



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

## ARQUITETURA DE BIG DATA PARA REPRESENTAÇÃO DE TELEMETRIAS DE SATÉLITES

Yuri Matheus Dias Pereira  
Mauricio Vieira Ferreira Gonçalves  
Rodrigo Rocha Silva

Relatório Técnico resultado do  
Exame de Qualificação do Curso  
de Pós-Graduação em Engenharia  
e Gerenciamento de Sistemas Es-  
paciais.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE  
São José dos Campos  
2019

**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) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

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

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

**Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

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

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

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

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

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**

## ARQUITETURA DE BIG DATA PARA REPRESENTAÇÃO DE TELEMETRIAS DE SATÉLITES

Yuri Matheus Dias Pereira  
Mauricio Vieira Ferreira Gonçalves  
Rodrigo Rocha Silva

Relatório Técnico resultado do  
Exame de Qualificação do Curso  
de Pós-Graduação em Engenharia  
e Gerenciamento de Sistemas Es-  
paciais.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE  
São José dos Campos  
2019



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](#).

**Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).**

*“But I try not to think with my gut. If I’m serious about understanding the world, thinking with anything besides my brain, as tempting as that might be, is likely to get me into trouble. It’s OK to reserve judgment until the evidence is in.”*

CARL SAGAN E ANN DRUYAN  
em “O Mundo Assombrado pelos Demônios:  
A Ciência Vista Como Uma Vela no Escuro”, 1995

Revisão No. 0.1

## RESUMO

Satélites são monitorados pelas equipes de solo via pacotes de telemetria, que informam o estado atual dos equipamentos e permitem avaliar a capacidade do satélite de continuar a sua missão. Esses pacotes de telemetria constituem um corpo de dados de tamanho e complexidade significativa, sendo que satélites que funcionam por vários anos geram dados históricos de grande volume, ainda úteis para a operação. Neste artigo apresentamos uma arquitetura baseada em conceitos de Big Data e Business Intelligence para criar uma representação de dados de telemetria pronta para a análise por operadores e engenheiros de satélite no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), bem como apresentamos o fluxo de dados utilizado pelos dados históricos de telemetria de um dos satélites operados pelo INPE.

Palavras-chave: Turbulência atmosférica. Campanha WETAMC. Projeto LBA. Comportamento caótico. Atrator caótico.

Revisão No. 0.1



# BIG DATA ARCHITECTURE FOR THE REPRESENTATION OF SATELLITE TELEMETRY

## ABSTRACT

### **Abstract**

Keywords: Atmospheric turbulence. WETAMC campaign. LBA project. Chaotic behavior. Chaotic attractor.

Revisão No. 0.1

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Operadores e Arquiteturas de Big Data . . . . .	4

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WETAMC	–	Campanha de Mesoescala Atmosférica na Estação Úmida
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MC	–	Método das Covariâncias
EDO	–	Equações Diferenciais Ordinárias
EDP	–	Equações Diferenciais Parciais
ECT	–	Energia Cinética Turbulenta
FDP	–	Função de Distribuição de Probabilidade
PR	–	Plot de Recorrência
FFT	–	Fast Fourier Transform
tS1200	–	Temperatura medida no nível superior às 12 horas
tS2300	–	Temperatura medida no nível superior às 23 horas
tM1200	–	Temperatura medida no nível médio às 12 horas
tM2300	–	Temperatura medida no nível médio às 23 horas
tI1200	–	Temperatura medida no nível inferior às 12 horas
tI2300	–	Temperatura medida no nível inferior às 23 horas
wS1200	–	Velocidade vertical do vento medida no nível superior às 12 horas

Revisão No. 0.1



## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	–	primeira contante
$b$	–	segunda constante
$\rho$	–	densidade de um fluido
$\nu$	–	viscosidade cinemática
$R_e$	–	número de Reynolds
$\alpha$	–	constante de Kolmogorov
$k$	–	número de onda
$K$	–	curtose
$D_0$	–	dimensão de contagem de caixas
$D_1$	–	dimensão de informação
$D_2$	–	dimensão de correlação
$\lambda_1$	–	expoente de Lyapunov dominante

Revisão No. 0.1

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO</b> . . . . .	<b>3</b>
2.1 Conceitos . . . . .	3
2.2 Big Data . . . . .	3
2.3 Operação . . . . .	3
2.4 Outras Agências . . . . .	3
<b>3 PROPOSTA</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>4 IMPLEMENTAÇÃO</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>11</b>

Revisão No. 0.1

# 1 INTRODUÇÃO

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (??).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

## **2 FUNDAMENTAÇÃO**

Neste capítulo, vamos apresentar os conceitos relevantes para este documento, bem como apresentação uma revisão da literatura na área de *Big Data*, terminando com uma visão geral de como o conceito e as tecnologias recentes estão sendo utilizadas por variadas agências espaciais.

### **2.1 Conceitos**

### **2.2 Big Data**

### **2.3 Operação**

### **2.4 Outras Agências**

Revisão No. 0.1

Tabela 2.1 - Operadores e Arquiteturas de Big Data

Referência	Operador	Ferramenta	Tecnologias
(ADAMSKI, )	L3 (EUA)	InControl	Hadoop, Spark, HBase, MongoDB, Cassandra, Amazon AWS
(BOUSSOUF et al., )	Airbus	Dynaworks	Hadoop, Spark, HDFS, HBase, PARQUET, HIVE
(SCHULSTER et al., )	EUMETSAT	CHART	MATLAB, MySQL, Oracle
(ZHANG et al., )	SISSET (China)	-	Hadoop, HDFS, PostgreSQL, MongoDB, Logstash, Kibana, ElasticSearch, Kafka, MapReduce
(YVERNES, )	Telespazio France	PDGS	OLAP (DataCube), Saiku, Pentaho, Jaspersoft OLAP
(DISCHNER et al., )	SwRI + NOAA	CYGNSS MOC	-, SFTP
(EDWARDS, )	EUMETSAT	MASIF	FTP, RESTful service, JMS Message Queue, PostgreSQL, vários proprietários*
(EVANS et al., )	S.A.T.E + ESA/ESOC	-	Java, CSV, algoritmos proprietários*
(FEN et al., )	CSMT& (China)	-	não menciona as tecnologias, mas menciona os problemas em comum
(TROLLOPE et al., )	EUMETSAT	CHART	algoritmos, estudo de caso
(GILLES, )	L-3	InControl	Amazon EC2, LXC, Nagios, repetição do primeiro
(HIGHSMITH et al., )	Boeing + NASA	-	lançadores, não é o foco da arquitetura
(HENNION, )	Thales Alenia	AGYR	Logstash, Kafka, InfluxDB, ElasticSearch, Kibana, Grafana
(MATEIK et al., )	Stinger, NASA	-	Logstash, ElasticSearch, Kibana, HDF5, CSV, R, Python, AWS, Excel
(FERNÁNDEZ et al., )	NASA	MARTE	R, CSV

Fonte: Coloque a fonte de referência aqui, se houver.



### 3 PROPOSTA

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (??).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

## 4 IMPLEMENTAÇÃO

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (??).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSKI, G. Data Analytics for Large Constellations. In: **SpaceOps 2016 Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, (SpaceOps Conferences). 00000. Disponível em:  
<<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2016-2377>>. 4

BOUSSOUF, L.; BERGELIN, B.; SCUDELER, D.; GRAYDON, H.; STAMMINGER, J.; ROSNET, P.; TAILLEFER, E.; BARREYRE, C. Big Data Based Operations for Space Systems. In: **2018 SpaceOps Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 00000. Disponível em:  
<<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2018-2506>>. 4

DISCHNER, Z.; REDFERN, J.; ROSE, D.; ROSE, R.; RUF, C.; VINCENT, M. CYGNSS MOC; Meeting the challenge of constellation operations in a cost-constrained world. In: **2016 IEEE Aerospace Conference**. [S.l.: s.n.]. p. 1-8. 00000. 4

EDWARDS, T. Dealing with the Big Data - The Challenges for Modern Mission Monitoring and Reporting. In: **15th International Conference on Space Operations**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 978-1-62410-562-3. 00000. Disponível em:  
<<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2018-2507>>. 4

EVANS, D. J.; MARTINEZ, J.; KORTE-STAPFF, M.; VANDENBUSSCHE, B.; ROYER, P.; RIDDER, J. D. Data Mining to Drastically Improve Spacecraft Telemetry Checking: A Scientist's Approach. In: **SpaceOps 2016 Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, (SpaceOps Conferences). 00000. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2016-2398>>. 4

FEN, Z.; YANQIN, Z.; CHONG, C.; LING, S. Management and Operation of Communication Equipment Based on Big Data. In: **2016 International Conference on Robots Intelligent System (ICRIS)**. [S.l.: s.n.]. p. 246-248. 00000. 4

FERNÁNDEZ, M. M.; YUE, Y.; WEBER, R. Telemetry Anomaly Detection System Using Machine Learning to Streamline Mission Operations. In: **2017 6th International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (SMC-IT)**. [S.l.: s.n.]. p. 70-75. 00003. 4

GILLES, K. Flying Large Constellations Using Automation and Big Data. In: **SpaceOps 2016 Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, (SpaceOps Conferences). 00000. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2016-2387>>. 4

HENNION, N. Big-data for satellite yearly reports generation. In: **2018 SpaceOps Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 00000. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2018-2368>>. 4

HIGHSMITH, H.; BROCK, J. E.; STEPHENS, D. E. Space Launch System (SLS) data acquisition and sensor system for human space flight. In: **2015 IEEE Aerospace Conference**. [S.l.: s.n.]. p. 1–9. 00006. 4

MATEIK, D.; MITAL, R.; BUONAIUTO, N. L.; LOUIE, M.; KIEF, C.; AARESTAD, J. Using Big Data Technologies for Satellite Data Analytics. In: . American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 978-1-62410-483-1. 00001. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2017-5161>>. 4

SCHULSTER, J.; EVILL, R.; PHILLIPS, S.; FELDMANN, N.; ROGISSART, J.; DYER, R.; ARGEMANDY, A. CHARTing the Future – An offline data analysis and reporting toolkit to support automated decision-making in flight-operations. In: **15th International Conference on Space Operations**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 978-1-62410-562-3. 00001. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2018-2637>>. 4

TROLLOPE, E.; DYER, R.; FRANCISCO, T.; MILLER, J.; GRISO, M. P.; ARGEMANDY, A. Analysis of automated techniques for routine monitoring and contingency detection of in-flight LEO operations at EUMETSAT. In: **2018 SpaceOps Conference**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 978-1-62410-562-3. 00001. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2018-2532>>. 4

YVERNES, A. Copernicus Ground Segment as a Service: From Data Monitoring to Performance Analysis. In: **15th International Conference on Space Operations**. American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN 978-1-62410-562-3. 00000. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2018-2317>>. 4



ZHANG, X.; WU, P.; TAN, C. A big data framework for spacecraft prognostics and health monitoring. In: **2017 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Harbin)**. [S.l.: s.n.]. p. 1–7. 00000. [4](#)

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

## PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.