

Avaliação e dimensionamento das propostas de continuidade para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

Bruno de Castro Braz
Áurea Aparecida da Silva
Mário Marcos Quintino da Silva
Wilson Yamaguti

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bruno.braz, aurea.silva, quintino, yamaguti}@dss.inpe.br

Abstract. The Brazilian Environmental Data Collection System provides data collection services based on SCD-1 and SCD-2 satellites to an increasing user community. The SCD-1, with 19 years in flight operation, operates in a degraded mode as well as SCD-2 with 14 years in operation. If the data collection service is stopped as a consequence of SCD-1 or SCD-2 failure, many users specially National Water Agency will be impacted with lack of data and economic impacts due to remote installed platform replacement such as in Amazon region. The National Hydrometeorological network imposes additional demands for revisit time and coverage. To satisfy these new demands, a working group was established by AEB, ANA, and INPE to provide analysis and configuration proposals for the microsatellite constellation that have a revisit time lower than 1 hour and covering any Brazilian region. After selection of the simulated constellation solutions, another task was performed so that technical and economic benefits and impacts could be estimated for each one of the options, including launching costs. The cost and time estimation considers degrees of the Brazilian industry participation in the development of satellite constellation. The paper also describes additional requirements imposed to a satellite such as the need to have a propulsion subsystem as well as an attitude control subsystem to maintain the satellite constellation in the correct phase. The cost estimation is a kind of tool to help or to guide the selection of a solution to be adopted for system expansion or continuity.

Palavras-chave: data collection system, data collection platform, satellite, sistemas de coleta de dados, plataformas de coleta de dados, satélite.

1. Introdução

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCDA) conforme Yamaguti et al. (2006, 2012a) é composto pelo segmento espacial, constituído pelos satélites SCD-1 e SCD-2, pelas diversas plataformas de coleta de dados espalhadas pelo território nacional, pelas estações de recepção em Alcântara e Cuiabá e pelo centro de missão coleta de dados em Natal, RN. O Centro de Controle de Satélites está localizado em São José dos Campos, SP.

O uso de sistemas espaciais é imprescindível para coletar dados em áreas geográficas com dificuldades ou restrições de acesso, permitindo acesso contínuo a dados meteorológicos e ambientais em todo território brasileiro.

O sistema atual permite, nas regiões melhores atendidas, a coleta de dados de 100 em 100 minutos, tempo correspondente a uma órbita completa dos SCDs.

O principal usuário do sistema é a Agência Nacional de Águas (ANA), que possui a responsabilidade pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dessa forma, para cumprir com suas responsabilidades, a ANA monitora diversos dados das bacias e sistemas hídricos nacionais, tais como vazão, nível de rios, dados pluviométricos, entre outros.

A ANA possui aproximadamente 200 plataformas de coleta de dados (PCDs) vinculadas ao sistema brasileiro de coleta de dados, além de outras plataformas conectadas ou ao GOES ou ao sistema Celular/GPRS que juntas somam por volta de 750 unidades.

As utilizações de outros sistemas que não sejam o SBCD são devido à diminuição da confiabilidade dos SCDs, que já expiraram em muito o seu tempo de vida útil, a necessidade

do recebimento de dados em intervalos de tempos menores que 100 minutos e a crescente demanda de PCDs.

Para enfatizar a importância do SBCD, pode-se exemplificar a potencial demanda da ANA, uma vez que o programa de modernização da Rede Hidrometeorológica Nacional da agência prevê, para os próximos anos, a aquisição de 800 PCDs. Existindo ainda a possibilidade de converter as PCDs que utilizam outros sistemas de coleta de dados.

Dentro do contexto exposto acima, um grupo de trabalho formado por membros do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da Agência Espacial Brasileira (AEB) e da Agência Nacional de Águas (ANA) foi criado. O grupo levantou os dados do status atual do SBCDA, levantou os requisitos e demandas da ANA e propôs alternativas de atualização do sistema, conforme Yamaguti et al. (2012b).

Dentro dos diversos estudos realizados, este artigo visa demonstrar os resultados econômicos para cada solução proposta, descrevendo a faixa de custos associada ao desenvolvimento de cada alternativa. Para melhor justificar os valores é descrito o satélite estimado como base de cálculo.

Todos os custos serão focados no segmento espacial, pois a premissa básica das propostas é a compatibilidade com o sistema e infraestrutura atual.

2. Requisitos da Agencia Nacional de Águas (ANA)

A agência de águas descreveu seus requisitos de duas maneiras distintas, os requisitos mínimos para manutenção do seu sistema, e os requisitos desejáveis.

Requisitos mínimos:

- Transmissão e recepção de dados no intervalo máximo de 1h;
- Palavra de transmissão de no mínimo 32 bytes (atual sistema SCD e ARGOS);
- Cobertura em todo o território nacional.

Requisitos desejáveis:

- Transmissão e recepção intra-horária de dados (15 minutos);
- Transmissões em tempo aleatório (emissão de alertas);
- Comunicação bidirecional, possibilitando atualizar programas das PCDs.

3. Propostas de constelação de satélites para atendimento das demandas da ANA

Diversas constelações de satélites foram analisadas pelo INPE para atender aos requisitos da ANA listados no item 2. Desses resultados, foram separados as constelações mais otimizadas em termos de atendimento aos requisitos e custo, conforme Yamaguti et al. (2012c). As tabelas 1 e 2 abaixo demonstram as soluções encontradas.

Tabela 1 – Alternativas para tempos de revisita de 1 hora.

Alter.	Satélites	Requisito: 1h de revisita	Planos
1	6 sat. - inclinação de 30 graus	Cobertura de 100% em todo território nacional	3 planos a 120 graus
2	4 sat. - inclinação de 30 graus	Cobertura 100% para lat<20°S, e 94% para lat>20°S	2 planos a 180 graus
3	2 sat. - inclinação de 0 graus	Cobertura 100% da Região equatorial, lat <15°S	1 plano

Tabela 2 – Alternativas para tempos de revisita de 15 minutos.

Alter.	Satélites	Requisito: 15 min de revisita	Planos
4	12 sat. - inclinação de 30 graus	Cobertura de 100% em todo território nacional	3 planos a 120 graus
5	4 sat. - inclinação de 0 graus	Cobertura 100% da Região equatorial, lat <15°S	1 plano

A alternativa 1 distribui 6 satélites em 3 planos orbitais de 30°, atendendo em todo território nacional o requisito de 1 hora de revisita.

A segunda alternativa só atende o requisito em 100% das revisitas do satélite para latitudes inferiores a 20°, para as outras regiões do Brasil, com latitudes superiores, a revisita do satélite menor que 1h é reduzida para 94% dos casos, ou seja, em 6% das passagens do satélite o tempo de revisita é superior a 1 hora.

A terceira solução atende o requisito apenas na região até 15° de latitude.

A solução que atende integralmente o requisito de revisita de 15 minutos é a quarta solução, sendo que a quinta só consegue cobrir a região de até 15° de latitude.

4 Estimativas para um satélite da constelação

Um novo satélite para compor o segmento espacial proposto para o sistema de coleta de dados poderá ser desenvolvido a partir da concepção dos seus antecessores, SCD-1 e SCD-2, considerando as mesmas necessidades funcionais, mas com a utilização de tecnologias, tanto para lançamento como equipamentos, mais modernas.

Os SCD-1 e SCD-2 são satélites de concepção simples e robusta, altamente validadas através dos seus quase 20 anos de operação. Dessa forma é lógico manter a simplicidade dos subsistemas utilizados nesses satélites, garantindo baixos custos e alta confiabilidade na operação e manutenção do novo satélite.

Ao contrário dos SCDs, o novo satélite para coleta de dados deve possuir um subsistema de propulsão, de forma a garantir manobras de mudança e manutenção da órbita, conforme necessário pelas alternativas de solução.

Para atender manobras de mudança/manutenção de fase/órbita é necessário que o satélite seja estabilizado em 3 eixos, o que adiciona ao sistema original dos SCDs rodas de reação, para o correto apontamento do eixo de empuxo, além de um computador capaz de processar o controle de atitude.

É importante lembrar que tanto o SCD-1 como o SCD-2 é estabilizado por rotação, sendo essa a grande diferença conceitual entre o novo satélite de coleta de dados e seus antecessores.

O satélite deve possuir duas antenas de banda S para rastreamento e controle (TT&C), montadas em lados opostos do satélite para assegurar cobertura omnidirecional necessária principalmente para as fases iniciais logo após a separação do veículo lançador, permitindo comunicação com o segmento solo independentemente de sua atitude.

Para a carga útil só há necessidade de uma antena de banda S e uma antena de UHF, devido a estabilização em 3 eixos.

O satélite será composto por nove subsistemas, praticamente os mesmos do SCD-2, capazes de atender desde as funções básicas de sobrevivência quanto aos requisitos da missão. Os subsistemas encontram-se listados abaixo:

- Carga Útil (Payload):
 - Subistema DCS (Data Collection Subsystem) (DCS)

- Plataforma (Bus):
 - Subistema de Suprimento de Energia (Power Supply subsystem) (PSS)
 - Subistema de Estrutura (Structure Subsystem) (STS)
 - Subistema de Controle Térmico (Thermal Control Subsystem) (TCS)
 - Subistema de Controle de Atitude (Attitude Control Subsystem) (ACS)
 - Subistema de Supervisão de Bordo (On board Computer Subsystem) (OBS)
 - Subistema de Telemetria e Telecomando (Telemetry and Telecommand Subsystem) (TMTC)
 - Subistema Elétrico (Electrical Subsystem) (ELS)
 - Subistema de Propulsão (Propulsion Subsystem) (PPS)

A estimativa de massa do satélite pode ser observada na tabela 3 abaixo, este valor é muito importante na definição dos veículos lançadores e da estratégia de lançamento. Juntamente com a massa é descrita uma primeira estimativa de equipamentos que devem estar a bordo do satélite.

Tabela 3 – Estimativa de massa de um satélite para o sistema de coleta de dados.

Novo Satélite		CBE / Unit	Flight Units	CBE Total
B. Braz - 03/09/2012		(kg)	(#)	(kg)
Novo Satélite MEL				
Launch Mass				70,28
System Level Contingency to Launcher				#REF! 1
LV-side Adaptor(VLS Frame)		1,10	1,00	1,10
Payload				3,79
Data Collection (DCS)				3,79
S-Band antennas				0,09
Antennas				0,09
	2267 Antenna	0,09	1	0,09
UHF Antennas				0,60
Antennas				0,60
	Monopole 1	0,15	1	0,15
	Monopole 2	0,15	1	0,15
	Monopole 3	0,15	1	0,15
	Monopole 4	0,15	1	0,15
Electronics				3,10
Transponder				3,10
	DCP Transponder	3,10	1	3,10
Bus				65,39
Power Supply				11,61
Solar Panels				2,90
Electrical Part				2,90
	SCAs (1/3 Área PMM, 80% energia 2)	2,90	1	2,90
Batteries				4,21
Batteries				4,21
	Batteries	4,21	1	4,21
Electronics				4,50
PCDU				4,50
	PCDU	4,50	1	4,50
Structure				20,30
Primary Structure				20,30
	Primary (1/3 satellite)	20,00	1	20,00
Secondary Structure				0,30
	Int. Connector	0,10	1	0,10
	Umb. Connector	0,10	1	0,10
	Umb. Connector	0,10	1	0,10
Thermal Control				2,00
Heat Sink A				1,00
	Heat Sink A	1,00	1	1,00
Heat Sink B				1,00
	Heat Sink B	1,00	1	1,00
Novo Satélite		CBE / Unit	Flight Units	CBE Total
B. Braz - 03/09/2012		(kg)	(#)	(kg)
Attitude Control				7,50
Sensors				0,30
Magnetometer				0,30
	Magnetometer	0,14	2	0,28
	Coarse Sun Sensor	0,01	2	0,02
Actuators				7,20
Reaction Wheel				7,20
	Reaction Wheel	1,50	4	6,00
	Magnetotorquer	0,40	3	1,20
OBS				3,00
Computers				3,00
	OBC	3,00	1	3,00
TMTC				4,38
Antennas				0,34
TMTC Antenna				0,34
	TMTC Antenna	0,17	2	0,34
Electronics				4,04
Transponder + Diplexer				4,04
	Transponder + Diplexer	2,00	2	4,00
	Hybrid	0,04	1	0,04
Electrical				4,60
Cabling				4,60
	Cabling	3,60	1	3,60
	Miscellaneous	1,00	1	1,00
Propulsion (PPS)				12,00
Tank				12,00
	Tank			
	Thurster			
	Tubing System			
	Valves			

5. Cálculo dos Custos da Atualização do SBCDA

Os custos foram estimados a partir das constelações definidas no item 3 deste artigo, e do satélite definido no item 4.

Demais considerações pertinentes aos cálculos são listadas abaixo:

- Custos máximo e mínimo do satélite em função de participação da indústria nacional;
- Primeiro satélite considerando necessidade de desenvolvimento e os demais satélites com custo recorrente;
- Lançador capaz de injetar mais de um satélite por plano orbital;
- Satélites com capacidade de propulsão a bordo para definição e manutenção das constelações;
- Prazo estimado de desenvolvimento com os itens anteriores:
 - Mínimo de 24 meses
 - Máximo de 48 meses

Não foi considerada a possibilidade de reacendimento do último estágio de veículos lançadores, pois esta tecnologia ainda é relativamente recente, assim todas as manobras de mudança de órbita são atividades realizadas pelos satélites, portanto foi estimado um lançamento por plano orbital.

Para constelações com 2 satélites por plano orbital foi estimado um lançamento por veículos da classe do Pegasus da Orbital Science Corporation (2010).

Para constelações com 4 satélite por plano orbital foi estimado um lançamento por veículos da classe do DNEPR da Kosmotras (2001).

O resultado de todas as considerações referentes a estimativa de lançamento, satélite e custos pode ser observada na tabela 4.

Tabela 4 – Estimativa de custos para satélite e veículo lançador em milhões de dolares.

Satélites		
	Nacional	Exterior
Desenvolvimento	25	15
Recorrente	15	6
Lançadores		
	Pegasus	Dnepr
Desenvolvimento	10	30
Recorrente	15	40

A partir da tabela 4 foi estimado o custo das constelações.

A tabela 5 apresenta os custos para constelações que atendam a revisita de 1 hora, a tabela 6 apresenta os custos para atender ao requisito de 15 minutos de revisita.

Tabela 5 – Estimativa de custos para atender a demanda de 1 hora em milhões de dolares.

Solução Proposta	Requisito atendido	Custo Satélite MU\$		Custo Lançador MU\$		Total MU\$	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mínimo	Máximo
Constelação de 6 satélites (3P-30°/6S)	100% cobertura nacional, com tempo de revisita <1h	45	100	30	45	75	145
Constelação de 4 satélites (2P-30°/4S)	Cobertura 100% para lat<20°S, e 94% para lat>20°S	33	70	20	30	53	100
Constelação de 2 satélites (1P-0°/2S)	Cobertura da Região equatorial para lat <15° S Não permite serviço abaixo de 15° S	21	40	10	15	31	55

Tabela 6 – Estimativa de custos para atender a demanda de 15 minutos em milhões de dolares.

Solução Proposta	Requisito Atendido	Custo Satélite MU\$		Custo Lançador MU\$		Total MU\$	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Constelação de 12 satélites (3P-30°/12S)	Cobertura nacional, 100% com tempo de revisita < 15 min	81	190	90	120	171	310
Constelação de 4 satélites (1P - 0°/4S)	Cobertura da região Amazônica (para lat<15°: tempo de revisita < 15 min, para 15<lat <20° S, tempo revisita <17 min revisita). Não cobre a região sul	33	70	30	40	63	110

Com o objetivo de melhor descrever os estudos e o próprio sistema atual de coleta de dados, é exposto na tabela 7 o custo de repor um SCD.

Tabela 7 – Estimativa de custos para repor 1 SCD em milhões de dolares.

Solução Proposta	Requisito Atendido	Custo Satélite MU\$		Custo Lançador MU\$		Total MU\$	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Substituição do SCD-1 com lançador classe Pegasus	Manter o serviço atual, porém não atende requisito de revisita < 1h	15	25	10	15	25	40

Os valores calculados são baseados em estudos e experiências do INPE na especificação e compra de subsistemas espaciais para os projetos CBERS e Plataforma Multi-Missão (PMM).

Os valores máximos dos custos estão associados ao desenvolvimento das alternativas com grande participação da indústria nacional. Os valores mínimos são referidos a compra no exterior de equipamentos já qualificados em voo.

6. Conclusões

O SBCDA é um sistema operacional com grande importância no acesso de regiões remotas e na velocidade da transmissão de dados.

Além das funções já descritas, o SBCDA pode atuar também na previsão de catástrofes naturais, alertando a população com antecedência em relação aos eventos ambientais, o que poderia diminuir muito os danos causados nos últimos anos por enchentes e inundações. Entretanto para que todo sistema possa continuar sendo operacional e atender as crescentes demandas, deve-se investir em sua atualização.

Conforme demonstrado no artigo, para cada alternativa existe uma faixa de custo associada que deve ser ponderada em relação a participação da indústria nacional. Apesar dos custos mais elevados, deve se levar em conta a fabricação de equipamentos no Brasil, sendo esta uma política já adotada pelo INPE para o desenvolvimento da indústria nacional.

Assim pode-se concluir que a atualização do SBCDA pode ser realizada de diversas maneiras, entretanto deve ser selecionada a estratégia que melhor atenda a indústria e os usuários.

Referências Bibliográficas

Yamaguti, W. et al. **O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Estado atual, demandas e estudos de propostas de continuidade da Missão de Coleta de Dados**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. 80 p. (SCD-ETD-002).

Yamaguti, W. et al. **Status do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) – Julho/2012**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012a. 49 p. (SCD-ETD-009).

Yamaguti, W. et al. **Relatório do Grupo de Trabalho. Análise de viabilidade e alternativas de configuração de microsatélites para a missão de coleta de dados em resposta as demandas da rede hidrometeorológica nacional**. Brasília: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Agencia Espacial Brasileira / Agencia Nacional de Águas, 2012b. 23 p.

Yamaguti, W. et al. **Análise dos Requisitos de Missão para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012c. 51 p. (SCD-ETD-010).

Orbital. Pegasus User Guide. 2010. 92 p.

Kosmotras. DNEPR User Guide. Moscou, Rússia: Kosmotras, 2001. 76p.