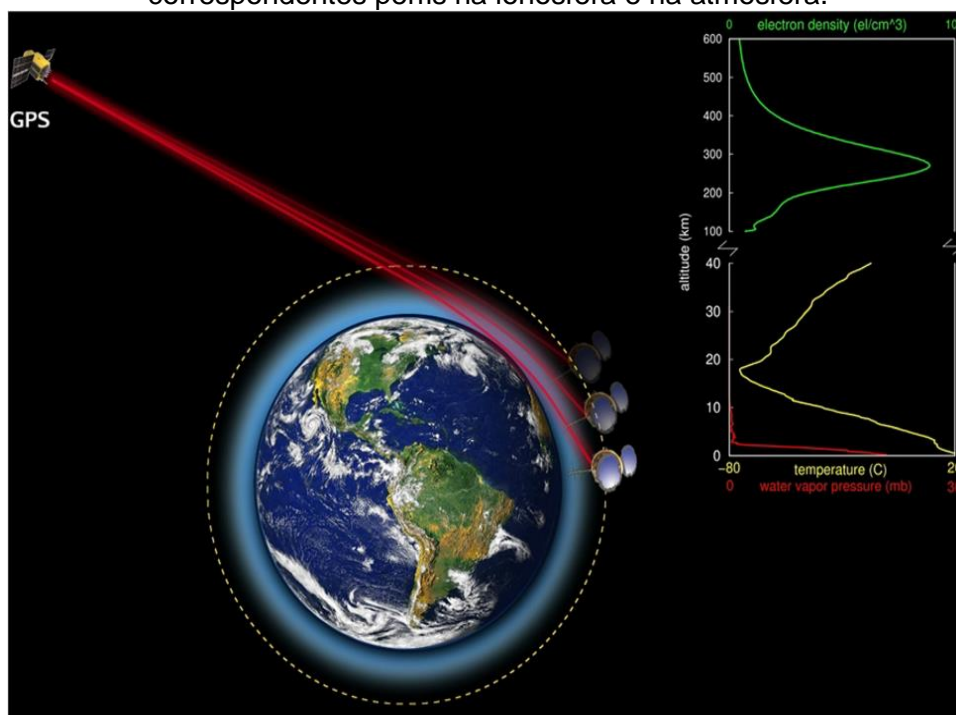
A constelação de satélites FormoSat-3/COSMIC-1 (*Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate*) é um projeto internacional que teve início em 1997 e contemplou, em 2006, o lançamento dos microssatélites FM-1, FM-2, FM-3, FM-4, FM-5 e FM-6.

A cooperação para desenvolvimento e operação dos satélites da constelação FormoSat-3/COSMIC-1 iniciou com a participação da NSPO (National Program Office Space) de Taiwan e da UCAR (*University Corporation for Atmospheric Research*) localizada na cidade de *Boulder*, Colorado, Estados Unidos.

Sua missão era demonstrar a importância dos dados obtidos, em tempo quase real, de Rádio ocultação baseado no sistema *Global Positioning System Radio Occultation* (GPS-RO, do inglês Radio Ocultação por Sistema de Posicionamento Global) para os usuários globais.

GPS-RO é uma técnica na qual os satélites transmissores de sinal GPS e os satélites receptores dos sinais GPS em órbitas *Low Earth Orbit* (LEO do inglês, Órbita Terrestre Baixa) estão localizados em lados opostos do limbo terrestre. Considerando esta geometria, o movimento orbital de ambos os satélites produz uma varredura do perfil vertical no limbo. Adicionalmente, esta técnica proporciona elevada precisão associada à alta resolução vertical de amostragem, usando comprimentos de onda que penetram a atmosfera terrestre em praticamente todas as condições (COOK et al., 2013). A Figura 1.1 ilustra a interceptação do sinal GPS pelos satélites da constelação COSMIC.

Figura 1.1: Demonstração da geometria observacional GNSS-RO e os correspondentes perfis na ionosfera e na atmosfera.



Fonte: Yue e Schreiner *et al.* (2014).

O objetivo geral do FormoSat-3/COSMIC-1 é estender a abordagem de pesquisa *low-cost* para medições de rádio ocultações através de refrações do sinal dos satélites GPS (para derivar importantes parâmetros na pesquisa de tempo e clima, incluindo a temperatura atmosférica, umidade e pressão). Os satélites da constelação FormoSat-3/COSMIC-1 coletam dados de sensoriamento remoto da atmosfera para previsão do tempo operacional, clima, ionosfera (monitoramento de clima espacial) e pesquisa Geodésia (FORMOSAT-3, 2015).

A constelação FormoSat-3/COSMIC-1 possui os instrumentos IGOR (*Integrated GPS Occultation Receiver*), TIP (*Tiny Ionosphere Photometer*) e CERTO/TBB (*Coherent Electromagnetic Radio Tomography/Triband Beacon Transmitter*).

O COSMIC-1 foi o primeiro sistema de satélites a fornecer em tempo quase real *snapshots* globais da atmosfera. Ele produz cerca de dois mil perfis com alta precisão diariamente - a maioria ocorrendo em regiões oceânicas com dados escassos (COSMIC PROGRAM OFFICE, 2015).

1.2. COSMIC-2

A constelação FORMOSAT-7/COSMIC-2 é uma colaboração internacional entre Taiwan (NSPO) e Estados Unidos (NOAA) que irá utilizar uma constelação de 12 microssatélites de sensoriamento remoto para coletar dados atmosféricos para previsão do tempo, ionosfera, clima e pesquisa sobre a gravidade (FORMOSAT-7, 2015).

O objetivo principal do COSMIC-2 é melhorar as capacidades de previsão do tempo regional e global (incluindo a previsão do tempo severo). O objetivo é coletar uma grande quantidade de dados atmosféricos e ionosféricos, principalmente para previsão operacional de tempo e monitoramento do clima espacial, bem como meteorologia, clima, ionosfera e pesquisa geodésica (FORMOSAT-7, 2015).

A constelação COSMIC-2 possui dois lançamentos programados. O COSMIC-2A está programado para ser lançado em setembro de 2017 e irá injetar seis satélites em órbita de 24 graus de inclinação (baixa inclinação, equatorial). O COSMIC-2B está programado para ser lançado em 2020 e irá injetar seis satélites em órbita 72 graus de inclinação (alta inclinação). A Figura 1.2 ilustra as características dos satélites da constelação COSMIC-2.

Figura 1.2 - Características da constelação COSMIC-2.

	First Launch	Second Launch
Mission Constellation	6 satellites	6 satellites with one NSPO built satellite [TBR]
Mission Orbit	Inclination 24 deg Parking altitude 720 km, Mission altitude 520-550 km Circular orbit	Inclination 72 deg Parking altitude 520 km, Mission altitude 720- 750 km Circular orbit
Mission Payload	Tri-band GNSS Receiver System (TGRS)	Tri-band GNSS Receiver System (TGRS)
Science Payloads	Radio Frequency Beacon instrument Ion Velocity Meter (IVM) instrument	Taiwan-furnished payload
Launcher	Falcon Heavy (rideshare) ESPA Grande Ring	Falcon-9, Falcon Heavy, or EELV (rideshare)
Launch schedule	2016 Q2	2018 (Q2/Q3, TBR)
Data Collection	Average 8,000 useful tropospheric data collections per day	
Maximum Daily Average Data Latency	45 minutes neutral atmospheric data, 30 minutes ionospheric data	
Communication Architecture	S-FTP Multicast via VPN Internet	
Ground Station	There shall be sufficient ground stations to meet the data latency requirement	
Data Processing Centers	US-DPC (UCAR) and Taiwan-DPC	

Fonte: Cook (2014).

A aquisição operacional dos dados dos satélites científicos COSMIC-2, que compreende seis satélites (COSMIC-2A) em órbita de 24 graus de inclinação e outros seis satélites (COSMIC-2B) em órbita de 72 graus de inclinação, trará diversos benefícios para o Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE) do INPE e para os parceiros internacionais NOAA e UCAR.

Serão 41 aquisições diárias e 615 MB de dados brutos da constelação COSMIC-2A e 26 aquisições diárias e 390 MB de dados brutos da constelação COSMIC-2B, totalizando 67 aquisições e 1.005 MB de dados brutos diariamente. A cada hora ocorrerá duas ou três aquisições dos dados brutos com acordo de nível de serviço (SLA) menor de 30 minutos contados a partir da coleta dos dados pelos sensores a bordo dos satélites da constelação COSMIC-2 (COSMIC-2A e COSMIC-2B).

De acordo com Cook (2014), o COSMIC-2 irá atingir as suas metas e objetivos interceptando não apenas os sinais dos satélites GPS americano, como também interceptará os sinais do sistema de navegação por satélite europeu chamado GALILEO e o sistema de navegação por satélite russo chamado *Global Navigation Satellite System* (GLONASS).

1.3. **GOES-R**

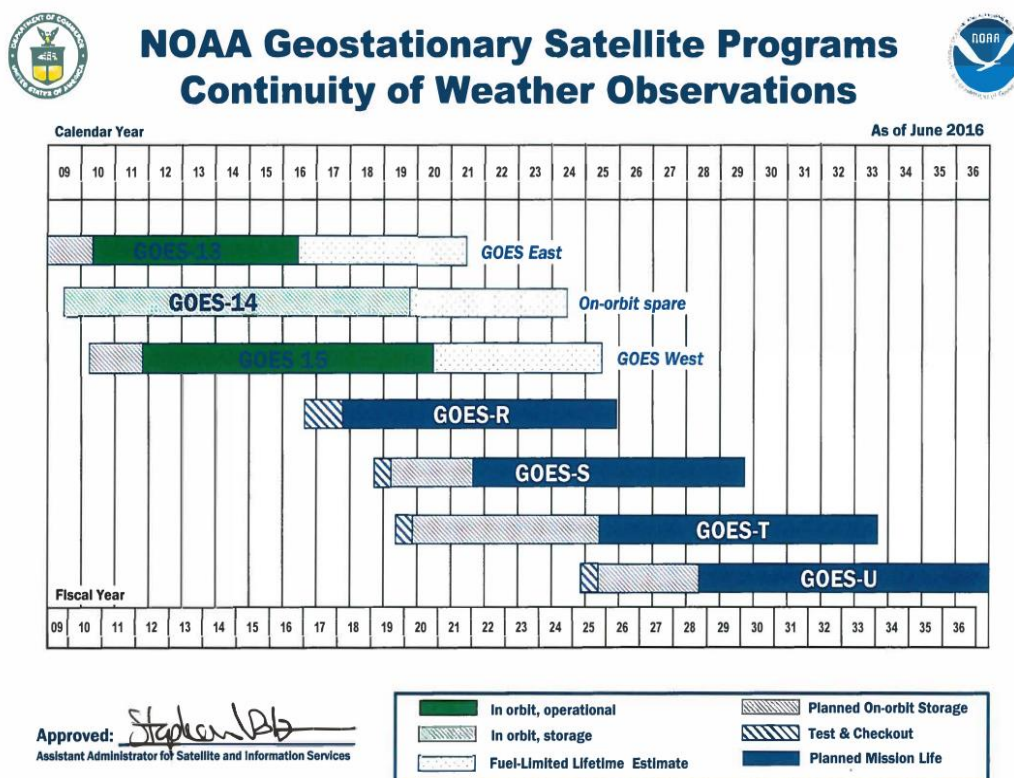
De acordo com NOAA (2014), a NOAA (do inglês, Administração Nacional do Oceano e Atmosfera) opera o sistema de satélites GOES (do inglês, Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário) para fornecer, de modo contínuo, imagens sobre o tempo, monitoramento meteorológico e monitoramento do clima espacial para proteção da vida e da propriedade nos Estados Unidos da América.

Atualmente há três satélites GOES em órbita. O satélite GOES-13 (GOES-N, O, P SATELLITES, 2016) foi lançado em 24 de maio de 2006, possui vida útil de 10 anos, período de 24 horas e está localizado a 75º oeste. Esse satélite também é conhecido como GOES leste.

O satélite GOES-15 (GOES-N, O, P SATELLITES, 2016) foi lançado no dia 04 de março de 2010, possui vida útil de 10 anos, período de 24 horas e está localizado a 135º oeste. Esse satélite também é conhecido como GOES oeste.

O satélite GOES-14 (GOES-N, O, P SATELLITES, 2016) foi lançado no dia 27 de junho de 2009, possui vida útil de 10 anos, período de 24 horas e está localizado em *orbit storage mode* (do inglês, órbita de armazenamento ou espera) a 105º oeste. Esse satélite é sobressalente e permitirá a aquisição dos dados e das imagens em caso de falha dos satélites GOES-13 ou GOES-15. A Figura 1.3 ilustra a estimativa do tempo de vida dos satélites GOES.

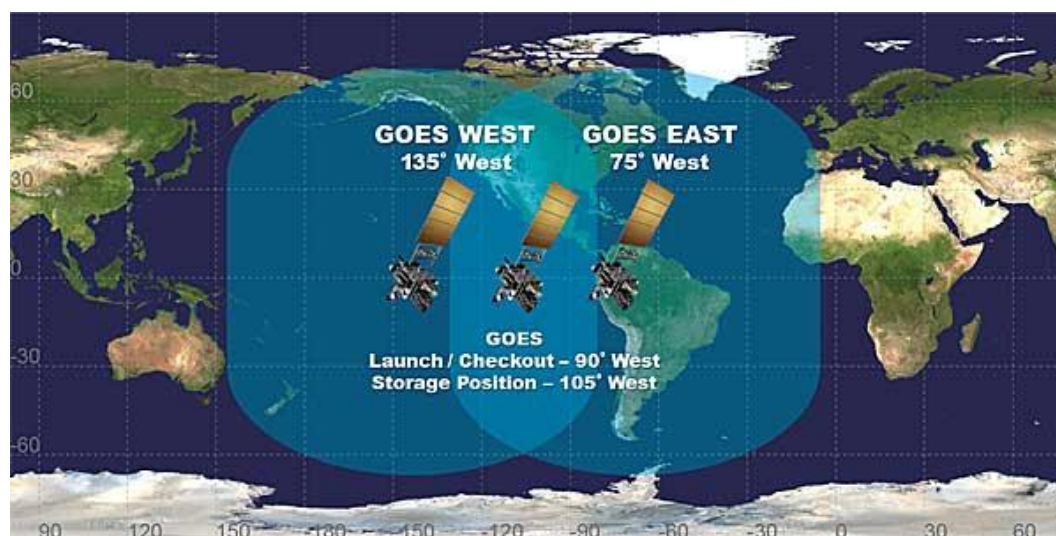
Figura 1.3 - Estimativa do tempo de vida dos satélites GOES.



Fonte: NOAA (2016).

A Figura 1.4 ilustra a posição atual dos satélites GOES-13, GOES-14 e GOES-15.

Figura 1.4 - Posição atual dos satélites GOES-13, GOES-14, GOES-15.



Fonte: NOAA (2016).

A série GOES-R é uma missão colaborativa entre a NOAA e a NASA. A série compreende o satélite GOES-R que foi lançado no 19 de novembro de 2016, o satélite GOES-S tem o lançamento previsto para o primeiro semestre de 2020, o satélite GOES-T tem o lançamento previsto para o primeiro semestre de 2025 e o satélite GOES-U tem o lançamento previsto para o primeiro semestre de 2028.

O segmento espacial do satélite GOES-R, renomeado GOES-16, compreende o satélite, as cargas úteis e o sistema para comunicação auxiliar.

De acordo com NOAA (2015), o principal instrumento a bordo do satélite é o *Advanced Baseline Imager (ABI)* que fornecerá imagens hemisférica, sinóptica, mesoescala para previsão do tempo global e CONUS para alertas de tempo severo. Os instrumentos secundários incluem o *Space Environment in-Situ Sensor Suite (SEISS)*, *Geostationary Lightning Mapper (GLM)*, *Solar Ultra-Violet Imager (SUVI)*, *Magnetometer*, *Extreme Ultraviolet and X-Ray Irradiance Sensors (EXIS)*. Adicionalmente, o GOES-R irá fornecer um conjunto de comunicação de serviço (Unique Payload Services) em apoio do Sistema de Coleta de Dados (DCS), *High-Rate Information Transmission (HRIT)*, *Search-and-Rescue Satellite Aided*

Tracking (SARSAT), e Emergency Managers Weather Information Network (EMWIN).

Segundo NOAA (2014), o segmento solo do satélite GOES-R vai operar a partir de três locais. A NOAA Satellite Operations Facility (NSOF), localizada em Suitland, Maryland, vai abrigar as funções primárias de gerenciamento da missão, rastreamento, telemetria e telecomando (TT&C), a operação da geração de produtos L2+ e a distribuição dos produtos L2+.

A NOAA Wallops Command and Data Acquisition Station (WCDAS), localizada na Ilha de Wallops, Virginia, irá fornecer serviços de comunicações espaciais e geração de produtos L1b.

A NOAA Remote Backup Facility (RBU), localizada em Fairmont, West Virginia funcionará como um backup completamente independente e distante geograficamente. Realizará as funções de gerenciamento da missão, geração e distribuição de produtos L1b, os *Key Performance Parameters* (KPPs), e *GOES Rebroadcast* (GRB) e propiciará operação remota a partir do NSOF e do WCDAS. A Figura 1.5 ilustra a arquitetura do satélite GOES-R.

Figura 1.5 - Arquitetura do satélite GOES-R.



Fonte: Mandt (2016).

O satélite GOES-R e a constelação COSMIC-2 são missões espaciais complexas e, dia após dia, observa-se a necessidade de disponibilizar os dados e imagens dos satélites no menor tempo possível.

Por outro lado, há perdas significativas de pessoal que vêm afetando atividades estratégicas e administrativas de rotina do INPE. A aposentadoria é um dos principais motivos da evasão de talentos do Instituto. Em consequência, há uma defasagem de pessoas qualificadas para as funções estratégicas (INPE, 2016).

Considerando que os recursos humanos e os recursos financeiros estão cada vez mais escassos, que houve redução do número de profissionais contratados pelo INPE durante os últimos anos, e a busca pela redução dos custos das missões espaciais, é de suma importância que as atividades operacionais sejam automatizadas sem comprometer a segurança e a disponibilidade dos dados.

Quando uma estação terrena de recepção não grava os dados brutos transmitidos pelo satélite surgem diversas questões como: Porque os dados brutos não foram gravados? Onde ocorreu o erro? É problema no segmento espacial ou no segmento solo? É um problema elétrico, mecânico, computacional ou um erro humano? O que devemos fazer para retornar a estação terrena de recepção à normalidade? É possível gravar a próxima passagem? Qual o tempo estimado de *downtime*?

Como hipótese básica, considera-se uso de técnica de inteligência artificial e de sistemas especialistas (capacidade multidisciplinar, preservação e reprodução do conhecimento, aumento na produtividade e na qualidade, resolução de problemas complexos, o uso em atividades críticas, etc.) para aperfeiçoar (atendimento ao SLA, número de passagens adquiridas com sucesso, menor tempo de parada das estações terrenas de recepção, etc.) as atividades de aquisição e disseminação de dados das plataformas orbitais operadas pelo INPE.

Com o intuito de buscar a solução para esses tipos de questionamentos e aconselhar o operador no momento de eventuais anomalias e falhas no

sistema de recepção, auxiliar no reparo e retorno do sistema de recepção às atividades normais em menor período de tempo e preservar o conhecimento nessa área de atuação, esse trabalho de pesquisa, utilizando o método de pesquisa *Design Science Research*, produz o protótipo PDAD-ES (*Payload Data Acquisition and Dissemination – Expert System*).

1.4. **Motivações**

O INPE tem larga experiência na recepção de dados brutos de plataforma orbitais. A gênese dessa atividade foi em 1973 com a instalação, no campus do INPE na cidade de Cuiabá - MT, de um sistema completo para recepção dos dados brutos do satélite ERTS-1, que posteriormente recebeu o nome de LANDSAT-1.

As atividades de operação para recepção dos dados brutos de satélites ainda requer muita intervenção humana. Quando alguma anomalia no sistema de recepção é detectada, seja anteriormente, durante ou posteriormente à passagem, é mandatório que o tempo de resposta seja o menor possível para o retorno às atividades operacionais. Entretanto, há anomalias que não ocorrem com frequência, o que dificulta o diagnóstico. Há ainda anomalias mais complexas que necessitam de consulta aos especialistas ou até mesmo consultas ao fabricante do sistema de recepção.

A aquisição dos dados brutos da constelação COSMIC-2 possui um fator diferencial e crítico em relação aos demais sistemas de satélites recebidos pelo INPE: a recepção e a disseminação dos dados brutos para os parceiros internacionais NOAA e UCAR e para o EMBRACE do INPE possui Acordo de Nível de Serviço (SLA) menor que 30 minutos contados a partir da aquisição dos dados coletados pelos sensores a bordo dos satélites da constelação COSMIC-2.

A aquisição dos dados brutos do satélite GOES-R será realizada a cada quinze minutos, totalizando 96 contatos por dia e aproximadamente 200 gigabytes diários de dados L1b (GRB). Comparando o GOES-R com o

GOES legado (GOES-13, GOES-14 e GOES-15) a resolução espectral é três vezes maior, a resolução temporal é seis vezes maior e a resolução espacial é quatro vezes maior.

Adquirir os dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2 e do satélite GOES-R e disponibilizá-los em menor tempo possível será, sem dúvida, um grande desafio para o INPE.

Quando uma estação terrena de recepção está indisponível para aquisição de dados brutos de plataformas orbitais, os dados brutos não são gravados, acarretando perda dos dados e, conseqüentemente, afetando a missão institucional do INPE. É necessário um sistema especialista capaz de identificar anomalias e falhas nos sistemas de recepção e disseminação de dados dos satélites operados pelo INPE.

Finalmente, porém com mesma importância, é necessário que o percentual de aquisições – com sucesso - de dados brutos de satélites seja superior a 95% das passagens programadas. Essa métrica é baseada no conhecimento tácito adquirido durante quatro décadas de trabalho nessa área de atuação do INPE.

1.5. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento e a verificação de um protótipo do sistema especialista PDAD-ES (*Payload Data Acquisition System – Expert System*) para auxiliar na pronta resposta às anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção, na configuração dos sistemas e subsistemas de aquisição de dados brutos, no treinamento dos profissionais, na codificação do conhecimento tácito e na preservação do conhecimento explícito.

O PDAD-ES é um protótipo de um sistema especialista utilizado para o aconselhamento do Operador na aquisição e na disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8 (LANDSAT-8, 2016), na configuração dos sistemas e subsistemas da

estação terrena de recepção e na capacitação dos profissionais e colaboradores do INPE.

O PDAS-ES contempla conhecimento de diferentes áreas da ciência como elétrica, mecânica, computação, sistemas espaciais e poderá ser utilizado no gerenciamento de decisões, diagnóstico de problemas de operação, projeto e configuração, monitoramento e controle de processos.

A interface de usuário do PDAD-ES possui funcionalidades para o acompanhamento das passagens programadas, o armazenamento dos dados brutos, o Acordo de Nível de Serviço (SLA) e as estatísticas das passagens adquiridas. Essas funcionalidades auxiliam o operador nas atividades frequentes de aquisição e disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8.

O PDAD-ES é codificado com a linguagem de programação híbrida denominada CLIPS que foi desenvolvida pela NASA em 1985 (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 1997). A integração do CLIPS com a linguagem de programação PHP foi realizada através da extensão PHLIPS (THE PHLIPS PROJECT, 2005). A interface do usuário do sistema especialista é codificada nas linguagens de programação HTML (COTTRELL, 2011), PHP (NIXON, 2015), *Java Script* (NIXON, 2015) e com as ferramentas para desenvolvimento web CSS (NIXON, 2015), *jQuery* (NIXON, 2015), *sublime text* (SUBLIME TEXT, 2016) e bootstrap (BOOTSTRAP, 2016).

Outras missões espaciais operadas pelo INPE como o CBERS-4, o NOAA-19, o NOAA-18, o GOES-13, o GOES-15, o AQUA, o TERRA, o RESOURCESAT-2 e o FY-3C podem ser incluídas no sistema especialista PDAD-ES.

1.6. Metodologia

A metodologia adotada na elaboração desse trabalho foi estruturada em cinco fases:

Primeira fase: selecionar e revisar a literatura sobre sistemas de solo, normas ECSS e CCSDS, documentação e artigos sobre os satélites GOES-R, LANDSAT-8 e COSMIC-2, inteligência artificial, sistemas especialistas, artigos científicos, métodos de pesquisa científica e trabalhos relacionados a este.

Segunda fase: pesquisar a arquitetura de um sistema especialista, o motor de inferência, os métodos de raciocínio com encadeamento progressivo (*forwarding chaining* ou *data-driven*) e encadeamento regressivo (*backward chaining* ou *query-driven*) e os algoritmos RETE e Markov.

Terceira fase: pesquisar sobre a aquisição do conhecimento, elemento fundamental de um sistema especialista e estudar as ferramentas para construção de sistemas especialistas. Investigar e comparar as *shells*, considerando o tipo de licença de fornecimento da *shell*, a possibilidade de integração com a *WWW*, a documentação disponível e os releases recentes do Expert Sinta (LIA, 1999), do FuzzyCLIPS (FuzzyCLIPS, 2015), e das linguagens de programação híbridas JESS (JESS RULES, 2013) e CLIPS. Estudar a extensão PHLIPS para integração da linguagem de programação CLIPS e com a linguagem de programação PHP. Descrever o estado da arte em trabalhos relacionados.

Quarta fase: identificar as possíveis anomalias no segmento solo e no segmento espacial. As anomalias serão categorizadas por segmento, pelo tipo do problema e pelos impactos de cada uma no sistema como um todo. Estudar sobre o processo de configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R. A base de conhecimento do protótipo PDAD-ES poderá ser acrescida com conhecimento à medida que problemas ou anomalias desconhecidas ocorrerem e/ou quando houver aquisição de dados brutos de outros satélites de interesse do INPE.

Quinta fase: construir o protótipo PDAD-ES com a linguagem CLIPS e integrar ao PHP através da extensão PHLIPS. Realizar a verificação

através dos testes de caixa preta e teste de caixa branca. A interface do usuário que possibilita, dentre outras funcionalidades, o acesso web a partir das unidades do INPE de Cuiabá-MT, Natal – RN e Cachoeira Paulista – SP, também será verificada nesse trabalho.

2 SEGMENTO SOLO

Um sistema espacial é composto por satélites artificiais, telescópios, espaçonaves, sondas interplanetárias, etc. e propiciam o estudo e a melhor compreensão do espaço sideral, do planeta Terra e também de outros planetas. Há espaçonaves como a *Space Transportation Shuttle* (STS) (Space Shuttle, 2016) e a *Soyuz* (Soyuz, 2016) que possibilitam transporte de carga e pessoal da Terra para o espaço e vice-versa.

As missões espaciais compreendem basicamente três segmentos: Segmento Lançador, Segmento Espacial e Segmento Solo.

O segmento lançador é composto pelo veículo lançador com um ou mais estágios e de infraestrutura de apoio em solo.

O segmento espacial é composto pelo satélite (plataforma) ou espaçonave e seus instrumentos (carga útil) que coletam dados do planeta Terra ou do Espaço. A plataforma do satélite é constituída pelos subsistemas de suprimento de energia (*Power*), comunicação de serviço (*Telemetry, Tracking and Command*), gestão de bordo (*Command and Data Handling*), determinação e controle da atitude (*Attitude Determination and Control*), estrutura e mecanismos (*Structures and Mechanisms*), controle térmico (*Thermal*) e sistema de propulsão (*Propulsion*).

Um satélite é dividido basicamente em duas partes: a carga útil e a plataforma. Há missões espaciais com apenas uma carga útil, como é o caso do satélite Deimos-2 com a câmera HiRAIS (*High Resolution Advanced Imaging System*) e do satélite UK-DMC-2 (UK-DMC-2, 2016) com a câmera SLIM6 (*Surrey Linear Imager Multispectral 6*).

Há também sistemas espaciais com múltiplos sensores, como é o caso do satélite Sino-Brasileiro CBERS-4 que possui os instrumentos SEM e DCS e as câmeras MUX, WFI, IRS e PAN e do satélite americano LANDSAT-8 (LANDSAT-8, 2016) que possui as câmeras OLI e TIRS.

As missões espaciais também podem conter diferentes tipos de instrumentos, como é o caso do satélite geoestacionário GOES-13 que possui a câmera *IMAGER* e os instrumentos SEM, SOUNDER e SXI.

Dentre os satélites com órbita geoestacionária destaca-se o novo satélite da família GOES denominado GOES-R. Após o lançamento com sucesso, o satélite GOES-R foi renomeado para GOES-16.

De acordo com Mandt (2016), o satélite GOES-R irá proporcionar melhorias significativas na detecção e observações de fenômenos meteorológicos que afetam diretamente a segurança pública, a proteção da propriedade, a saúde econômica e a prosperidade da nossa nação.

O satélite GOES-R possui múltiplos instrumentos e múltiplos propósitos. Ele possui os instrumentos *Advanced Baseline Imager (ABI)*, *Space Environment in-Situ Sensor Suite (SEISS)*, *Geostationary Lightning Mapper (GLM)*, *Solar Ultra-Violet Imager (SUVI)*, *Magnetometer*, *Extreme Ultraviolet and X-Ray Irradiance Sensors (EXIS)*.

Segundo Wertz e Larson (1999), as missões espaciais envolvem dois tipos distintos de dados - dados de missão e dados sobre o estado de operação (órbita e atitude, temperatura e carga das baterias, condições dos subsistemas) da espaçonave e dos instrumentos a bordo da mesma.

Os dados de missão ou de carga útil são os dados adquiridos pelos instrumentos a bordo da missão espacial que podem ser armazenados temporariamente no gravador de bordo e transferidos posteriormente para as estações terrenas de recepção. Os dados de carga útil também podem ser adquiridos e transmitidos em tempo real para as estações terrenas de recepção.

Os dados de carga útil possuem tamanhos que podem variar de megabytes a gigabytes e, após a transmissão desses dados do satélite para a estação terrena de recepção, o processamento e o arquivamento, eles são disponibilizados para os usuários finais.

De acordo com ECSS (2008), o segmento solo é constituído por sistemas de solo necessários para a preparação e execução da operação da missão. O segmento solo compreende todos os sistemas de solo (e.g. EGSE) que são utilizados na preparação das atividades operacionais da missão, na operação da missão propriamente dita e nas atividades pós-operacionais.

O segmento solo apoia o segmento espacial (espaçonaves e cargas úteis) e disponibiliza, para os usuários, os dados de missão gerados pelos instrumentos e transferidos da espaçonave para a estação terrena (WERTZ e LARSON, 1999).

O segmento solo é composto por estações terrenas fixas e móveis dispostos ao redor do mundo que são conectadas por diversos enlaces de rede de dados. Ele nos permite comandar e rastrear a espaçonave, receber e processar as telemetrias e os dados de missão, e distribuir esses dados para os operadores e para os usuários (WERTZ e LARSON, 1999).

O segmento solo compreende as estações terrenas e os centros de controle que trabalham em conjunto para apoiar o veículo espacial e os dados dos usuários (WERTZ e LARSON, 1999).

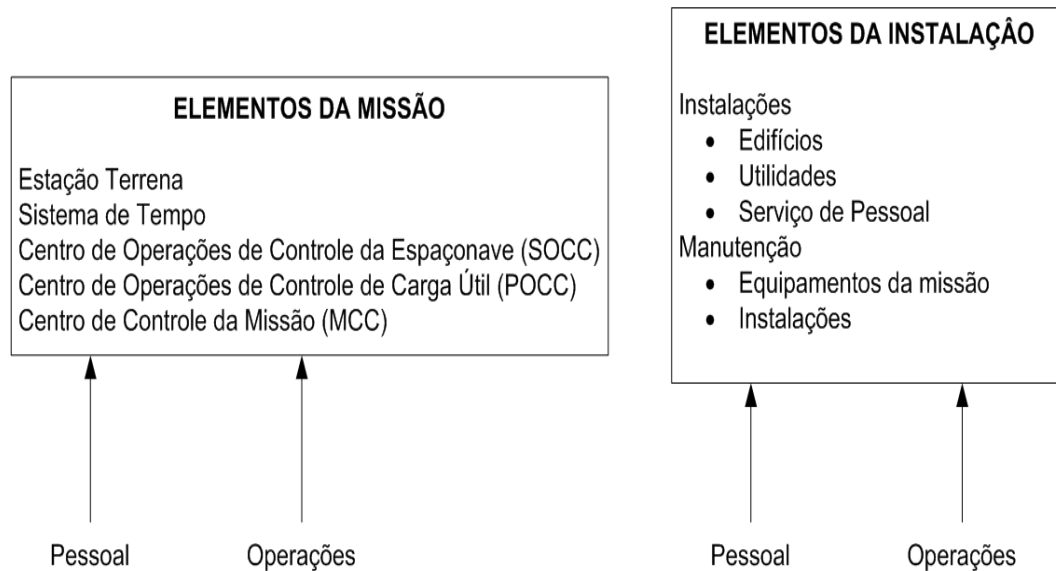
De acordo com ECSS (2008), sistemas de solo e operações são elementos-chave de um sistema espacial e desempenham um papel essencial para alcançar o sucesso da missão. O sucesso da missão é definido como a realização dos objetivos da missão expressos em termos de quantidade, qualidade e disponibilidade dos produtos e serviços da missão disponíveis dentro de um determinado custo.

2.1. Elementos básicos do segmento solo

De acordo com Wertz e Larson (1999), o segmento solo consiste em elementos da missão e elementos de instalação. Elementos da missão controlam o segmento espacial ou tratam os dados da missão. Elementos

de instalação apoiam ou são auxiliares dos elementos da missão. A Figura 2.1 ilustra os elementos da missão e os elementos de instalação.

Figura 2.1 - Elementos do segmento solo



Fonte: Adaptado de Wertz e Larson (1999).

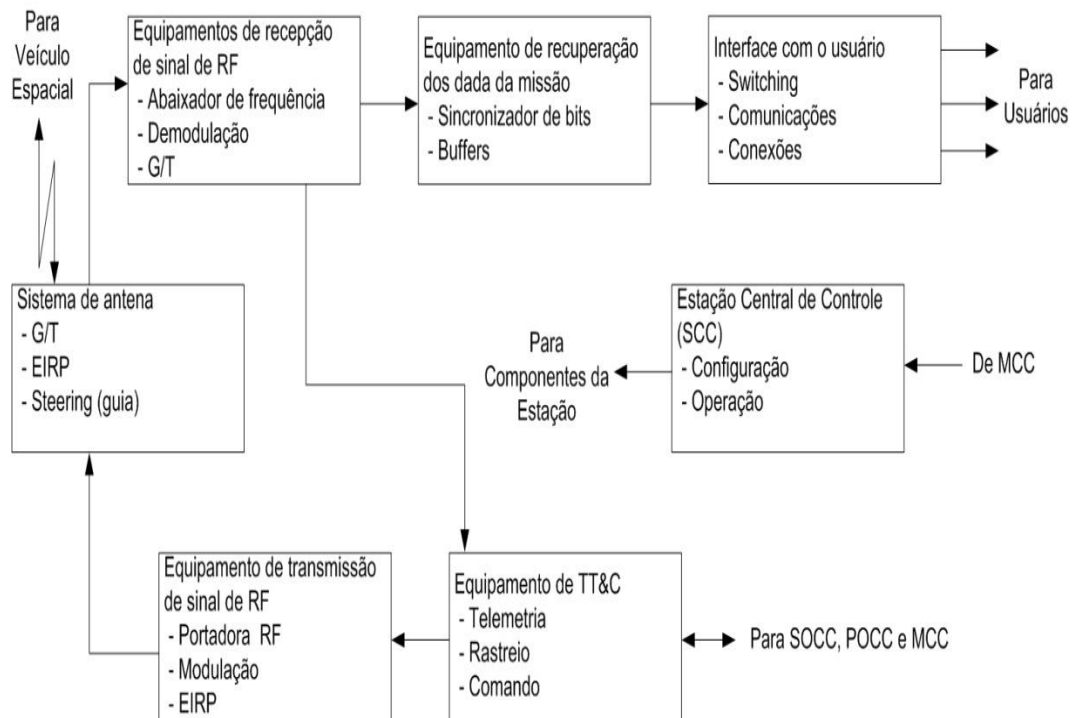
A estação terrena é o ponto no planeta Terra utilizado na comunicação com o segmento espacial para as atividades de rastreo e controle. Ela também recebe os dados de missão do veículo espacial e de seus instrumentos e transfere esses dados para os usuários (WERTZ e LARSON, 1999).

Segundo ECSS (2008), as estações terrenas propiciam o enlace entre a Terra e o segmento espacial em órbita e apoia as seguintes atividades:

- ✓ Recepção, armazenamento e distribuição dos dados de telemetria;
- ✓ Transmissão de telecomandos;
- ✓ Rastreo, medidas de distância, medidas de *Doppler* e aquisição de dados meteorológicos;
- ✓ Monitoramento e controle da estação;
- ✓ Gerenciamento do tempo;
- ✓ Gerenciamento da rede e agendamento;
- ✓ Distribuição dos dados;
- ✓ Manutenção do sistema.

A Figura 2.2 ilustra os elementos de uma estação terrena básica.

Figura 2.2 - Estação Terrena básica.



Fonte: Adaptado de Wertz e Larson (1999).

Um sistema de antena inclui a antena, a montagem, os atuadores eletromecânicos, consoles, o *servo controller* que controla a antena, o *feed* (do inglês, alimentador) os cabos de transmissão que transportam os sinais de rádio frequência entre os equipamentos de rádio frequência (WERTZ e LARSON, 1999). As antenas de recepção de dados de satélites de órbita quase polar instaladas no INPE possuem o modo programado e o modo *auto-tracking*, que utiliza o sinal recebido para guiar a antena.

Os equipamentos de recepção de sinal de rádio frequência (RF) recebem a portadora de enlace de descida (*downlink*) através da antena, abaixa a frequência transmitida para a Frequência Intermediária (FI) e demodula o sinal para banda base (WERTZ e LARSON, 1999).

O segmento solo compreende basicamente três tipos de centro de controle:

- a) O *Mission Control Center* (MCC, do inglês Centro de Controle da Missão) planeja e opera toda a missão espacial, incluindo a

configuração e a programação de recursos para o sistema espacial e para o sistema de solo (WERTZ e LARSON, 1999).

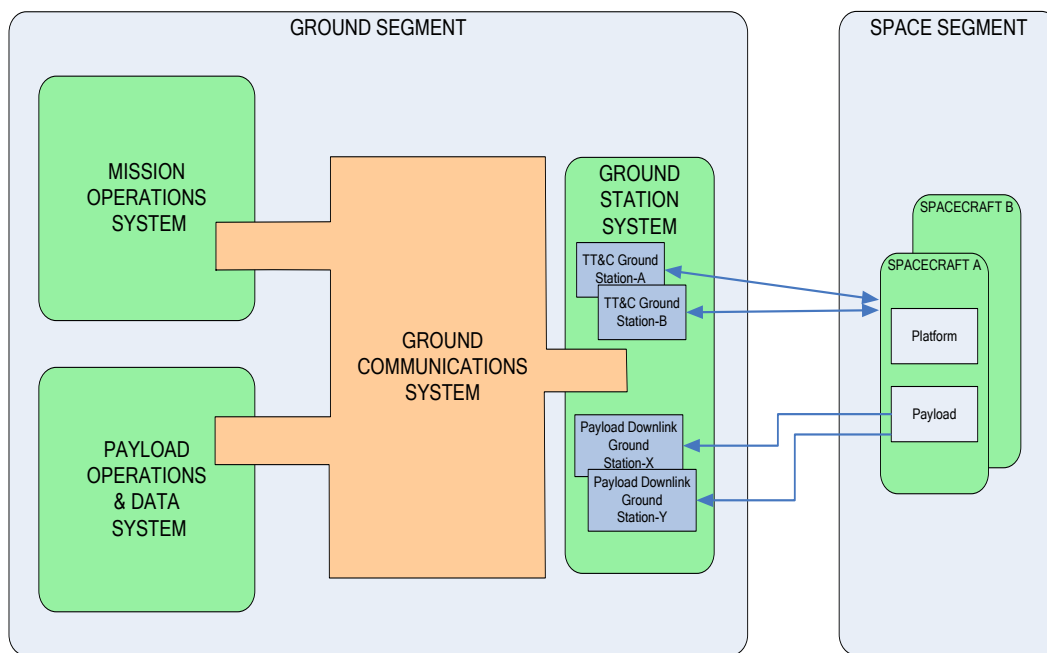
- b) O *Spacecraft Operations Control Center* (SOCC, do inglês Centro de Operações de Controle da Espaçonave) monitora e controla a plataforma do veículo espacial e seus subsistemas, em oposição aos instrumentos ou cargas úteis a bordo, os quais são controlados pelo POCC. O SOCC analisa as telemetrias da espaçonave e, quando necessário, analisa as telemetrias e os dados de missão dos instrumentos nos quais podem afetar a atitude e dinâmica da espaçonave. Como o SOCC é único segmento terrestre que comanda diretamente a espaçonave, ele coordena e controla o acesso do POCC (WERTZ e LARSON, 1999).
- c) O *Payload Operations Control Center* (POCC, do inglês Centro de Operações de Controle de Carga Útil) analisa as telemetrias e os dados da missão coletados pelos instrumentos a bordo e também envia telecomandos para esses instrumentos. Os comandos submetidos pelo POCC dependem da aprovação do MCC e da coordenação do SOCC (WERTZ e LARSON, 1999).

De acordo com ECSS (2008), o segmento solo tipicamente consiste nos seguintes sistemas de alto nível que podem estar distribuídos em vários centros, dependendo da arquitetura do segmento de solo escolhido:

- Operação da missão;
- Operação da carga útil e sistema de dados;
- Estações terrenas;
- Sistema de comunicação em solo.

A Figura 2.3 ilustra um sistema de solo típico.

Figura 2.3 - Típico sistema de solo.



Fonte: ECSS (2008).

Segundo Wertz e Larson (1999), a Operação da missão é um sistema integrado que compreende as pessoas, os procedimentos, hardware e software. É o conjunto de atividades realizadas pela equipe de Operação durante a fase de voo da missão, em conjunto com as atividades de projeto das operações que são executadas durante a fase de pré-lançamento, incluindo o desenvolvimento do CONOPS (*Concept of Operations, do inglês, conceito de operações*) da missão, políticas, fluxos de dados, planos de capacitação, pessoal, e estimativas de custos.

De acordo com Wertz e Larson (1999), a automatização de algumas dessas funções pode levar a custos operacionais mais baixos e, na maioria dos casos, menores custos durante o ciclo de vida da missão.

2.2. Segmento solo do INPE

O segmento solo do INPE é dividido em controle da missão e aquisição de dados de carga útil. A recepção dos dados de carga útil de satélite iniciou em 1973 com a recepção e gravação dos dados do satélite americano ERTS-1, posteriormente rebatizado de LANDSAT-1.

O INPE, similar a ESA (ESA, 2016), possui um grande número de estações para recepção de dados brutos de missões espaciais internacionais (*Third Party Missions*). Cada estação terrena de recepção de dados brutos instalada no INPE possui sua idiossincrasia como, por exemplo, a frequência do espectro eletromagnético utilizada no enlace de descida (Banda X, Banda L, Banda S ou Banda C), a polarização (LHCP, RHCP), o tipo de modulação utilizada, o tamanho do refletor da antena, o G/T, etc.

De acordo com Barbosa, Lazaro e Narvaes (2015), atualmente a Estação de Recepção e Gravação de dados do INPE possui duas antenas Banda X para recepção e gravação dos dados brutos dos satélites Landsat-8, Landsat-7, Resourcesat e S-NPP (Suomi National Polar-Orbiting Partnership); uma antena banda X para recepção e gravação dos dados brutos dos satélites AQUA e Terra; e duas antenas Banda L para recepção e gravação dos dados brutos dos satélites meteorológicos NOAA-16, NOAA-18, NOAA-19 e MetOp-B.

Em 2015 uma nova estação terrena de recepção de dados brutos foi instalada na unidade do INPE em Cuiabá-MT. Essa estação terrena de recepção compreende uma antena Banda S de 3m de diâmetro, o conversor descendente de sinal de RF, o receptor ZDS cortex CRT-Q, o ZDS cortex ACU e receptor GPS. Essa estação terrena de recepção será utilizada para aquisição dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2.

Está prevista a aquisição de uma nova estação terrena de recepção dos dados brutos do satélite GOES-R. Esse satélite possui órbita geoestacionária e transmitirá os dados GRB, a cada 15 minutos. Após a recepção e o armazenamento dos dados GRB, inicia-se o processamento dos mesmos. A saída do processamento compreende produtos L1b e L2+ que serão disponibilizados, em tempo quase real, para as áreas de meteorologia, Ciência espacial, Observação da Terra, Ciência do sistema terrestre e para diversas organizações no Brasil e na América do Sul.

As atividades de controle e operação da missão, das estações terrenas de TT&C e do sistema de comunicação em solo são realizadas pelo Centro de Controle e Rastreo de satélites (CRC).

O CRC foi criado inaugurado em 1988 e é responsável pelo controle dos dois satélites SCD (Satélite de Coleta de Dados), o CRC viria, a partir de 2001 a fazer o controle compartilhado com a China dos satélites da série China-Brazil Earth Resources Satellites (CBERS) (INPE, 2007).

O Centro de Rastreo e Controle de Satélites (CRC) é um conjunto de instalações, sistemas e equipes que permitem ao INPE operar em órbitas todas as suas missões espaciais, bem como dar suporte às missões espaciais de outros países. O CRC é constituído pelo Centro de Controle de Satélites (CCS) em São José dos Campos (SP) e pelas duas Estações de Rastreo e Controle: uma na unidade do INPE em Cuiabá (MT) e a outra na unidade do INPE em Alcântara (MA) (INPE, 2011).

As estações terrenas de rastreo e controle, bem como o Centro de Rastreo Controle de Satélite são conectados através de uma rede dedicada de comunicação de dados.

Todas as ações de controle são planejadas, coordenadas e executadas a partir do CCS. Pouco antes do início de cada período de visibilidade de um satélite à estação de rastreo primária (Cuiabá), o CCS conecta-se à estação por meio da rede de comunicação de dados, ficando habilitado a receber, em tempo real, os dados de telemetria contidos no sinal do satélite, bem como enviar telecomandos ao veículo e comandar a execução de medidas de rastreo (ORLANDO e KUGA, 2007).

O sistema de comunicação provê interconexão entre os sistemas, como por exemplo, a conexão entre as estações terrenas e o Centro de Controle. De acordo com ECSS (2008), as principais atividades do sistema de comunicação são:

- ✓ Distribuição de dados;
- ✓ Comunicação de voz e vídeo;
- ✓ Manutenção do sistema.

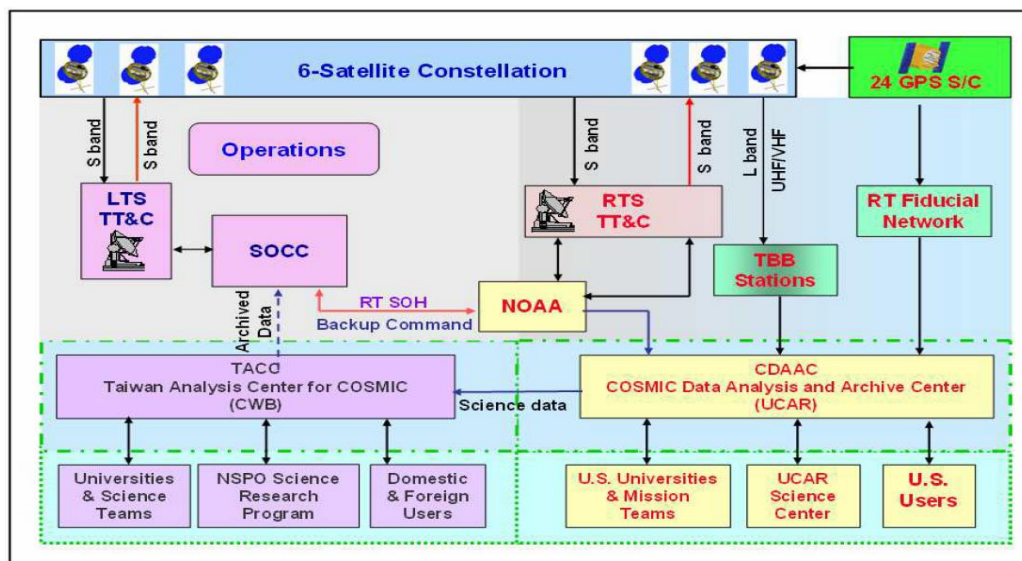
As estações terrenas de rastreo e controle têm a função de estabelecer comunicação entre o sistema de controle de solo e os satélites controlados durante os períodos que estes sobrevoam a região de visibilidade de suas antenas de rastreo (ORLANDO e KUGA, 2007).

2.3. Sistema de solo da Constelação COSMIC-2

O sistema de solo da constelação COSMIC-2 compreende:

- As estações de TT&C de *Chung-Li* e *Tainan* as quais possuem transmissão e recepção de dados em Banda S;
- O SOCC (*satellite Operations Control Center*) e o TACC (*Taiwan Analysis Center for COSMIC*) sob a responsabilidade da NSPO de Taiwan;
- As estações internacionais RTS (*Remote Tracking Stations*) que possuem transmissão e recepção de dados em Banda S e;
- O CDAAC (*COSMIC Data Analysis and Archive Center*) nos Estados Unidos. A Figura 2.4 ilustra a arquitetura do sistema de solo da constelação COSMIC-2.

Figura 2.4 – Sistema de solo da constelação COSMIC-2.



Fonte: Yen et al. (2010).

O INPE assinou um *MoU* (Memorandum of Understanding, do inglês, memorando de entendimento) com a agência americana NOAA e será uma *Remote Tracking Stations* (RTS), o qual possibilitará a recepção e disseminação dos dados brutos da constelação COSMIC-2 no Brasil.

Os satélites da constelação de satélites COSMIC-2 terão 67 enlaces de descida (*downlink*) por dia, o que contribuirá para redução da latência dos dados. Os dados adquiridos pelas estações de recepção serão transferidos através da Internet para o USDMS (*United States Data Management System*, do inglês, Sistema de Gerenciamento dos Dados dos Estados Unidos) e para programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.

A estação terrena de recepção dos dados brutos dos instrumentos TriG, IVM, RF *Beacon* a bordo dos satélites da constelação COSMIC-2 foi instalada no campus do INPE em Cuiabá e compreende:

- a) Antena SPART;
- b) Conversor descendente de sinal (*downconverter*);
- c) Zodiac Data Systems Cortex CRT-Q;
- d) Zodiac Data Systems Cortex ACU;
- e) Gerador de tempo e frequência GPS.

O sistema da antena SPART compreende um refletor de 3m de diâmetro, um alimentador (*feed*), em Banda S, com frequências entre 2200MHZ e 2300MHZ e polarização LHCP, o amplificador de baixo ruído (LNA) e o pedestal com os motores, redutores e os *encoders*. A Figura 2.5 ilustra antena SPART de 3 metros de diâmetro.

Figura 2.5 - Antena SPARTE 3m de diâmetro.



Fonte: Produção do autor.

O conversor descendente de sinal (*downconverter*) possibilita a conversão da frequência de 2215.0 MHz (Banda S) que será transmitida pelos satélites da constelação COSMIC-2 para a frequência intermediária (IF) de 70 MHz e será a entrada para o receptor ZDS Cortex CRT-Q. De acordo com Frenzel (2013), a conversão de frequência é o processo de traduzir um sinal modulado para uma frequência maior ou menor, mantendo toda a informação transmitida originalmente.

Os instrumentos dos satélites da constelação COSMIC-2 coletam dados do ambiente espacial e transmitem esses dados para as estações de recepção localizadas em diferentes pontos do globo terrestre.

Antes do satélite transmitir os dados coletados pelos seus instrumentos, é necessário utilizar as técnicas de modulação. Segundo Wertz e Larson (1999), a modulação é o processo no qual um sinal de entrada varia entre as características de uma portadora de rádio frequência (geralmente uma onda sinusoidal). Essas características são amplitude, fase, frequência e polarização.

De acordo com Horowitz e Hill (1989), há basicamente duas razões para utilizar a modulação. Em primeiro lugar, se a informação for transmitida na

sua banda de frequência natural em ondas de rádio, sinais podem sobrepor ou tocar uns aos outros. Em segundo lugar, porque alguns comprimentos de onda são mais convenientemente gerados e propagados do que outros.

O tipo de modulação usado para transmissão dos dados de um determinado satélite para a estação terrena de recepção é definida durante a fase de desenvolvimento do satélite. Por exemplo, a constelação COMISC-2 utiliza a modulação BPSK (*Binary Phase-Shift Keying*), frequência de 2215.0 MHz (Banda S) e taxa de transmissão de 2Mbps, enquanto que o satélite LANDSAT-8 utiliza a modulação OQPSK (*Offset-keyed Quadrature Phase Shift Keying*), frequência de 8200.5MHz (Banda X) e taxa de transmissão 440Mbps.

A modulação por deslocamento de fase (PSK, do inglês modulação por deslocamento de fase) é um esquema de modulação digital em que a fase da portadora é variada de modo a representar os níveis 0 e 1, sendo que durante cada intervalo de bit esta permanece constante. A amplitude e a frequência permanecem sempre inalteradas. Exemplo: Uma fase 0 graus representa o binário 0, enquanto uma fase 180 graus representa 1 (Modulação por deslocamento de fase, 2015).

A estação terrena de recepção, através de um equipamento denominado receptor, realiza a demodulação. Segundo Wertz e Larson (1999), a demodulação do sinal no receptor consiste na medição da variação das características da portadora recebida e na dedução do sinal original.

A antena SPART é controlada pelo ZDS Cortex ACU (do inglês, unidade de controle da antena) onde é possível, dentre outras funções, configurar o azimute, a elevação, o posicionamento, o rastreamento automático (*auto tracking*), inserir os dados de efemérides do satélite, selecionar a polarização (LHCP ou RHCP), a posição de descanso da antena, etc.

A Tabela 2.1 mostra as características da estação terrena de recepção de dados, Banda S, para aquisição dos dados brutos das constelações de satélites COSMIC-2.

Tabela 2.1 - Características da estação terrena de recepção Banda S.

Localização	Cuiabá - MT Lat.: -15.554974°e Long.: -56.070441°	
Elevação	233m	
Tamanho do refletor	3m de diâmetro	
Banda	Banda S	
G/T	> 12,5 dB/K (a 2.24 GHz e 5° de elevação)	
<i>Feed / Downconverter</i>	Ganho	33 dBi (<i>feed</i>) > 12,5 dB/K (a 2.24 GHz e 5° de elevação)
	Polarização	LHCP
	Entrada	2.20 a 2.30 GHz
Receptor ZDS Cortex CRT-Q	Demodulação	PCM/PM, PCM/FM, BPSK, QPSK, OQPSK, SOQPSK, GMSK ou AQPSK.
	IF	70MHz
	Formatos	CADU
ZDS cortex ACU	Gerenciamento dos eixos X e Y; <i>Servo Control</i> ; Limites angulares; Posicionamento manual; <i>slew rate</i> ; modo programado; <i>auto-track</i> ; <i>step-track</i> ; <i>stow</i> .	

Fonte: Produção do autor.

2.4. Sistema de solo do satélite GOES-R

De acordo com NOAA (2015), o segmento solo do satélite GOES-R recebe os dados brutos, adquiridos pelos instrumentos e transmitidos pelo satélite GOES-R através do enlace de descida, realiza o processamento dos dados brutos para o nível L1b, retransmite os dados nos níveis L1b e L2+, através do enlace de subida, para o satélite GOES-R utilizando o formato GRB. O satélite GOES-R possui a função para retransmissão dos dados GRB para as estações terrenas de recepção no campo de visada hemisférica do satélite.

O GOES-R irá utilizar as frequências em Banda X para possibilitar as transmissões com alta taxa de dados exigidos pelos instrumentos avançados a bordo do satélite. O enlace de subida será em Banda S semelhante às frequências utilizadas pelos satélites GOES que estão operacionais atualmente. A comunicação do espaço para Terra, enlace de descida, será nas frequências em Banda L para transmissão dos dados GRB e *downlinks* de telemetrias de engenharia (NOAA, 2014).

O INPE planeja a aquisição de uma estação terrena para recepção operacional dos dados GRB (*GRB users*) que serão retransmitidos pelo satélite GOES-R e processados, inicialmente, pelo software *Community Satellite Processing Package for Geostationary Data* (CSPP Geo). A Figura 2.6 ilustra algumas características do satélite GOES-R e dos satélites GOES-13 e GOES-15.

Figura 2.6 - Características do GOES-R.

	GOES Variable (GVAR)	GOES Rebroadcast (GRB)
Full Disk Image	30 Minutes	5 Minutes (Mode 4) 15 min (Mode 3)
Other Modes	Rapid Scan, Super Rapid Scan	3000 km X 5000 km (CONUS: 5 minute) 1000 km X 1000 km (Mesoscale: 30 seconds)
Polarization	Linear	Dual Circular Polarized
Receiver Center Frequency	1685.7 MHz (L-Band)	1686.6 MHz (L-Band)
Data Compression	None	Lossless Compression
Data Rate	2.11 Mbps	31 Mbps
Antenna Coverage	Earth Coverage to 5°	Earth Coverage to 5°
Data Sources	Imager (5 bands), Sounder, Magnetometer	ABI (16 bands), GLM, SEISS, EXIS, SUVI, MAG
Space Weather	None	~2 Mbps
Lightning Data	None	~0.5 Mbps

Fonte: NOAA (2016).

A estação terrena para recepção dos dados GRB transmitidos pelo satélite GOES-R contemplará um sistema de antena com refletor de aproximadamente 4,5m de diâmetro, alimentador com dupla polarização (LHCP e RHCP), codificação BCH e LDPC, modulação primária de 8PSK, modulação alternada de QPSK, G/T mínimo de 15.2 dB/K (a 5° de

elevação), demodulador compatível com formato do sinal DBV-S2 e saída a 15.5Mbps e microcomputador para ingestão e processamento dos dados GRB em níveis subsequentes.

De acordo com University of Wisconsin-Madison (2016), o projeto CSPP Geo serve a comunidade que utiliza da transmissão direta, fornecendo software para gerar produtos geofísicos a partir de dados de satélites geoestacionários.

O CSPP Geo é um software sem custos, compatível com o sistema operacional Linux *CentOS*, que pode ser utilizado para o processamento dos dados brutos dos instrumentos a bordo dos satélites americano GOES-R, GOES-13, sensor *imager*, e GOES-15, sensor *imager*, e da câmera *Advanced Himawari Imager* (AHI) a bordo do satélite japonês Himawari-8 (do japonês, girassol).

Atualmente o CSPP está na versão 0.3 e gera produtos dos instrumentos a bordo do satélite GOES-R nos níveis L1b e L2+. A Tabela 2.2 mostra os níveis de processamento dos dados do satélite GOES-R.

Tabela 2.2 - Níveis de processamento dos dados do satélite GOES-R.

Níveis de Processamento	
L0	Dados dos instrumentos não processados em resolução total.
L1b	Dado L0 com correções radiométrica e geométrica aplicadas para produzir parâmetros em unidades físicas.
L2+	Variáveis ambientais derivadas comparadas a resolução temporal e espacial do L1.

Fonte: Adaptado de NOAA (2016).

2.5. Sistema de solo para aquisição de dados brutos em Banda X e Banda S

As estações terrenas de recepção de dados de satélites em Banda X e Banda S estão instaladas na unidade do INPE em Cuiabá - MT e na unidade do INPE de Cachoeira Paulista – SP.

Atualmente, na unidade do INPE em Cuiabá, são realizadas aquisições diárias dos dados brutos dos satélites RESOURCESAT-2, CBERS-4, LANDSAT-8, AQUA, TERRA e S-NPP. A Tabela 2.3 mostra as principais características das estações terrenas de recepção Banda X e Banda S.

Tabela 2.3 – Principais características das estações terrenas de recepção Banda X e Banda S.

Localização	Cuiabá – MT		
	Lat.: -15.552387° Long.: -56.073439°		Lat.: -15.552801° Long.: -56.073439°
Elevação	253m		251m
Tamanho do refletor	11,28m		10m
Banda	Banda X		Banda X e Banda S
G/T	34.6 dB/K nominal (a 15° de elevação)		Banda X 31 dB/K Banda S 21 dB/K (a 5° de elevação)
<i>Feed / Downconverter</i>	Ganho	57.4 dBi	55 dBi nominal (Banda X) 43.9 dBi nominal (Banda S)
	Polarização	RHCP e LHCP seleção remota	RHCP
	Entrada	8.025 a 8.4 GHz	8.025 a 8.4 GHz (Banda X) 2.2 a 2.3GHz (Banda S)

(Continua)

Tabela 2.3 – Principais características das estações terrenas de recepção Banda X e Banda S.

Receptores ZDS Cortex XL e ZDS Cortex XXL	Demodulação	BPSK, QPSK, O/S OQPSK, SQPSK, AQPSK, UQPSK 8PSK, GMSK.	QPSK, UQPSK
Receptores ZDS Cortex XL e ZDS Cortex XXL	IF	720 MHz	720 MHz
	Formato	CCSDS, CADU	CCSDS, CADU
Viasat ACU	Gerenciamento dos eixos X e Y; Servo control; Limites angulares; posicionamento manual; <i>slew rate</i> ; modo programado; <i>auto-track</i> ; <i>stow</i> , etc.		

Fonte: Produção do autor.

A Figura 2.7 ilustra as estações terrenas de recepção de dados Banda X e Banda S instaladas na unidade do INPE em Cuiabá – MT.

Figura 2.7 - Estações terrenas de recepção de dados Banda X (frente do prédio) e Banda X e Banda S (atrás do prédio) instaladas na unidade do INPE em Cuiabá - MT.



Fonte: Produção do autor.

Atualmente, na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP são realizadas aquisições diárias dos dados brutos dos satélites CBERS-4, AQUA, TERRA e S-NPP. A Tabela 2.4 mostra as principais características da estação terrena de recepção Banda X instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP.

Tabela 2.4 - Principais características da estação terrena de recepção Banda X instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP.

Localização	Lat.: -22.682879° Long.: -45.001768°	
Elevação	567m	
Tamanho do refletor	5,4m	
Banda	Banda X	
G/T	31.00 dB/K (a 5° de elevação)	
<i>Feed / Downconverter</i>	Ganho	53dB
	Polarização	LHCP e RHCP simultâneo
	Entrada	8.025 a 8.4 GHz
Receptor ZDS cortex XXL	Demodulação	BPSK, QPSK, SQPSK, & 8PSK.
	IF	720 MHz
	Formatos	CADU, CCSDS
Viasat ACU	Gerenciamento dos eixos X e Y; Servo control; Limites angulares; posicionamento manual; <i>slew rate</i> ; modo programado; <i>auto-track</i> ; <i>stow</i> , etc.	

Fonte: Produção do autor.

A Figura 2.8 ilustra a estação terrena de recepção de dados Banda X instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista – SP.

Figura 2.8 - Estação terrena de recepção Banda X instalada na unidade do INPE de Cachoeira Paulista - SP.



Fonte: Produção do autor.

2.6. Sistema de solo para recepção de dados em Banda L

Atualmente, o INPE possui duas estações terrenas operacionais para recepção dos dados de satélites meteorológicos e de órbita quase polar. A Tabela 2.5 mostra as características das estações terrenas de recepção Banda L instaladas na unidade do INPE de Cachoeira Paulista - SP e na unidade do INPE em Cuiabá – MT utilizadas na recepção de dados dos satélites meteorológicos com órbita quase polar.

Tabela 2.5 - Principais características das estações terrenas de recepção Banda L utilizadas na aquisição de dados de satélites meteorológicos de órbita quase polar.

Localização	Cachoeira Paulista – SP	Cuiabá - MT
	Lat.: -22.682669°	Lat.: -15.555435°
	Long.: -45.002036	Long.: -56.070306°
Elevação	568m	235m
Tamanho do refletor	1,5m de diâmetro (radome 2m diâmetro)	
Banda	Banda L	
G/T	4.3dBK (a 1.7GHz e 5° de elevação)	
<i>Feed Downconverter</i>	Ganho	+4.5dBi (<i>feed</i>) 60dB (mínimo)
	Polarização	Linear (RHCP)
	Entrada	1682–1710 MHz
Receptor LRD-100	Demodulação	BPSK, QPSK, PSK.
	IF	70 MHz
	Formatos	HRPT (NOAA) e AHRPT (Metop-B)
Receptor LRD-200B	Demodulação	BPSK, QPSK, PSK, 8PSK, 16QAM.
	IF	70 MHz
	Formatos	HRPT, AHRPT e CHRPT.
Gravador	Servidor Windows 64 bits, iDAP e MacroPro	

Fonte: Produção do autor.

A Figura 2.9 ilustra a estação terrena de recepção de dados dos satélites NOAA, MetOp-B, Feng Yun 3A, Feng Yun 3B e Feng Yun 3C instalada na unidade do INPE em Cuiabá – MT.

Figura 2.9 - Estação terrena de recepção Banda L instalada na unidade do INPE em Cuiabá - MT.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 2.10 ilustra a estação terrena de recepção de dados dos satélites NOAA, MetOp-B e Feng Yun 3A, Feng Yun 3B e Feng Yun 3C instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista – SP.

Figura 2.10 - Estação terrena de recepção Banda L instalada na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP.



Fonte: Produção do autor.

Os dados brutos são recebidos nas estações terrenas de recepção Banda L, utilizadas para recepção dos dados brutos dos satélites de órbita quase polar, são gravados no formato HRPT, utilizado pelos satélites americanos NOAA-18 e NOAA-19, no formato AHRPT, utilizado pelo satélite europeu MetOp-B e no formato CHRPT, utilizado pelos satélites

chineses Feng Yun 3A, Feng Yun 3B e Feng Yun 3C. Após aquisição, os dados brutos são processados e disponibilizados para o CPTEC e para o programa Queimadas do INPE.

Adicionalmente, o INPE possui duas estações terrenas de recepção de dados Banda L utilizadas para recepção dos dados dos satélites geoestacionários GOES-13 e GOES-15. A Tabela 2.6 mostra as características das estações terrenas, Banda L, utilizadas para recepção de dados dos satélites meteorológicos geoestacionários.

Tabela 2.6 - Principais características das estações terrenas de recepção Banda L utilizadas para aquisição de dados de satélites meteorológicos geoestacionários.

Localização	Lat.: -22.682583°	Lat.: -22.682544°
	Long.: -45.002854	Long.: -45.002788°
Elevação	569m	
Tamanho do refletor	2.4m	
Banda	Banda L	
G/T	13.1dBK a 1685.7MHz	
<i>Feed</i> <i>/Downconverter</i>	Ganho	50dB
	Polarização	Linear (RHCP)
	Entrada	1681–1701 MHz (feed)
Receptor TR-100MET	Demodulação	BPSK e PSK
Receptor TR-100MET	IF	137.5MHz
	Formatos	GVAR e LRIT
Gravador	Servidor Linux 64 bits, Seaspace Terascan	

Fonte: Produção do autor.

A Figura 2.11 ilustra as estações terrenas de recepção GOES-13 e GOES-15 instaladas na unidade do INPE de Cachoeira Paulista - SP.

Figura 2.11 - Estações terrenas de recepção Banda L utilizadas para aquisição de dados de satélites geoestacionários.



Fonte: Produção do autor.

Os dados brutos são recebidos nas estações terrenas de recepção Banda L, utilizadas para recepção dos dados brutos dos satélites geoestacionários, são gravados no formato GVAR, processados e disponibilizados para o CPTEC e para o programa Queimadas do INPE.

Adicionalmente às idiossincrasias das estações terrenas de recepção de dados Banda L, Banda X e Banda S, há também as particularidades de cada missão espacial e seus respectivos instrumentos.

Se por um lado a aquisição dos dados satélites meteorológicos exige a entrega imediata dos dados processados, por outro lado o volume dos dados por aquisição não é muito grande. Há um volume muito grande de dados de satélites meteorológicos em decorrência do número de aquisições diárias, como por exemplo, o satélite GOES-15 transmite dados GVAR a cada 30 minutos e a cada 3 horas.

Esse valor tende a aumentar substancialmente com a implantação da estação terrena de recepção do satélite GOES-R que irá transmitir os dados GRB a cada 15 minutos.

As missões espaciais de observação da Terra possuem, em média, duas aquisições diárias com aproximadamente 10GB de dados brutos por passagem. Em caso de missão espacial com sensor ativo, o número de

aquisições diárias pode aumentar, por exemplo, para duas aquisições durante o dia e duas aquisições durante a noite.

O grande volume de dados brutos dos satélites de observação da Terra influencia diretamente no tempo de processamento que pode variar entre 120 a 180 minutos e, geralmente, as imagens dos satélites de observação da Terra estão disponíveis à noite ou no dia seguinte.

As missões espaciais científicas possuem a característica na qual os dados brutos são pequenos, entretanto, há muitas aquisições diárias em decorrência do número de satélites da constelação COSMIC-2. Similarmente aos dados dos satélites meteorológicos, os dados dos satélites científicos devem ser disponibilizados o quanto antes.

Nesse capítulo foi realizada a fundamentação teórica sobre segmento solo e os elementos básicos do segmento solo, a descrição dos sistemas de solo (banda L, banda S, banda X) em diferentes *campi* do INPE que são utilizados para aquisição de dados de plataformas orbitais com órbita geoestacionária, quase polar e equatorial.

O próximo capítulo abordará a fundamentação teórica sobre inteligência artificial que será empregada na melhoria da qualidade e do desempenho da área de aquisição e disseminação dos dados brutos dos satélites operados pelo INPE

3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Segundo Houaiss (2012), a inteligência artificial (IA) é o ramo da informática que visa dotar os computadores da capacidade de simular certos aspectos da inteligência humana, tais como aprender com a experiência, inferir a partir de dados incompletos, tomar decisões em condições de incerteza e compreender a linguagem falada, entre outros.

A gênese da inteligência artificial ocorreu entre as décadas de 1940 e 1950. O termo inteligência artificial foi cunhado pelo pesquisador John McCarthy durante uma conferência em Dartmouth College, nos Estados Unidos, em 1956.

De acordo com Barr e Feigenbaum (1981), a inteligência artificial é parte da Ciência da Computação relacionada com o projeto de sistemas computacionais que apresentam características que nós associamos à inteligência humana – a compreensão da linguagem, aprendizagem, raciocínio, resolução de problemas, e assim por diante.

Os principais objetivos da inteligência artificial são desenvolver métodos e sistemas para resolução de problemas, normalmente resolvidos pela atividade intelectual dos seres humanos, como por exemplo, reconhecimento de imagem, processamento da linguagem e da fala, planejamento e previsão, melhorando assim os sistemas computacionais (KASABOV, 1996).

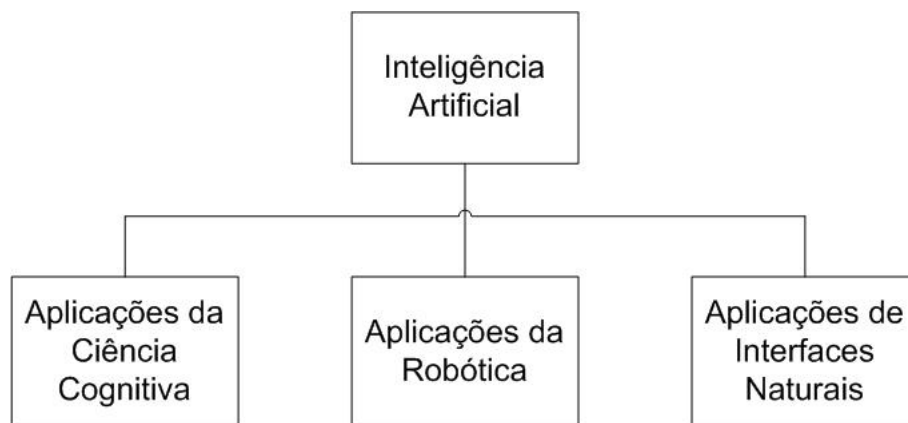
A inteligência artificial é multidisciplinar e envolve disciplinas como psicologia, engenharia, matemática, biologia, neurologia, ciência da computação e linguística.

Atualmente, há variadas áreas de aplicação das técnicas de inteligência artificial, dentre as quais podemos citar: educação, jogos, descobrimento e recuperação de informações, reconhecimento facial, área espacial, medicina, reconhecimento de voz, manufatura, realidade virtual, visão, fala, aprendizagem, geologia, automação industrial, *data mining*,

planejamento, robótica, negócios, informática, controle de processos, engenharia, etc.

Segundo O'Brien (2010), as aplicações de inteligência artificial podem ser agrupadas em três grandes áreas: Ciência cognitiva, robótica e interfaces naturais. A Figura 3.1 ilustra as principais áreas de aplicação da inteligência artificial.

Figura 3.1 - Principais áreas de aplicação da inteligência artificial.



Fonte: Adaptado de O'Brien (2010).

A ciência cognitiva é uma área da inteligência artificial baseada em pesquisas em biologia, neurologia, psicologia, matemática e muitas disciplinas afins. Ela se concentra em pesquisar como o cérebro humano funciona e como os seres humanos pensam e aprendem (O'BRIEN, 2010).

A ciência cognitiva contempla o desenvolvimento de sistemas especialistas, sistemas de aprendizagem, redes neurais, lógica difusa, agentes inteligentes e algoritmos genéticos.

A robótica compreende as disciplinas de engenharia e filosofia. Essa tecnologia produz máquinas-robôs com faculdades físicas semelhantes às humanas, inteligência de computador e controle por computador (O'BRIEN, 2010). A robótica inclui a percepção visual, a ttilidade, a destreza, a condução e a locomoção.

O desenvolvimento de interfaces naturais é considerado uma das principais áreas de aplicação da inteligência artificial e é essencial ao uso natural de computadores por seres humanos. As interfaces naturais compreendem as linguagens naturais, reconhecimento de discurso, interfaces multissensoriais e realidade virtual (O'BRIEN, 2010).

A inteligência artificial tem contribuído para o aumento da agilidade, da produtividade, da qualidade e do gerenciamento de processos nas organizações tornando, assim, uma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes. A inteligência artificial também propicia a redução dos custos, a codificação do conhecimento tácito, melhoria na documentação dos sistemas e a preservação do conhecimento em determinada área da ciência por tempo indeterminado, etc.

Embora muito trabalho tenha sido feito em alguns subgrupos abrigados pelo guarda chuva da inteligência artificial, os críticos acreditam que nenhum computador pode realmente passar pelo teste de Turing (TURING TEST, 2016). Eles afirmam que desenvolver a inteligência para conferir faculdades verdadeiramente humanas aos computadores não é possível (O'BRIEN, 2010).

3.1. Sistemas Especialistas

Sistema especialista é uma ferramenta de decisão interativa baseada em computador que utiliza fatos e heurísticas para resolver problemas de decisão difíceis com base no conhecimento adquirido de um especialista (BADIRU e CHEUNG, 2002).

Os sistemas especialistas são sistemas capazes de oferecer soluções para problemas específicos em um determinado domínio e capazes de dar conselhos comparáveis ao de especialistas em um determinado campo de atuação.

Os problemas nas áreas para os quais os sistemas especialistas são desenvolvidos são aqueles que exigem perícia humana considerável para a sua solução. Exemplos de tais domínios de problemas são diagnóstico

médico de doença, aconselhamento financeiro, produtos de design, etc. A maioria dos sistemas especialistas atuais só são capazes de lidar com áreas com problemas restritos. No entanto, mesmo em domínios altamente restritos, sistemas especialistas geralmente precisam de grandes quantidades de conhecimento para chegar a um desempenho comparável ao de especialistas humanos num determinado campo de atuação (LUCAS e GAAG, 1991).

Um sistema especialista opera como um sistema interativo que responde perguntas, solicita esclarecimentos, faz recomendações, e geralmente auxilia no processo de tomada de decisão. Os sistemas especialistas fornecem aconselhamento e orientação em uma ampla variedade de atividades, desde o diagnóstico computador até cirurgia médica delicada (BADIRU e CHEUNG, 2002).

Atualmente, os sistemas especialistas são utilizados em diferentes áreas como educação, pesquisa aplicada, engenharia, eletrônica, matemática, direito, engenharia do conhecimento, química, física, negócios, manufatura, medicina, engenharia espacial, treinamento e sistemas computacionais.

Sistemas Multi-Especialistas são uma tendência moderna, visto que muitos problemas não são possíveis de se resolver com apenas um profissional especialista, mas necessitam de toda uma equipe multidisciplinar. Nesse caso, o programa se torna especialista em dois ou mais ramos de áreas científicas ou tecnológicas distintas, e usa esses conhecimentos de forma integrada para fornecer o melhor aconselhamento possível.

No caso da aquisição de dados de plataforma orbitais, onde são necessárias habilidades nas áreas da engenharia elétrica, engenharia mecânica, engenharia espacial e computação, o protótipo do sistema especialista PDAD-ES contempla a multidisciplinaridade e contribui para resposta rápida às anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção,

na configuração dos sistemas e subsistemas de aquisição de dados brutos e na capacitação dos servidores e colaboradores.

A principal diferença entre um sistema especialista e um programa tradicional está na maneira como o conhecimento sobre o domínio do problema é codificado. Em aplicações tradicionais, o conhecimento sobre o domínio do problema é codificado, tanto nas instruções propriamente ditas, quanto nas estruturas de dados.

Já na abordagem de sistema especialista, todo o conhecimento relativo ao domínio do problema é codificado exclusivamente nas estruturas de dados. Nenhum conhecimento é armazenado nas instruções ou nos programas propriamente ditos (SISTEMA ESPECIALISTA, 2015).

Segundo Badiru e Cheung (2002), a maioria das aplicações de sistemas especialistas pertence a uma das seguintes categorias:

- ✓ Interpretação e identificação;
- ✓ Predição;
- ✓ Diagnóstico;
- ✓ Projeto;
- ✓ Planejamento;
- ✓ Monitoramento;
- ✓ Depuração e testes;
- ✓ Instrução e treinamento;
- ✓ Controle.

De acordo com Schwuttke (1992), para algumas funções como diagnóstico e correção de anomalias, os sistemas especialistas fornecem melhores soluções do que as abordagens convencionais mais eficientes.

Sistemas especialistas têm sido utilizados em diversas aplicações, principalmente em decorrência dos benefícios que esses sistemas trazem para as organizações. Dentre as vantagens do uso de sistemas especialistas, podemos citar:

- ✓ Preservação e reprodução do conhecimento do especialista;
- ✓ Repositório de conhecimento da organização;
- ✓ Compartilhamento do conhecimento do especialista de uma determinada área de atuação;
- ✓ Maior desempenho e qualidade;
- ✓ Aumento da eficiência dos processos organizacionais;
- ✓ Consistência e Flexibilidade;
- ✓ Redução da dependência da organização em relação aos colaboradores, em especial, dos especialistas;
- ✓ Uso do sistema especialista para treinamento de equipes;
- ✓ Capacidade multidisciplinar;
- ✓ Resolução de problemas complexos;
- ✓ Manipulação de grandes quantidades de dados;
- ✓ Fácil recuperação dos dados;
- ✓ Podem ser mantidos por longo período de tempo;
- ✓ O sistema especialista não cansa, não estressa, não fica doente e não morre;
- ✓ Uso em atividades de missão crítica.

Os sistemas especialistas evoluíram muito desde a sua concepção, entretanto, ainda há dificuldades na construção desse tipo de sistema. As dificuldades na construção de sistemas especialistas ainda são:

- ✓ Aquisição do conhecimento do especialista;
- ✓ O especialista tem dificuldade em expressar o conhecimento;
- ✓ Representação dos dados incorretos, corrompidos, inconsistentes ou incompletos;
- ✓ Resistência na transferência de conhecimentos;
- ✓ Alto custo para contratação de engenheiros de conhecimento;
- ✓ Sistemas especialistas funcionam bem apenas em domínios restritos;
- ✓ Problemas de manutenção;
- ✓ Falham na solução de problemas quando a base de conhecimento é muito grande;
- ✓ São incapazes de lidar com problemas subjetivos;
- ✓ Não conseguem aprender com a experiência;
- ✓ Devem ser atualizados com novos conhecimentos;
- ✓ Dificuldade da avaliação de desempenho do Sistema Especialista.

O protótipo do sistema especialista PDAD-ES utiliza regras de produção para representação do conhecimento adquirido dos especialistas do INPE. Irá auxiliar o Operador no diagnóstico de anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção e na disseminação dos dados brutos e, baseado nas regras e nos fatos contidos na base de conhecimento, apresentará ao usuário a ação que deverá ser executada. Adicionalmente, o PDAD-ES poderá ser utilizado na configuração das estações terrenas de recepção dos satélites operados pelo INPE, no

gerenciamento de decisões, no monitoramento e no controle de processos.

3.1.1. Estrutura básica de um Sistema Especialista

Um sistema especialista é constituído pelos componentes básicos (Motor de inferência, base de conhecimento e memória de trabalho) e pela interface com usuário. Há também diferentes papéis durante a construção e uso do sistema especialista.

3.1.2. Interface com o Usuário

O usuário (*User*) é o indivíduo que irá consultar o sistema especialista através da interface do usuário (*User Interface*) para obter as informações e aconselhamentos que foram inseridos no sistema pelo engenheiro do conhecimento. O usuário do protótipo do sistema especialista PDAD-ES é o Operador do sistema de recepção e gravação dos dados brutos da constelação COSMIC-2 e dos sistemas de recepção e gravação dos dados brutos dos satélites GOES-R e LANDSAT-8.

A interface do usuário é utilizada pelo usuário, pelo especialista ou pelo engenheiro do conhecimento para administrar ou operar o sistema especialista. A escolha da interface do usuário deve seguir alguns critérios importantes, como desempenho, usabilidade, portabilidade, segurança, flexibilidade e permitir a inserção, remoção e alteração de conhecimentos.

3.1.3. Motor de inferência

O motor de inferência é um mecanismo de controle genérico que se aplica ao conhecimento axiomático na base de conhecimento para os dados de tarefas específicas para se chegar a alguma solução ou conclusão (BADIRU e CHEUNG, 2002).

O motor de inferência (*Inference Engine*) é o mecanismo de raciocínio do sistema especialista e realiza o controle das atividades do sistema em

uso. O motor de inferência transfere os fatos e as regras para a memória de trabalho e examina o conteúdo da base de conhecimento.

Segundo Spirlandelli et al. (2011), o motor de inferência relaciona-se com a base de regras, emitindo e recebendo novas informações para o sistema, assim garantindo-lhe novo aprendizado. É o responsável por enviar as informações destinadas ao usuário de forma algorítmica, permitindo conversar com a interface do usuário e com a base de conhecimento.

O motor de inferência executa o controle das atividades do sistema especialista, sendo que as atividades ocorrem em ciclos com três fases cada:

A primeira fase é a correspondência dos dados em que as regras são selecionadas de acordo com a descrição atual. Nessa fase utiliza-se o algoritmo de RETE (RETE ALGORITHM, 2015) para o casamento rápido de padrões.

A segunda fase é a resolução de conflitos em que são selecionadas as regras que serão efetivamente executadas e ordenadas.

A terceira fase é a execução efetiva das regras.

O algoritmo RETE é um algoritmo de correspondência de padrões para a implementação de sistemas de regras de produção. Ele é usado para determinar quais das regras do sistema devem ser disparadas com base em seus dados armazenados (RETE ALGORITHM, 2015).

Os sistemas especialistas utilizam comumente regras de produção na representação do conhecimento. Sistemas de regras de produção utilizam basicamente os métodos de raciocínio com encadeamento progressivo (*forwarding chaining* ou *data-driven*) e encadeamento regressivo (*backwarding chaining* ou *query-driven*).

No encadeamento progressivo, também chamado encadeamento dirigido por dados, a parte esquerda da regra é comparada com a descrição da situação atual, contida na memória de trabalho. As regras que satisfazem esta descrição têm sua parte direita executada, o que, em geral, significa a introdução de novos fatos na memória de trabalho (PY, 2009).

De acordo com Py (2009), no encadeamento regressivo, também chamado encadeamento dirigido por objetivos, o comportamento do sistema é controlado por uma lista de objetivos. Um objetivo pode ser satisfeito diretamente por um elemento da memória de trabalho, ou podem existir regras que permitam inferir algum dos objetivos correntes, isto é, que contenham uma descrição deste objetivo em suas partes direitas.

A estratégia de busca na memória de trabalho e na base de regras pode ser pela busca por nível (*breadth-first searching*) ou pela busca em profundidade (*depth-first searching*).

Os métodos de resolução de conflitos mais utilizados são randômico, ordenação (algoritmo de Markov), especificidade, tempo decorrido, não repetição, prioridades estáticas e confiabilidade.

O algoritmo de Markov (MARKOV_ALGORITHM, 2016) foi criado na década de 1950 pelo matemático russo Andrey Andreyevich Markov. Nesse algoritmo, as regras com prioridades mais altas são aplicadas primeiro, permitindo, assim, a execução dos sistemas de produção com muito mais eficiência. Infelizmente, o algoritmo de Markov não possui eficiência em sistemas especialistas de grande porte.

Para a representação da incerteza podem ser utilizados os métodos de Bayes (BAYESIAN INFERENCE, 2016), a teoria de Dempster-Shafer (DEMPSTER-SHAFFER THEORY, 2016), a teoria dos conjuntos nebulosos (FUZZY LOGIC, 2016), fatores de certeza (CERTAINTY FACTOR, 2013), teoria de probabilidades subjetivas (BAYESIAN PROBABILITY, 2016) e teoria de possibilidades (PROBABILITY THEORY, 2016).

3.1.4. Base de Conhecimento

A Base de Conhecimento (*Knowledge Base*) é o local onde estão armazenadas as regras (IF THEN), os fatos e a heurística que serão utilizadas na resolução dos problemas de um determinado domínio. A base de conhecimento contém os conhecimentos do especialista dentro de um determinado domínio. A base de conhecimento é preenchida com o auxílio do engenheiro do conhecimento que representa no sistema computacional tradicional o analista de sistemas.

A base de conhecimento de um sistema especialista contém (1) fatos sobre uma área temática específica (por exemplo, João é um analista) e (2) heurística (princípios úteis) que expressa os procedimentos de raciocínio de uma agente em relação ao assunto (por exemplo: SE João é um analista, ENTÃO, ele precisa de uma estação de trabalho) (O'BRIEN, 2010).

O conhecimento pode ser representado nos sistemas especialistas através dos seguintes métodos de representação:

Raciocínio Baseado em Casos: Conhecimento representado na base de conhecimento em forma de casos, ou seja, exemplos de desempenho, ocorrências e experiências do passado.

Conhecimento Baseado em Quadros: Conhecimento representado na forma de hierarquia ou rede de quadros. Um quadro é o acúmulo de conhecimento sobre uma entidade, consistindo em um pacote complexo de valores de dados que descrevem seus atributos.

Conhecimento Baseado em Objeto: Conhecimento representado como uma rede de objetos. Um objeto é um elemento de dados que inclui tanto os dados, como os métodos ou processos que operam sobre esses dados.

Conhecimento Baseado em Regras: Conhecimento representado na forma de regras e declarações de fatos. As regras são

declarações que normalmente assumem a forma de uma premissa e uma conclusão do tipo: SE (condição), ENTÃO (conclusão) (O'BRIEN, 2010).

Uma regra é composta por antecedente e consequente. O antecedente de uma regra também é referido como a “PARTE SE” ou o lado esquerdo (*Left Hand Side*) da regra. O consequente de uma regra é também referido como a “PARTE ENTÃO” ou o lado direito (*Right Hand Side*) da regra.

O símbolo “ \Rightarrow ” (implicação) representa o início da “PARTE ENTÃO” de uma regra SE-ENTÃO. De acordo com Lógica proposicional (2015), a implicação ou condicional (SE-ENTÃO), entre duas fórmulas só é falsa se parte da esquerda (antecedente) for verdadeira e a parte da direita (consequente) for falsa.

3.1.5. Memória de Trabalho

O motor de inferência utiliza o quadro-negro ou memória de trabalho (*Working Storage*) para analisar a informação recebida e comparar com as informações que estão armazenadas no banco de conhecimento, possibilitando a decisão e, posteriormente, o aconselhamento.

A memória de trabalho é compartilhada entre sistemas especialistas e mantém as informações apenas durante o processo de análise e comparação.

Segundo Lucas e Gaag (1991), durante uma consulta na base de conhecimento de um sistema de produção, informações são constantemente adicionadas, removidas ou modificadas como resultado da aplicação das regras de produção, dos dados inseridos pelo usuário, ou como resultado da consulta ao banco de dados. Os fatos gerados durante uma consulta são armazenados em uma lista de fatos, também conhecida como a base de dados global ou memória de trabalho do sistema.

3.1.6. Especialista de Domínio

O especialista de domínio (*Domain Expert*) é a pessoa ou pessoas especialistas em resolver os problemas do sistema especialista proposto. É o profissional que possui o conhecimento, experiência e competência para aplicá-los na solução de problemas de um determinado domínio. A conversão do conhecimento, bem como a gestão do conhecimento, devem estar dentre as principais prioridades organizacionais.

Segundo Gartner (2016), a gestão do conhecimento é um processo de negócio que formaliza a gestão e a utilização do capital intelectual de uma empresa. A gestão do conhecimento promove uma abordagem colaborativa e integrativa para a criação, captura, organização, acesso e uso da informação, incluindo o conhecimento tácito, conhecimento não capturado das pessoas.

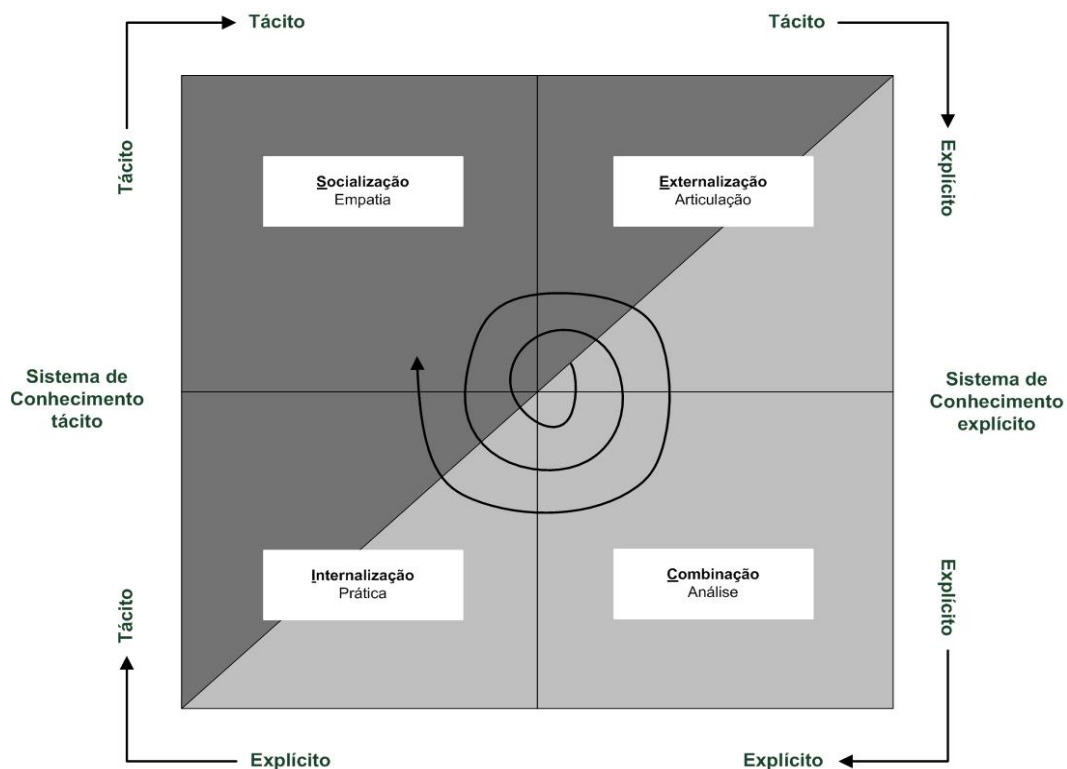
A gestão do conhecimento no *European Space Operations Centre* (ESOC, do inglês, *Centro de Operações Espaciais Europeu*, localizado em Darmstadt, Alemanha) é o processo com o objetivo de identificar, classificar e criar novos conhecimentos, divulgar e compartilhar amplamente na organização, e incorporá-lo rapidamente em novos produtos, serviços, tecnologias e sistemas (MUGELLES et al., 2010).

De acordo com Nonaka e Takeuchi (2008), a criação do conhecimento inicia com a socialização e passa através de quatro modos de conversão do conhecimento, formando uma espiral. Os quatros modos de conversão que amplificam o conhecimento são:

- ✓ **Socialização** (de tácito para tácito): compartilhar e criar conhecimento tácito através de experiência direta;
- ✓ **Externalização** (de tácito para explícito): articular conhecimento tácito através do diálogo e da reflexão;
- ✓ **Combinação** (de explícito para explícito): sistematizar e aplicar o conhecimento explícito e a informação;
- ✓ **Internalização** (de explícito para tácito): aprender e adquirir novo conhecimento na prática.

Segundo Nonaka e Takeuchi (2008), o conhecimento tácito é altamente pessoal, subjetivo, informal e experimental. É difícil de formalizar. Por outro lado, o conhecimento explícito por ser documentado em linguagem formal ou sistemática. A Figura 3.2 ilustra o processo de conversão do conhecimento SECI.

Figura 3.2 - Processo de conversão do conhecimento SECI.



Fonte: Nonaka e Takeuchi (2008).

A Socialização ocorre de indivíduo para indivíduo, a Externalização ocorre de indivíduo para grupo, a combinação ocorre de grupo para organização e a Internalização ocorre da organização para o indivíduo (NONAKA e TAKEUCHI, 2008).

Dentre os quatro modos de conversão de conhecimento, a Externalização possui a chave para a criação do conhecimento, porque cria conceitos novos, explícitos, a partir do conhecimento tácito (NONAKA e TAKEUCHI, 2008).

De acordo com Mugellesi et al. (2010), a base de conhecimento de uma organização pode consistir em até 80% de conhecimento tácito e,

portanto, apenas 20% do conhecimento podem ser recuperados a partir de documentos.

A aquisição do conhecimento é a parte mais importante e não é uma tarefa trivial. Isso ocorre porque grande parte do conhecimento pode estar incompleto, inconsistente e não estar codificado. A comunicação entre o usuário e o engenheiro do conhecimento é peça vital para o sucesso do sistema especialista.

3.1.7. Engenheiro do Conhecimento

O engenheiro do conhecimento (*Knowledge Engineer*) é a pessoa ou são pessoas que codificam o conhecimento do especialista na forma declarativa (IF THEN) que pode ser utilizado pelo sistema especialista. Dentre as tarefas do engenheiro de conhecimento, podemos citar: a) Aquisição do conhecimento; b) Representação do conhecimento; c) Refinamento; d) Implementação; e) Documentação.

De acordo com O'Brien (2010), o engenheiro do conhecimento é um profissional que trabalha com especialistas para capturar o conhecimento (fatos e princípios úteis) que eles possuem. O engenheiro do conhecimento monta, então, a base de conhecimento (e, se necessário, o resto do sistema especialista), utilizando um processo de repetição e prototipagem até que o sistema especialista seja aceitável.

O engenheiro do sistema (*System Engineer*) é o profissional que desenvolve a interface com o usuário, a base de conhecimento e implementa o motor de inferência.

Certamente, os sistemas especialistas não são a solução para todos os tipos de problemas das diferentes áreas do conhecimento. É importante fazer uma análise detalhada para identificar situações nas quais os sistemas especialistas podem trazer soluções apropriadas. Segundo O'Brien (2010), alguns critérios importantes na adequação para sistemas especialistas são:

Domínio: O domínio, ou área temática, do problema é relativamente pequeno e limitado a uma área-problema bem definida.

Know-how: As soluções para o problema exigem os esforços de um especialista, ou seja, é necessário um corpo de conhecimento, técnicas e intuição que apenas poucas pessoas possuem.

Complexidade: As soluções dos problemas são tarefas complexas que exigem processamento lógico de inferências, que não seria muito bem controlado pelo processamento convencional de informações.

Estrutura: O processo de solução deve ser capaz de lidar com dados mal estruturados, imprecisos, deficientes e conflitantes e com uma situação que muda com o decorrer do tempo.

Disponibilidade: Existe um especialista que é articulador e cooperador e que tem o apoio da administração e dos usuários finais envolvidos no desenvolvimento do sistema proposto.

3.2. Aquisição do Conhecimento

A Engenharia de Conhecimento (EC) foi criada em 1983 por Edward Feigenbaum e Pamela McCorduck. A EC é uma disciplina da engenharia que envolve a integração de conhecimento em sistemas de computador, a fim de resolver problemas complexos que normalmente exigem um alto nível de conhecimento humano (DARAI et al., 2010).

A aquisição de conhecimento é uma subárea da Engenharia do Conhecimento que contempla o processo de compreender e organizar o conhecimento de fontes distintas.

A aquisição do conhecimento é o processo de extração, estruturação e organização do conhecimento de alguma fonte, usualmente de especialistas humanos, de modo que ele possa ser utilizado num programa (CROSS, 2015).

A aquisição do conhecimento é uma tarefa complexa, porque pode envolver especialistas de diferentes áreas do conhecimento em que podem ocorrer dificuldades - intencionais ou não - do especialista em explicitar e transferir esse conhecimento. A aquisição do conhecimento é composta pela Identificação, Conceituação, Formalização, Implementação e Testes.

O conhecimento pode estar codificado em livros, manuais, vídeos, tabelas, diagramas, gráficos, etc. ou pode ser conhecimento tácito que necessita ser explicitado pelo especialista em determinada área do conhecimento e formalizado pelo engenheiro do conhecimento.

Segundo Barr e Feigenbaum (1981), nós usualmente pensamos a aprendizagem como acúmulo de conhecimento, entretanto, isso envolve mais do que a adição de novos fatos para nossos cérebros. De fato, a aquisição de conhecimentos envolve relacionar algo de novo ao que já sabemos de uma forma psicologicamente complexa.

O conhecimento pode ser adquirindo com o uso de técnicas de aquisição do conhecimento. A técnica manual é a mais utilizada e contempla entrevistas com o especialista e o uso de questionários, *story telling*, gravadores de áudio e vídeo. A técnica semiautomática utiliza ferramentas computacionais possibilitando melhor rapidez e eficiência durante o processo de codificação. A técnica automática é o processo pelo qual o conhecimento é adquirido automaticamente.

Os autores (MUGELLES et al., 2010) descrevem a aquisição do conhecimento no ESOC, como:

Lessons Learned (do inglês, lições aprendidas): Captura de conhecimento no âmbito dos projetos em execução. *Workshops* são realizados em determinados marcos durante o projeto (Learn During, do inglês, aprendizado durante) e no final do projeto (Learn After, do inglês, aprender após).

Captura do conhecimento: Ocorre em pontos específicos no momento em que os profissionais estão deixando seus cargos devido à mudança de posição dentro da organização, deixando a organização ou aposentadoria. Nestes casos, três métodos são aplicados:

- ✓ Entrevistas individuais;
- ✓ Perguntas ao especialista;
- ✓ Período de trabalho em conjunto em caso de saída da equipe.

Gerenciamento de conteúdo: A maioria dos métodos para a captura de conhecimento se baseiam, principalmente, na comunicação verbal. A transferência de experiências na forma verbal é preferível à escrita, uma vez que cria contato e proximidade, que são essenciais para o repasse de experiência. No entanto, em alguns casos, a captura de conhecimento é melhor realizada pela redação de procedimentos e notas que são, posteriormente, compartilhados com a comunidade.

O conhecimento pode ser representado por distintos modelos como: regras de produção, lógica, árvore de decisão, processamento paralelo ou conexionista, orientação a objetos, orientação a objetos associada a regras, quadros, redes semânticas, conhecimento procedural, casos e conhecimento estático.

Há diversos exemplos de sistemas especialistas utilizados em diferentes áreas do conhecimento. A Tabela 3.1 mostra exemplo de sistemas especialistas que foram utilizados com sucesso em diferentes áreas do conhecimento.

Tabela 3.11 - Exemplo de sistemas especialistas.

Nome	Área do Conhecimento	Uso	Aplicação
ACE (VESONDER et al., 1983)	Eletrônica	Utilizado no diagnóstico de falhas na rede de telefonia.	Diagnóstico
DENDRAL (LINDSAY et al., 1993)	Química	Utilizado para Inferir estruturas moleculares.	Interpretação
MARVEL (SCHWUTTKE et al., 1992)	Ciência Espacial	Utilizado no monitoramento e análise das telemetrias das espaçonaves <i>Voyager</i> ;	Monitoramento
MYCIN (SHORTLIFFE e BUCHANAN, 1975)	Medicina	Auxílio no diagnóstico de doenças	Diagnóstico
ONCOCIN (SHORTLIFFE et al., 1981)	Medicina	Utilizado no tratamento quimioterápico	Monitoramento
PROSPECTOR (HART e DUDA, 1977)	Geologia	Auxílio na extração de minerais.	Interpretação
XCON (BARKER et al., 1989)	Ciência da Computação	Configuração de sistemas computacionais.	Configuração

Fonte: Produção do autor.

3.3. Ferramentas para construção de Sistemas Especialistas

3.3.1. Shells

De acordo com LIA (1999), a principal função de uma *shell* é simplificar ao máximo o trabalho de implementação de um sistema especialista e permitir seu uso por qualquer pessoa sem conhecimentos de informática.

A utilização de *shells* reduz os custos, minimiza os riscos e possibilita a construção de sistemas especialistas por pessoas que não possuem conhecimento profundo em linguagens de programação de computadores.

3.3.1.1. Expert Sinta

O Expert SINTA é uma ferramenta computacional que utiliza técnicas de inteligência artificial para geração automática de sistemas especialistas. Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e probabilidades, tendo como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de sistemas especialistas através do uso de uma máquina de inferência compartilhada, da construção automática de telas e menus, do tratamento probabilístico das regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada (LIA, 1999).

O Expert Sinta foi desenvolvido em 1996 pelo Grupo SINTA (Sistemas INTeligentes Aplicados) do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). É uma *shell* para criação de sistemas especialistas, mas, infelizmente, o Projeto Expert Sinta foi descontinuado. Segundo LIA (1999), as principais características do Expert Sinta são:

- ✓ Utilização do encadeamento para trás (*backward chaining*);
- ✓ Utilização de fatores de confiança;
- ✓ Ferramentas de depuração;

- ✓ Possibilidade de incluir ajudas *on-line* para cada base.

O Expert SINTA trabalha naturalmente com encadeamento para trás, mas é possível manipular a máquina de inferência de modo a simular encadeamento para frente (LIA, 1999).

Dentre as funcionalidades do Expert Sinta estão a possibilidade de criação de arquivo de ajuda, o fornecimento de informações sobre a base de conhecimento e as opções para configuração do motor de inferência, do fator de confiança e do uso de senhas para acesso ao sistema especialista.

3.3.1.2. FuzzyCLIPS

FuzzyCLIPS é uma extensão com lógica difusa da linguagem CLIPS que foi desenvolvida pela NASA. O FuzzyCLIPS foi desenvolvido pelo Grupo de Raciocínio Integrado do Instituto de Tecnologia da Informação do Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá e tem sido amplamente distribuído há anos (FUZZYCLIPS, 2015).

O FuzzyCLIPS apresenta um melhoramento em relação ao CLIPS com a adição de raciocínio nebuloso integrado aos fatos e ao motor de inferência CLIPS. Isso possibilita a representação e manipulação de fatos e regras nebulosas.

O FuzzyCLIPS pode lidar com raciocínio exato, difuso (ou inexato) e com a combinação destes, possibilitando o uso de termos difusos e normais nas regras e nos fatos de um sistema especialista. O sistema utiliza dois conceitos inexatos básicos, imprecisão e incerteza. (FUZZYCLIPS, 2015)

Adicionalmente, há outras shells como Babylon, Gest, Aion, Attar, Mycin, drools, Euler, EXSYS, JLisa, etc.

3.3.1.3. JESS

O JESS é um ambiente de mecanismo de regras e scripts inteiramente escrito em linguagem Java por Ernest Friedman-Hill no *Sandia National*

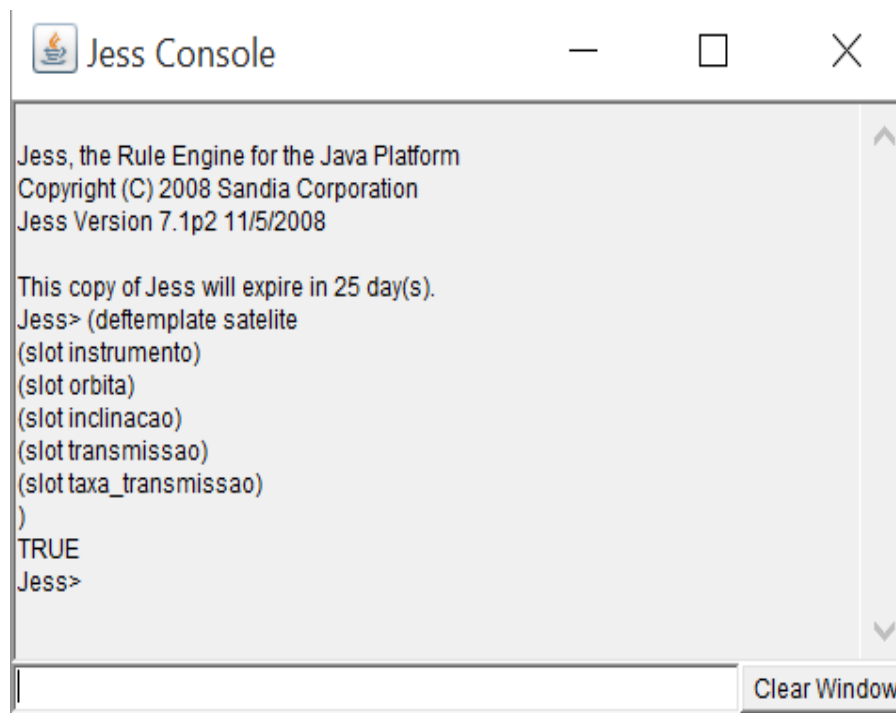
Laboratories em *Livermore, CA*. Usando JESS, pode-se construir um software Java que tenha a capacidade de "raciocinar" usando o conhecimento fornecido na forma de regras declarativas. O JESS é pequeno, leve, e um dos motores mais rápidos de regras disponíveis. Sua linguagem de script poderosa dá acesso a todas as APIs Java. JESS inclui um ambiente de desenvolvimento completo baseado na plataforma Eclipse (JESS RULES, 2013).

O JESS (*Java Expert System Shell*) foi escrito em Java e possui sintaxe muito similar à sintaxe da linguagem CLIPS que foi desenvolvida pela NASA. As regras podem ser escritas no formato JESS, sendo formato preferencial, e no formato XML.

A licença de uso do JESS é gratuita para uso acadêmico e comercial para outros fins. A versão alpha do JESS 8.0 já está disponível para usuários licenciados e inclui suporte para a plataforma *android*.

JESS utiliza uma versão melhorada do algoritmo RETE para processar regras. O Algoritmo RETE é um mecanismo muito eficiente para resolver o problema de correspondência muitos-para-muitos. JESS tem muitas características singulares, incluindo encadeamento para trás e consultas à memória de trabalho. JESS pode manipular e raciocinar sobre objetos Java diretamente. JESS é um poderoso ambiente de scripts Java, a partir do qual você pode criar objetos Java, chamar métodos Java e programar interfaces sem compilar qualquer código Java (JESS RULES, 2013). A Figura 3.3 ilustra a criação de *templates* no JESS.

Figura 3.3 - Criação de *templates* no JESS.



Fonte: Produção do autor.

3.3.1.4. CLIPS

CLIPS (*C Language Integrated Production System*) é um sistema de produção com encadeamento para frente escrito em ANSI C pela NASA. O motor de inferência CLIPS inclui manutenção verdadeira, adição dinâmica de regras e estratégias de resolução de conflitos personalizáveis. O CLIPS, incluindo a versão de tempo de execução, é facilmente embutido em outras aplicações. CLIPS inclui a linguagem orientada a objetos chamada COOL (*CLIPS Object-Oriented Language*) que está diretamente integrada com o motor de inferência (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 1997).

Devido a sua portabilidade, extensibilidade, características e baixo custo, CLIPS recebeu ampla aceitação no governo, indústria e academia. O desenvolvimento do CLIPS ajudou a melhorar a capacidade de desenvolver sistemas especialistas para os setores público e privado, gerando uma ampla gama de aplicações e diversos ambientes de computação (RILEY, 2015a).

CLIPS está sendo utilizado por diversos usuários das comunidades públicas e privadas, incluindo: todos os sites da NASA e das forças armadas, inúmeras agências federais, fornecedores do governo, universidades e muitas empresas privadas (RILEY, 2015a).

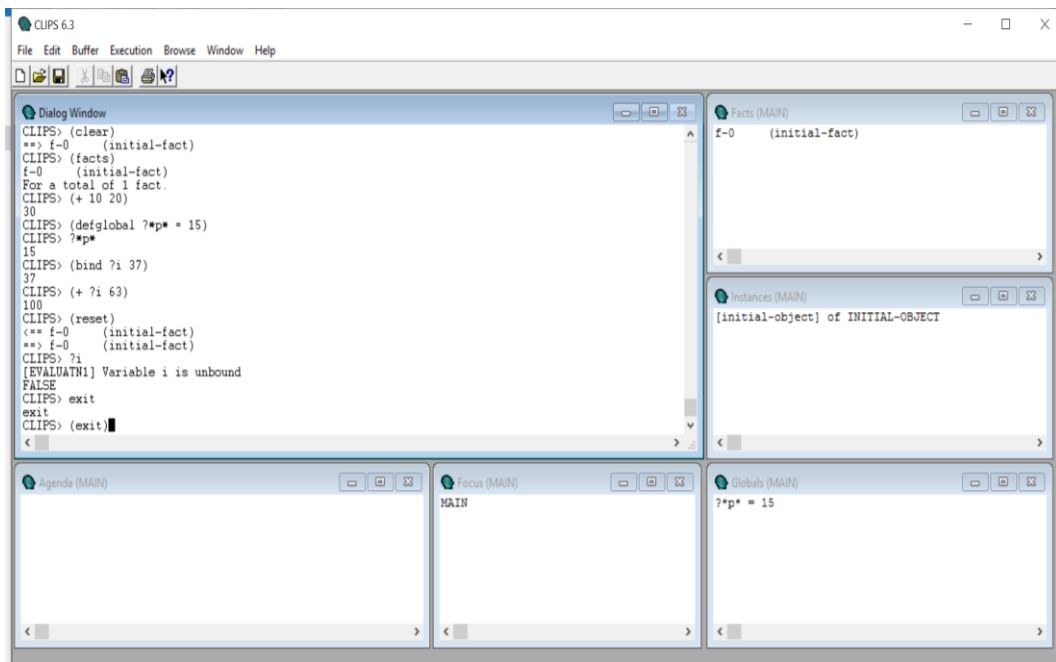
A interface gráfica do CLIPS é simples, interativa, orientada para o texto, e possui uma interface de linha de comando. É utilizada para criar ou editar uma base de conhecimento usando qualquer editor de texto padrão, permite salvar a base de conhecimento como um ou mais arquivos de texto, sair do editor, executar os comandos e, em seguida, carregar a base de conhecimento no ambiente CLIPS (RILEY, 2015a).

A IDE do CLIPS é composta pelas janelas Dialog, Facts, Agenda, Instances, Globals, e Focus. De acordo com Riley (2015c), a janela Facts exibe a lista e o número de fatos na lista de fatos, a janela Agenda exibe a lista de ativação na agenda, a janela Instances exibe a lista de instâncias existentes e os valores dos slots, a janela Globals exibe a lista de variáveis globais e seus valores atuais, a janela Focus mostra a pilha de foco atual e a janela Dialog é utilizada para submeter comandos em CLIPS.

Os comandos CLIPS podem ser funções, construtores, constantes ou variáveis locais ou globais. A linguagem CLIPS utiliza a notação prefixada na qual os operandos da função sempre aparecem após o nome da função. A notação prefixada, também conhecida como notação polonesa, possui o formato (+ a b), enquanto a notação infixa, também conhecida como notação convencional, possui o formato (a + b).

A Figura 3.4 ilustra a remoção de todos os construtores através do comando *clear*, o uso da notação prefixada, a definição de variáveis globais, atribuição de valor a uma variável local através do comando *bind*, a remoção de todas as ativações da agenda e de todos os fatos da lista de fatos através do comando *reset*. Por fim, observa-se que os comandos CLIPS devem estar entre parênteses e a execução do comando *exit* para sair do CLIPS.

Figura 3.4 - Comandos e variáveis utilizadas no CLIPS.



Fonte: Produção do autor.

O CLIPS permite salvar as regras e os comandos em arquivos texto padrão e também permite carregar arquivos texto padrão e executá-los no ambiente CLIPS.

O CLIPS possui os três elementos básicos para codificação de programas: a) funções para manipulação dos dados; b) construtores para operações na base de conhecimento e c) tipos de dados primitivos.

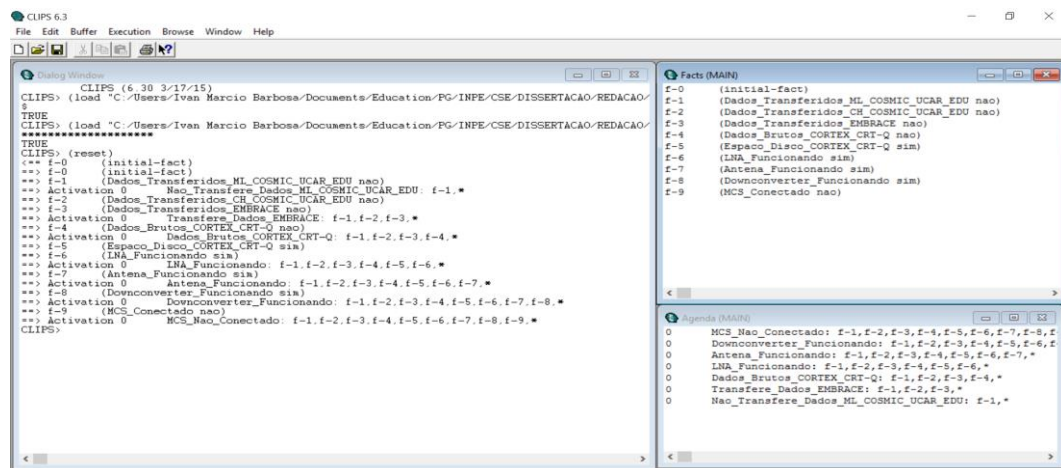
Os tipos de dados fornecidos pelo CLIPS são: ponto flutuante, inteiro, símbolo, cadeia de caracteres, endereçamento externo, endereçamento de fatos, nome da instância e endereço da instância.

Segundo Riley (2015a), há três formatos primários para representação da informação em CLIPS: a) fatos, b) objetos e c) variáveis globais.

Fatos são uma das formas de alto nível para representação da informação no ambiente CLIPS. Cada fato representa um pedaço de informação que foi colocada na lista atual de fatos, denominada de lista de fatos.

Um identificador de fato é uma notação abreviada para a exibição de um fato. Ele consiste no carácter "f", seguido por um traço, seguido pelo índice do fato. Por exemplo, f-9 refere-se ao fato com índice 9 (RILEY, 2015a). A Figura 3.5 ilustra exemplos de fatos criados no ambiente CLIPS.

Figura 3.5 - Fatos criados no ambiente CLIPS.



Fonte: Produção do autor.

Os fatos podem ser ordenados ou não ordenados. Os fatos ordenados consistem em um símbolo seguido por uma sequência de zero ou mais campos separados por espaços e delimitados por parênteses. O primeiro campo de um fato ordenado especifica uma "relação" que aplicada aos campos restantes do fato ordenado (RILEY, 2015a).

Fatos não ordenados fornecem ao usuário a capacidade de abstrair a estrutura de um fato através da atribuição de nomes a cada campo no fato.

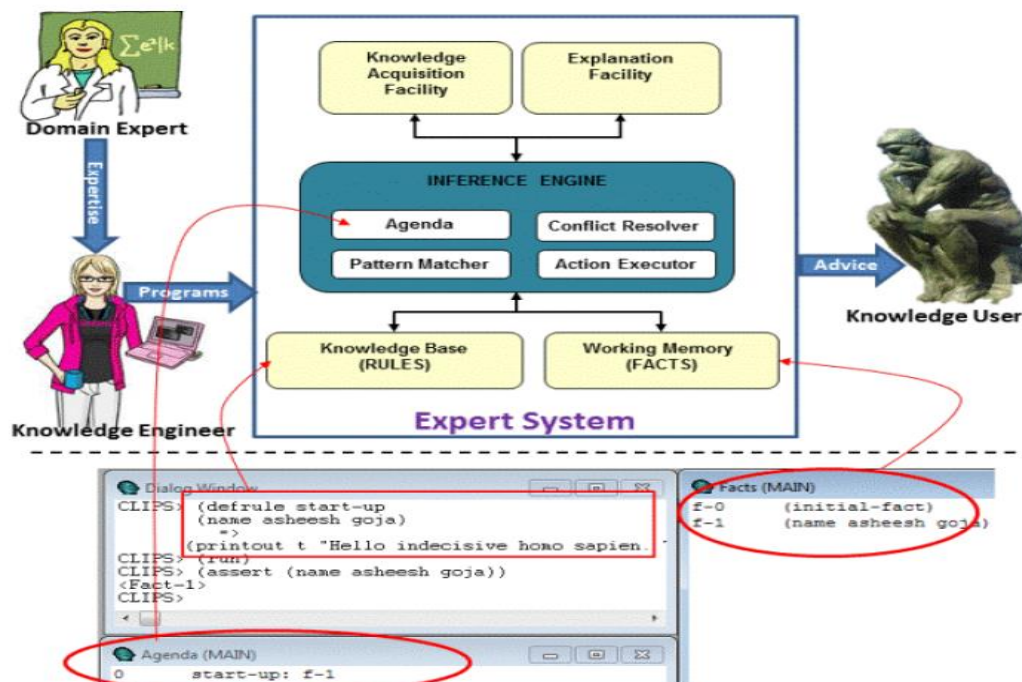
A representação do conhecimento em CLIPS pode ser feita através da heurística ou do paradigma procedural. O paradigma procedural que compreende o uso de sub-rotinas e funções é utilizado no CLIPS através do comando *deffunctions* e com o uso de funções genéricas.

De acordo com Riley (2015a), um dos principais métodos de representação do conhecimento em CLIPS é através de regras. Regras são usadas para representar heurísticas ou *rules of thumb* (do inglês,

regras de ouro), que especificam um conjunto de ações a serem executadas para uma determinada situação. O desenvolvedor de um sistema especialista define um conjunto de regras que trabalham em conjunto para resolver um problema.

A Figura 3.6 ilustra a relação entre o CLIPS e a arquitetura de um sistema especialista. Observa-se que as regras são armazenadas na base de conhecimento e os fatos são armazenados na memória de trabalho. O motor de inferência é composto pela Agenda, pelo *Pattern Matcher* (do inglês, padrão de correspondência), pelo *Conflict Resolver* (do inglês, resolvidor de conflitos) e pelo *Action Executor* (do inglês, executor da ação). O motor de inferência decide qual regra será disparada e qual será a prioridade, a Agenda lista as prioridades das regras cujas condições são satisfeitas pelos fatos e o padrão de correspondência compara as regras e os fatos.

Figura 3.6 – Relação entre o CLIPS e a arquitetura de um sistema especialista.



Fonte: Goja (2011).

Segundo Goja (2011), o núcleo em um sistema especialista é o seu motor de inferência. O motor de inferência possui os seguintes ciclos:

1. O Padrão de correspondência utiliza o algoritmo RETE para criar uma lista de regras cujos antecedentes (LHS) correspondem (ou são satisfeitos) com os fatos na memória de trabalho;
2. A Agenda determina a ordem em que uma determinada regra será disparada a partir da lista de regras;
3. O Resolvedor de conflitos seleciona a regra com a maior prioridade dentro da *Agenda*;
4. O executor da ação executa o consequente (RHS) da regra selecionada e também remove esta regra da *Agenda*;
5. O padrão de correspondência entra em ação novamente e atualiza a Agenda com as regras cujos antecedentes correspondem, e também remove as regras cujos antecedentes não correspondem.

Uma das principais funcionalidades do CLIPS é a possibilidade de integração com outras linguagens de programação, como Java, C++, C# e PHP. De acordo com Riley (2015a), há dois importantes tipos de integração: incorporação do CLIPS em outros sistemas e o uso de funções externas a partir do CLIPS.

O uso do CLIPS como um aplicativo incorporado permite a fácil integração do mesmo com outros sistemas existentes. Isso é útil nos casos em que o sistema especialista é uma pequena parte de uma tarefa maior ou precisa compartilhar dados com outras funções. Nessas situações, CLIPS pode ser chamado como uma sub-rotina e informações possam ser transmitidas de e para o CLIPS (RILEY, 2015c).

A arquitetura do CLIPS é projetada para suportar múltiplos sistemas especialistas executados simultaneamente usando um único motor de aplicação CLIPS. Para utilizar múltiplos ambientes, o CLIPS deve ser incorporado dentro do seu programa, quer utilizando o código fonte CLIPS em seu programa ou usando uma biblioteca compartilhada como a *Dynamic Link Library* (DLL) (RILEY, 2015b).

A integração do CLIPS com o PHP é feita através da extensão PHP clips-0.5.1. Essa extensão propicia ao PHP uma interface básica para um ambiente CLIPS, sendo sua finalidade permitir a implantação de sistemas especialistas em PHP (THE PHLIPS PROJECT, 2005).

Após pesquisa e comparação entre os distintos tipos de *shells* para sistema especialista, optou-se pelo CLIPS pelos seguintes fatores: a) Licença de uso sem custos; b) Utilizado por diversas organizações no mundo; c) *Releases* atuais; d) Vasta documentação; e) Possibilidade de integração com a linguagem de programação PHP. A integração do CLIPS com o PHP e com o servidor web apache possibilita que o sistema PDAD-ES seja acessado a partir de todas as unidades do INPE.

Nesse capítulo foi realizada a fundamentação teórica sobre inteligência artificial, sistemas especialistas, aquisição do conhecimento e as ferramentas para desenvolvimento de sistemas especialistas, como o Expert Sinta, as linguagens de programação JESS e CLIPS. Com isso foi possível melhor entendimento das técnicas de inteligência artificial que podem ser aplicadas no segmento solo do INPE, resultando, assim, na melhoria da eficiência, da eficácia e da efetividade.

O próximo capítulo abordará a fundamentação teórica sobre o método de pesquisa *design science research* e o novo paradigma epistemológico para condução de pesquisas, denominado *design science*.

Esse capítulo também compreende a apresentação do framework conceitual para entendimento, execução e avaliação de pesquisas que utilizam a *design science* e a aplicação da mesma na construção e avaliação do protótipo PDAD-ES.

4 DESIGN SCIENCE

A *design science research* é o método de pesquisa que fundamenta e operacionaliza a condução de pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição. Como método de pesquisa orientado à solução de problemas, a *design science research* busca, a partir do entendimento do problema, construir e avaliar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis. Ela é utilizada nas pesquisas como forma de diminuir o distanciamento entre a teoria e a prática (DRESH et al., 2015).

A *design science* (do inglês, ciência do artificial) foi introduzida por (SIMON, 1996) no livro *The Sciences of the Artificial* (do inglês, As Ciências do Artificial).

De acordo com Dresh et al (2015), a *design science* é um novo paradigma epistemológico para condução de pesquisas.

De acordo com Simon (1996), as áreas de engenharia, arquitetura, negócios, educação, direito e medicina estão fortemente relacionadas com a *design science*.

Segundo Hevner et al. (2004), o paradigma *design science* visa estender as fronteiras das capacidades humanas e organizacionais através da criação de novos e inovadores artefatos.

De acordo com Dresh et al. (2015), a *design science* é a ciência que procura desenvolver e projetar soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas ou, ainda, criar novos artefatos que contribuam para uma melhor atuação humana, seja na sociedade, seja nas organizações.

A *design science* endereça a pesquisa através da construção e avaliação de artefatos projetados para atender as necessidades identificadas do negócio (HEVNER et al., 2004).

Segundo Sordi; Meirelles e Sanches (2011), a maioria das contribuições da *design science* é a criação do próprio artefato. O artefato deve ser uma solução para um problema até então não solucionado. Pode constituir-se numa expansão da base de conhecimento ou a aplicação de conhecimento existente sobre uma ótica inovadora.

Um artefato pode ser pensado como um ponto de encontro, uma interface, entre um ambiente interno, a essência e a organização do próprio artefato, e um ambiente externo, o ambiente em que ele opera. Se o ambiente interno é adequado ao ambiente externo, ou vice-versa, o artefato servirá a sua finalidade (SIMON, 1996).

A *design science* aborda importantes problemas não resolvidos de modo único e inovador ou resolve problemas em modos mais eficazes ou eficientes (HEVNER et al., 2004).

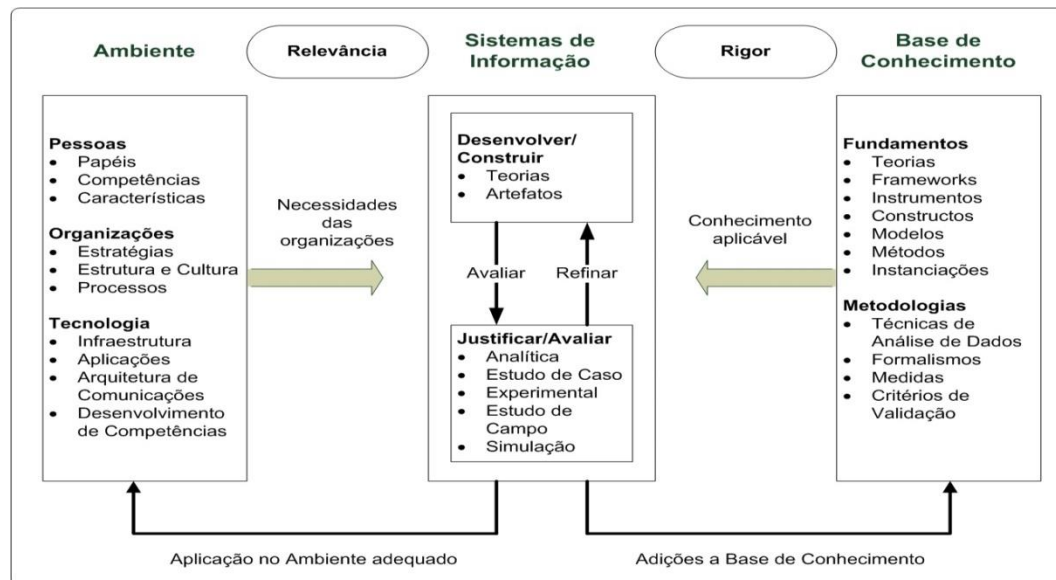
As pesquisas com objetivo de estudar o projeto, a concepção ou mesmo a resolução de problemas não conseguem se sustentar exclusivamente com o paradigma das ciências naturais e sociais, principalmente porque as ciências tradicionais têm como objetivos centrais explorar, descrever, explicar e, quando possível, prever (DRESH et al., 2015).

O fato da *design science* utilizar a abdução na condução de suas investigações não significa que os métodos científicos tradicionais não sejam utilizados. Os métodos de pesquisa fundamentados nas ciências tradicionais também podem ser utilizados sob o paradigma *design science*. É possível conduzir um estudo de caso fundamentado no paradigma *design science* quando o objetivo do pesquisador é, por exemplo, formalizar ou avaliar um artefato existente (DRESH et al., 2015).

Segundo Hevner et al. (2004), os artefatos são amplamente definidos como constructos (vocabulário e símbolos), modelos (abstrações e representações), métodos (algoritmos e práticas) e instanciações (implementações e protótipos).

Os autores (HEVNER et al., 2004) desenvolveram um framework conceitual para entendimento, execução e avaliação de pesquisas que utilizam a *design science*. A Figura 4.1 ilustra a estrutura da *design science*.

Figura 4.1 - Estrutura da design science.



Fonte: Adaptado de Hevner et al. (2004).

No *framework* ilustrado na Figura 5, há o Ambiente que é composto pelas pessoas com seus papéis, competências e características; pela organização com a cultura, objetivos e estratégias; e pela tecnologia que compreende a infraestrutura, o desenvolvimento de competências, as aplicações e as comunicações. É no ambiente que o problema é observado e onde o artefato será utilizado.

No ambiente estão as metas, as tarefas, os problemas e as oportunidades que definem as necessidades do negócio (HEVNER et al., 2004). Sistemas de informação que utilizam a pesquisa *design science* possibilitam que o ambiente seja alimentado novamente com a adição de novas competências, tecnologias, aplicações, processos organizacionais, etc. De acordo com Hevner et al. (2004), enquadrar as atividades de pesquisa para atender às necessidades de negócio das organizações garante a relevância da pesquisa.

A avaliação possibilita encontrar falhas e problemas nos artefatos, corrigi-los e reavaliar até que o artefato seja considerado pronto para a aplicação no ambiente adequado.

Durante a avaliação são fornecidas informações sobre o artefato (*feedback*) que possibilitam melhor compreensão do problema e contribuem para a melhoria da qualidade do mesmo e incrementam a base de conhecimento (fundamentos e metodologias) que poderá ser utilizada no desenvolvimento de novos artefatos.

A base de conhecimento do *framework* ilustrado na Figura 5 compreende fundamentos e metodologias que servem de insumos para realização da pesquisa *design science*. Segundo Hevner et al. (2004), o rigor é alcançado através da aplicação adequada dos fundamentos e das metodologias existentes.

De acordo com Dresh et al. (2015), a base de conhecimento é onde o pesquisador pode verificar que outras teorias ou outros artefatos foram utilizados ou desenvolvidos por pesquisadores no passado, ou seja, é o local onde pode ser encontrada a matéria-prima para o desenvolvimento de novas pesquisas e novos artefatos.

As contribuições da ciência comportamental e da *design science* na pesquisa em sistemas de informação são avaliadas conforme elas são aplicadas às necessidades de negócios dentro de um ambiente apropriado e como elas adicionam conteúdo à base de conhecimento que será utilizada em pesquisas futuras (HEVNER et al., 2004).

De acordo com Hevner et al. (2004), a principal diferença entre o *design* de produtos e a pesquisa *design science* é a clara identificação de uma contribuição para a base de conhecimento.

Os autores (DRESH et al., 2015) ressaltam a importância do conceito de validade pragmática para a *design science*, a qual tem como premissa que a pesquisa realizada sob seu paradigma, além de ser rigorosa,

atendendo à validade científica, também deve objetivar a validade pragmática, ou seja, a utilidade.

De acordo com Hevner et al. (2004), os perigos do paradigma design science são a ênfase excessiva sobre os artefatos tecnológicos e a incapacidade de manter uma base teórica adequada, potencialmente resultando em artefatos bem elaborados que são inúteis em ambientes organizacionais reais.

Quando o paradigma epistemológico é a *design science*, surge outro método de pesquisa, a *design science research*. Diferentemente de outros métodos de pesquisa, este busca produzir conhecimento na forma de uma prescrição para apoiar a solução de um determinado problema real, ou um projeto para construir um novo artefato (DRESH et al., 2015).

A distinção conceitual entre o paradigma científico *design science* e o método de pesquisa que a operacionaliza (*design science research*), sendo este último responsável pelo projeto, construção e avaliação dos artefatos e a *design science*, o corpo do conhecimento gerado sobre os artefatos e seu processo generativo (DRESH et al., 2015).

De acordo com Dresh et al. (2015), a *design science research*, também conhecida como *constructive research*, é uma abordagem metodológica que consiste em construir artefatos que trazem benefícios às pessoas. É uma forma de produção de conhecimento científico que envolve o desenvolvimento de uma inovação, com a intenção de resolver problemas do mundo real e, ao mesmo tempo, fazer uma contribuição científica de caráter prescritivo.

A *design science research* também contribui para aumentar a relevância dos trabalhos realizados, diminuindo a distância entre o que se desenvolve na academia e o que é aplicado nas organizações (DRESH et al., 2015).

Os autores (HEVNER et al., 2004) estabeleceram sete diretrizes para ajudar os pesquisadores, revisores, editores e leitores a compreender os

requisitos do método de pesquisa *design science research*. A Tabela 4.1 mostra as sete diretrizes para condução das pesquisas que utilizam a *design science research*.

Tabela 4.1 – As sete Diretrizes para condução de pesquisas com a *design science research*.

1. Design com um artefato
As pesquisas desenvolvidas pelo método <i>design science research</i> devem produzir artefatos viáveis, na forma de um constructo, modelo, método ou uma instânciação.
2. Relevância do problema
O objetivo da <i>design science research</i> é desenvolver soluções baseada em tecnologias para solucionar problemas importantes e relevantes para as organizações.
3. Avaliação do design
A utilidade, a qualidade e a eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas através de métodos de avaliação bem executados.
4. Contribuições da pesquisa
A pesquisa conduzida pelo método <i>design science research</i> deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas do <i>design</i> do artefato, dos fundamentos do <i>design</i> e/ou das metodologias de <i>design</i> .
5. Rigor da pesquisa
A pesquisa deve ser baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto no desenvolvimento, quanto na avaliação dos artefatos.
6. <i>Design</i> como um processo de pesquisa
A busca por um artefato efetivo exige a utilização de meios que estejam disponíveis para alcançar os fins desejados, satisfazendo as leis que regem o ambiente do problema.
7. Comunicação da pesquisa
As pesquisas conduzidas pelo método <i>design science research</i> devem ser apresentadas, tanto para o público orientado à tecnologia, quanto para aquele orientado à gestão.

Fonte: Adaptado de Hevner et al. (2004).

A observação e consideração de todas as diretrizes da *design science* pelo pesquisador é desafiante, pois demandará muitas competências: percepção do problema e de sua importância para o ambiente de

negócios; bom discernimento do artefato proposto; domínio de técnicas que assegurem o rigor necessário ao desenvolvimento e validação do artefato proposto; profundo conhecimento da área que o problema e o artefato se encontram inseridos, permitindo identificar não apenas a solução, mas a contribuição para a área em termos de processo, metodologia ou fundamentação; boa capacidade de comunicação dos pesquisadores para levar os resultados da pesquisa aos diferentes públicos interessados: tanto o empresarial quanto o tecnológico (SORDI; MEIRELES e SANCHES, 2011).

Em adição às sete Diretrizes para condução de pesquisas com a *design science research*, (HEVNER et al., 2004) desenvolveram cinco formas de avaliação das pesquisas realizadas através do método de pesquisa *design science research*. A Tabela 4.2 mostra as formas de avaliação utilizadas na *design science research*.

Tabela 4.2 - Métodos de avaliação utilizados em *design science research*.

Métodos de avaliação	
1. Observacional	Estudo de Caso: Estudo em profundidade do artefato no ambiente de negócios.
	Estudo de Campo: Monitorar o uso de artefato em diferentes projetos.
2. Analítica	Análise Estática: Exame da estrutura do artefato em relação às qualidades estáticas (por exemplo, a complexidade).
	Análise da Arquitetura: Estudo do ajuste do artefato à arquitetura do sistema de informação.
	Otimização: Demonstrar a otimização das propriedades inerentes ao artefato ou fornecer limites aperfeiçoáveis no comportamento do artefato.
	Análise dinâmica: Estudo das qualidades dinâmicas do artefato (por exemplo, desempenho).
3. Experimental	Experimento controlado: Estudo do artefato em ambiente controlado para análise das suas propriedades (por exemplo, usabilidade).
	Simulação: Execução do artefato com o uso de dados artificiais.
4. Testes	Teste Funcional (<i>Black Box</i>): Execução das interfaces do artefato para descobrir falhas e identificar defeitos através de dispositivos específicos.
	Teste Estrutural (<i>White Box</i>): Realizar testes cobrindo algumas métricas (por exemplo, caminhos de execução) utilizadas na implementação do artefato.
5. Descritivo	Argumento informado: Uso das informações da base de conhecimento para construir um argumento convincente da utilidade do artefato.

Fonte: Adaptado de Hevner et al. (2004).

4.1. **Design Science aplicada na construção do protótipo PDAD-ES**

As sete Diretrizes e as cinco formas de avaliação dos artefatos descritas por (HEVNER et al., 2004) foram utilizadas nessa dissertação que está em consonância com o método de pesquisa *design science research*.

1ª Diretriz: Design com um artefato.

Esse trabalho de pesquisa produzirá o protótipo do artefato PDAD-ES (*Payload Data Acquisition and Dissemination- Expert System*).

2ª Diretriz: Relevância do problema

O protótipo PDAD-ES é o sistema especialista que propiciará suporte à decisão em casos de anomalias nas estações terrenas de recepção, na conectividade entre os *campi* do INPE, na configuração dos equipamentos das estações terrenas, treinamento dos técnicos e engenheiros do Instituto, etc.

A interface do usuário do protótipo PDAD-ES também possibilitará aos técnicos e engenheiros do INPE o acompanhamento diário das atividades de aquisição, gravação e disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2, do satélite GOES-R e do satélite LANDSAT-8.

3ª Diretriz: Avaliação do design.

Alguns métodos de avaliação propostos por (HEVNER et al., 2004) e mostrados na Tabela 3 serão utilizados para avaliação dos artefatos produzidos nesse trabalho.

Dentre os métodos de avaliação que serão utilizados estão:

1. Observacional: Estudo de Caso;
2. Analítica: Análise da arquitetura e análise dinâmica;
3. Experimental: Simulação;
4. Testes: Teste Funcional (Black Box) e Teste Estrutural (White Box).

4ª Diretriz: Contribuições da pesquisa.

A contribuição desse trabalho de pesquisa é a construção e verificação do protótipo PDAD-ES que será utilizado para preservação do conhecimento, respostas rápidas às anomalias e falhas nas estações terrenas de

recepção, configuração de sistemas e subsistemas para aquisição de dados brutos e capacitação de pessoal.

Outra contribuição desse trabalho de pesquisa é a construção e verificação da interface do usuário do protótipo PDAD-ES que possibilita o acompanhamento diário das aquisições dos dados brutos, a disseminação, o acordo de nível de serviço e estatísticas de desempenho na recepção dos dados brutos dos satélites operados pelo INPE.

O protótipo PDAD-ES possibilita, desde a redução de erros humanos, à preservação e utilização do conhecimento endógeno e exógeno adquirido durante décadas na área de aquisição de dados de plataformas orbitais. Também propicia menor tempo de reposta a possíveis anomalias e falhas que, se não forem solucionadas a tempo, poderão acarretar perdas de dados brutos transmitidos por satélites científicos, meteorológicos e de observação da Terra.

Esse trabalho de pesquisa também contribuirá para adição de novos constructos, métodos e instanciações à base de conhecimento do *framework* proposto por (HEVNER et al., 2004) e ilustrado na Figura 2.1. Também contribuirá para a resolução de problemas no segmento solo do INPE de forma mais eficiente e mais efetiva.

5ª Diretriz: Rigor da pesquisa.

Rigor aborda a maneira em que a pesquisa é conduzida. A pesquisa científica que utiliza o método *design science research* requer a aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção quanto na avaliação do artefato projetado. O rigor muitas vezes é avaliado pela aderência às técnicas de coleta e análise de dados utilizados apropriadamente (HEVNER et al., 2004).

Pesquisas anteriores em desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, sistemas de informação, inteligência artificial, sistemas especialistas, sistemas de solo, engenharia de sistemas, normas ECSS e

CCSDS, documentação de missões espaciais nacionais e internacionais serviram como base para essa pesquisa científica.

É apresentada a identificação das possíveis anomalias e falhas no segmento solo e segmento espacial que foram categorizadas por segmento, pelo tipo do problema e pelos impactos de cada anomalia no sistema como um todo.

São apresentadas as árvores de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção da constelação COSMIC-2 e dos satélites GOES-R e LANDSAT-8, e a árvore de possibilidades utilizada para identificação de anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção e disseminação dos dados brutos.

6ª Diretriz: *Design* como um processo de pesquisa.

Essa pesquisa foi desenvolvida no INPE especificamente na linha de pesquisa em Sistemas de Solo para Missões Espaciais. Foram utilizados os equipamentos, sistemas e subsistemas das estações terrenas de recepção de dados de satélites, bem como a rede de comunicação de dados que interconecta os *campi* do INPE.

Também foram utilizadas as normas ECSS e CCSDS, a literatura sobre sistemas de solo, inteligência artificial, sistemas especialistas, CLIPS, PHILIPS, e as documentações referentes às missões espaciais COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8.

7ª Diretriz: Comunicação da pesquisa.

Esse projeto de pesquisa foi apresentado em sessão oral para os técnicos e engenheiros do INPE em São José dos Campos - SP, na unidade do INPE em Cachoeira Paulista - SP e na unidade do INPE em Cuiabá – MT.

Também foi submetido um artigo científico sobre essa pesquisa na revista GEPROS (Gestão da Produção, Operações e Sistemas) do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *campus* Bauru – SP.

Essa revista teve o estrato *qualis* atualizado na Plataforma Sucupira em 2015 e ela está avaliada como B4 na área de Engenharias III e como B3 na Administração.

Adicionalmente, foi submetido o artigo científico “Satellite Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System” no Intelligent Systems Conference 2017. Essa conferência acontecerá em setembro de 2017 no Reino Unido e compreende as áreas a) Artificial intelligence/expert systems; b) Machine vision; c) Robotics; d) Ambient intelligence; e) Security e f) Machine learning.

A redação dessa dissertação também é uma forma de comunicação dessa pesquisa científica que possui dois estudos de caso.

O próximo capítulo abordará os trabalhos relacionados nos quais são descritos sistemas especialistas utilizados na área espacial. Nesses trabalhos é possível observar a utilização de sistemas especialistas tanto no segmento espacial, quanto no segmento solo e a utilização de diferentes formas de representação do conhecimento, a aplicação dos mecanismos de raciocínio e dos modos de acesso ao sistema especialista.

5 TRABALHOS RELACIONADOS

O desenvolvimento, a implementação e a aplicação de sistemas especialistas foram observados tanto na fase de pesquisa, quanto na fase de desenvolvimento e verificação do protótipo PDAD-ES.

Os autores (MURATORE et al., 1989) no artigo “*Applications of Artificial Intelligence To Space Shuttle Mission Control*” relatam que durante a recuperação do acidente da *Challenger*, dois sistemas especialistas em tempo real foram implementados e certificados para uso na fabricação de espaçonaves.

Os autores (LEE et al., 2004) descreveram a concepção, implementação e teste de um sistema especialista *on-board* desenvolvido para dois nano satélites denominados Esmerald. Este sistema leva vantagem da arquitetura de computação distribuída do Esmerald e está sendo usado para detecção de falhas *on-board*. O sistema especialista *Sapphire* tem sido usado para uma variedade de tarefas de automação de tarefas em órbita.

Os autores (GOYAL et al., 2014) descrevem o sistema especialista para seleção de dados de satélites desenvolvido em JESS e método de raciocínio com encadeamento progressivo.

Os autores (GEORGEFF e FIRSCHEIN, 1985) descrevem um sistema especialista utilizado na automação da estação espacial internacional. Os autores mostram algumas áreas de aplicação dos sistemas especialistas na estação espacial, como na manutenção e reparo, controle de processos, garantia da qualidade, manutenção dos equipamentos e no subsistema de monitoramento e controle.

O autor (PIPPIN, 2002) descreve o desenvolvimento de um sistema especialista para seleção de materiais para utilização em missões espaciais. Esse sistema especialista compreende as bases de conhecimento *SMS (Spacecraft Materials Selector)*, *SEA (Space Environment Advisor)*, *Specific Materials*, *Material Selector*, *Kapton*,

Ag/FEP (Fluorinated Ethylene-Propylene), Paints, Silicones, A276, Z93, Metals e MLI (Multi-Layer Insulation). O motor de inferência utilizado é um pacote de software desenvolvido pela Boeing chamado de *Boeing Expert System Tool (BEST) kit*.

Os autores (KOONS e GORNEY, 1994) descrevem um sistema especialista desenvolvido na Aerospace Corporation Space Systems Laboratory (SSL) para auxiliar na análise de anomalias no satélite que podem ser causadas devido às interações com o ambiente espacial. Essas anomalias podem ser causadas por descargas eletrostáticas resultantes da carga na superfície, da carga dielétrica, SEU (*Single Event Upset*) ou pela quantidade total de radiação. Os efeitos dependem da órbita do satélite, do ambiente local, do tempo de exposição do satélite e da resistência dos circuitos e componentes utilizados no satélite.

Os autores (SINGH e VERMA, 2010) descrevem que a principal razão para a utilização de um sistema especialista, em tempo real, é a redução da carga cognitiva em usuários ou para permitir-lhes aumentar a sua produtividade sem aumentar a carga cognitiva. Os autores também citam sistemas especialistas utilizados em diferentes áreas do conhecimento. Na área aeroespacial é apresentado o sistema especialista *Spacecraft Control Anomaly Resolution Expert System (SCARES)* que é utilizado no diagnóstico de anomalias do sistema de controle de atitude de uma espaçonave, tendo como objetivo final alcançar a autonomia da nave espacial.

Os autores (ANDERSON e KITTS, 2004) descrevem o uso de sistemas especialistas como um meio de fornecer aos operadores de satélites uma ferramenta rápida e confiável para análise de telemetrias. Os autores desenvolveram um sistema especialista baseado em MATLAB que tem como objetivo prover um sistema de regras de produção para análise de telemetrias. A pesquisa dos autores teve como foco o desenvolvimento do sistema especialista denominado MATLAB expert System. Os testes operacionais do sistema especialista foram realizados com as telemetrias do satélite *Sapphire* que foi desenvolvido pela *Stanford Satellite System*

Development Laboratory. O SOH do satélite *Sapphire* é monitorado pelo sistema especialista denominado *Chatterbox* que provê o monitoramento da saúde do satélite baseado em *beacon*.

Os autores (SARY e WERKING, 1987) mostram que a *Computer Sciences Corporation (CSC)* realizou estudos e desenvolveu protótipos utilizando três formas de sistemas inteligentes: raciocínio baseado em casos, raciocínio baseado em regras e raciocínio baseado em modelos. Os autores indicam que a indústria aeroespacial pode utilizar essas tecnologias em diferentes áreas como projeto da espaçonave, integração e testes, controle da missão e suporte aos sistemas de solo, e sistemas de bordo. Dentre os projetos desenvolvidos no *Mission Operations and Data Systems Directorate (MO&DSD)* do *Goddard Space Flight Center (GSFC)* da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* estão:

Integrated Monitoring, Analysis, and Control COTS System (IMACCS) que utiliza modelagem de estados finitos para o diagnóstico de falhas.

Reusable Experience with Case Based Reasoning for Automating Lessons Learned (RECALL) que utiliza o raciocínio baseado em casos (*Case-Based Reasoning – CBR*);

Ranging Equipment Diagnostic Expert System (REDEX) é um sistema especialista baseado em regras que diagnostica falhas de hardware nos equipamentos que a NASA utiliza nas estações terrenas. Ele ajuda os técnicos a identificar placas de circuitos defeituosos ou módulos que devem ser substituídos.

Generic Spacecraft Analyst Assistant (GenSAA) permite aos analistas de naves espaciais construir rapidamente sistemas especialistas em tempo real que executam funções de monitoramento das espaçonaves e isolamento de falhas.

Os sistemas especialistas construídos através do GenSAA auxiliam os analistas das espaçonaves durante as operações em tempo real em

centros de controle de espaçonaves. Atualmente, o GenSAA é utilizado para suportar várias missões espaciais no GSFC.

Generic Inferential Executor (Genie) é uma ferramenta que foi desenvolvida como uma extensão do GenSAA para a criação de aplicativos que automatizam planejamento e operações para espaçonaves. Genie duplica a monitorização de rotina, a tomada de decisões e ações do pessoal de operações de voo. Foi selecionado para uso em várias missões da NASA.

O autor (FALCÃO, 2009) propôs uma técnica para o desenvolvimento de sistemas especialistas na organização e alocação de recursos denominada TECSOAR (Técnica para Sistemas Especialistas em Organização e Alocação de Recursos Aeroportuários) com a capacidade de auxiliar os alocadores de aeronaves no aeroporto de Guarulhos na tomada de decisão, visando melhor aproveitamento dos recursos aeroportuários e a redução de tempo e custos operacionais.

A verificação e a validação da técnica proposta foram realizadas por meio de um estudo de caso no qual se desenvolveu um protótipo de Sistema Especialista de Organização e Alocação de Recursos Aeroportuários no aeroporto de Guarulhos, denominado SOAR.

Os autores (XIANG; TAO e JINGYAN, 2014) descrevem o desenvolvimento e uso do sistema especialista denominado KICNP-S para auxílio na tarefa de planejamento em sistema multi robô. Sistemas multi robô (MRS) compreendem um conjunto de pequenos robôs que são utilizados em modo autônomo para serviço em órbita (OOS). O sistema especialista KICNP-S contém a base de conhecimento armazenada em arquivo XML. A representação do conhecimento é feita através de *frames* e o motor de inferência compreende o encadeamento para frente e o encadeamento para trás. Os autores concluíram que o sistema especialista também é adequado para planejamento de sistemas robóticos heterogêneos.

Os autores (QIAN et al., 2009) descrevem o desenvolvimento de um sistema especialista denominado SCAWES (*Spacecraft Collision Avoidance Warning Expert System*) desenvolvido em CLIPS e com encadeamento progressivo e que tem o objetivo de emitir alerta de colisão e a aplicação de manobras anticolisão. Os autores relatam que a necessidade de manobras anticolisão está aumentando à medida que o número de naves espaciais operacionais e *debris* aumentam.

Os autores (BARDINA e THIRUMALAINAMB, 2005) descrevem um sistema especialista baseado na WWW para aconselhamento sobre o efeito do tempo nas operações de lançamento, simulação da dispersão de gases tóxicos e avaliação dos riscos para a saúde humana.

A WWW permite que o conhecimento do especialista seja fornecido para locais distribuídos, tendo como fatores cruciais a segurança e a comunicação rápida dentro da NASA.

Um servidor Web dedicado com um sistema de gerenciamento de dados e modelos físicos suporta três sistemas especialistas distintos: a) sistema especialista para condições do tempo (WES), b) sistema especialista para exposição aos gases tóxicos e c) sistema especialista para avaliação de risco à saúde humana.

Cada sistema especialista é composto pelo motor de inferência com encadeamento regressivo, base de conhecimento com base nos domínios específicos (por exemplo, condições do tempo, gases tóxicos e dispersão e regras para avaliação de contingência de risco à saúde humana) e a interface gráfica do usuário que é baseada na web. Cada sistema especialista tem um tipo específico de regras que são derivadas das regras de contingência. A interoperabilidade entre sistemas especialistas é baseada no protocolo internet.

Os autores (LIANXIANG et al., 2009) apresentam um modelo de aquisição de conhecimento para um sistema especialista utilizado no diagnóstico de falhas em satélites. Os autores descrevem os meios de

aquisição de conhecimento manual e a aquisição de conhecimento de forma automática.

Na aquisição de conhecimento manual, um engenheiro do conhecimento se comunica pela primeira vez com os especialistas de domínio para adquirir os conhecimentos e, em seguida, insere o conhecimento na base de conhecimento.

O modelo automático de aquisição de conhecimento consiste em cinco etapas, tais como, a coleta de amostras, discretização difusa, construção de tabela de decisão, redução de atributos e a extração de regras.

A autora (ROCHA, 2006) descreve o desenvolvimento de um sistema especialista denominado SERCA (Sistema Especialista para Resolução de Conflitos Aéreos), desenvolvido na linguagem JESS e com encadeamento progressivo.

O SERCA é utilizado no auxílio aos operadores do Sistema CNS/ATM visando melhorar a eficiência dos órgãos de controle em evitar possíveis conflitos em rotas aéreas, sequenciar as aeronaves para procedimento de pouso, garantindo a segurança dos voos e a confiabilidade do sistema de Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo.

Os autores (ANNAIAHSHETTY e PRASAD, 2013) descrevem o projeto e o desenvolvimento de um sistema especialista para auxiliar o desenvolvedor de software no ciclo de vida de desenvolvimento de software com diversos especialistas de domínio, como telecomunicações, bancário, seguros, logística, saúde, sistemas de satélites. O sistema especialista foi desenvolvido com a linguagem de programação JESS e o motor de inferência utiliza o encadeamento para frente.

Os autores (FORRESTER e HARRIS, 2007) descrevem o uso de sistema especialista utilizado para pesquisa genealógica e que foi desenvolvido em CLIPS e integrado com o PHILIPS. Esse sistema especialista utiliza redes semânticas para representação do conhecimento e método

raciocínio com encadeamento progressivo. A Tabela 5.1 ilustra o sistema especialista PDAD-ES e outros especialistas correlatos.

Tabela 5.12 - Sistema especialista PDAD-ES e sistemas especialistas correlatos.

Autor	Descrição
Muratore et al. (1989)	Sistemas especialistas, em tempo real, implementados e certificados para uso na fabricação de espaçonaves.
Lee et al. (2004)	Concepção, implementação e teste de um sistema especialista <i>on-board</i> desenvolvido para dois nano satélites denominados Esmerald.
Goyal et al. (2014)	Sistema especialista para seleção de dados de satélites.
Georgeff e Firschein (1985)	Sistema especialista utilizado na automação da estação espacial internacional.
Koons e Gorney (1994)	Sistema especialista desenvolvido para auxiliar na análise de anomalias no satélite que podem ser causadas devido às interações com o ambiente espacial.
Singh e Verma (2010)	Sistema especialista <i>Spacecraft Control Anomaly Resolution Expert System (SCARES)</i> que é utilizado no diagnóstico de anomalias do sistema de controle de atitude de uma espaçonave, tendo como objetivo final alcançar a autonomia da nave espacial.
Anderson e Kitts (2004)	Descrevem o uso de sistemas especialistas como um meio de fornecer aos operadores de satélites uma ferramenta rápida e confiável para análise de telemetrias.

(Continua)

Tabela 5.13 - Sistema especialista PDAD-ES e sistemas especialistas correlatos.

Sary e Werking (1987)	Descrevem os sistemas especialistas a) Ranging Equipment Diagnostic Expert System (REDEX) que diagnostica falhas de hardware nos equipamentos que a NASA utiliza nas estações terrenas. Ele ajuda os técnicos a identificar placas de circuitos defeituosos ou módulos que devem ser substituídos; b) Generic Spacecraft Analyst Assistant (GenSAA) que permite aos analistas de naves espaciais construir rapidamente sistemas especialistas em tempo real que executam funções de monitoramento das espaçonaves e isolamento de falhas.
Qian et al. (2009)	Sistema especialista denominado SCAWES (<i>Spacecraft Collision Avoidance Warning Expert System</i>) desenvolvido em CLIPS que tem o objetivo de emitir alerta de colisão e a aplicação de manobras anticolisão.
Lianxiang et al. (2009)	Apresentam um modelo de aquisição de conhecimento para um sistema especialista utilizado no diagnóstico de falhas em satélites.
Bardina e Thirumalainamb (2005)	Descrevem um sistema especialista baseado na WWW para aconselhamento sobre o efeito do tempo nas operações de lançamento, simulação da dispersão de gases tóxicos e avaliação dos riscos para a saúde humana.
Barbosa (2016)	Sistema especialista denominado PDAD-ES utilizado para a) treinamento e configuração dos sistemas de recepção dos dados brutos dos satélites COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R; e b) identificação de anomalias e falhas no segmento espacial e/ou segmento solo e aconselhamento para solução do problema.

Fonte: Produção do autor.

Abaixo, na Tabela 5.2, é possível observar as diferentes linguagens de programação ou *shells* utilizadas nos sistemas especialistas.

O CLIPS é a linguagem de programação mais utilizada nos sistemas especialistas para área espacial, pois, além de possuir encadeamento progressivo nativo, sem custos, ampla documentação, também possibilita a adição dinâmica de novos dados pelo usuário e, com isso, desencadeia novas inferências. O encadeamento progressivo é mais adequado para situações dinâmicas nas quais as condições podem mudar constantemente.

A representação do conhecimento nos sistemas especialistas utilizados na área espacial é majoritariamente realizada através de regras de produção.

Dentre as características positivas dos trabalhos dos demais autores podemos citar a utilização do encadeamento progressivo e da linguagem de programação CLIPS e a representação do conhecimento através de regras de produção. Entretanto, muitos desses trabalhos possuem apenas acesso *stand alone*, o que inviabiliza o acesso remoto através da WWW.

O diferencial desse trabalho de pesquisa em relação aos demais sistemas especialistas utilizados na área espacial é o modo de acesso através da WWW (PHP, PHILIPS e servidor web apache), o qual possibilita que o protótipo PDAD-ES possa ser acessado a partir dos diferentes *campi* do INPE.

O protótipo PDAD-ES também pode ser utilizado na aquisição dos dados brutos de diferentes tipos de missões espaciais (meteorologia, científica e observação da Terra), com diferentes tipos de órbita (polar, equatorial e geoestacionária) e na disseminação dos dados brutos de carga útil dos satélites do INPE e de terceiros.

A Tabela 5.2 ilustra a comparação entre o sistema especialista PDAD-ES e outros sistemas especialistas utilizados na área espacial.

Tabela 45.2 - Comparação entre os sistemas especialistas utilizados na área espacial.

Autor	SE	Shell	Representação do conhecimento	Modo de raciocínio	Modo de acesso
Muratore et al. (1989)	INCO	CLIPS	Regras de Produção	Encadeamento progressivo	<i>Stand alone</i>
Singh e Verma (2010)	SCARES	LISP	Regras de Produção	-	<i>Stand alone</i>
Anderson e Kitts (2004)	MATLAB Expert System	MAT LAB	Regras de Produção	-	<i>Stand alone</i>
Sary Werking (1987)	RECALL	-	Raciocínio baseado em casos	-	<i>Stand alone</i>
	REDEX	-	Regras de Produção	-	<i>Stand alone</i>
Bardina e Thirumalaina mb (2005)	WES	-	Regras de Produção	Encadeamento regressivo.	WWW
	TES				
	HES				
Qian et al. (2009)	SCAWES	CLIPS	Regras de produção	Encadeamento progressivo.	<i>Stand alone</i>
Lianxiang et al. (2009)	<i>satellite fault diagnosis expert system</i>	C++	Regras de produção	-	<i>Stand alone</i>
Barbosa, (2016)	PDAD-ES	CLIPS	Regras de produção	Encadeamento progressivo.	WWW

Fonte: Produção do autor.

O próximo capítulo abordará o estudo de caso utilizado para treinamento e configuração das estações terrenas de recepção e o estudo de caso utilizado na identificação de anomalias e falhas no segmento espacial ou no segmento solo.

A utilização da *design science* research, em conjunto com técnicas de inteligência artificial, contribui para preservação e para o compartilhamento do conhecimento, na criação de novos constructos, métodos e instanciações, na redução do tempo de indisponibilidade das estações terrenas e no cumprimento do acordo de nível de serviço, principalmente nesse momento onde há a necessidade de disponibilização dos dados para o usuários em menor tempo possível.

6 ESTUDO DE CASO

De acordo com Hevner et al. (2004), o estudo de caso é uma pesquisa empírica que busca melhor compreender o fenômeno contemporâneo, normalmente complexo, no seu contexto real. Os estudos de caso são considerados valiosos, uma vez que permitem descrições detalhadas de fenômenos normalmente baseados em fontes de dados diversas. Os estudos de caso asseguram que a investigação e o entendimento do problema sejam feitos em profundidade.

O protótipo PDAD-ES é um sistema de informação utilizado para preservar o conhecimento disponível no INPE, auxiliar os servidores e os colaboradores na configuração das estações terrenas de recepção e realizar recomendações em caso de parada parcial ou total dos sistemas e subsistemas de aquisição e disseminação dos dados brutos dos satélites operados pelo INPE.

O protótipo PDAD-ES compreende dois estudos de caso: a) Sistema especialista para treinamento e configuração dos sistemas de recepção dos dados brutos dos satélites COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R; e b) Sistema especialista para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2, na disseminação dos dados brutos e o aconselhamento para solução do problema.

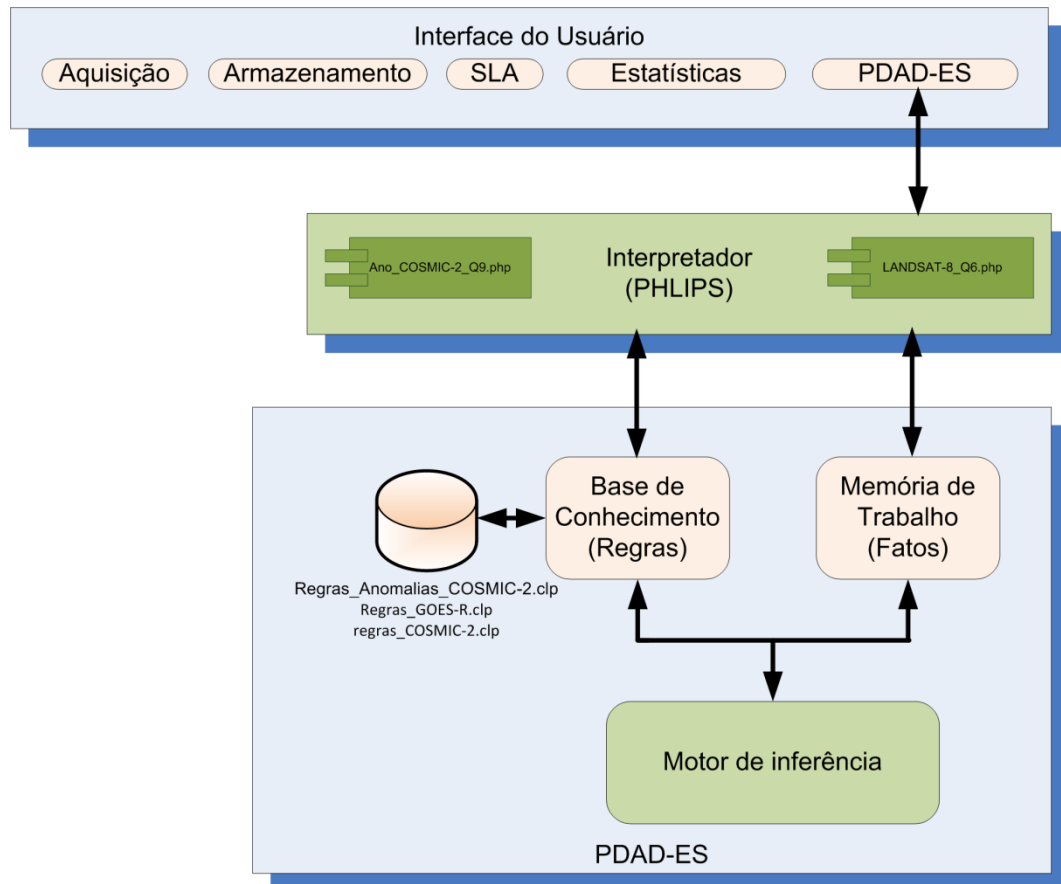
6.1. Interface do Usuário do sistema especialista

A interface do usuário do sistema especialista PDAD-ES foi desenvolvida com as linguagens de programação PHP, HTML, Java Script, o gerenciador de banco de dados MySQL e as ferramentas para desenvolvimento web HeidiSQL, Bootstrap, CSS, JQuery e o editor de texto *Sublime Text*.

A interface do usuário compreende as atividades de aquisição, armazenamento, estatísticas das passagens adquiridas, acordo de nível de serviço (SLA) e o sistema especialista PDAD-ES. Ela tem como função principal auxiliar o Operador nas atividades corriqueiras de aquisição,

armazenamento e disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2 e dos satélites GOES-R e LANDSAT-8. A Figura 6.1 ilustra a arquitetura do sistema especialista PDAD-ES e a interface do usuário.

Figura 6.1 - Arquitetura do sistema especialista PDAD-ES.



Fonte: Produção do autor.

A interface do usuário, as regras contidas na base de conhecimento e os fatos contidos na memória de trabalho foram produzidos pelo autor.

O Interpretador PHLIPS recebe os dados digitados pelo usuário através da Interface do Usuário, envia-os para o sistema especialista PDAD-ES que retorna a resposta (aconselhamento) para a pergunta do usuário.

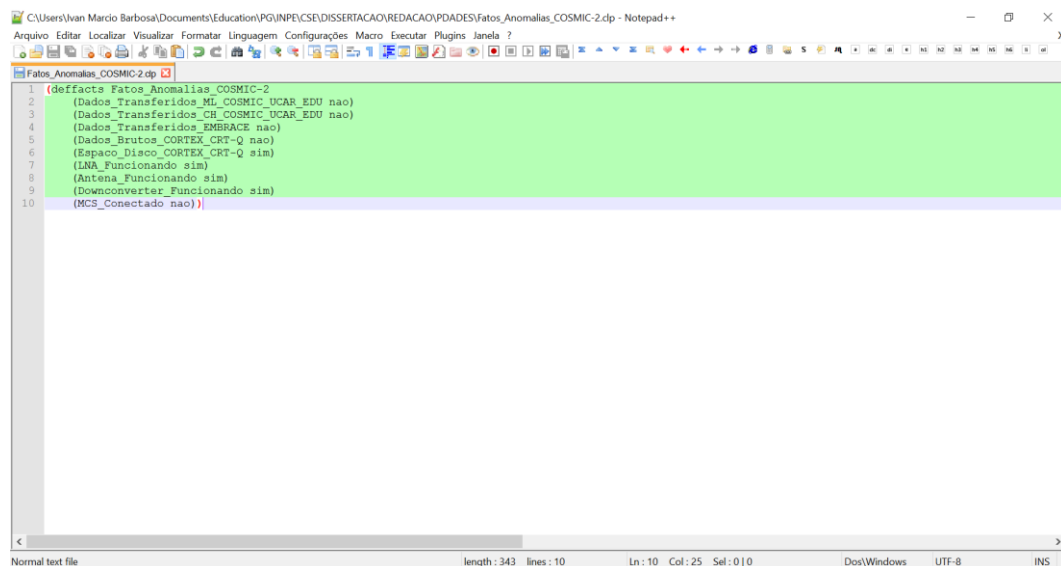
Para a instalação e configuração do PHLIPS foram necessárias a instalação e configuração do kernel do Linux 2.6.9-5.0.3 ELsmp, a compilação e a instalação da linguagem de programação PHP 5.0.0 com o servidor apache httpd 2.0.53 e com a extensão PHLIPS 0.5.1.

O sistema especialista PDAD-ES contém, internamente, os componentes:

- a) Base de Conhecimento, onde estão armazenadas as regras de produção;
- b) a memória de trabalho, onde os fatos são armazenados temporariamente;
- e c) o motor de inferência que é utilizado para inferir quais regras satisfazem determinados fatos.

A adição de novos fatos pode ser feita, por exemplo, através do arquivo “Fatos_Anomalias_COSMIC-2.clp”, conforme mostrado na Figura 6.2.

Figura 6.2 – Arquivo Fatos_Anomalias_COSMIC-2.clp.

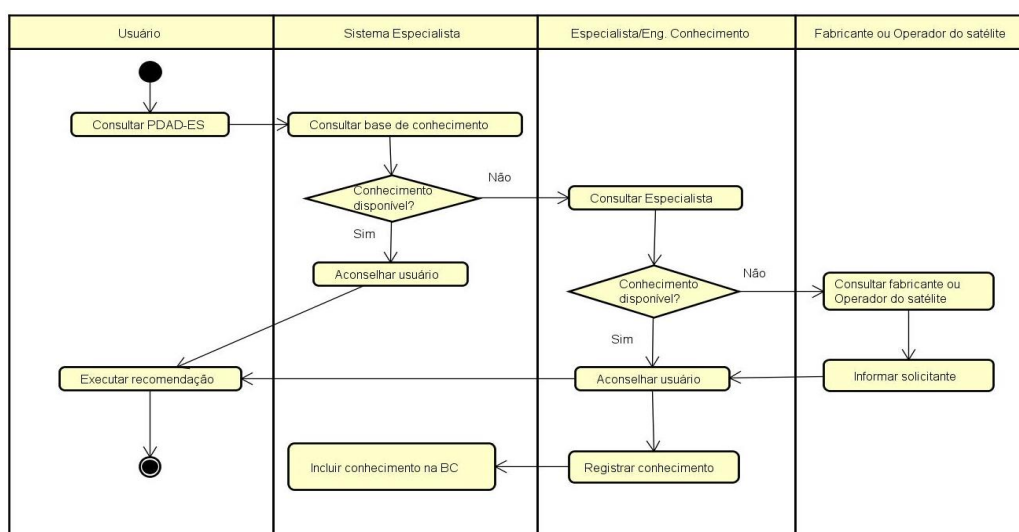


```
1 (defacto Fatos_Anomalias_COSMIC-2
2 (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
3 (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
4 (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
5 (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
6 (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)
7 (LNA_Funcionando sim)
8 (Antena_Funcionando sim)
9 (Downconverter_Funcionando sim)
10 (MCS_Conectado nao)).
```

Fonte: Produção do autor.

Sempre que há alguma anomalia, falha ou a inclusão de algum satélite é importante verificar se o conhecimento já está disponível na base de conhecimento do sistema especialista. Em caso negativo, é realizada a consulta ao especialista de domínio e, caso o especialista de domínio não possua o conhecimento, o fabricante do sistema, subsistema ou equipamento é consultado e o conhecimento é inserido na base de conhecimento do sistema especialista PDAD-ES. O diagrama de atividades do sistema especialista PDAD-ES é mostrado na Figura 6.3.

Figura 6.3 - Diagrama de atividades do PDAD-ES.

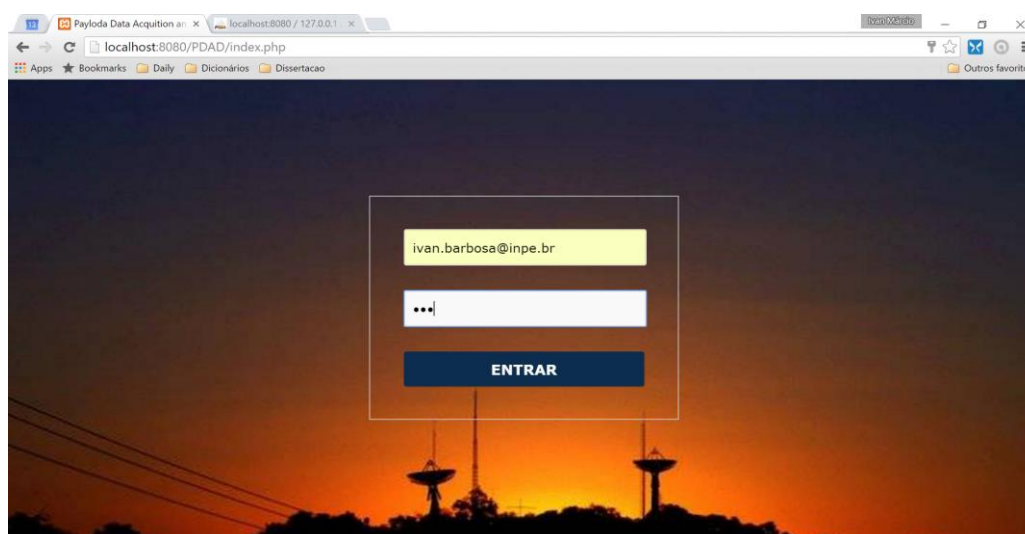


Fonte: Produção do autor.

Durante as atividades corriqueiras e operacionais de recepção dos dados brutos da constelação COSMIC-1 e COSMIC-2 e dos satélites LANDSAT-8 e GOES-R, diversos fatores podem ocasionar a perda total ou parcial dos dados. As falhas podem ocorrer tanto no segmento espacial, como no segmento solo.

A Figura 6.4 ilustra o acesso sistema especialista PDAD-ES. O código fonte do acesso (index.php) sistema especialista está disponível no Apêndice E.

Figura 6.4 - Acesso ao sistema especialista PDAD-ES.



Fonte: Produção do autor.

Na parte superior da página principal, denominada *dashboard*, há três relógios com os horários de Cuiabá - MT, UTC e Brasília - DF. Isso se faz necessário para evitar possíveis erros operacionais em decorrência das diferenças de horários entre Cuiabá, Brasília e o horário universal (UTC).

A aba Aquisição possui a programação das passagens e possibilita o acompanhamento, em tempo real, das passagens a serem adquiridas pela estação terrena de recepção. Com base na programação das passagens, o operador configura o ZDS Cortex ACU e o ZDS Cortex CRT-Q para a recepção dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2, o ZDS cortex HDR XXL e ViaSat ACU para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 e Quorum GRB 200 para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R .

A programação das passagens é gerada pelo MCC dos programas COSMIC-1 e COMISC-2 da agência taiwanesa NSPO, pelo MCC do programa LANDSAT-8 da agência americana USGS e pelo MCC do programa GOES-R da agência americana NOAA.

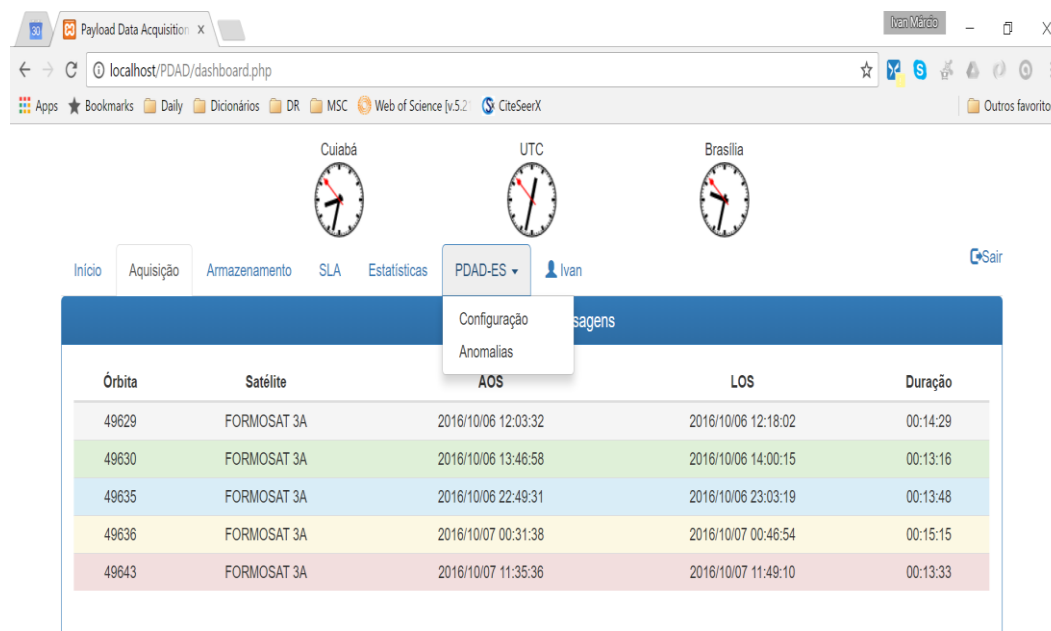
A aba “SLA” compreende todas as passagens recebidas, as passagens não recebidas e as passagens disseminadas. Nessa aba é possível acompanhar a execução do acordo de nível de serviço que está descrito no Anexo 2 do Memorando de Entendimento (MoU) entre o INPE e a NOAA. O código fonte do *dashboard* (dashboard.php) está disponível no Apêndice F;.

A latência e a disponibilidade dos dados brutos são parâmetros críticos para os programas COSMIC-2 e GOES-R, pois possibilitam o fornecimento dos dados em tempo real para o acompanhamento de eventos meteorológicos e fenômenos ambientais.

Um dos requisitos do programa COSMIC-2 é que 95% dos dados brutos tenham latência menor que 30 minutos. Esse tempo inicia-se a partir da aquisição dos dados pelos sensores a bordo dos satélites da constelação COSMIC-2, a recepção desses dados na estação terrena de recepção COSMIC-2 e a disseminação dos dados brutos para a NOAA, o

EMBRACE (INPE) e para a UCAR. Qualquer atraso na recepção e disseminação dos dados brutos impacta negativamente no desempenho do programa COSMIC-2. A Figura 6.5 ilustra a interface do usuário do sistema especialista PDAD-ES.

Figura 6.5 - Interface do usuário do sistema especialista PDAD-ES.



Fonte: Produção do autor.

Quando há alguma anomalia no segmento espacial ou no segmento solo, o impacto no desempenho nos programas COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8 é inevitável. O sistema especialista PDAD-ES propiciará resiliência e resposta imediata às anomalias e falhas apresentadas no segmento espacial, bem como no segmento solo.

6.2. Sistema especialista PDAD-ES

O objetivo principal do protótipo PDAD-ES é reduzir o tempo de resposta às anomalias e falhas no segmento solo, auxiliar na configuração dos equipamentos das estações terrenas de recepção, monitoramento, reparo e ajuste dos sistemas do segmento solo para recepção e disseminação das passagens dos satélites da constelação COSMIC-1, COSMIC-2, LANDSAT-8 e GOES-R. A Tabela 6.1 mostra os tipos de erros – e suas consequências – causados por problemas no segmento espacial.

Tabela 6.1- Tipos de erros causados por problemas no segmento espacial.

Tipos de Erros	Problemas no Segmento Espacial (PSE)	Consequências
Anomalias no satélite.	X	Impossibilidade de gravação dos dados brutos.
Correção de órbita do satélite.	X	Impossibilidade de gravação dos dados brutos.
Operação parcial dos instrumentos a bordo dos satélites.	X	Gravação parcial dos dados brutos.
Satélite não transmitiu dos dados brutos.	X	Falha na transmissão dos dados brutos.
Calibração dos instrumentos dos satélites.	X	Impossibilidade de gravação dos dados brutos.

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 6.2 mostra os Tipos de Erros, as prováveis origens (Problema Elétrico (PE), Problema Mecânico (PM), Problema Computacional (PC), Problema Humano (PH)) e suas consequências.

Tabela 6.2- Tipos de erros causados no sistema de solo.

Tipos de Erros	PE	PM	PC	PH	Consequências	Contingências
Erro no apontamento da antena.	X	X	X	X	Impede o correto apontamento e movimento da antena.	Atualizar os elementos orbitais na estação terrena de recepção.
Erro no sincronismo de tempo.			X		Faz com que todo o sistema assuma as posições com tempo errado, impedindo a recepção desde o posicionamento da antena até a programação prevista para adquirir os dados.	Sincronizar o horário dos equipamentos do sistema de recepção com o horário do GPS. Verificar o IRIG timecode.

(Continua)

Tabela 6.2 - Tipos de erros causados no sistema de solo.

Erro no arquivo de elementos orbitais (TLE).			X	X	Faz com que toda a órbita calculada pelo sistema esteja errada, pois usará informações incorretas do TLE para gerar a previsão das passagens do satélite.	Atualizar os elementos orbitais na estação terrena de recepção.
Falha no amplificador de baixo ruído (LNA).	X				Causa diminuição e até corte total do sinal recebido pela antena.	Analisar, reparar ou substituir o LNA.
Falha no conversor descendente de sinal (DC).			X	X	Causa erro na frequência que será "sintonizada" pelo receptor e ZDS Cortex CRT-Q.	Analisar, reparar ou substituir o conversor descendente de sinal.
Falha nos cabos que interligam os equipamentos.	X			X	Causa a diminuição ou interrupção do sinal recebido.	Substituir os cabos e/ou os conectores.
Baixar e inserir a programação para recepção dos dados dos satélites no ZDS Cortex ACU.			X	X	Perda total dos dados transmitidos pelos satélites.	Baixar e inserir corretamente a programação das passagens no receptor ZDS Cortex.
Disseminar os dados brutos dos satélites para a UCAR.			X	X	Os dados brutos não foram disponibilizados para a UCAR.	Verificar o link de dados internacional. Abrir chamado no COCTI/SCSTI.
Configuração errônea do ZDS Cortex ACU.				X	Perda total dos dados transmitidos pelos satélites.	Configurar corretamente o receptor cortex ACU.

(Continua)

Tabela 6.2 - Tipos de erros causados no sistema de solo.

Configuração (taxa de transmissão, demodulação PCM, polarização (LHCP, RHCP), FEC (LDPC, Reed Solomon), CCSDS decoding (Bi-phase, differential, viterbi, descrambling, turbo code 1/2)) errônea do receptor córtex CRT-Q.				X	Perda total dos dados transmitidos pelos satélites.	Configurar corretamente a taxa de transmissão, a modulação, a polarização, e FEC para aquisição dos dados brutos.
Disseminar os dados brutos dos satélites para o EMBRACE.			X	X	Os dados brutos não foram disponibilizados para o INPE.	Verificar o link de dados do INPE. Abrir chamado no COCTI/SCSTI.

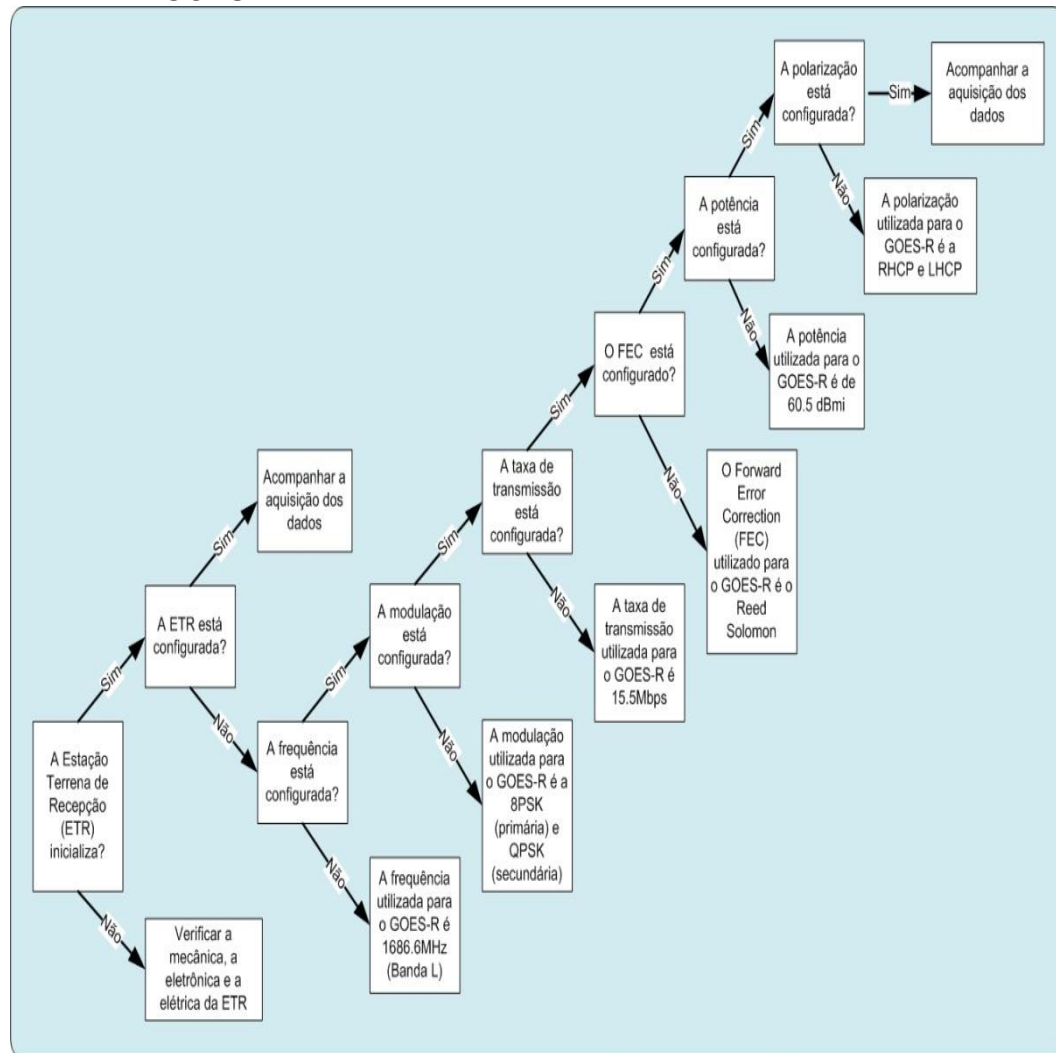
Fonte: Produção do autor.

A quantidade, bem como os tipos de erros nos segmento espacial e no segmento solo, podem variar dependendo da missão espacial, do número de satélites adquiridos pela estação terrena de recepção e pelo número de recursos humanos envolvidos nessas atividades.

6.2.1. Sistema especialista para treinamento e configuração dos sistemas de recepção dos dados brutos das constelações COSMIC-1 e COSMIC-2 e dos satélites LANDSAT-8 e GOES-R.

O satélite GOES-R estará em órbita geoestacionária e não será necessária a programação da passagem. Ocorrerá coleta de dados pelos instrumentos a bordo desse satélite a cada quinze minutos. A Figura 6.6 ilustra a árvore de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção GOES-R.

Figura 6.6 - Árvore de possibilidades para aquisição dos dados brutos do satélite GOES-R.



Fonte: Produção do autor.

O sistema especialista utilizado para configuração da estação terrena de recepção GOES-R compreende, inicialmente, 9 questões. O protótipo irá, com base nos fatos e nas regras contidas em sua base de conhecimento, aconselhar o Operador na configuração dos equipamentos, sistemas e subsistemas dessa estação terrena de recepção. Na Figura 6.7 é possível

observar que a missão espacial GOES-R foi selecionada e que a questão número oito (polarização) foi selecionada como “não”.

Figura 6.7 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção GOES-R.

Selecione a missão espacial

GOES-R

1 - A Estação Terrena de Recepção GOES-R inicializa?
☒ Sim ☐ Não

2 - A Estação Terrena de Recepção GOES-R está configurada?
☒ Sim ☐ Não

3 - A frequência utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada?
☒ Sim ☐ Não

4 - A modulação utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada?
☒ Sim ☐ Não

5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada?
☒ Sim ☐ Não

6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurado?
☒ Sim ☐ Não

7 - A potência utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada?
☒ Sim ☐ Não

8 - A polarização (RHCP e/ou LHCP) utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada?
☒ Sim ☒ Não

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.8 ilustra o aconselhamento do PDAD-ES para configuração da polarização utilizada para recepção dos dados brutos do satélite GOES-R. Na Figura 30 é possível observar o número inicial de fatos (8), o número final de fatos (9), o número total de regras (11), o número de regras executadas (2), e o aconselhamento fornecido pelo sistema especialista.

Figura 6.8 – Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão número 8 (polarização) do satélite GOES-R.

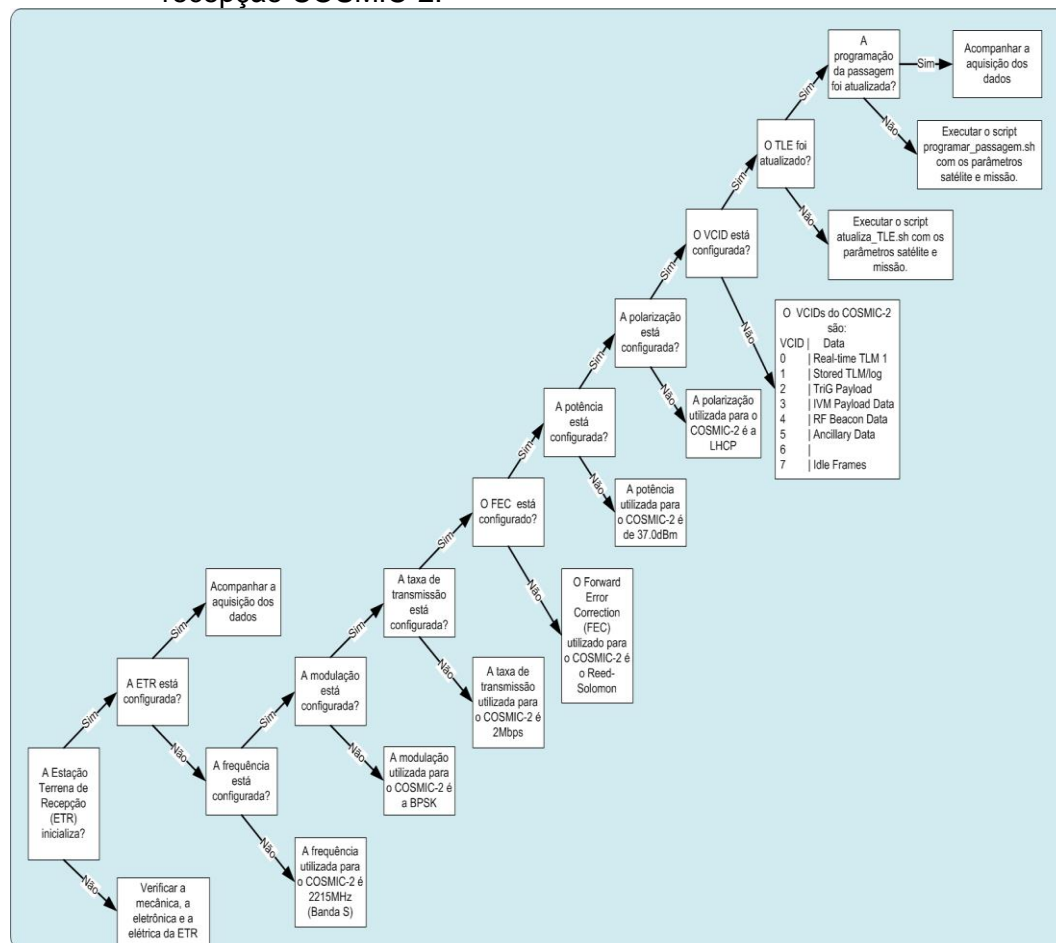
FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 8</p> <pre>array(2) { [0]=> string(14) "ETR_Inicializa" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(15) "ETR_Configurada" [1]=> string(3) "nao" } array(2) { [0]=> string(22) "Frequencia_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(21) "Modulacao_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(28) "Taxa_Transmissao_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(15) "FEC_Configurado" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(20) "Potencia_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(23) "Polarizacao_Configurada" [1]=> string(3) "nao" }</pre> <p>Número Final de fatos: 9</p>	<p>Número total de regras: 12</p> <pre>string(36) "MAIN::Estacao_Terrena_Nao_Inicializa" string(33) "MAIN::Estacao_Terrena_Funcionando" string(28) "MAIN::Configura_Frequencia" string(25) "MAIN::Configura_Modulacao" string(32) "MAIN::Configura_Taxa_Transmissao" string(19) "MAIN::Configura_FEC" string(24) "MAIN::Configura_Potencia" string(27) "MAIN::Configura_Polarizacao" string(19) "MAIN::Configura_TLE" string(31) "MAIN::Configura_Estacao_Terrena" string(16) "MAIN::print-Acao"</pre> <p>Número de regras executadas: 2</p>
<p>ACONSELHAMENTO</p> <pre>array(2) { [0]=> string(4) "Acao" [1]=> string(66) "A polarização utilizada para o satélite GOES-R é RHCP e LHCP." }</pre>	

Fonte: Produção do autor.

O código fonte PHP com a extensão PHLIPS utilizado para configuração da estação terrena GOES-R (GOES-R_Q8.php) está disponível no Apêndice G. As regras escritas em CLIPS (CLIPS Regras_GOES-R.clp) utilizadas para configuração da estação terrena GOES-R estão disponíveis no Apêndice H.

O sistema especialista utilizado para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2 compreende, inicialmente, 11 questões. O protótipo irá, com base nos fatos e nas regras contidas em sua base de conhecimento, aconselhar o Operador na configuração dos equipamentos, sistemas e subsistemas dessa estação terrena de recepção. A Figura 6.9 ilustra a árvore de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.

Figura 6.9- Árvore de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.10 ilustra as questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2. Na Figura 6.10 é possível observar que a missão espacial COSMIC-2 foi selecionada e que a questão número nove (VCID) foi selecionada com “não”.

Figura 6.10 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost/PPAD/dashboard.php'. The page title is 'COSMIC-2 - LANDSAT-8 - GOES-R'. The main content area contains a list of nine questions, each with 'Sim' (Yes) and 'Não' (No) radio buttons and an 'Enviar' (Send) button.

- 1 - A Estação Terrena de Recepção COSMIC-2 inicializa?
- 2 - A Estação Terrena de Recepção COSMIC-2 está configurada?
- 3 - A frequência utilizada para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada?
- 4 - A modulação utilizada para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada?
- 5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada?
- 6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurado?
- 7 - A potência utilizada para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada?
- 8 - A polarização (RHCP e/ou LHCP) utilizada para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada?
- 9 - O VCID (Virtual Channel Identifier) utilizado para recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurado?

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.11 ilustra o aconselhamento do PDAD-ES para configuração do VCID para recepção dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2. Na Figura 6.11 é possível observar o número inicial de fatos (9), o número final de fatos (10), o número total de regras (13), o número de regras executadas (1), e o aconselhamento fornecido pelo sistema especialista.

Figura 6.11 - Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão de número 9 (VCID).

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'http://localhost/PPAD/ES/COSMIC-2/CR.php?questao_9=nao'. The page title is 'Sistema Especialista PDAD-ES'. The main content area is divided into three sections: Fatos, Regras, and Aconselhamento.

FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 9</p> <pre>array(2) { [0] => string(14) "ETR_Inicializa" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(15) "ETR_Configurada" [1] => string(3) "nao" } array(2) { [0] => string(22) "Frequencia_Configurada" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(21) "Modulacao_Configurada" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(28) "Taxa_Transmissao_Configurada" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(15) "FEC_Configurado" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(20) "Potencia_Configurada" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(23) "Polarizacao_Configurada" [1] => string(3) "sim" } array(2) { [0] => string(16) "VCID_Configurado" [1] => string(3) "nao" }</pre> <p>Número Final de fatos: 10</p>	<p>Número total de regras: 13</p> <pre>string(36) "MAIN:Estacao_Terrena_Nao_Inicializa" string(33) "MAIN:Estacao_Terrena_Configurada" string(26) "MAIN:Configura_Frequencia" string(25) "MAIN:Configura_Modulacao" string(32) "MAIN:Configura_Taxa_Transmissao" string(19) "MAIN:Configura_FEC" string(24) "MAIN:Configura_Potencia" string(27) "MAIN:Configura_Polarizacao" string(19) "MAIN:Configura_VCID" string(19) "MAIN:Configura_TLE" string(36) "MAIN:Configura_Programacao_Passagem" string(31) "MAIN:Configura_Estacao_Terrena"</pre> <p>Número de regras executadas: 1</p>

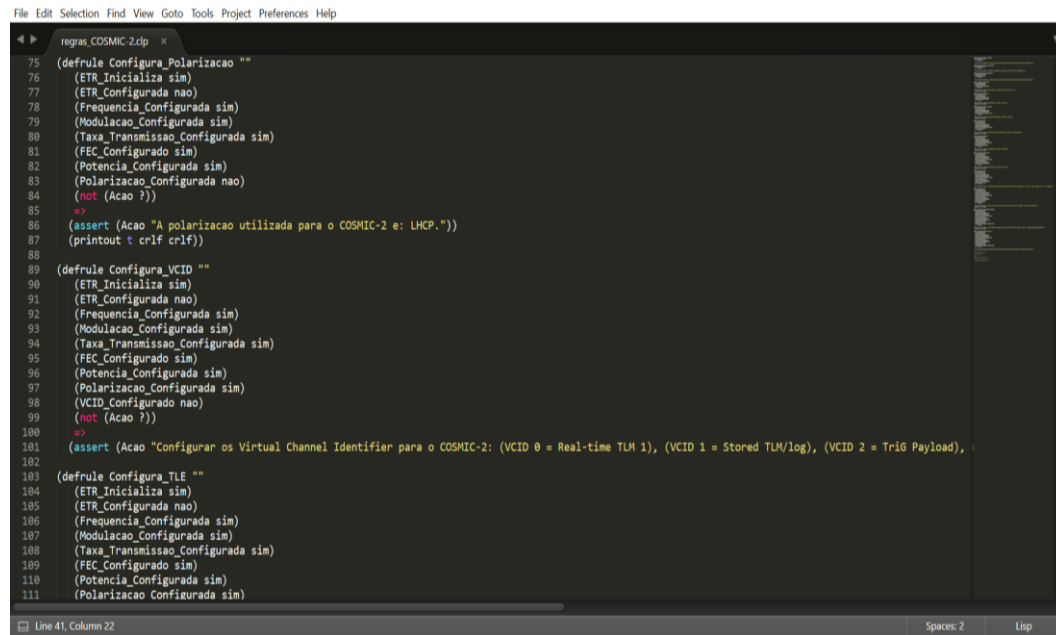
ACONSELHAMENTO
<pre>array(2) { [0] => string(4) "Acao" [1] => string(274) "Configurar os Virtual Channel Identifier para o COSMIC-2: (VCID 0 = Real-time TLM 1), (VCID 1 = Stored TLM log), (VCID 2 = TriG Payload), (VCID 3 = IVM Payload Data), (VCID 4 = RF Beacon Data), (VCID 5 = Ancillary Data), (VCID 6 = Ancillary Data), (VCID 7 = Ancillary Data) " }</pre>

Fonte: Produção do autor.

A adição de novas regras pode ser feita através da edição do arquivo de regras como, por exemplo, para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2 há o arquivo “regras_COSMIC-2.clp”, conforme

mostrado na 6.12. A Figura 6.12 ilustra as regras “Configura_Polarização”, “Configura_VCID” e “Configura_TLE” que são utilizadas para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2 e que foram codificadas na linguagem de programação CLIPS.

Figura 6.12 - Regras utilizadas para configuração da estação terrena de recepção COSMIC-2.

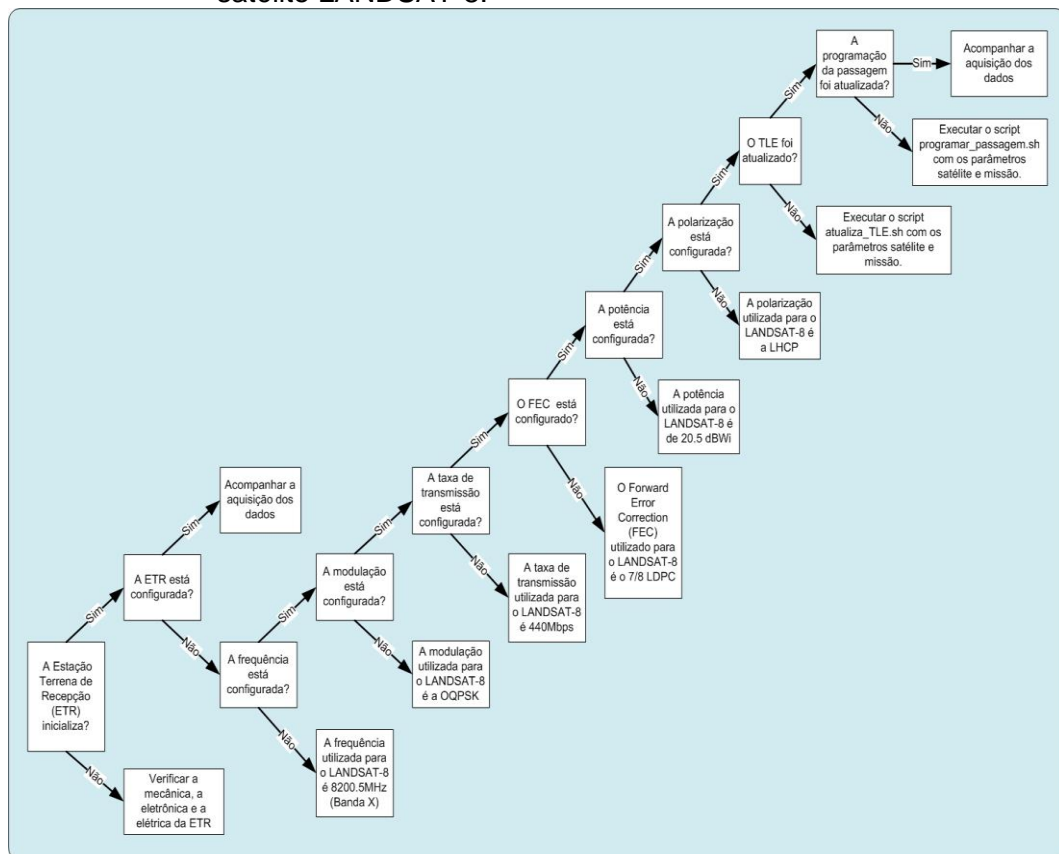


```
File Edit Selection Find View Goto Tools Project Preferences Help
regras_COSMIC-2.clp
75 (defrule Configura_Polarizacao ""
76 (ETR_Inicializa sim)
77 (ETR_Configurada nao)
78 (Frequencia_Configurada sim)
79 (Modulacao_Configurada sim)
80 (Taxa_Transmissao_Configurada sim)
81 (FEC_Configurado sim)
82 (Potencia_Configurada sim)
83 (Polarizacao_Configurada nao)
84 (not (Acao ?))
85 =>
86 (assert (Acao "A polarizacao utilizada para o COSMIC-2 e: LHCP."))
87 (printout t crlf crlf))
88
89 (defrule Configura_VCID ""
90 (ETR_Inicializa sim)
91 (ETR_Configurada nao)
92 (Frequencia_Configurada sim)
93 (Modulacao_Configurada sim)
94 (Taxa_Transmissao_Configurada sim)
95 (FEC_Configurado sim)
96 (Potencia_Configurada sim)
97 (Polarizacao_Configurada sim)
98 (VCID_Configurado nao)
99 (not (Acao ?))
100 =>
101 (assert (Acao "Configurar os Virtual Channel Identifier para o COSMIC-2: (VCID 0 = Real-time TLM 1), (VCID 1 = Stored TLM/log), (VCID 2 = Trid Payload),
102
103 (defrule Configura_TLE ""
104 (ETR_Inicializa sim)
105 (ETR_Configurada nao)
106 (Frequencia_Configurada sim)
107 (Modulacao_Configurada sim)
108 (Taxa_Transmissao_Configurada sim)
109 (FEC_Configurado sim)
110 (Potencia_Configurada sim)
111 (Polarizacao_Configurada sim)
Line 41, Column 22 Spaces: 2 Lisp
```

Fonte: Produção do autor.

O sistema especialista utilizado para configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8 compreende, inicialmente, 10 questões. O protótipo irá, baseado nos fatos e nas regras contidas em sua base de conhecimento, aconselhar o Operador na configuração dos equipamentos, sistemas e subsistemas dessa estação terrena de recepção. A Figura 6.13 ilustra a árvore de possibilidades para configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.

Figura 6.13 - Árvore de possibilidades para aquisição dos dados brutos do satélite LANDSAT-8.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.14 ilustra o aconselhamento do PDAD-ES para configuração do *Forward Error Correction* (FEC) para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8. Na Figura 6.14 é possível observar que a missão espacial LANDSAT-8 foi selecionada e que a questão número seis (FEC) foi selecionada com “não”.

Figura 6.14 - Questões utilizadas na configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost/PPAD/dashboard.php`. The page title is "Sistema Especialista PPAD-ES (Configuração)". Below the title, there are three clock icons labeled "Cuiabá", "UTC", and "Brasília". The main content area is titled "Selecione a missão espacial" and shows three radio buttons: "COSMIC-2", "LANDSAT-8" (selected), and "GOES-R". Below this, there are six numbered questions, each with "Sim" and "Não" radio buttons and an "Enviar" button.

- 1 - A Estação Terrena de Recepção LANDSAT-8 inicializa?
- 2 - A Estação Terrena de Recepção LANDSAT-8 está configurada?
- 3 - A frequência utilizada para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?
- 4 - A modulação utilizada para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?
- 5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?
- 6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurado?

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.15 ilustra o aconselhamento do PDAD-ES para configuração do FEC para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8. Na Figura 6.15 é possível observar o número inicial de fatos (6), o número final de fatos (7), o número total de regras (12), o número de regras executadas (1), e o aconselhamento fornecido pelo sistema especialista.

Figura 6.15 Aconselhamento do PDAD-ES com a resposta da questão de número 6 (FEC).

The screenshot shows the "Sistema Especialista PDAD-ES" interface. It is divided into three main sections: "FATOS", "REGRAS", and "ACONSELHAMENTO".

FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 6</p> <pre>array(2) { [0]=> string(14) "ETR_Inicializa" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(15) "ETR_Configurada" [1]=> string(3) "nao" } array(2) { [0]=> string(22) "Frequencia_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(21) "Modulacao_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(28) "Taxa_Transmissao_Configurada" [1]=> string(3) "sim" } array(2) { [0]=> string(15) "FEC_Configurado" [1]=> string(3) "nao" }</pre> <p>Número Final de fatos: 7</p>	<p>Número total de regras: 12</p> <pre>string(36) "MAIN:Estacao_Terrena_Nao_Inicializa" string(33) "MAIN:Estacao_Terrena_Funcionando" string(26) "MAIN:Configura_Frequencia" string(25) "MAIN:Configura_Modulacao" string(32) "MAIN:Configura_Taxa_Transmissao" string(19) "MAIN:Configura_FEC" string(24) "MAIN:Configura_Potencia" string(27) "MAIN:Configura_Polarizacao" string(19) "MAIN:Configura_TLE" string(36) "MAIN:Configura_Programacao_Passagem" string(31) "MAIN:Configura_Estacao_Terrena"</pre> <p>Número de regras executadas: 1</p>
<p>ACONSELHAMENTO</p> <pre>array(2) { [0]=> string(4) "Acao" [1]=> string(110) "O Forward Error Correction (FEC) utilizado para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 e 7/8 LDPC." }</pre>	

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.16 ilustra o código fonte em PHLIPS que contempla os fatos utilizados para configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.

Figura 6.16 – Código fonte PHLIPS com os fatos utilizados na configuração da estação terrena de recepção LANDSAT-8.

```

52 <td align="left">
53 <?php
54     $usuario_questao_6=$_GET["landsat-8_questao_6"];
55
56     $nome_arquivo_clips='Fatos_LANDSAT-8.clp';
57     $ponteiro_arquivo=fopen($nome_arquivo_clips,'w') or
58     die("Não foi possível abrir o arquivo $nome_arquivo_clips");
59
60     $sim_naol="(defacts LANDSAT-8_fatos (ETR_Inicializa sim) (ETR_Configurada nao) (Frequencia_Configurada sim) (
61     Modulacao_Configurada sim) (Taxa_Transmissao_Configurada sim) (FEC_Configurado $usuario_questao_6))";
62     fputs($ponteiro_arquivo, $sim_naol);
63     fclose($ponteiro_arquivo);
64
65     clips_clear();
66     clips_set_strategy(LEX_STRATEGY);
67     clips_load("$nome_arquivo_clips");
68     clips_load("regras_LANDSAT-8.clp");
69     clips_reset();
70
71     $FatosInicial = clips_get_fact_list();
72     $NumFatosInicial=count($FatosInicial);
73     $NumFatosInicial2=$NumFatosInicial;
74     echo "<p>";
75     print "<b> Número inicial de fatos: </b> ";
76     print($NumFatosInicial2);
77     echo "<p>";
78     for($i=1;$i<=$NumFatosInicial2;$i++)
79     {
80         $fff=var_dump($FatosInicial[$i]);
81         echo "<br /> $fff";
82     }
83     $num_regras_executadas=clips_run();
84     $FatosFinal = clips_get_fact_list();
85     $NumFatosFinal=count($FatosFinal);
86     $NumFatosFinal2=$NumFatosFinal;
87     echo "<p>";
88     print "<b> Número Final de fatos: </b> ";
89     print($NumFatosFinal2);

```

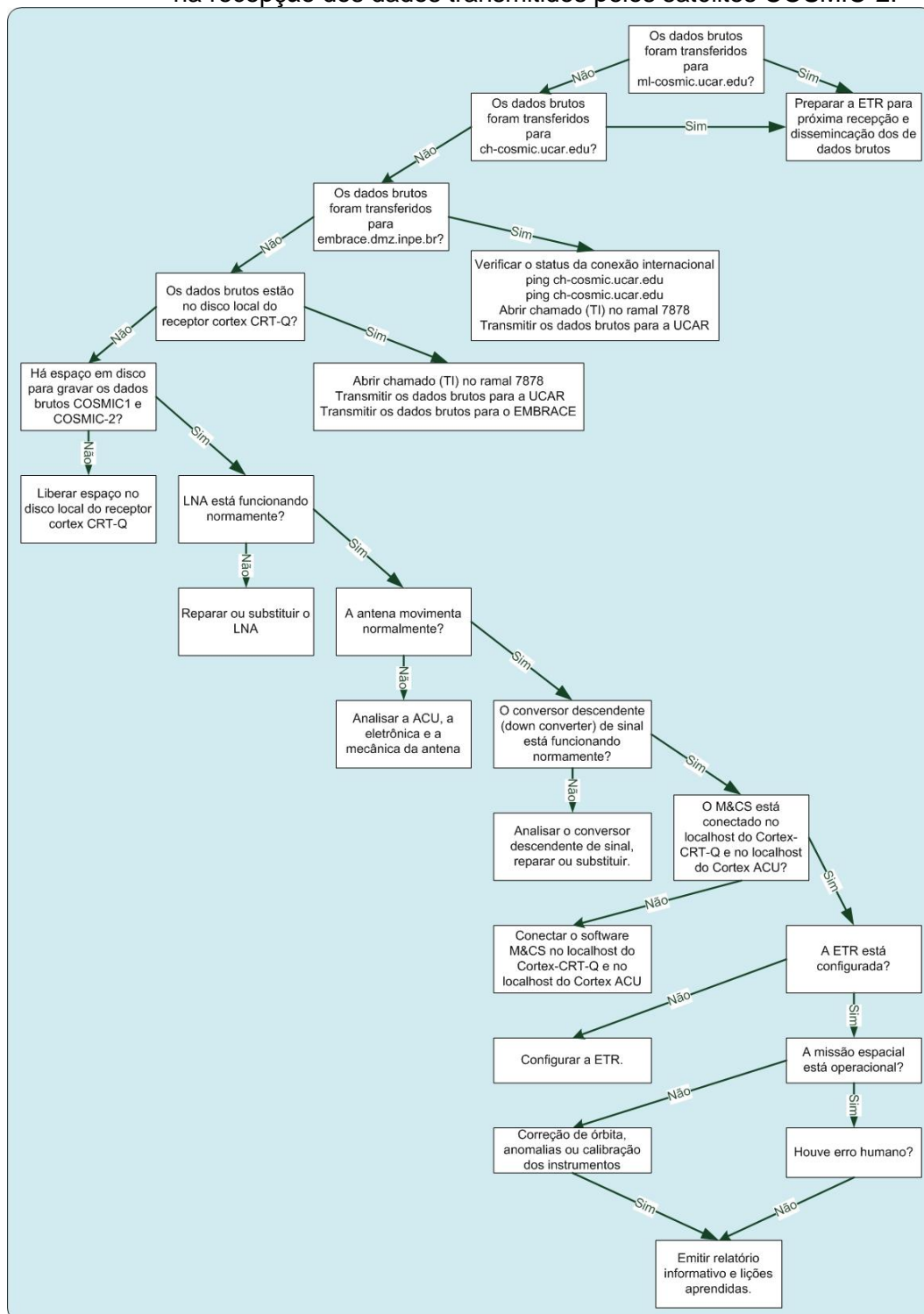
Fonte: Produção do autor.

6.2.2. Sistema especialista para identificação de anomalias e falhas no segmento espacial e/ou segmento solo e aconselhamento para solução do problema

Atualmente a identificação de anomalias e falhas no segmento espacial e no segmento solo pode demandar muito tempo. Como consequência, há o aumento considerável do tempo em que o sistema de solo fica indisponível para aquisição dos dados brutos dos satélites operados pelo INPE.

O sistema especialista PDAD-ES pode ser utilizado para identificação de anomalias e falhas, fornecer o aconselhamento sobre as possíveis soluções para o problema e contribuir para a redução do tempo de indisponibilidade da estação terrena de recepção. A Figura 6.17 ilustra a árvore de possibilidades para identificação de anomalias e falhas na recepção dos dados transmitidos pelos satélites COSMIC-1 e COSMIC-2.

Figura 6.17 - Árvore de possibilidades para identificação de anomalias e falhas na recepção dos dados transmitidos pelos satélites COSMIC-2.



Fonte: Produção do autor.

O sistema especialista para identificação de anomalias e falhas compreende, inicialmente, 12 questões e aconselhamentos, baseados nos fatos e nas regras contidas em sua base de conhecimento, que poderão ser utilizados pelo Operador durante a recuperação dos erros e

das falhas ou na busca por soluções de contorno na estação terrena de recepção ou na disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-1 e COSMIC-2.

A Figura 6.18 ilustra um conjunto de questões para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2. Na Figura 6.18 é possível observar as perguntas relacionadas a não disponibilização dos dados brutos para a UCAR e para o EMBRACE do INPE. A questão de número 9 é para verificar se o software M&CS está conectado ou não no *localhost* do receptor Cortex CRT-Q e no *localhost* do Cortex ACU.

Figura 6.18 - Questões utilizadas na identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost/PDAD/dashboard.php'. The browser's address bar also shows 'Payload Data Acquisition' and 'NewMiroa'. The page content is a form titled 'COSMIC-2 LANDSAT4 GOES-R' with a light green background. It contains nine numbered questions, each with radio buttons for 'Sim' (Yes) and 'Não' (No), and an 'Enviar' (Send) button. The questions are:

- 1 - Os dados brutos foram transferidos para ml.cosmic.ucar.edu? "
- 2 - Os dados brutos foram transferidos para ch.cosmic.ucar.edu?
- 3 - Os dados brutos foram transferidos para embrace.dmz.inpe.br?
- 4 - Os dados brutos estão disponíveis no disco local do receptor Cortex CRT-Q?
- 5 - Há espaço no disco local do receptor Cortex CRT-Q para gravar as próximas passagens?
- 6 - O LNA está funcionando normalmente?
- 7 - A antena movimenta normalmente?
- 8 - O conversor descendente (down converter) de sinal está funcionando normalmente?
- 9 - O software M&CS está conectado no localhost do receptor Cortex CRT-Q e no localhost do cortex ACU?

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.19 ilustra o aconselhamento do PDAD-ES utilizado para identificação de anomalias na estação terrena de recepção COSMIC-2. Na Figura 6.19 é possível observar o número inicial de fatos (9), o número final de fatos (10), o número total de regras (20), o número de regras executadas (2), e o aconselhamento fornecido pelo sistema especialista.

Figura 6.19 - Aconselhamento do PDAD-ES para conectar o M&CS no *localhost* do receptor Cortex CRT-Q e no *localhost* do Cortex ACU.

FATOS	REGRAS
<p>Número inicial de fatos: 9</p> <pre>array(2) ([0]=> string(37) "Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU" [1]=> string(3) "nao") array(2) ([0]=> string(37) "Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU" [1]=> string(3) "nao") array(2) ([0]=> string(26) "Dados_Transferidos_EMBRACE" [1]=> string(3) "nao") array(2) ([0]=> string(25) "Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q" [1]=> string(3) "nao") array(2) ([0]=> string(25) "Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q" [1]=> string(3) "sim") array(2) ([0]=> string(15) "LNA_Funcionando" [1]=> string(3) "sim") array(2) ([0]=> string(18) "Antena_Funcionando" [1]=> string(3) "sim") array(2) ([0]=> string(25) "Downconverter_Funcionando" [1]=> string(3) "sim") array(2) ([0]=> string(13) "MCS_Conectado" [1]=> string(3) "nao")</pre> <p>Número Final de fatos: 10</p>	<p>Número total de regras: 20</p> <pre>string(44) "MAIN:Nao_Transfere_Dados_ML_COSMIC_UCAR_EDU" string(40) "MAIN:Transfere_Dados_CH_COSMIC_UCAR_EDU" string(29) "MAIN:Transfere_Dados_EMBRACE" string(31) "MAIN:Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q" string(31) "MAIN:Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q" string(18) "MAIN:LNA_Problema" string(21) "MAIN:LNA_Funcionando" string(21) "MAIN:Antena_Problema" string(24) "MAIN:Antena_Funcionando" string(28) "MAIN:Downconverter_Problema" string(31) "MAIN:Downconverter_Funcionando" string(23) "MAIN:MCS_Nao_Conectado" string(19) "MAIN:MCS_Conectado" string(25) "MAIN:ETR_Nao_Configurada" string(21) "MAIN:ETR_Configurada" string(24) "MAIN:COSMIC_Operacional" string(28) "MAIN:COSMIC_Nao_Operacional" string(17) "MAIN:Erro_Humano" string(16) "MAIN:print_Acao"</pre> <p>Número de regras executadas: 2</p>
<p>ACONSELHAMENTO</p> <pre>array(2) ([0]=> string(4) "Acao" [1]=> string(51) "Conectar o software M&CS no localhost (CrtConfig_1)")</pre>	

Fonte: Produção do autor.

A adição de novas regras pode ser feita através da edição do arquivo de regras do arquivo “Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp” conforme mostrado na Figura 6.20.

A Figura 6.20 ilustra as regras “COSMIC_Nao_Operacional”, e “Erro_Humano”, codificadas na linguagem de programação CLIPS, que são utilizadas para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-1 e COSMIC-2.

Figura 6.20 - Regras utilizadas para identificação de anomalias e aconselhamento.

```

192 (not (Acao ?))
193 =>
194 (assert (Acao "Analisar o AGC e certificar que o satélite transmitiu o sinal")))
195
196 (defrule COSMIC_Nao_Operacional ""
197   (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
198   (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
199   (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
200   (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
201   (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)
202   (LNA_Funcionando sim)
203   (Antena_Funcionando sim)
204   (Downconverter_Funcionando sim)
205   (MCS_Conectado sim)
206   (ETR_Configurada sim)
207   (COSMIC_Operacional nao)
208   (not (Acao ?))
209   =>
210   (assert (Acao "Verificar se há correção de órbita, anomalias no satélite ou calibração dos instrumentos a bordo do satélite")))
211
212 (defrule Erro_Humano ""
213   (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
214   (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
215   (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
216   (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
217   (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)
218   (LNA_Funcionando sim)
219   (Antena_Funcionando sim)
220   (Downconverter_Funcionando sim)
221   (MCS_Conectado sim)
222   (ETR_Configurada sim)
223   (COSMIC_Operacional sim)
224   (Erro_Humano sim)
225   (not (Acao ?))
226   =>
227   (assert (Acao "Emitir relatório informativo e lições aprendidas.")))
228

```

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.21 ilustra o código fonte, escrito em PHLIPS, que contempla os fatos utilizados para identificação de anomalias na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2.

Figura 6.21 - Código fonte PHLIPS utilizado para identificação de anomalias e falhas.

```

49 <td width="50%" align="center" ><p><strong>REGRAS</strong></p></td >
50 </tr>
51 <tr classe="success">
52 <td align="left">
53 <?php
54 $usuario_questao_9=$_GET["questao_9"];
55
56 $nome_arquivo_clips='Fatos_Anomalias_COSMIC-2.clp';
57 $ponteiro_arquivo=fopen($nome_arquivo_clips,'w') or
58 die("Não foi possível abrir o arquivo $nome_arquivo_clips");
59
60 $sim_naol="(deffacts Fatos_Anomalias_COSMIC-2 (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao) (
61   Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao) (Dados_Transferidos_EMBRACE nao) (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao) (
62     Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim) (LNA_Funcionando sim) (Antena_Funcionando sim) (Downconverter_Funcionando sim) (
63       MCS_Conectado $usuario_questao_9)))";
64 fputs($ponteiro_arquivo, $sim_naol);
65 fclose($ponteiro_arquivo);
66
67 clips_clear();
68 clips_set_strategy(LEX_STRATEGY);
69 clips_load($nome_arquivo_clips);
70 clips_load("Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp");
71 clips_reset();
72
73 $FatosInicial = clips_get_fact_list();
74 $NumFatosInicial=count($FatosInicial);
75 $NumFatosInicial2=$NumFatosInicial-1;
76
77 print "<b> Número inicial de fatos: </b> ";
78 print($NumFatosInicial2);
79 echo "<br>";
80 for($i=1;$i<=$NumFatosInicial2;$i++)
81 {
82   $Dump_Fatos_Inicial_var_dump($FatosInicial[$i]);
83   echo "<br /> $Dump_Fatos_Inicial";
84 }
85 $num_regras_executadas=clips_run();
86 $FatosFinal = clips_get_fact_list();

```

Fonte: Produção do autor.

O código fonte PHP com a extensão PHLIPS utilizado para identificação de anomalias na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-2 (Ano_COSMIC-2_Q9.php) está disponível no Apêndice I. As regras escritas em CLIPS (CLIPS Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp) utilizadas para identificação de

anomalias na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-2 estão disponíveis no Apêndice J.

A verificação do protótipo PDAD-ES foi realizada utilizando os testes de unidade com as regras escritas em CLIPS e, posteriormente, com a utilização dos testes de integração com os códigos escritos em CLIPS e com os códigos escritos em PHLIPS em um servidor web apache *httpd*.

Os testes de sistemas foram realizados em conjunto com o teste de tabela de decisão, que é um dos diferentes métodos de teste caixa preta. O Apêndice A contém o teste de tabela de decisão utilizado para configuração da estação terrena de recepção do satélite GOES-R.

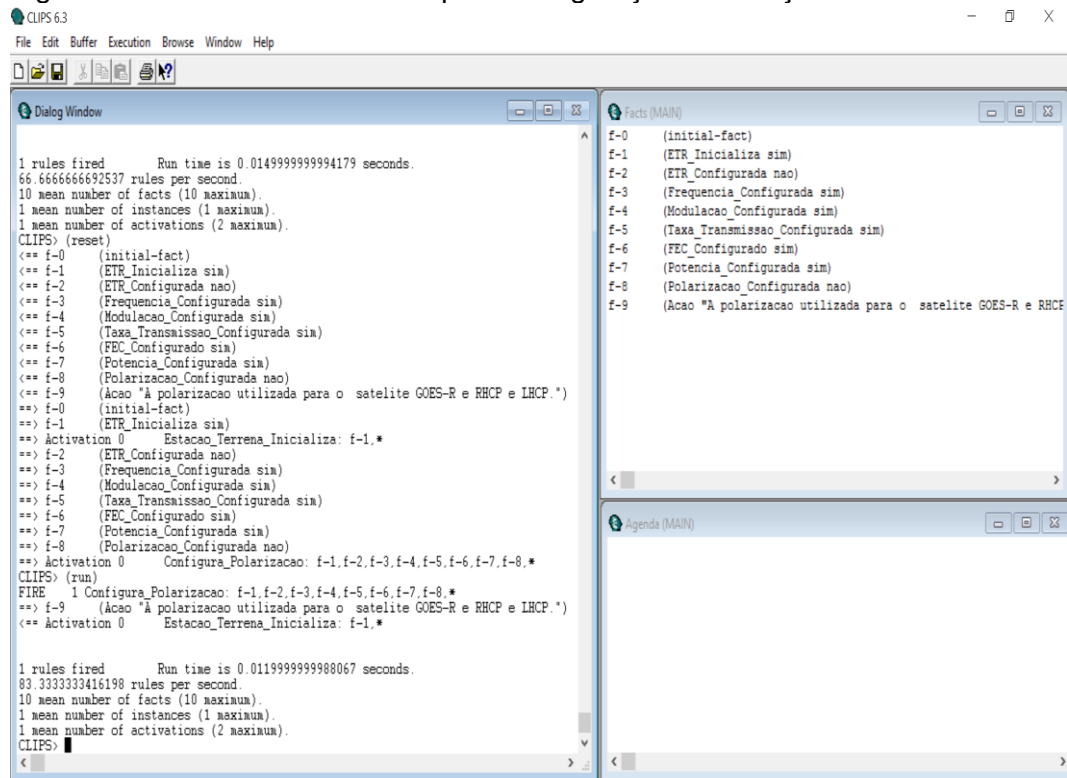
O Apêndice B contém o teste de tabela de decisão utilizado para configuração da estação terrena de recepção dos satélites da constelação COSMIC-2.

O Apêndice C contém o teste de tabela de decisão utilizado para configuração da estação terrena de recepção do satélite LANDSAT-8.

O Apêndice D contém o teste de tabela de decisão utilizado para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção COSMIC-2 e na disseminação dos dados brutos para a UCAR e para o INPE.

O teste de desempenho, que é um dos diferentes métodos de teste caixa branca do sistema especialista, foi realizado em um notebook Dell Latitude E7440 Intel i7 2,70 GHz, 8GB de memória RAM e Windows 10 Pro de 64bits. A Figura 6.22 ilustra o teste de caixa branca executado para medir o desempenho e o consumo do sistema especialista utilizado para configuração da estação terrena GOES-R.

Figura 6.22 - Teste caixa branca para configuração da estação terrena GOES-R.



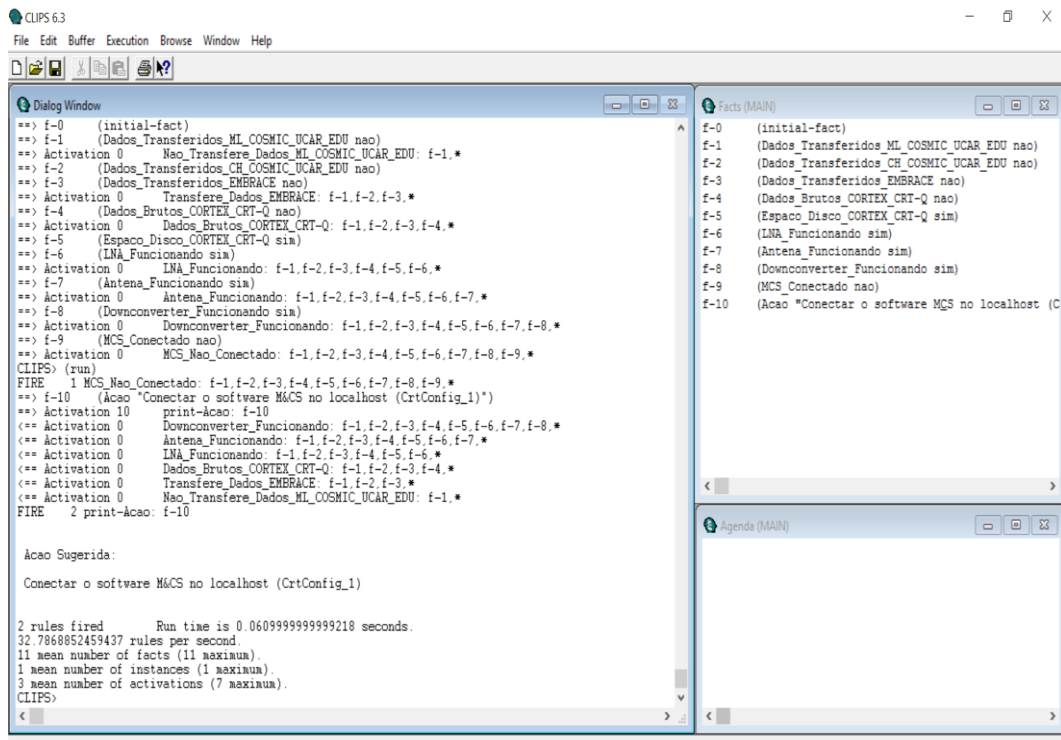
Fonte: Produção do autor.

A lista de fatos inicial contém 8 fatos. A regra “Configura_Polarizacao” foi executada em 0.0119999 segundos e a partir da execução da mesma o fato “A polarização utilizada para o satélite GOES-R é RHCP e LHCP” foi criado e adicionado à lista de fatos. A lista de fatos final contém 9 fatos.

A redução do tempo dispendido na procura da resposta correta para, nesse caso, a configuração da polarização utilizada no satélite GOES-R é evidente. O tempo gasto na consulta ao especialista humano, se disponível no momento, ou a consulta ao manual da estação terrena de recepção do satélite GOES-R é superior ao tempo gasto na recomendação ou aconselhamento do sistema especialista PDAD-ES.

A Figura 6.23 ilustra o teste de caixa branca executado para medir desempenho e o consumo do sistema especialista utilizado para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-2 para a UCAR e para o INPE.

Figura 6.23 - Teste caixa branca utilizado para identificação de anomalias e falhas na estação terrena de recepção e na disseminação dos dados brutos COSMIC-2.



Fonte: Produção do autor.

A lista de fatos inicial contém 9 fatos. As regras “MCS_Nao_Conectado” e “print-Acao” foram executadas em 0.0609999999 segundos e a partir da execução das mesmas o fato “Conectar o software M&CS no localhost (CrtConfig_1)” foi criado e adicionado à lista de fatos. A lista de fatos final contém 10 fatos.

A redução do tempo dispendido para encontrar a possível causa da não aquisição dos dados brutos transmitidos pelos satélites da constelação COSMIC-2, é evidente. O tempo gasto na consulta ao especialista humano, se disponível no momento, ou a consulta ao manual da estação terrena de recepção COSMIC-2 é muito superior ao tempo gasto na recomendação ou aconselhamento do sistema especialista PDAD-ES.

A validação do protótipo PDAD-ES não foi realizada em decorrência do tempo exíguo e da necessidade de ampliação das funcionalidades e da inclusão das demais estações terrenas de recepção dos dados brutos dos satélites operados pelo INPE. Após a realização da validação, o sistema especialista PDAD-ES poderá ser entregue à operação.

7 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi pesquisar e desenvolver um protótipo que contribuísse para pronta resposta às anomalias e falhas nas estações terrenas de recepção, na configuração dos sistemas e subsistemas de aquisição de dados brutos de satélites, no treinamento dos profissionais, na codificação do conhecimento tácito e na preservação do conhecimento explícito.

7.1. Principais contribuições

A primeira contribuição desse trabalho de pesquisa foi o desenvolvimento e a verificação do protótipo de um sistema especialista chamado PDAD-ES (*Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System*). O protótipo PDAD-ES compreende a configuração das estações terrenas de recepção, a identificação de anomalias e falhas nos sistemas e subsistemas de recepção e na disseminação dos dados brutos.

A interface do usuário do protótipo PDAD-ES propicia aos operadores das unidades do INPE de Cachoeira Paulista - SP, Cuiabá - MT e Natal - RN o acesso ao sistema especialista PDAD-ES e o acompanhamento diário das atividades de recepção de dados de satélites.

O levantamento e o mapeamento das regras de produção e o conhecimento gerado nesse trabalho de pesquisa são contribuições muito importantes que podem ser acessados e reutilizados através de API, ontologias e trabalhos futuros.

A consulta à base de conhecimento do sistema especialista PDAD-ES e o aconselhamento do mesmo para o operador durante eventuais anomalias e falhas nos sistemas de recepção de dados demonstrou redução do tempo de resposta às anomalias do segmento solo, segurança e confiabilidade da informação, auxílio no reparo e na configuração dos sistemas de recepção e na disseminação dos dados brutos dos satélites de sensoriamento remoto, meteorológicos e científicos.

O PDAD-ES também demonstrou a possibilidade de codificar e manter o conhecimento dessa área na Instituição. Esse protótipo também contribuiu para que o percentual de aquisições – com sucesso - de dados brutos de satélites seja superior a 95% das passagens programadas.

A base de conhecimento do protótipo PDAD-ES pode ser expandida para inserção de conhecimento sobre sensores instalados em solo, plataformas de coleta de dados, plataformas sub-orbitais e para o sistema de observação das atividades solares.

Adicionalmente, o sistema especialista PDAD-ES demonstrou contribuição para a preservação do conhecimento dos especialistas que ainda não se aposentaram, além de poder ser utilizado como ferramenta para capacitação dos servidores públicos ativos e para os servidores públicos que poderão ser contratados nos próximos anos.

A segunda contribuição foi a utilização do novo paradigma epistemológico para condução de pesquisas, denominado *design science* e do método de pesquisa *design science research* na área de engenharia espacial.

A utilização das sete diretrizes e dos cinco métodos de avaliação do artefato, ambos propostos por (HEVNER et al., 2004), em conjunto com técnica de inteligência artificial, possibilitaram o desenvolvimento e a verificação de um protótipo com validade pragmática para a Instituição. O protótipo PDAD-ES contribuiu para redução, de forma eficiente e efetiva, do tempo de indisponibilidade das estações terrenas do INPE.

Também foi possível o enobrecimento do conteúdo da base de conhecimento do *framework* proposto por (HEVNER et al., 2004) com a adição de novos constructos, métodos e instanciações. A inclusão de novos conhecimentos nessa base de conhecimento possibilita a utilização da mesma por outros pesquisadores na resolução de problemas das áreas de aquisição e disseminação de dados e áreas afins.

A terceira contribuição foi a submissão de um artigo científico sobre essa pesquisa na revista GEPROS (Gestão da Produção, Operações e

Sistemas) do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Adicionalmente, foi submetido o artigo científico “*Satellite Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System*” no *Intelligent Systems Conference 2017*. Essa conferência acontecerá em setembro de 2017 no Reino Unido e compreende as áreas a) *Artificial intelligence/expert systems*; b) *Machine vision*; c) *Robotics*; d) *Ambient intelligence*; e) *Security* e f) *Machine learning*.

O protótipo PDAD-ES tem como diferencial a utilização da *design science* e da *design science research* na área de aquisição e disseminação de dados espaciais, acesso ao sistema especialista a partir de locais geograficamente distantes, o auxílio na configuração das estações terrenas de recepção, a possibilidade de recomendar ação a ser executada durante o período de parada parcial ou total do sistema de aquisição de dados de satélites e a integração da última versão da linguagem de programação CLIPS com a linguagem de programação PHP e com o servidor apache *httpd*.

7.2. Trabalhos futuros

Como trabalho futuro cabe sugerir o desenvolvimento de artefatos, observando as sete diretrizes e os cinco métodos de avaliação propostos por (HEVNER et al., 2004), que utilizam *machine learning* e *big data* para análise de logs dos equipamentos, subsistemas e sistemas das estações terrenas de recepção de dados de satélites do INPE.

Também pode ser utilizada a ontologia de alto nível para descrição dos conceitos gerais e a ontologia de domínio para descrição do vocabulário e dos relacionamentos. Como linguagem de programação pode ser utilizada a OWL (*Web Ontology Language*) para definição e instanciação dessas ontologias através da WWW, possibilitando o reuso e o compartilhamento do conhecimento desse domínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, M.; GOEL, S. Expert system and it's requirement engineering process.In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES AND INNOVATIONS IN ENGINEERING (ICRAIE-2014), May 09-11, 2014, Jaipur, India. **Proceedings...** IEEE 2014. ISSN 978-1-4799-4041-7. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6909306&isnumber=6909103>>. Acesso em: 20 Abril 2016.

ANDERSON, C.; KITTS, C. A MATLAB Expert System for Ground-Based Satellite Operations.In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2005, Big Sky, MT,USA. **Proceedings...** IEEE 2005. ISSN 0-7803-8870-4/05. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1559682>>. Acesso em: 2016 Março 20.

ANNAIAHSHETTY, K.; PRASAD, N. Expert System for Multiple Domain Experts Knowledge Acquisition in Software. In: International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim),15.,Cambridge,UK.

Proceedings... Washington, DC, USA:IEEE Computer Society, 2013. ISSN 978-0-7695-4994-1. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6527415&tag=1>>. Acesso em: 2016 Abril 28.

BADIRU, A. B.; CHEUNG, J. **Fuzzy engineering expert systems with neural network applications**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

BARBOSA, I. M.; LAZARO, J.; NARVAES, I. D. S. Acessibilidade aos dados de sensoriamento remoto. In: SAUSSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 4, p. 285.

BARDINA, J. E.; THIRUMALAINAMB, R. **distributed web-based expert system for launch operations**. Washington: NASA, 2005. NASA Technical Reports Server - NTRS. Disponível em:

<<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20060022179.pdf>>. Acesso em: 2016 Abril 23.

BARKER ET AL. Expert systems for configuration at Digital: XCON and beyond. **Communications of the ACM**, New York, NY, USA, 32, n. 3, March 1989. 298-318.

BARR, A.; FEIGENBAUM, E. **The Handbook of Artificial Intelligence**.

Los Altos: William Kaufmann Inc., v. I, 1981. Disponível em

<https://archive.org/details/handbookofartific01barr>.

BOOTSTRAP. Bootstrap. **Bootstrap**, 2016. Disponível em:
<<http://getbootstrap.com/>>. Acesso em: 13 Julho 2016.

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. **CLIPS and related systems**.
Carnegie Mellon University, 1997. Disponível em:
<<https://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/expert/part1/faq-doc-6.html>>. Acesso em: 30 Novembro 2015.

CERTAINTY FACTOR. **World of computing**, 2013. Disponível em:
<<http://intelligence.worldofcomputing.net/ai-terms/certainty-factor.html#.WEEmT8PkrI2w>>. Acesso em: 15 Agosto 2016.

CLIPS Package Information. **PECL**, 26 Março 2015. Disponível em:
<<https://pecl.php.net/package/clips>>. Acesso em: 16 Dezembro 2015.

COOK, K. et. al. The Future of GNSS-RO for Global Weather Monitoring and Prediction – A COSMIC-2 / FORMOSAT-7 Program Status Update. **Eighth FORMOSAT-3/COSMIC data users' workshop**, 02 Outubro 2014. Disponível em:
<http://www.cosmic.ucar.edu/workshop_2014/presentations/Session8/cook-session8.pdf>. Acesso em: 21 Dezembro 2015.

COSMIC Program Office. **UCAR community programs**, 12 Novembro 2015. Disponível em: <<http://www.cosmic.ucar.edu/projects.html>>. Acesso em: 18 Dezembro 2015.

COTTRELL, L. **HTML & XHTML DeMYSTiFieD**. 1ª. ed. New York: McGraw-Hill, v. 1, 2011. ISBN 978-0-07-174805-6.

CROSS, T. B. **Knowledge engineering 2015 the uses of artificial intelligence in business**. [S.l.]: TECHtionary Corporation , 2015.

CUNHA, M. J. BASES DE CONHECIMENTO PARA SISTEMAS ESPECIALISTAS DE SUPORTE NA AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES DE LEVANTAR E SENTAR – PROTOCOLOS CLÍNICOS. **Repositório institucional da UFSC**, Florianópolis, 2012. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/96467/302064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 Outubro 2016.
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

DARAI D.S., et. al. Knowledge Engineering-an overview. **International Journal of Computer Science and Information Technologies**, p. 230-234, 2010.

DRESH, A. et. al. **Design science research método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 181 p. ISBN 978-85-8260-298-0.

EDWARD H. SHORTLIFFE ET AL. ONCOCIN: AN EXPERT SYSTEM FOR ONCOLOGY PROTOCOL MANAGEMENT. **Research gate**, 1981.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/220814759_ONCOCIN_An_Expert_System_for_Oncology_Protocol_Management>. Acesso em: 14 Junho 2016.

EO PORTAL, **FORMOSAT-3**, 2015. Disponível em:

<<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/formosat-3>>. Acesso em: 18 Dezembro 2015.

EO PORTAL, **FORMOSAT-7**, 2015. Disponível em:

<<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/formosat-7>>. Acesso em: 21 Dezembro 2015.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS).

ECSS-E-ST-70C – Ground systems and operations., Noordwijk, The Netherlands, 2008. Disponível em: <<http://ecss.nl/standards/ecss-e-st-70c-ground-systems-and-operations/>>. Acesso em: 20 Março 2016.

_____. **ECSS. ECSS-E-ST-10-02C** – Verification., Noordwijk, The Netherlands, 2009. Disponível em: <<http://ecss.nl/standards/ecss-e-st-10-02c-verification/>>. Acesso em: 05 Outubro 2016.

_____. **ECSS. ECSS-E-ST-40C** – Software general requirements., Noordwijk, The Netherlands 2009. Disponível em: <<http://ecss.nl/standards/ecss-e-st-40c-software-general-requirements/>>. Acesso em: 05 Outubro 2016.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **ESA 3rd party missions.**, 2016.

Disponível em: <<https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/overview;jsessionid=E842A8E8B33F9004197EACEC4F2F6311>>. Acesso em: 2016 Maio 2012.

FALCÃO, J. B. **TECSOAR** -uma técnica para desenvolvimento de sistemas especialistas na organização e alocação de recursos aeroportuários. 2009. 192p. Mestrado (Dissertação em Engenharia Elétrica e Computação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FRANCISCO, M. F. M.; VILLANI, E.; MARTINS, E.; DUTRA, T.; COELHO, B.; AMBROSIO, A. M. An experience on technology transfer of CoFI methodology to automotive domain. In: LATIN-AMERICAN SYMPOSIUM ON DEPENDABLE COMPUTING, 6. (LADC'2013)., 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings...** 2013. DVD. ISBN 978-85-7669-274-4. FOLHA de São Paulo. **UOL**, 28 Dezembro 2015.

FRENZEL, L. E. **Fundamentos de comunicação eletrônica**: modulação, demodulação e recepção. Tradução de José Lucimar do Nascimento. 3. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013. 348 p. Título original: Principles of Eletronic Communication System, 3rd Edition..

FUZZYCLIPS. Departamento de informática da Universidade Estadual de Maringá. Disponível em:
<<http://www.din.uem.br/ia/ferramen/shells/fuzzyclips/index.htm>>. Acesso em: 15 Junho 2016.

GARTNER. **IT glossary**., 2016. Disponível em:
<<http://www.gartner.com/it-glossary/km-knowledge-management/>>. Acesso em: 15 Junho 2016.

GEORGEFF, M. P.; FIRSCHEIN, O. Expert systems for space station. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 5, n. 4, p. 3-8, Novembro 1985. ISSN 0272-1708. Disponível em:
<<http://ieeecss.org/CSM/library/1985/nov1985/w03-08.pdf>>. Acesso em: 2016 Fevereiro 20.

GOES-N, O, P Satellites. **EO portal directory**, 2016. Disponível em:
<<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/goes-n-op>>. Acesso em: 23 Abril 2016.

GOJA, A. **Man, marriage and machine** – adventures in artificial advice. Code Project, 16 Maio 2011. Disponível em:
<<http://www.codeproject.com/Articles/179375/Man-Marriage-and-Machine-Adventures-in-Artificial>>. Acesso em: 01 Dezembro 2015.

GOYAL, R. et. al. Knowledge based system for satellite data selection. **int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci**, 2014. Disponível em: <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-8/1233/2014/isprsarchives-XL-8-1233-2014.pdf>>. Acesso em: 23 Janeiro 2016.

HART, P. E.; DUDA, R. O. PROSPECTOR: A Computer-Based Consultation System For Mineral Exploration. **SRI international**, 1977. Disponível em:
<<https://www.sri.com/sites/default/files/uploads/publications/pdf/739.pdf>>. Acesso em: 13 Junho 2016.

HEINZLE, R. **Um modelo de engenharia do conhecimento para sistemas de apoio a decisão com recursos para raciocínio abdutivo**. 2011. 241p. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

- HEVNER, A. R. A three cycle view of design science research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 87-92, 2007.
- HEVNER, A. R. et. al. Design Science in Information System Research. **MIS quartely**, Minneapolis, MN, v. 28, n. 1, p. 75-105, jun. 2004.
- HOROWITZ, P.; HILL, W. **The art of eletrtronics**. 2. ed. New York: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1989.
- HOUAISS. Grande Dicionário Houaiss da língua ortuguesa. **UOL dicionário Houaiss**, 2012. Disponível em: <<http://houaiss.uol.com.br/>>. Acesso em: 29 Outubro 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Plano diretor 2007-2001**. São José dos Campos, 2007.
- _____. **Plano diretor 2011-2015**. São José dos Campos, 2011.
- _____. **Plano diretor 2016-2019**. **INPE**, 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Plano_Diretor_final2.pdf>. Acesso em: 11 Outubro 2016.
- JACKSON, P. **Introduction to expert systems**. 3. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 1998.
- JESS RULES. **JESS** - the rule engine for the Java™ platform. **J** 25 Novembro 2013. Disponível em: <<http://www.jessrules.com/jess/>>. Acesso em: 27 Novembro 2015.
- JIANG LIANXIANG ET. AL. Knowledge acquisition model for satellite fault. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND SOFTWARE ENGINEERING (CiSE 2009), 2009, Wuhan, China. **Proceedings...** IEEE, 2009. ISSN 978-1-4244-4507-3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5366271&tag=1>>. Acesso em: Abril 28 2016.
- JORGENSEN, P. C. **Software testing a Craftsman's approach**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, v. I, 2014. ISBN 978-1-4665-6069-7.
- KASABOV, N. K. **Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering**. London: A Bradford Book, 1996.
- KELSO, T. S. SATCAT. **Celestrack**, 18 Janeiro 2016. Disponível em: <<https://celestrak.com/cgi-bin/search.pl>>. Acesso em: 19 Janeiro 2016.

KOONS, H. C.; GORNEY, D. J. Spacecraft environmental anomalies expert system. **Journal of Spacecraft and Rockets**, March, Washington DC, v. 31, n. 2, p. 177-181, March 1994. ISSN 0022-4650.

LANDSAT-8. **EO Portal Directory**, 2016. Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-8-ldcm>>. Acesso em: 04 Abril 2016.

LEE, R.K. et. al. Anomaly detection using the Emerald nanosatellite on-board expert system. In: IEEE HYPERLINK "http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=9422" AEROSPACE CONFERENCE , 2004, Big Sky, MT, USA. **Proceedings...** IEEE, 23 Janeiro 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/4108442_Anomaly_detection_using_the_Emerald_nanosatellite_on-board_expert_system>. Acesso em: 23 Janeiro 2016.

LABORATÓRIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (LIA). **Expert SINTA** - uma ferramenta visual para criação de sistemas especialista. Fortaleza: UFC, 1999.

LINDSAY ET AL. DENDRAL: A case study of the first expert system for scientific hypothesis formation. **Artificial intelligence**, New York, Volume 61, Junho 1993. 209-261.

LUCAS, P. J. F.; GAAG, L. C. V. D. **Principles of expert systems**. Amsterdam: Addison-Wesley, 1991.

MANDT, G. The GOES-R Series. In: **GOES-R**, 2016. Disponível em: <http://www.goes-r.gov/resources/docs/Latest_Program_Briefing.pdf>. Acesso em: 2016 Maio 02.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. ISBN 978-85-224-5758-8.

MATTIELLO-FRANCISCO, M. D. F. InRob - Uma abordagem para testes de interoperabilidade e de robustez de subsistemas de tempo-real intensivos em software. **Biblioteca digital do ITA**, 2009. Disponível em: <<http://www.bdlita.bibl.ita.br/tesesdigitais/000556379.pdf>>. Acesso em: 05 Outubro 2016. Tese de Doutorado.

MERRITT, D. **Building expert systems in prolog**. Lebanon: Amzi! Inc., 2000.

MUGELLES, R. et. al. Knowledge Management at ESOC. In: SpaceOps 2010, 2010, Huntsville, Alabama, USA. **Proceedings...** AIAA, 2010.

Disponível em: <<http://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2010-2300>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

MUGELLES, R. et. al. Knowledge management in support of spacecraft operations. In: SPACEOPS2012, 2012, Stockholm, Sweden.

Proceedings... AIAA, 2012. Disponível em:

<<http://www.spaceops2012.org/proceedings/documents/id1275540-Paper-001.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

MURATORE, J. F. et. al. Applications of artificial intelligence. In: ANNUAL CONFERENCE ON INNOVATIVE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 1., 1989, Stanford, California. **Proceedings...** Menlo Park, CA: AAAI, 1989. Disponível em:

<<http://www.aaai.org/Papers/IAAI/1989/IAAI89-007.pdf>>. Acesso em: 23 Janeiro 2016.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA).

Goes Rebroadcast (GRB) downlink specifications for users.

Greenbelt, MD: Harris Corporation Government Communications Systems Division, 2012. Disponível em: <http://www.goes-r.gov/users/docs/GRB_downlink.pdf>. Acesso em: 19 Maio 2016.

_____. **NOAA geostationary satellite programs continuity of weather observations.** NESDIS, 2016. Disponível em:

<https://www.nesdis.noaa.gov/sites/default/files/asset/document/goes_flyout_chart.pdf>. Acesso em: 16 Maio 2016'.

_____. **GOES-R Series Concept of Operations (CONOPS).** GOES-R, 2014. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/syseng/docs/CONOPS.pdf>>. Acesso em: 16 Maio 2016'.

_____. **Product definition and users' guide volume 1: main.** GOES-R, 2015. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/users/docs/PUG-main-vol1.pdf>>. Acesso em: 02 Maio 2016.

_____. **Product definition and users' guide volume 4: Goes-R Rebroadcast (GRB).** GOES-R, 2015. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/users/docs/PUG-GRB-vol4.pdf>>. Acesso em: 16 Maio 2016.

_____. **GOES Rebroadcast.** GOES-R, 2016. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/users/grb.html>>. Acesso em: 19 Maio 2016.

_____. **GOES-R.** GOES-R, 2016. Disponível em: <<http://www.goes-r.gov/mission/history.html>>. Acesso em: 16 Maio 2016.

NICK L. YEN ET AL. Global GNSS radio occultation mission for meteorology, ionosphere & climate. In: ARIF, T. T. (ed.). **Aerospace**

technologies advancements. [S.l.]: InTech, 2010. Cap. 13, p. 514.
Disponível em: <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/6844.pdf>>.

NIXON, R. **Learning PHP, MySQL & JavaScript WITH JQUERY, CSS & HTML5.** 4th Edition with JQuery. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., v. 1, 2015. ISBN 978-1-491-91866-1.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Gestão do conhecimento.** Tradução de Ana Thorell. Porto Alegre: Bookman, 2008. 320 p.

O'BRIEN, J. A. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet.** Tradução de Célio Knipel Moreira e Cid Knipel Moreira. 3. ed. São Paulo: Saraiva, v. I, 2010. Tradução de: Introduction to Information Systems, 11th ed.

ORLANDO, V.; KUGA, H. K. Rastreo e controle de satélite no INPE. In: WINTER, O. C.; PRADO, A. F. B. D. A. (eds.). **A conquista do espaço:** do Sputnik à Missão Centenário. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007. Cap. 6.

PHLIPS. **THE PHLIPS Project.**, 19 Janeiro 2005. Disponível em: <<http://phlips.sourceforge.net/documentation.php>>. Acesso em: 16 Dezembro 2015.

PIPPIN, G. **Development of a spacecraft materials selector expert system.** NASA Technical Reports Server (NTRS), 2002. Disponível em: <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20020063598.pdf>>. Acesso em: 05 Abril 2016.

PMI. **Um guia de conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK).** 4. ed. Newtown Square, Pennsylvania, EUA: Project Management Institute, Inc, 2008. ISBN 978-1-933890-70-8.

PY, M. X. **Sistemas especialistas:** uma introdução. Research Gate, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266328099_Sistemas_Especialistas_uma_introducao>. Acesso em: 28 Outubro 2015.

RILEY, G. **CLIPS Reference manual, volume i, basic programming guide.** CLIPS Online Documentation, 13 Agosto 2015a. Disponível em: <<http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/bpg.pdf>>. Acesso em: 10 Dezembro 2015.

RILEY, G. **CLIPS reference manual, volume II, advanced programming guide.** CLIPS Online Documentation, 17 Março 2015b. Disponível em: <<http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/apg.pdf>>. Acesso em: 16 Dezembro 2015.

RILEY, G. **CLIPS reference manual, volume III, interfaces guide**. CLIPS Online Documentation, 13 Agosto 2015c. Disponível em: <<http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v630/ig.pdf>>. Acesso em: 01 Dezembro 2015.

ROCHA, F. L. D. **Um protótipo de sistema especialista para detecção e resolução de conflitos no sequenciamento de aeronaves**. 2006. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

SARY, C.; WERKING, R. Intelligent systems applied to the aerospace industry. In: ANNUAL AIAA/UTAH STATE UNIVERSITY CONFERENCE ON SMALL SATELLITE,, 1997, Logan, UT. **Proceedings...** Logan, UT: Utah State University, 1997. Disponível em: <<http://digitalcommons.usu.edu/smallsat/1997/all1997/12/>>. Acesso em: Março jun. 2016.

SCHWUTTKE, U. M. et al. MARVEL: a distributed real-time monitoring and analysis application. In: IAAI CONFERENCE, 1992, San Jose, California. **Proceedings...** IAAI, 1992. Disponível em: <<https://www.aaai.org/Papers/IAAI/1992/IAAI92-008.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

SHORTLIFFE, E. H.; BUCHANAN, B. G. A model of inexact reasoning in medicine. **Mathematical Biosciences**, Stanford, California, USA, v. 23, n. 3-4, p. 351-379, April 1975.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge, Massachusetts: MIT Press , 1996.

SINGH, A.; VERMA, M. Real time expert system - its applications. **International Journal of Computer Science and Technology (IJCST)**, Banur, Punjab, India, v. 1, n. 2, p. 150-153, December 2010. ISSN ISSN: 0976-8491.

SORDI, J. O. D.; MEIRELES, M.; SANCHES, C. Design science aplicada às pesquisas em administração: reflexões a partir do recente histórico de publicações internacionais. **RAI - Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 10-36, Jan./mar. 2011. ISSN 1809-2039.

SPIRLANDELLI, L. P. et al. Sistemas especialistas: um estudo de caso com o Expert Sinta. **RESIGet - Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, v. 1, n. 1, 2011.

SUBLIME TEXT. Sublime Text. **Sublime text**, 2016. Disponível em: <<https://www.sublimetext.com/>>. Acesso em: 13 out. 2016.

UK-DMC-2. **EO portal directory**, 2016. Disponível em:
<<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/u/uk-dmc-2>>. Acesso em: 06 Abril 2016.

UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies. Community Satellite Processing Package for Geostationary Data Space Science & Engineering Center, University of Wisconsin-Madison. **CSPP Geo**, 2016. Disponível em:
<<http://cimss.ssec.wisc.edu/csppgeo/>>. Acesso em: 2016 Maio 19.

VESONDER ET AL. ACE: AN EXPERT SYSTEM FOR TELEPHONE CABLE MAINTENANCE. **Research gate**, 1983. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/Salvatore_Stolfo/publication/220814018_ACE_An_Expert_System_for_Telephone_Cable_Maintenance/links/0912f50b2205c6f374000000.pdf>. Acesso em: 05 Maio 2016.

WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. **Space mission analysis and design**. 3. ed. Hawthorne: Microcosm Press and Springer, v. 1, 1999. 621-644 p. ISBN 978079359012 (hb).

WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. **Space mission analysis and design**. 3. ed. Hawthorne: Microcosm Press and Springer, 1999.

WHATIS. **frequency jammer**. WhatIs.com, 2016. Disponível em:
<<http://whatis.techtarget.com/definition/frequency-jammer>>. Acesso em: 2016 Maio 23.

WIKIPEDIA. **Bayesian inference**., 22 Agosto 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_inference>. Acesso em: 12 Setembro 2016.

_____. **Bayesian probability**., 17 de Julho 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_probability>. Acesso em: 13 Agosto 2016.

_____. **Dempster–Shafer theory**., 20 Junho 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Dempster%E2%80%93Shafer_theory>. Acesso em: 15 Agosto 2016.

_____. **Fuzzy logic**., 12 Junho 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logic>. Acesso em: 13 Agosto 2016.

_____. **FUZZYCLIPS**., 20 Junho 2015. Disponível em:
<<https://en.wikipedia.org/wiki/FuzzyCLIPS>>. Acesso em: 14 Agosto 2016.

_____. **LÓGICA proposicional**., 10 Novembro 2015. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_proposicional>. Acesso em: 16 Dezembro 2015.

_____. **Markov algorithm.**, 18 Novembro 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Markov_algorithm>. Acesso em: 18 Agosto 2016.

_____. **MODULAÇÃO por deslocamento de fase.**, 27 Outubro 2015. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Modula%C3%A7%C3%A3o_por_deslocamento_de_fase>. Acesso em: 28 Dezembro 2015.

_____. **Probability theory.**, 05 agosto 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Probability_theory>. Acesso em: 14 Agosto 2016.

_____. **RETE algorithm.**, 05 Agosto 2015. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Rete_algorithm>. Acesso em: 17 Dezembro 2015.

_____. **Sistema especialista.**, 24 Setembro 2015. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_especialista>. Acesso em: 26 Outubro 2015.

_____. **Soyuz.** 26 agosto 2016. Disponível em:
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Soyuz_\(spacecraft\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Soyuz_(spacecraft))>. Acesso em: 13 Setembro 2016.

_____. **Space Shuttle.**, 22 de Julho 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle>. Acesso em: 13 Setembro 2016.

_____. **Turing test.**, 23 Julho 2016. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Turing_test>. Acesso em: 24 Agosto 2016.

WOLFF, C. Waves and frequency ranges. **Radar Tutorial**, 2016. Disponível em:
<<http://www.radartutorial.eu/07.waves/Waves%20and%20Frequency%20Ranges.en.html>>. Acesso em: 19 Maio 2016.

XIANG, G.; TAO, Z.; JINGYAN, S. Task planning and simulation platform for on-orbit service multi-robot system. In: IEEE CHINESE HYPERLINK "http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6992906" GUIDANCE, NAVIGATION AND CONTROL CONFERENCE (CGNCC), 2014, Yantai, China. **Proceedings...** IEEEExplore, 2014. p. 33-37. ISSN 978-1-4799-4699-0/14. Disponível em:
<<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7007216&tag=1>>. Acesso em: 05 Fevereiro 2016.

YANG, H. H.; FORRESTER, D.; HARRIS, C. A PHLIPS-based expert system for genealogy search. In: IEEE SOUTHEAST CONFERENCE, 2007. **Proceedings...** 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/224694429_A_PHLIPS-based_expert_system_for_genealogy_search>. Acesso em: 23 Janeiro 2016.

YUE, X. et al. Space weather observations by GNSS radio occultation: from FORMOSAT-3/COSMIC to FORMOSAT-7/COSMIC-2. **Space Weather**, v. 12, p. 616–621, 2014.

YU QIAN et al. Development and application of spacecraft collision. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYPERLINK "http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=5362513" INFORMATION ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE (ICIECS 2009), 2009, Wuhan, China. **Proceedings...**IEEEExplore, 2009. ISSN 978-1-4244-4994-1. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5366028&tag=1>>. Acesso em: 25 Abril 2016.

ZUCKERBERG, M. **Mark Zuckerberg**. Facebook, 03 Janeiro 2016. Disponível em: <<https://www.facebook.com/zuck/posts/10102577175875681>>. Acesso em: 18 Janeiro 2016.

APÊNDICE A: Teste de tabela de decisão do satélite GOES-R

Tabela A1 - Teste de tabela de decisão do satélite GOES-R.

Condições	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
A ETR inicializa?	S	N	-	-	-	-	-	-
A ETR está configurada?	S	N	-	-	-	-	-	-
A frequência está configurada?	S	N	N	-	-	-	-	-
A modulação está configurada?	S	N	S	N	-	-	-	-
A taxa de transmissão está configurada?	S	N	S	S	N	-	-	-
O FEC está configurado?	S	N	S	S	S	N	-	-
A potência está configurada?	S	N	S	S	S	S	N	-
A polarização está configurada?	S	N	S	S	S	S	S	N
Ações								
Verificar a mecânica, a eletrônica e a elétrica da ETR.	-	X	-	-	-	-	-	-
A frequência do satélite GOES-R é 1686.6MHz (Banda L)	-	-	X	-	-	-	-	-
A modulação do satélite GOES-R é 8PSK (primária) e QPSK (secundária)	-	-	-	X	-	-	-	-
A taxa de transmissão do satélite GOES-R é 15.5Mbps	-	-	-	-	X	-	-	-
O FEC do satélite GOES-R é o <i>Reed Solomon</i> .	-	-	-	-	-	X	-	-
A potência do satélite GOES-R é 60.5dBm	-	-	-	-	-	-	X	-
A polarização do satélite GOES-R é RHCP e LHCP	-	-	-	-	-	-	-	X
Acompanhar a aquisição dos dados brutos do GOES-R.	X	-	-	-	-	-	-	-

Onde: S=Sim; N=Não; X=Aconselhamento.

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE B: Teste de tabela de decisão da constelação COSMIC-2

Tabela 5 - Continuação.

Condições	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R 10	R 11
A ETR inicializa?	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A ETR está configurada?	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A frequência está configurada?	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
A modulação está configurada?	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-	-
A taxa de transmissão está configurada?	S	N	S	S	N	-	-	-	-	-	-
O FEC está configurado?	S	N	S	S	S	N	-	-	-	-	-
A potência está configurada?	S	N	S	S	S	S	N	-	-	-	-
A polarização está configurada?	S	N	S	S	S	S	S	N	-	-	-
O VCID está configurado?	S	N	S	S	S	S	S	S	N	-	-
O TLE foi atualizado?	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N	-
A programação da passagem foi atualizada?	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S	N
Ações											
Verificar a mecânica, a eletrônica e a elétrica da ETR.	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A frequência utilizada pelo COSMIC-2 é 2215.0 MHz (Banda S)	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

(Continua)

Tabela 6 - Continuação.

A modulação COSMIC-2 é BPSK	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
A taxa de transmissão do COSMIC-2 é 2Mbps	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
O FEC do COSMIC-2 é o <i>Reed Solomon</i> .	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
A potência do COSMIC-2 é 37.0dBm	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
A polarização do COSMIC-2 é LHCP	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Configurar o VCID para o COSMIC-2: (VCID 0 = Real-time TLM 1); (VCID 1 = Stored TLM/log); (VCID 2 = TriG Payload); (VCID 3 = IVM Payload Data); (VCID 4 = RF Beacon Data); (VCID 5 = Ancillary Data); (VCID 6 = Ancillary Data); (VCID 7 = Ancillary Data)	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

(Continua)

Tabela 7 - Conclusão.

Executar o script atualiza_TLE.sh com os parâmetros satélite e missão. Exemplo: ./atualiza_TLE.sh COSMIC 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Executar o script programar_passagem.sh com os parâmetros satélite e missão. Exemplo: ./programar_passagem.sh COSMIC 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Acompanhar a aquisição dos dados brutos do GOES-R.	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-

Onde: S=Sim; N=Não; X=Aconselhamento.

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE C: Teste de tabela de decisão do satélite LANDSAT-8

Tabela 8 - Teste de tabela de decisão do satélite LANDSAT-8.

Condições	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R 10
A ETR inicializa?	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-
A ETR está configurada?	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-
A frequência está configurada?	S	N	N	-	-	-	-	-	-	-
A modulação está configurada?	S	N	S	N	-	-	-	-	-	-
A taxa de transmissão está configurada?	S	N	S	S	N	-	-	-	-	-
O FEC está configurado?	S	N	S	S	S	N	-	-	-	-
A potência está configurada?	S	N	S	S	S	S	N	-	-	-
A polarização está configurada?	S	N	S	S	S	S	S	N	-	-
O TLE foi atualizado?	S	N	S	S	S	S	S	S	N	-
A programação da passagem foi atualizada?	S	N	S	S	S	S	S	S	S	N
Ações										
Verificar a mecânica, a eletrônica e a elétrica da ETR.	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

(Continua)

Tabela 9 - Continuação.

A frequência utilizada para o LANDSAT-8 é 8200.5MHz (Banda X)	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
A modulação utilizada para o LANDSAT-8 é OQPSK	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
A taxa de transmissão do LANDSAT-8 é 440Mbps.	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
O FEC do LANDSAT-8 é o 7/8 LDPC.	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
A potência do LANDSAT-8 é 20.5dBWi	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
A polarização do LANDSAT-8 é LHCP	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Executar o script atualiza_TLE.sh com os parâmetros satélite e missão. Exemplo: ./atualiza_TLE.sh LANDSAT 8	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

(Continua)

Tabela 10 - Conclusão.

Executar o script programar_passagem.sh com os parâmetros satélite e missão. Exemplo: ./programar_passagem.sh LANDSAT 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Acompanhar a aquisição dos dados brutos do GOES-R.	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-

Onde: S=Sim; N=Não; X=Aconselhamento.

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE D: Teste de tabela de decisão utilizado na identificação de anomalias e falhas

Tabela 11 - Teste de tabela de decisão utilizado na identificação de anomalias e falhas.

Condições	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	R 9	R 10	R 11	R 12
Os dados brutos foram transferidos para ml.cosmic.ucar.edu?	S	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Os dados brutos foram transferidos para ch.cosmic.ucar.edu?	S	N	-	-	-	-	-	-	-			
Os dados brutos foram transferidos para embrace.dmz.inpe.br?	S	N	N	-	-	-	-	-	-			
Os dados brutos estão disponíveis no disco local do receptor Cortex CRT-Q?	S	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
Há espaço no disco local do receptor Cortex CRT-Q para gravar as próximas passagens?	S	N	N	N	N	-	-	-	-	-	-	-
O LNA está funcionando normalmente?	S	N	N	N	S	N	-	-	-	-	-	-
A antena movimenta normalmente?	S	N	N	N	S	S	N	-	-	-	-	-
O conversor descendente (<i>down converter</i>) de sinal está funcionando normalmente?	S	N	N	N	S	S	S	N	-	-	-	-
O software M&CS está conectado no localhost do receptor Cortex CRT-Q e no localhost do cortex ACU?	S	N	N	N	S	S	S	S	N	-	-	-
A Estação Terrena de Recepção está configurada?	S	N	N	N	S	S	S	S	S	N	-	-

(Continua)

Tabela 12 - Continuação.

A missão espacial está operacional?	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	-
Houve erro humano?	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S
Ações												
Preparar a Estação Terrena de Recepção para próxima aquisição e transferência dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2.	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verificar o status do enlace da rede de comunicação de dados: <i>ping ml-cosmic.ucar.edu</i> <i>ping ch-cosmic.ucar.edu</i> <i>ping embrace.dmz.inpe.br</i> Abrir chamado na TI no ramal 7878	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verificar a mecânica, a eletrônica e a elétrica da ETR.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Liberar espaço no disco local do cortex CRT-Q	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Analisar, reparar ou substituir o LNA	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Analisar a ACU, a SCU, a eletrônica e a mecânica da antena.	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Analisar, reparar ou substituir o <i>Down converter</i> .	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Conectar software M&CS no <i>localhost do receptor cortex CRT-Q e no cortex ACU (CrtConfig_1)</i> .	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Configurar a estação terrena de recepção COSMIC-2.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

(Continua)

Tabela 13 - Conclusão.

Verificar se há correção de orbita, anomalias no satélite ou calibração dos instrumentos a bordo do satélite.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Emitir relatório informativo e inserir as lições aprendidas na base de conhecimento.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X

Onde: S=Sim; N=Não; X=Aconselhamento.

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE E: CÓDIGO FONTE index.php

```
<?php

    session_start();

    include_once 'dbconnect.php';

    if(isset($_SESSION['user'])!="")
    {

        header("Location: dashboard.php");

    }

    if(isset($_POST['btn-login']))
    {

        $email = mysql_real_escape_string($_POST['email']);
        $upass = mysql_real_escape_string($_POST['senha']);
        $res=mysql_query("SELECT * FROM usuarios WHERE
Email='$email'");

        echo $email;

        echo $upass;

        $row=mysql_fetch_array($res);
        echo $row['Senha'];
        echo ($upass);
        if($row['Senha']!=md5($upass))
        {

            echo teste;

            $_SESSION['user'] = $row['Codigo'];
            echo $row['Codigo'];
            header("Location: dashboard.php");

        }
        else
        {
```

```

?>
        <script>alert('Usuário ou senha incorretos.');

```

```
name="btn-login">Entrar</button></td>          <td><button type="submit"
                                                    </tr>
                                                    </table>
                                                    </form>
                                                    </div>
                                                    </center>
                                                    </body>
</html>
```


APÊNDICE F: CÓDIGO FONTE dashboard.php

```
<?php

    session_start();

    include_once 'dbconnect.php';

    if(!isset($_SESSION['user']))

    {

        header("Location: index.php");

    }

    $res=mysql_query("SELECT * FROM tusuarios WHERE
Codigo=".$_SESSION['user']);

    $userRow=mysql_fetch_array($res);?>

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

    <head>

        <meta charset="utf-8">

        <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">

        <title>Payload Data Acquisition and Dissemination Expert
System</title>

        <script type="text/javascript" src="controles.js"></script>

        <link href="bootstrap/css/bootstrap.min.css" rel="stylesheet">

        <link href="bootstrap/css/bootstrap-theme.min.css"
rel="stylesheet" >

        <style type="text/css">

            body {

                margin-top: 10px;

                margin-bottom: 0px;

            }

            th {
```

```

        text-align: center;
    }
</style>

<script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.11.3/jquery.min.js"></script
>

<script
src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/bootstrap.min.js"></
script>

<script type="text/javascript" src="clock/coolclock.js"></script>
<script type="text/javascript" src="clock/moreskins.js"></script>
<!--[if IE]><script type="text/javascript"
src="clock/excanvas.js"></script><![endif]-->

<!-- <link href="css/estilo.css" rel="stylesheet" type="text/css"> --
>

</head>

<body>

<table width="700" align="center">
    <tbody>
        <tr>
            <td align="center">Cuiabá<br>
                <canvas id="clockCuiaba"
class="CoolClock:chunkySwiss:30::-4" leftRightPad width="60" height="60"
style="width: 60px; height: 60px;">
                </canvas>
            </td>
            <td align="center">UTC<br>
                <canvas id="clockUTC"
class="CoolClock:chunkySwiss:30::0 leftRightPad" width="60" height="60"
style="width: 60px; height: 60px;">
                </canvas>
            </td>
        </tr>
    </tbody>
</table>

```

```

        </td>

        <td align="center">Brasília<br>
            <canvas id="clockBSB"
class="CoolClock:chunkySwiss:30::-3 leftRightPad" width="60" height="60"
style="width: 60px; height: 60px;">

            </canvas>
        </td>
    </tr>
</tbody>
</table>

<div id="Cont_Principal" class="container">
    <div class="Nav_Menus" id="Div_Menu">
        <ul id="myTab" class="nav nav-tabs">
            <li class="active"><a href="#inicio" data-
toggle="tab">
                Início</a>
            </li>
            <li><a href="#aquisicao" data-
toggle="tab">Aquisição</a></li>
            <li><a href="#armazenamento" data-
toggle="tab">Armazenamento</a></li>
            <li><a href="#SLA" data-
toggle="tab">SLA</a></li>
            <li><a href="#estatisticas" data-
toggle="tab">Estatísticas</a></li>
            <!--<li><a href="#PDAD-ES_Configuracao"
data-toggle="tab">PDAD-ES (Configuração)</a></li>
            <li><a href="#PDAD-ES_Anomalias" data-
toggle="tab">PDAD-ES (Anomalias)</a></li>
            <li><a href="#PDAD-ES" data-
toggle="tab">PDAD-ES</a></li> -->
            <li class="dropdown">

```

```

toggle"
                                <a href="#" id="myTabDrop1" class="dropdown-
toggle="dropdown">PDAD-ES <b class="caret"></b></a>
                                data-
                                <ul class="dropdown-menu"
role="menu" aria-labelledby="myTabDrop1">
                                <li><a href="#PDAD-
ES_Configuracao" tabindex="-1" data-toggle="tab">
                                Configuração</a> </li>
                                <li><a href="#PDAD-
ES_Anomalias" tabindex="-1" data-toggle="tab">
                                Anomalias</a> </li>
                                </li>
                                </ul>
                                <li> <a href="#"><span class="glyphicon glyphicon-
user"></span> Ivan </a></li>
                                <div class="pull-right">
                                <li><a href="#"><span class="glyphicon
glyphicon-log-out"></span><a href="logout.php?logout"></span>Sair</a></li>
                                </div>
                                </li>
                                </ul>
                                <div id="myTabContent" class="tab-
content">
                                <div class="tab-pane fade in active"
id="inicio">
                                <div class="jumbotron">
                                <div class="container">
                                <h2>Seja bem vindo
ao Payload Data Acquisition and Dissemination Expert System</h2>

```


O protótipo PDAD-ES é um protótipo de um sistema especialista utilizado para o aconselhamento do Operador na aquisição e na disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8, na configuração dos sistemas e subsistemas da estação terrena de recepção e na capacitação dos profissionais e colaboradores do INPE. A interface do usuário do protótipo PDAD-ES possui funcionalidades para o acompanhamento das passagens programadas, o armazenamento dos dados brutos, o Acordo de Nível de Serviço (SLA) e as estatísticas das passagens adquiridas. Essas funcionalidades auxiliam o operador nas atividades corriqueiras de aquisição e disseminação dos dados brutos dos satélites da constelação COSMIC-2, GOES-R e LANDSAT-8.

[Conheça Mais](#)

Órbita	Satélite	AOS	LOS	Duração
--------	----------	-----	-----	---------

00:31:38	49636	FORMOSAT 3A	2016/10/07
00:46:54	2016/10/07	00:15:15	

| 11:35:36 | 49643 | FORMOSAT 3A | 2016/10/07 |
| 11:49:10 | 2016/10/07 | 00:13:33 | |

Proin egestas pellentesque sodales. Morbi semper placerat orci. Cras eget urna placerat, convallis ex at, laoreet ipsum. Nam gravida tempus erat a convallis. Cras nec odio lorem. Cras a ante sed erat blandit imperdiet sit amet eget justo. Cras sem ipsum, consectetur ut mauris vel, pulvinar mollis orci. In at lobortis sem. Aliquam ut magna rhoncus, semper mauris quis, congue orci.

```

<div class="tab-pane fade" id="SLA">

    <p>Donec scelerisque leo in auctor laoreet. Aenean justo
tellus, mattis id commodo a, elementum ut neque. Aliquam sollicitudin felis sit
amet fringilla elementum. Fusce ac libero eros. Ut tincidunt, ex vel imperdiet
posuere, nisi magna fringilla sapien, et lacinia purus sapien id dolor. Nam dolor
ante, porta ac auctor sit amet, luctus imperdiet justo. Curabitur dapibus lacinia
elit.</p>

</div>

<div class="tab-pane fade" id="estatisticas">

    <p>Proin egestas pellentesque sodales. Morbi semper
placerat orci. Cras eget urna placerat, convallis ex at, laoreet ipsum. Nam gravida
tempus erat a convallis. Cras nec odio lorem. Cras a ante sed erat blandit
imperdiet sit amet eget justo. Cras sem ipsum, consectetur ut mauris vel,
pulvinar mollis orci. In at lobortis sem. Aliquam ut magna rhoncus, semper
mauris quis, congue orci.</p>

</div>

<!--    <p>Sed justo magna, rhoncus non varius eu, convallis id
sem. Sed feugiat convallis risus, nec volutpat metus. Mauris vel viverra turpis, ut
dignissim risus. Aenean cursus magna quis purus mollis, vel efficitur ligula
facilisis. Praesent semper finibus sem, efficitur imperdiet tellus fermentum
hendrerit. Nullam vel erat metus. Duis congue consectetur venenatis. Nulla
ipsum metus, laoreet vel ullamcorper suscipit, consectetur et tellus. Vestibulum
tempus dui eu massa blandit, vitae egestas leo lobortis.</p>

</div> -->

<div class="tab-pane fade" id="PDAD-
ES_Configuracao">

    <p>&nbsp;</p>

    <div class="panel panel-primary">

        <div class="panel-heading">

            <h4 align="center" class="panel-title">
Sistema Especialista PDAD-ES (Configuração)</h4>

        </div>

        <div class="panel-body">

            <table width="84%"
border="2" cellpadding="2" class="table table-condensed">

```

```

align="center">
class="active">
align="center" >
id="pergunta01">
name="form_cosmic-2" method="post" action="">
<p><h3>Selecione a missão espacial</h3></p><br />
<p>
<input type="radio" name="radio" id="btn_cosmic-2" value="btn_cosmic-
2" onclick="Mudarestado('pergunta02')">
<label for="btn_cosmic-2">COSMIC-2</label>
<input type="radio" name="radio" id="btn_landsat-8"
value="btn_landsat-8" onclick="Mudarestado2('LANDSAT-8_Q1')">
<label for="btn_landsat-8">LANDSAT-8</label>
<input type="radio" name="radio" id="btn_goes-r" value="btn_goes-r"
onclick="Mudarestado3('GOES-R_Q1')">
<label for="btn_goes-r">GOES-R</label><br />
</p>
</form>
</div>
</td >

```

</tr>

<tr class="success">

<td align="left">

<div id="pergunta02" style="display:none">

<p><h3>1 - A Estação Terrena de Recepção COSMIC-2 inicializa?
</h3></p>

<form
name="form1" method="get" action="COSMIC-2_Q1.php">

<p>

<input type="radio" name="questao_1" id="btn_questao_1_sim"
value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta03')">

<label for="btn_questao_1_sim">Sim</label>

<input type="radio" name="questao_1" id="btn_questao_1_nao"
value="nao">

<label for="btn_questao_1_nao">Não</label>

<input type="submit" id="btn_questao_1_enviar" value="Enviar">

<!-- <label for="btn_questao_1_enviar"> Enviar</label> -->

</p>

</form>

</div>

<div id="pergunta03" style="display:none">

<p><h3>2 - A Estação Terrena de Recepção COSMIC-2 está configurada?
</h3> </p>

<form
name="form1" method="get" action="COSMIC-2_Q2.php">

<p>

<input type="radio" name="questao_2" id="btn_questao_2_sim"
value="sim" >

<label for="btn_questao_2_sim">Sim</label>

<input type="radio" name="questao_2" id="btn_questao_2_nao"
value="nao" onclick="Mudarestado('pergunta04')">

<label for="btn_questao_2_nao">Não</label>

<input type="submit" id="btn_questao_2_enviar" value="Enviar">

<!-- <label for="btn_questao_2_enviar"> Enviar</label> -->

</p>

</form>

</div>

<div id="pergunta04" style="display:none">

<p><h3>3 - A frequência utilizada para recepção dos dados brutos
COSMIC-2 está configurada? </h3> </p>

<form
name="form1" method="get" action="COSMIC-2_Q3.php">

<p>

```
<input type="radio" name="questao_3" id="btn_questao_3_sim"
value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta05')">
```

```
<label for="btn_questao_3_sim">Sim</label>
```

```
<input type="radio" name="questao_3" id="btn_questao_3_ao"
value="ao">
```

```
<label for="btn_questao_3_ao">No</label>
```

```
<input type="submit" id="btn_questao_3_enviar" value="Enviar">
```

```
</p>
```

```
</form>
```

```
</div>
```

```
<div id="pergunta05" style="display:none">
```

```
<p><h3> 4 - A modulaçaõ utilizada para recepçaõ dos dados
brutos COSMIC-2 estã configurada? </h3></p>
```

```
<form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q4.php">
```

```
<p>
```

```
<input type="radio" name="questao_4"
id="btn_questao_4_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta06')">
```

```
<label for="btn_questao_4_sim">Sim</label>
```

```
<input type="radio" name="questao_4"
id="btn_questao_4_ao" value="ao" >
```

```
<label for="btn_questao_3_ao">No</label>
```

```
<input type="submit" id="btn_questao_4_enviar"
value="Enviar">
```

```
</p>
```

```
</form>
```

```
</div>
```



```

<div id="pergunta06" style="display:none">

    <p><h3> 5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção dos
dados brutos COSMIC-2 está configurada? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q5.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_5"
id="btn_questao_5_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta07')">

            <label for="btn_questao_5_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_5"
id="btn_questao_5_nao" value="nao" >

            <label for="btn_questao_5_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_questao_5_enviar"
value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

<div id="pergunta07" style="display:none">

    <p><h3> 6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para
recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurado? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q6.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_6"
id="btn_questao_6_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta08')">

            <label for="btn_questao_6_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_6"
id="btn_questao_6_nao" value="nao" >

            <label for="btn_questao_6_nao">Não</label>

```

```
        <input type=submit id="btn_questao_6_enviar"
value="Enviar">
```

```
    </p>
```

```
</form>
```

```
</div>
```

```
    <div id="pergunta08" style="display:none">
```

```
        <p><h3> 7 - A potência utilizada para recepção dos dados
brutos COSMIC-2 está configurada? </h3></p>
```

```
        <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q7.php">
```

```
        <p>
```

```
            <input type="radio" name="questao_7"
id="btn_questao_7_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta09')">
```

```
            <label for="btn_questao_7_sim">Sim</label>
```

```
            <input type="radio" name="questao_7"
id="btn_questao_7_nao" value="nao" >
```

```
            <label for="btn_questao_7_nao">Não</label>
```

```
            <input type=submit id="btn_questao_7_enviar"
value="Enviar">
```

```
        </p>
```

```
</form>
```

```
</div>
```

```
    <div id="pergunta09" style="display:none">
```

```
        <p><h3> 8 - A polarização (RHCP e/ou LHCP) utilizada para
recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurada? </h3></p>
```

```
        <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q8.php">
```

```
        <p>
```

```

        <input type="radio" name="questao_8"
id="btn_questao_8_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta10')">
        <label for="btn_questao_8_sim">Sim</label>
        <input type="radio" name="questao_8"
id="btn_questao_8_nao" value="nao" >
        <label for="btn_questao_8_nao">Não</label>
        <input type="submit" id="btn_questao_8_enviar"
value="Enviar">
    </p>
</form>
</div>

```

```

        <div id="pergunta10" style="display:none">
        <p><h3> 9 - O VCID (Virtual Channel Identifier) utilizado para
recepção dos dados brutos COSMIC-2 está configurado? </h3></p>
        <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
2_Q9.php">
        <p>
        <input type="radio" name="questao_9"
id="btn_questao_9_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta11')">
        <label for="btn_questao_9_sim">Sim</label>
        <input type="radio" name="questao_9"
id="btn_questao_9_nao" value="nao" >
        <label for="btn_questao_9_nao">Não</label>
        <input type="submit" id="btn_questao_9_enviar"
value="Enviar">
        </p>
</form>
</div>

```

```

<div id="pergunta11" style="display:none">
    <p><h3> 10 - Os elementos orbitais (TLE) utilizados para
    recepção dos dados brutos COSMIC-2 foram atualizados? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
    2_Q10.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_10"
            id="btn_questao_10_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('pergunta12')">

            <label for="btn_questao_10_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_10"
            id="btn_questao_10_nao" value="nao" >

            <label for="btn_questao_10_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_questao_10_enviar"
            value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

<div id="pergunta12" style="display:none">
    <p><h3> 11 - A programação da passagem dos satélites
    COSMIC-2 foi baixada do site da UCAR (usdms-ch.cosmic.ucar.edu ou usdms-
    ml.cosmic.ucar.edu) e foi inserida na ACU? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="COSMIC-
    2_Q11.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_11"
            id="btn_questao_11_sim" value="sim">

            <label for="btn_questao_11_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_11"
            id="btn_questao_11_nao" value="nao">

            <label for="btn_questao_11_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_questao_11_enviar"
            value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

        </p>

    </form>

</div>

<div id="GOES-R_Q1" style="display:none">

    <p><h3> 1 - A Estação Terrena de Recepção GOES-R
inicializa? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_1" method="get" action="GOES-
R_Q1.php">

        <p>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_1"
id="btn_goes-r_questao_1_sim" value="sim" onclick="Mudarestado3('GOES-
R_Q2')">

                <label for="btn_goes-r_questao_1_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_1"
id="btn_goes-r_questao_1_nao" value="nao">

                <label for="btn_goes-r_questao_1_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_goes-r_questao_1_enviar"
value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

<div id="GOES-R_Q2" style="display:none">

    <p><h3> 2 - A Estação Terrena de Recepção GOES-R está
configurada? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_2" method="get" action="GOES-
R_Q2.php">

        <p>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_2"
id="btn_goes-r_questao_2_sim" value="sim">

                <label for="btn_goes-r_questao_2_sim">Sim</label>

```

```

        <input type="radio" name="goes-r_questao_2"
id="btn_goes-r_questao_2_nao" value="nao" onclick="Mudarestado('GOES-
R_Q3')">

        <label for="btn_goes-r_questao_2_nao">Não</label>

        <input type=submit id="btn_goes-r_questao_2_enviar"
value="Enviar">

    </p>

</form>

</div>

<div id="GOES-R_Q3" style="display:none">

    <p><h3> 3 - A frequência utilizada para recepção dos dados
brutos do satélite GOES-R está configurada? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_3" method="get" action="GOES-
R_Q3.php">

        <p>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_3"
id="btn_goes-r_questao_3_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
R_Q4')">

            <label for="btn_goes-r_questao_3_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_3"
id="btn_goes-r_questao_3_nao" value="nao" >

            <label for="btn_goes-r_questao_3_nao">Não</label>

            <input type=submit id="btn_goes-r_questao_3_enviar"
value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

<div id="GOES-R_Q4" style="display:none">

    <p><h3> 4 - A modulação utilizada para recepção dos dados
brutos do satélite GOES-R está configurada? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_4" method="get" action="GOES-
R_Q4.php">

```

```

        <p>
            <input type="radio" name="goes-r_questao_4"
id="btn_goes-r_questao_4_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
R_Q5')">

            <label for="btn_goes-r_questao_4_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_4"
id="btn_goes-r_questao_4_nao" value="nao" >

            <label for="btn_goes-r_questao_4_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_goes-r_questao_4_enviar"
value="Enviar">

        </p>
    </form>
</div>

    <div id="GOES-R_Q5" style="display:none">

        <p><h3> 5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção
dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada? </h3></p>

        <form name="form_goes-r_5" method="get" action="GOES-
R_Q5.php">

            <p>

                <input type="radio" name="goes-r_questao_5"
id="btn_goes-r_questao_5_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
R_Q6')">

                <label for="btn_goes-r_questao_5_sim">Sim</label>

                <input type="radio" name="goes-r_questao_5"
id="btn_goes-r_questao_5_nao" value="nao" >

                <label for="btn_goes-r_questao_5_nao">Não</label>

                <input type="submit" id="btn_goes-r_questao_5_enviar"
value="Enviar">

            </p>
        </form>
    </div>

```

```

<div id="GOES-R_Q6" style="display:none">
    <p><h3> 6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para
    recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurado? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_6" method="get" action="GOES-
    R_Q6.php">

        <p>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_6"
            id="btn_goes-r_questao_6_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
            R_Q7')">

                <label for="btn_goes-r_questao_6_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_6"
            id="btn_goes-r_questao_6_nao" value="nao" >

                <label for="btn_goes-r_questao_6_nao">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_goes-r_questao_6_enviar"
            value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

<div id="GOES-R_Q7" style="display:none">
    <p><h3> 7 - A potência utilizada para recepção dos dados
    brutos do satélite GOES-R está configurada? </h3></p>

    <form name="form_goes-r_7" method="get" action="GOES-
    R_Q7.php">

        <p>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_7"
            id="btn_goes-r_questao_7_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
            R_Q8')">

                <label for="btn_goes-r_questao_7_sim">Sim</label>

            <input type="radio" name="goes-r_questao_7"
            id="btn_goes-r_questao_7_nao" value="nao" >

                <label for="btn_goes-r_questao_7_nao">Não</label>

```



```

        <input type=submit id="btn_goes-r_questao_7_enviar"
value="Enviar">

    </p>

</form>

</div>

```

```

    <div id="GOES-R_Q8" style="display:none">

        <p><h3> 8 - A polarização (RHCP e/ou LHCP) utilizada para
recepção dos dados brutos do satélite GOES-R está configurada? </h3></p>

        <form name="form_goes-r_8" method="get" action="GOES-
R_Q8.php">

            <p>

                <input type="radio" name="goes-r_questao_8"
id="btn_goes-r_questao_8_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('GOES-
R_Q9')">

                    <label for="btn_goes-r_questao_8_sim">Sim</label>

                <input type="radio" name="goes-r_questao_8"
id="btn_goes-r_questao_8_nao" value="nao" >

                    <label for="btn_goes-r_questao_8_nao">Não</label>

                <input type=submit id="btn_goes-r_questao_8_enviar"
value="Enviar">

            </p>

        </form>

    </div>

```

```

    <div id="GOES-R_Q9" style="display:none">

        <p><h3>9 - Os elementos orbitais (TLE) utilizados para
recepção dos dados brutos do satélite GOES-R foram atualizados? </h3></p>

        <form name="form_goes-r_9" method="get" action="GOES-
R_Q9.php">

            <p>

                <input type="radio" name="goes-r_questao_9"
id="btn_goes-r_questao_9_sim" value="sim" >

```

```

        <label for="btn_goes-r_questao_9_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="goes-r_questao_9"
id="btn_goes-r_questao_9_nao" value="nao" >

        <label for="btn_goes-r_questao_9_nao">Não</label>

        <input type=submit id="btn_goes-r_questao_9_enviar"
value="Enviar">

```

```

    </p>

    </form>

</div>

```

```

        <div id="LANDSAT-8_Q1" style="display:none">

        <p><h3> 1 - A Estação Terrena de Recepção LANDSAT-8
inicializa? </h3></p>

        <form name="form_landsat-8_1" method="get"
action="LANDSAT-8_Q1.php">

        <p>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_1"
id="btn_landsat-8_questao_1_sim" value="sim"
onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q2')">

        <label for="btn_landsat-8_questao_1_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_1"
id="btn_landsat-8_questao_1_nao" value="nao">

        <label for="btn_landsat-
8_questao_1_nao">Não</label>

        <input type=submit id="btn_landsat-8_questao_1_enviar"
value="Enviar">

```

```

    </p>

    </form>

</div>

```

```

        <div id="LANDSAT-8_Q2" style="display:none">

        <p><h3> 2 - A Estação Terrena de Recepção LANDSAT-8 está
configurada? </h3></p>

```

```

        <form name="form_landSAT-8_2" method="get"
action="LANDSAT-8_Q2.php">

        <p>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_2"
id="btn_landSAT-8_questao_2_sim" value="sim" >

        <label for="btn_landSAT-8_questao_2_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_2"
id="btn_landSAT-8_questao_2_nao" value="nao"
onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q3')">

        <label for="btn_landSAT-
8_questao_2_nao">Não</label>

        <input type="submit" id="btn_landSAT-8_questao_2_enviar"
value="Enviar">

        </p>

        </form>

</div>

```

```

        <div id="LANDSAT-8_Q3" style="display:none">

        <p><h3>3 - A frequência utilizada para recepção dos dados
brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?</h3></p>

        <form name="form_landSAT-8_3" method="get"
action="LANDSAT-8_Q3.php">

        <p>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_3"
id="btn_landSAT-8_questao_3_sim" value="sim"
onclick="Mudarestado3('LANDSAT-8_Q4')">

        <label for="btn_landSAT-8_questao_3_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_3"
id="btn_landSAT-8_questao_3_nao" value="nao">

        <label for="btn_landSAT-
8_questao_3_nao">Não</label>

        <input type="submit" id="btn_landSAT-8_questao_3_enviar"
value="Enviar">

        </p>

```

</form>

</div>

<div id="LANDSAT-8_Q4" style="display:none">

<p><h3>4 - A modulação utilizada para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?</h3></p>

<form name="form_landsat-8_4" method="get" action="LANDSAT-8_Q4.php">

<p>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_4" id="btn_landsat-8_questao_4_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q5')">

<label for="btn_landsat-8_questao_4_sim">Sim</label>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_4" id="btn_landsat-8_questao_4_ao" value="ao">

<label for="btn_landsat-8_questao_4_ao">Não</label>

<input type="submit" id="btn_landsat-8_questao_4_enviar" value="Enviar">

</p>

</form>

</div>

<div id="LANDSAT-8_Q5" style="display:none">

<p><h3>5 - A taxa de transmissão utilizada para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?</h3></p>

<form name="form_landsat-8_5" method="get" action="LANDSAT-8_Q5.php">

<p>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_5" id="btn_landsat-8_questao_5_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q6')">

<label for="btn_landsat-8_questao_5_sim">Sim</label>

```

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_5"
id="btn_landsat-8_questao_5_nao" value="nao">

        <label for="btn_landsat-
8_questao_5_nao">Não</label>

        <input type=submit id="btn_landsat-8_questao_5_enviar"
value="Enviar">

    </p>

</form>

</div>

```

```

    <div id="LANDSAT-8_Q6" style="display:none">

        <p><h3>6 - O Forward Error Correction (FEC) utilizado para
recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurado?</h3></p>

        <form name="form_landsat-8_6" method="get"
action="LANDSAT-8_Q6.php">

            <p>

                <input type="radio" name="landsat-8_questao_6"
id="btn_landsat-8_questao_6_sim" value="sim"
onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q7')">

                <label for="btn_landsat-8_questao_6_sim">Sim</label>

                <input type="radio" name="landsat-8_questao_6"
id="btn_landsat-8_questao_6_nao" value="nao">

                <label for="btn_landsat-
8_questao_6_nao">Não</label>

                <input type=submit id="btn_landsat-8_questao_6_enviar"
value="Enviar">

            </p>

        </form>

    </div>

```

```

    <div id="LANDSAT-8_Q7" style="display:none">

        <p><h3>7 - A potência utilizada para recepção dos dados
brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?</h3></p>

```

```

        <form name="form_landsat-8_7" method="get"
action="LANDSAT-8_Q7.php">

        <p>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_7"
id="btn_landsat-8_questao_7_sim" value="sim"
onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q8')">

        <label for="btn_landsat-8_questao_7_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_7"
id="btn_landsat-8_questao_7_nao" value="nao">

        <label for="btn_landsat-
8_questao_7_nao">Não</label>

        <input type="submit" id="btn_landsat-8_questao_7_enviar"
value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

        <div id="LANDSAT-8_Q8" style="display:none">

        <p><h3>8 - A polarização (RHCP e/ou LHCP) utilizada para
recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 está configurada?</h3></p>

        <form name="form_landsat-8_8" method="get"
action="LANDSAT-8_Q8.php">

        <p>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_8"
id="btn_landsat-8_questao_8_sim" value="sim"
onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q9')">

        <label for="btn_landsat-8_questao_8_sim">Sim</label>

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_8"
id="btn_landsat-8_questao_8_nao" value="nao">

        <label for="btn_landsat-
8_questao_8_nao">Não</label>

        <input type="submit" id="btn_landsat-8_questao_8_enviar"
value="Enviar">

        </p>

```

</form>

</div>

<div id="LANDSAT-8_Q9" style="display:none">

<p><h3>9 - Os elementos orbitais (TLE) utilizados para recepção dos dados brutos do satélite LANDSAT-8 foram atualizados?</h3></p>

<form name="form_landsat-8_9" method="get" action="LANDSAT-8_Q9.php">

<p>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_9" id="btn_landsat-8_questao_9_sim" value="sim" onclick="Mudarestado('LANDSAT-8_Q10')">

<label for="btn_landsat-8_questao_9_sim">Sim</label>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_9" id="btn_landsat-8_questao_9_ao" value="ao">

<label for="btn_landsat-8_questao_9_ao">Não</label>

<input type="submit" id="btn_landsat-8_questao_9_enviar" value="Enviar">

</p>

</form>

</div>

<div id="LANDSAT-8_Q10" style="display:none">

<p><h3>10 - A programação da passagem do satélite LANDSAT-8 foi baixada do site da USGS (www.landsat.gov/IGS/) e foi inserida na ACU?</h3></p>

<form name="form_landsat-8_10" method="get" action="LANDSAT-8_Q10.php">

<p>

<input type="radio" name="landsat-8_questao_10" id="btn_landsat-8_questao_10_sim" value="sim">

<label for="btn_landsat-8_questao_10_sim">Sim</label>

```

        <input type="radio" name="landsat-8_questao_10"
id="btn_landsat-8_questao_10_nao" value="nao">

        <label for="btn_landsat-
8_questao_10_nao">Não</label>

        <input type="submit" id="btn_landsat-
8_questao_10_enviar" value="Enviar">

        </p>

        </form>

    </div>

</td>

</tr>

</tbody>

</table>

</div>

</div>

</div>

</div>

<div class="tab-pane fade"
id="PDAD-ES_Anomalias">

    <p>&nbsp;</p>

    <div class="panel panel-primary">

        <div class="panel-heading">

            <h4 align="center"
class="panel-title"> Sistema Especialista PDAD-ES (Anomalias)</h4>

        </div>

        <div class="panel-body">

            <table width="84%"
border="2" cellpadding="2" class="table table-condensed">

```



```

align="center">
class="active">

<td width="69%" align="center" >

<div id="Anomalias">

    <form name="form_Anomalias method="post" action="">

        <p><h3>Selecione a missão espacial</h3></p><br />

        <input type="radio" name="radio" id="btn_cosmic-
2_anomalias" value="btn_cosmic-2_anomalias"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q1')">

        <label for="btn_cosmic-2_anomalias">COSMIC-
2</label>

        <input type="radio" name="radio" id="btn_landsat-
8_anomalias" value="btn_landsat-8_anomalias"
onclick="Mudarestado2('Ano_LANDSAT-8_Q1')">

        <label for="btn_landsat-_anomalias8">LANDSAT-
8</label>

        <input type="radio" name="radio" id="btn_goes-
r_anomalias" value="btn_goes-r_anomalias"
onclick="Mudarestado3('Ano_GOES-R_Q1')">

        <label for="btn_goes-r_anomalias">GOES-
R</label><br />

    </form>

</div>

```

```

        </td >

                                                                </tr>

                                                                <tr
class="success">

        <td align="left">

        <div id="Ano_COSMIC-2_Q1" style="display:none">

        <p><h3>1 - Os dados brutos foram transferidos para ml.cosmic.ucar.edu?
"</h3></p>

        <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-2_Q1.php">

        <p>

                <input type="radio" name="questao_1"
id="btn_questao_1_sim_anomalias" value="sim" >

                <label
for="btn_questao_1_sim_anomalias">Sim</label>

                <input type="radio" name="questao_1"
id="btn_questao_1_nao_anomalias" value="nao"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q2')">

                <label
for="btn_questao_1_nao_anomalias">Não</label>

                <input type=submit
id="btn_questao_1_enviar_anomalias" value="Enviar">

        <!-- <label for="btn_questao_1_enviar"> Enviar</label> -->

        </p>

```

```

</form>

</div>

<div id="Ano_COSMIC-2_Q2" style="display:none">

    <p><h3>2 - Os dados brutos foram transferidos para ch.cosmic.ucar.edu?
</h3> </p>

    <form
name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-2_Q2.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_2"
id="btn_questao_2_sim_anomalias" value="sim" >

            <label for="btn_questao_2_sim_anomalias">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_2"
id="btn_questao_2_nao_anomalias" value="nao"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q3')">

            <label for="btn_questao_2_nao_anomalias">Não</label>

            <input type="submit" id="btn_questao_2_enviar_anomalias"
value="Enviar">

            <!-- <label for="btn_questao_2_enviar"> Enviar</label> -->

        </p>

    </form>

</div>

<div id="Ano_COSMIC-2_Q3" style="display:none">

```

<p><h3> 3 - Os dados brutos foram transferidos para
embrace.dmz.inpe.br? </h3> </p>

<form
name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-2_Q3.php">

<p>

<input type="radio" name="questao_3"
id="btn_questao_3_sim_anomalias" value="sim" >

<label for="btn_questao_3_sim_anomalias">Sim</label>

<input type="radio" name="questao_3"
id="btn_questao_3_nao_anomalias" value="nao"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q4')">

<label for="btn_questao_3_nao_anomalias">Não</label>

<input type="submit" id="btn_questao_3_enviar_anomalias"
value="Enviar">

</p>

</form>

</div>

<div id="Ano_COSMIC-2_Q4" style="display:none">

<p><h3> 4 - Os dados brutos estão disponíveis no disco local
do receptor Cortex CRT-Q? </h3></p>

<form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q4.php">

<p>

<input type="radio" name="questao_4"
id="btn_questao_4_sim_anomalias" value="sim" >

<label for="btn_questao_4_sim_anomalias">Sim</label>

```

        <input type="radio" name="questao_4"
id="btn_questao_4_nao_anomalias" value="nao"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q5')">

        <label for="btn_questao_4_nao_anomalias">Não</label>

        <input type=submit id="btn_questao_4_envia_anomalias"
value="Enviar">

    </p>
</form>
</div>

```

```

<div id="Ano_COSMIC-2_Q5" style="display:none">

    <p><h3> 5 - Há espaço no disco local do receptor Cortex CRT-Q
para gravar as próximas passagens? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q5.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_5"
id="btn_questao_5_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q6')">

            <label for="btn_questao_5_sim_anomalias">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_5"
id="btn_questao_5_nao_anomalias" value="nao" >

            <label for="btn_questao_5_nao_anomalias">Não</label>

            <input type=submit
id="btn_questao_5_enviar_anomalias" value="Enviar">

        </p>
    </form>
</div>

```

```

<div id="Ano_COSMIC-2_Q6" style="display:none">

    <p><h3> 6 - O LNA está funcionando normalmente? </h3></p>

```

```

2_Q6.php">
    <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q6.php">
        <p>
            <input type="radio" name="questao_6"
id="btn_questao_6_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q7')">
                <label for="btn_questao_6_sim_anomalias">Sim</label>
            <input type="radio" name="questao_6"
id="btn_questao_6_nao_anomalias" value="nao" >
                <label for="btn_questao_6_nao_anomalias">Não</label>
            <input type=submit
id="btn_questao_6_enviar_anomalias" value="Enviar">
        </p>
    </form>
</div>

```

```

<div id="Ano_COSMIC-2_Q7" style="display:none">
    <p><h3> 7 - A antena movimentada normalmente? </h3></p>
    <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q7.php">
        <p>
            <input type="radio" name="questao_7"
id="btn_questao_7_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q8')">
                <label for="btn_questao_7_sim_anomalias">Sim</label>
            <input type="radio" name="questao_7"
id="btn_questao_7_nao_anomalias" value="nao" >
                <label for="btn_questao_7_nao_anomalias">Não</label>
            <input type=submit
id="btn_questao_7_enviar_anomalias" value="Enviar">
        </p>
    </form>
</div>

```

```

<div id="Ano_COSMIC-2_Q8" style="display:none">

    <p><h3> 8 - O conversor descendende (down converter) de
sinal está funcionando normalmente? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q8.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_8"
id="btn_questao_8_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q9')">

                <label for="btn_questao_8_sim_anomalias">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_8"
id="btn_questao_8_nao_anomalias" value="nao" >

                <label for="btn_questao_8_nao_anomalias">Não</label>

            <input type=submit
id="btn_questao_8_enviar_anomalias" value="Enviar">

        </p>

    </form>

</div>

```

```

<div id="Ano_COSMIC-2_Q9" style="display:none">

    <p><h3> 9 - O software M&CS está conectado no localhost do
receptor Cortex CRT-Q e no localhost do cortex ACU? </h3></p>

    <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q9.php">

        <p>

            <input type="radio" name="questao_9"
id="btn_questao_9_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q10')">

                <label for="btn_questao_9_sim_anomalias">Sim</label>

            <input type="radio" name="questao_9"
id="btn_questao_9_nao_anomalias" value="nao" >

                <label for="btn_questao_9_nao_anomalias">Não</label>

```

```
        <input type=submit  
id="btn_questao_9_enviar_anomalias" value="Enviar">
```

```
    </p>
```

```
    </form>
```

```
    </div>
```

```
    <div id="Ano_COSMIC-2_Q10" style="display:none">
```

```
        <p><h3> 10 - A Estação Terrena de Recepção está  
configurada? </h3></p>
```

```
        <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-  
2_Q10.php">
```

```
            <p>
```

```
                <input type="radio" name="questao_10"  
id="btn_questao_10_sim_anomalias" value="sim"  
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q11')">
```

```
                <label for="btn_questao_10_sim_anomalias">Sim</label>
```

```
                <input type="radio" name="questao_10"  
id="btn_questao_10_nao_anomalias" value="nao" >
```

```
                <label for="btn_questao_10_nao_anomalias">Não</label>
```

```
                <input type=submit  
id="btn_questao_10_enviar_anomalias" value="Enviar">
```

```
            </p>
```

```
        </form>
```

```
    </div>
```

```
    <div id="Ano_COSMIC-2_Q11" style="display:none">
```

```
        <p><h3> 11 - A missão espacial está operacional? </h3></p>
```

```
        <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-  
2_Q11.php">
```

```
            <p>
```



```
        <input type="radio" name="questao_11"
id="btn_questao_11_sim_anomalias" value="sim"
onclick="Mudarestado('Ano_COSMIC-2_Q12')">
```

```
        <label
for="btn_questao_11_sim_anomalias">Sim</label>
```

```
        <input type="radio" name="questao_11"
id="btn_questao_11_nao_anomalias" value="nao">
```

```
        <label
for="btn_questao_11_nao_anomalias">Não</label>
```

```
        <input type=submit
id="btn_questao_11_enviar_anomalias" value="Enviar">
```

```
    </p>
```

```
    </form>
```

```
    </div>
```

```
    <div id="Ano_COSMIC-2_Q12" style="display:none">
```

```
        <p><h3> 12 - Houve erro humano? </h3></p>
```

```
        <form name="form1" method="get" action="Ano_COSMIC-
2_Q12.php">
```

```
            <p>
```

```
                <input type="radio" name="questao_12"
id="btn_questao_12_sim_anomalias" value="sim" >
```

```
                <label
for="btn_questao_12_sim_anomalias">Sim</label>
```

```
        <!--                <input type="radio" name="questao_12"
id="btn_questao_12_nao" value="nao">
```

```
                <label for="btn_questao_12_nao">Não</label> -->
```

```
                <input type=submit
id="btn_questao_12_enviar_anomalias" value="Enviar">
```

```
            </p>
```

```
        </form>
```

```
    </div>
```

```
</td>
```

```

</tr>
</tbody>
</table>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</table>
<script>
    $(function () {
        $('#myTab li:eq(1) a').tab('show');
    });
</script>
</body>
</html>
```

APÊNDICE G: CÓDIGO FONTE GOES-R_Q8.php

```
<?php

    session_start();

    include_once 'dbconnect.php';

    if(!isset($_SESSION['user']))

    {

        header("Location: index.php");

    }

    $res=mysql_query("SELECT * FROM tusuarios WHERE
Codigo=".$_SESSION['user']);

    $userRow=mysql_fetch_array($res);?>

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

    <meta charset="utf-8">

    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">

    <title>Payload Data Acquisition and Dissemination</title>

    <script type="text/javascript" src="controles.js"></script>

    <link href="bootstrap/css/bootstrap.min.css" rel="stylesheet">

    <link href="bootstrap/css/bootstrap-theme.min.css" rel="stylesheet" >

    <style type="text/css">

        body {

            margin-top: 10px;

            margin-bottom: 0px;

        }

        th {

            text-align: center;

        }

    </style>

</head>

<body>
```

```

</style>

<script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.11.3/jquery.min.js"></script
>

<script
src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/bootstrap.min.js"></
script>

<script type="text/javascript" src="clock/coolclock.js"></script>

<script type="text/javascript" src="clock/moreskins.js"></script>

<!--[if IE]><script type="text/javascript"
src="clock/excanvas.js"></script><![endif]-->

<!-- <link href="css/estilo.css" rel="stylesheet" type="text/css"> -->

</head>

<body>

<div class="panel panel-primary">

    <div class="panel-heading">

        <h4 align="center" class="panel-title"> Sistema Especialista PDAD-
ES</h4>

    </div>

    <div class="panel-body">

        <table width="84%" border="2" cellpadding="2" class="table
table-condensed">

            <tbody align="center">

                <tr class="warning">

                    <td width="50%" align="center"
><p><strong>FATOS</strong></p></td >

                    <td width="50%" align="center"
><p><strong>REGRAS</strong></p></td >

                </tr>

                <tr class="success">

                    <td align="left">

                        <?php

```

```

$usuario_questao_8=$_GET["goes-r_questao_8"];

$nome_arquivo_clips='Fatos_GOES-R.clp';

$ponteiro_arquivo=fopen($nome_arquivo_clips,'w') or
die("Não foi possível
abrir o arquivo $nome_arquivo_clips");

$sim_nao1="(deffacts
Fatos_GOES-R (ETR_Inicializa sim) (ETR_Configurada nao)
(Frequencia_Configurada sim) (Modulacao_Configurada sim)
(Taxa_Transmissao_Configurada sim) (FEC_Configurado sim)
(Potencia_Configurada sim) (Polarizacao_Configurada $usuario_questao_8))";

fputs($ponteiro_arquivo,
$sim_nao1);

fclose($ponteiro_arquivo);
clips_clear();

clips_set_strategy(LEX_STRATEGY);
clips_load("$nome_arquivo_clips");

clips_load("regras_GOES-
R.clp");

clips_reset();

$FatosInicial =
clips_get_fact_list();

$NumFatosInicial=count($FatosInicial);

$NumFatosInicial2=$NumFatosInicial-1;

echo "<p>";
print "<b> Número inicial de
fatos: </b> ";

print($NumFatosInicial2);
echo "<p>";

```

```

for($i=1;$i<=$NumFatosInicial2;$i++)
{

$fff=var_dump($FatosInicial[$i]);

echo "<br /> $fff";

}

$num_regras_executadas=clips_run();

$FatosFinal =
clips_get_fact_list();

$NumFatosFinal=count($FatosFinal);

$NumFatosFinal2=
$NumFatosFinal-1;

echo "<p>";
print "<b> Número Final de
fatos: </b> ";

print($NumFatosFinal2);

?>
</td>
<td align="left"><p><br>
<?php

$regras =
clips_get_defrule_list();

$num_regras=count($regras);
print "<b> Número total de
regras: </b> ";

print($num_regras);
echo "<p>";

for($i=1;$i<$num_regras;$i++)

```

```

        {

$qqq=var_dump($regras[$i]);

        echo "<br /> $qqq";

        }

echo "<p>";

echo "<b> Número de regras
executadas: </b> ";

print($num_regras_executadas);

        ?>

        </tr>

        </tbody>

        </table>

    </div>

    <div class="panel-body">

        <table width="84%" border="2" cellpadding="2" class="table
table-condensed">

            <tbody align="center">

                <tr class="warning">

                    <td width="100%" align="center"
><p><strong>ACONSELHAMENTO</strong></p></td >

                </tr>

                <tr class="info">

                    <td align="left">

                        <?php

                            echo "<strong>";

                        $ppp=var_dump($FatosFinal[$NumFatosFinal2]);

                            echo "</strong>";

                        ?>

```

```

                                </td>
                            </tr>
                        </table>
                    </div>
</div>
</body>
</html>
```


APÊNDICE H: CÓDIGO FONTE CLIPS Regras_GOES-R.clp

```
(defrule Estacao_Terrena_Inicializa ""  
  (ETR_Inicializa sim)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Acompanhar a aquisicao dos dados brutos transmstidos pelo  
satélites GOES-R.")))  
  
(defrule Estacao_Terrena_Nao_Inicializa ""  
  (ETR_Inicializa nao)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Verificar a mecanica, a eletronica e a eletrica da Estacao Terrena  
de Recepcao.")))  
  
(defrule Estacao_Terrena_Funcionando ""  
  (ETR_Inicializa sim)  
  (ETR_Configurada sim)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Acompanhar a aquisicao dos dados brutos transmstidos pelo  
satélites GOES-R.")))  
  
(defrule Configura_Frequencia ""  
  (ETR_Inicializa sim)  
  (ETR_Configurada nao)  
  (Frequencia_Configurada nao)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "A frequencia utilizada para o satellite GOES-R e 1686.6MHz  
(Banda L)."))  
  
  (printout t crlf crlf))  
  
(defrule Configura_Modulacao ""
```

```

(ETR_Inicializa sim)

(ETR_Configurada nao)

(Frequencia_Configurada sim)

(Modulacao_Configurada nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "A modulacao utilizada para o satellite GOES-R e' 8PSK (primaria) e
QPSK (secundaria)."))

(printout t crlf crlf))

(defrule Configura_Taxa_Transmissao ""

(ETR_Inicializa sim)

(ETR_Configurada nao)

(Frequencia_Configurada sim)

(Modulacao_Configurada sim)

(Taxa_Transmissao_Configurada nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "A taxa de transmissao utilizada para o satellite GOES-R e
15.5Mbps."))

(printout t crlf crlf))

(defrule Configura_FEC ""

(ETR_Inicializa sim)

(ETR_Configurada nao)

(Frequencia_Configurada sim)

(Modulacao_Configurada sim)

(Taxa_Transmissao_Configurada sim)

(FEC_Configurado nao)

(not (Acao ?))

=>

```

```
(assert (Acao "O Forward Error Correction (FEC) utilizado para o satellite GOES-R e Reed Solomon."))
```

```
(printout t crlf crlf))
```

```
(defrule Configura_Potencia ""
```

```
(ETR_Inicializa sim)
```

```
(ETR_Configurada nao)
```

```
(Frequencia_Configurada sim)
```

```
(Modulacao_Configurada sim)
```

```
(Taxa_Transmissao_Configurada sim)
```

```
(FEC_Configurado sim)
```

```
(Potencia_Configurada nao)
```

```
(not (Acao ?))
```

```
=>
```

```
(assert (Acao "A potencia utilizada para o satellite GOES-R e 60.5dBmi."))
```

```
(printout t crlf crlf))
```

```
(defrule Configura_Polarizacao ""
```

```
(ETR_Inicializa sim)
```

```
(ETR_Configurada nao)
```

```
(Frequencia_Configurada sim)
```

```
(Modulacao_Configurada sim)
```

```
(Taxa_Transmissao_Configurada sim)
```

```
(FEC_Configurado sim)
```

```
(Potencia_Configurada sim)
```

```
(Polarizacao_Configurada nao)
```

```
(not (Acao ?))
```

```
=>
```

```
(assert (Acao "A polarizacao utilizada para o satellite GOES-R e RHCP e LHCP."))
```

```
(printout t crlf crlf))
```

```
(defrule Configura_TLE ""
```

```

(ETR_Inicializa sim)
(ETR_Configurada nao)
(Frequencia_Configurada sim)
(Modulacao_Configurada sim)
(Taxa_Transmissao_Configurada sim)
(FEC_Configurado sim)
(Potencia_Configurada sim)
(Polarizacao_Configurada sim)
(TLE_Atualizado nao)
(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Executar o script atualiza_TLE.sh com os parametros satelite e
missao. Exemplo: ./atualiza_TLE.sh GOES-R"))

(printout t crlf crlf)

(defrule Configura_Estacao_Terrena ""
(ETR_Inicializa sim)
(ETR_Configurada nao)
(Frequencia_Configurada sim)
(Modulacao_Configurada sim)
(Taxa_Transmissao_Configurada sim)
(FEC_Configurado sim)
(Potencia_Configurada sim)
(Polarizacao_Configurada sim)
(TLE_Atualizado sim)
(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Acompanhar a aquisicao dos dados brutos transmistidos pelo
satelite GOES-R.."))

```

```
(defrule print-Acao ""  
  (declare (salience 10))  
  (Acao ?item)  
  =>  
  (printout t crlf crlf)  
  (printout t " Acao Sugerida:")  
  (printout t crlf crlf)  
  (format t " %s%n%n%n" ?item))
```


APÊNDICE I: CÓDIGO FONTE Ano_COSMIC-2_Q9.php

```
<?php

    session_start();

    include_once 'dbconnect.php';

    if(!isset($_SESSION['user']))

    {

        header("Location: index.php");

    }

    $res=mysql_query("SELECT * FROM tusuarios WHERE
Codigo=".$_SESSION['user']);

    $userRow=mysql_fetch_array($res);?>

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

    <meta charset="utf-8">

    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">

    <title>Payload Data Acquisition and Dissemination</title>

    <script type="text/javascript" src="controles.js"></script>

    <link href="bootstrap/css/bootstrap.min.css" rel="stylesheet">

    <link href="bootstrap/css/bootstrap-theme.min.css" rel="stylesheet" >

    <style type="text/css">

        body {

            margin-top: 10px;

            margin-bottom: 0px;

        }

        th {

            text-align: center;

        }

    </style>

</head>

<body>
```

```

</style>

<script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.11.3/jquery.min.js"></script
>

<script
src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.5/js/bootstrap.min.js"></
script>

<script type="text/javascript" src="clock/coolclock.js"></script>

<script type="text/javascript" src="clock/moreskins.js"></script>

<!--[if IE]><script type="text/javascript"
src="clock/excanvas.js"></script><![endif]-->

<!-- <link href="css/estilo.css" rel="stylesheet" type="text/css"> -->

</head>

<body>

<div class="panel panel-primary">

    <div class="panel-heading">

        <h4 align="center" class="panel-title"> Sistema Especialista PDAD-
ES</h4>

    </div>

    <div class="panel-body">

        <table width="84%" border="2" cellpadding="2" class="table
table-condensed">

            <tbody align="center">

                <tr class="warning">

                    <td width="50%" align="center"
><p><strong>FATOS</strong></p></td >

                    <td width="50%" align="center"
><p><strong>REGRAS</strong></p></td >

                </tr>

                <tr class="success">

                    <td align="left">

                        <?php

```



```

$usuario_questao_9=$_GET["questao_9"];

$nome_arquivo_clips='Fatos_Anomalias_COSMIC-2.clp';

$ponteiro_arquivo=fopen($nome_arquivo_clips,'w') or
die("Não foi possível
abrir o arquivo $nome_arquivo_clips");

$sim_nao1="(deffacts
Fatos_Anomalias_COSMIC-2 (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
(Dados_Transferidos_EMBRACE nao) (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
(Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim) (LNA_Funcionando sim)
(Antena_Funcionando sim) (Downconverter_Funcionando sim) (MCS_Conectado
$usuario_questao_9))";

fputs($ponteiro_arquivo,
$sim_nao1);

fclose($ponteiro_arquivo);
clips_clear();

clips_set_strategy(LEX_STRATEGY);

clips_load("$nome_arquivo_clips");

clips_load("Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp");

clips_reset();
$FatosInicial =
clips_get_fact_list();

$NumFatosInicial=count($FatosInicial);

$NumFatosInicial2=$NumFatosInicial-1;

echo "<p>";
print "<b> Número inicial de
fatos: </b> ";

```

```

print($NumFatosInicial2);

echo "<p>";

for($i=1;$i<=$NumFatosInicial2;$i++)
{

    $Dump_Fatos_Inicial=var_dump($FatosInicial[$i]);

    echo "<br />
$Dump_Fatos_Inicial";

}

$num_regras_executadas=clips_run();

$FatosFinal =
clips_get_fact_list();

$NumFatosFinal=count($FatosFinal);

$NumFatosFinal2=
$NumFatosFinal-1;

echo "<p>";
print "<b> Número Final de
fatos: </b> ";

print($NumFatosFinal2);

?>
</td>
<td align="left"><p><br>
<?php

$regras =
clips_get_defrule_list();

$num_regras=count($regras);
print "<b> Número total de
regras: </b> ";

print($num_regras);

```

```

echo "<p>";

for($i=1;$i<$num_regras;$i++)

{

    $Dump_Regras=var_dump($regras[$i]);

    echo "<br />

$Dump_Regras";

}

echo "<p>";

echo "<b> Número de regras

executadas: </b> ";

print($num_regras_executadas);

?>

</tr>

</tbody>

</table>

</div>

<div class="panel-body">

    <table width="84%" border="2" cellpadding="2" class="table

table-condensed">

        <tbody align="center">

            <tr class="warning">

                <td width="100%" align="center"

><p><strong>ACONSELHAMENTO</strong></p></td >

            </tr>

            <tr class="info">

                <td align="left">

                    <?php

                        echo "<strong>";

```

```

$ppp=var_dump($FatosFinal[$NumFatosFinal2]);

                                echo "</strong>";

                                ?>
                                </td>
                                </tr>
                                </table>
                                </div>
                                </div>
                                </body>
                                </html>

```

APÊNDICE J: CÓDIGO FONTE CLIPS Regras_Anomalias_COSMIC-2.clp

```
(defrule Transfere_Dados_ML_COSMIC_UCAR_EDU ""  
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU sim)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Preparar a Estacao Terrena de Recepcao para próxima  
aquisicao e transferencia dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2.")))  
  
(defrule Nao_Transfere_Dados_ML_COSMIC_UCAR_EDU ""  
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Transferir os dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2 para  
UCAR")))  
  
(defrule Transfere_Dados_CH_COSMIC_UCAR_EDU ""  
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)  
  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU sim)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>  
  
  (assert (Acao "Preparar a Estacao Terrena de Recepcao para próxima  
aquisicao e transferencia dos dados brutos COSMIC-1 e COSMIC-2.")))  
  
(defrule Transfere_Dados_EMBRACE ""  
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)  
  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)  
  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)  
  (not (Acao ?))  
  
  =>
```

```
(assert (Acao "Verificar o status do enlace da rede de comunicação de
dados: ping ml-cosmic.ucar.edu, ping ch-cosmic.ucar.edu, ping e
embrace.dmz.inpe.br; Abrir chamado na TI no ramal 7878")))
```

```
(defrule Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q ""
```

```
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
```

```
  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
```

```
  (not (Acao ?))
```

```
=>
```

```
(assert (Acao "Verificar a mecânica, a eletrônica e a elétrica da ETR")))
```

```
(defrule Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q ""
```

```
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
```

```
  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
```

```
  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q nao)
```

```
  (not (Acao ?))
```

```
=>
```

```
(assert (Acao "Liberar espaço no disco local do receptor cortex CRT-Q
")))
```

```
(defrule LNA_Problema ""
```

```
  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)
```

```
  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)
```

```
  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)
```

```
  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)
```

```
  (LNA_Funcionando nao)
```

```
  (not (Acao ?))
```

=>

(assert (Acao "Analisar, reparar ou substituir o LNA "))

(defrule LNA_Funcionando ""

(Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

(Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

(Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

(LNA_Funcionando sim)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar se a antena movimenta e se esta conectando no SCU "))

(defrule Antena_Problema ""

(Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

(Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

(Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

(LNA_Funcionando sim)

(Antena_Funcionando nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Analisar a ACU, a SCU, a eletrônica e a mecânica da antena.")))

(defrule Antena_Funcionando ""

(Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

```

(Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

(Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

(Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

(LNA_Funcionando sim)

(Antena_Funcionando sim)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar o Downconverter.")))

(defrule Downconverter_Problema ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

  (Antena_Funcionando sim)

  (Downconverter_Funcionando nao)

  (not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Analisar, reparar ou substituir o downconverter.")))

(defrule Downconverter_Funcionando ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

```



```

    (Antena_Funcionando sim)

    (Downconverter_Funcionando sim)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar se o software M&CS está conectado no
localhost (CrtConfig_1)"))

(defrule MCS_Nao_Conectado ""

    (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

    (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

    (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

    (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

    (LNA_Funcionando sim)

    (Antena_Funcionando sim)

    (Downconverter_Funcionando sim)

    (MCS_Conectado nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Conectar o software M&CS no localhost (CrtConfig_1)"))

(defrule MCS_Conectado ""

    (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

(Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

    (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

    (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

    (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

    (LNA_Funcionando sim)

    (Antena_Funcionando sim)

    (Downconverter_Funcionando sim)

```

```

(MCS_Conectado sim)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar se a Estacao Terrena de Recepcao está
configurada.")))

(defrule ETR_Nao_Configurada ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

  (Antena_Funcionando sim)

  (Downconverter_Funcionando sim)

  (MCS_Conectado sim)

  (ETR_Configurada nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Configurar a Estacao Terrena de Recepcao")))

(defrule ETR_Configurada ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

  (Antena_Funcionando sim)

  (Downconverter_Funcionando sim)

```

```

(MCS_Conectado sim)

(ETR_Configurada sim)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar o status dos satélites da constelação COSMIC-1
e COSMIC-2"))

(defrule COSMIC_Operacional ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

  (Antena_Funcionando sim)

  (Downconverter_Funcionando sim)

  (MCS_Conectado sim)

  (ETR_Configurada sim)

  (COSMIC_Operacional sim)

  (not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Analisar o AGC e certificar que o satélite transmitiu o
sinal")))

(defrule COSMIC_Nao_Operacional ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

```

```

(LNA_Funcionando sim)

(Antena_Funcionando sim)

(Downconverter_Funcionando sim)

(MCS_Conectado sim)

(ETR_Configurada sim)

(COSMIC_Operacional nao)

(not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Verificar se há correcao de orbita, anomalias no satellite
ou calibracao dos instrumentos a bordo do satellite")))

(defrule Erro_Humano ""

  (Dados_Transferidos_ML_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_CH_COSMIC_UCAR_EDU nao)

  (Dados_Transferidos_EMBRACE nao)

  (Dados_Brutos_CORTEX_CRT-Q nao)

  (Espaco_Disco_CORTEX_CRT-Q sim)

  (LNA_Funcionando sim)

  (Antena_Funcionando sim)

  (Downconverter_Funcionando sim)

  (MCS_Conectado sim)

  (ETR_Configurada sim)

  (COSMIC_Operacional sim)

  (Erro_Humano sim)

  (not (Acao ?))

=>

(assert (Acao "Emitir relatório informativo e licoes aprendidas.")))

(defrule print-Acao ""

  (declare (salience 10))

```

```
(Acao ?item)
```

```
=>
```

```
(printout t crlf crlf)
```

```
(printout t " Acao Sugerida:")
```

```
(printout t crlf crlf)
```

```
(format t " %s%n%n%n" ?item))
```