

Modelo Arquitetural para Coleta, Processamento e Visualização de Informações de Clima Espacial

Nilson Sant'Anna¹, Eduardo Guerra¹, André Ivo², Fernando Pereira²,
Marcos Moraes², Vitor Gomes², Luiz Gustavo Veras²

¹Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – SP – Brasil

{nilson@lac., eduardo.guerra@}inpe.br

²Programa de Clima Espacial - EMBRACE
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – SP – Brasil

{andre.ivo, fernando.pereira, marcos.moraes,
vitor.gomes, luiz.veras}_indra@inpe.br

Abstract. *Scientific applications in Space Weather need join data captured by instruments distributed geographically to produce maps, contents and event alerts from the sun. In this context, exists a difficulty in bringing and integrating data to perform analyzes and provide your results on a time interval suitable to monitoring and predict Space Weather events. This prevents the generation of real-time information, necessary to assess impacts on technological and economic activities, such as satellite communication and navigation systems of aircraft. The objective of this paper is presents an architectural model called Alfrodul, used in scientific applications in Space Weather, to integrate and process data in a timely manner for analysis by experts. This model was used in the implementation of six web systems for display Space Weather informations.*

Resumo. *Aplicações científicas na área de Clima Espacial precisam agregar dados capturados por instrumentos distribuídos geograficamente para produzir mapas, índices e alertas de eventos do sol. Nesse contexto, existe uma dificuldade em trazer e integrar esses dados para a execução de análises e a disponibilização de resultados em um intervalo de tempo que viabilize o monitoramento e a previsão de eventos. Isso impede a geração de informações em tempo real, necessárias para avaliar impactos em atividades tecnológicas e econômicas, como a comunicação de satélites e sistemas de navegação de aeronaves. O objetivo deste artigo é apresentar um modelo arquitetural denominado Alfrodul, utilizado em aplicações científicas na área de Clima Espacial, visando a integração e processamento dos dados em tempo hábil para sua análise por especialistas. Esse modelo foi utilizado na implementação de seis aplicações web para visualização de informações de Clima Espacial.*

1. Introdução

O Clima Espacial é a área do conhecimento que estuda os fenômenos solares e ocorrências físicas no ambiente espacial, os quais se manifestam de forma recorrente afetando os as-

tros e artefatos no espaço. A importância desse estudo é pautada nas influências naturais do Clima Espacial no planeta Terra que podem afetar artefatos tecnológicos como satélites, meios de transporte, comunicação em geral, instalações físicas e serviços que atendem as necessidades da sociedade atual, em decorrência do estado ou modificações do seu ambiente [Moldwin 2008].

O Brasil foi inserido dentro deste contexto por meio do Programa de Clima Espacial Brasileiro (Programa EMBRACE), criado em 2008 no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O objetivo é estabelecer um centro de previsão e informação do Clima Espacial no Brasil através da associação da divisão de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) e do Laboratório de Computação e Matemática Aplicada (LAC).

Para possibilitar a análise e previsão de Clima Espacial, o Programa EMBRACE utiliza redes de sensores próprios [Nardin et al. 2012] e de parceiros, como é o caso da rede LISN - *Low-Latitude Ionospheric Sensor Network* que provê dados de cintilação e CET - conteúdo eletrônico total sobre a América do Sul [Rezende et al. 2008]. Além da rede de sensores que fornecem os dados para possibilitar o monitoramento em tempo real, muito processamento [Rezende et al. 2008, Silva et al. 2010] é necessário para a produção de parâmetros derivados e criação de estatísticas, principalmente para a previsão de clima espacial.

O principal desafio em realizar o monitoramento do território brasileiro é a recepção dos dados e a sua consolidação para as aplicações. A recepção dos dados é crítica para que o Programa EMBRACE possa trabalhar com a previsão de fenômenos de Clima Espacial. Antes da criação do Programa, os dados eram enviados para os servidores através do protocolo FTP ou mesmo através de CDs, gerando um grande atraso na recepção, além da necessidade de intervenção humana muito maior para sua consolidação e utilização.

O objetivo deste trabalho é mostrar a abordagem e a arquitetura de software utilizada para atender os requisitos principais para a coleta de dados geograficamente distribuídas. Essa arquitetura passou por diversas evoluções até chegar ao ponto em que é apresentada neste trabalho. Ela atualmente é utilizada em seis aplicações *web* para o monitoramento do Clima Espacial: Callisto [Benz et al. 2005], Cintilação Ionosférica [Muella et al. 2008], Magnetômetro [Anderson et al. 2007], Ionossonda [Bertoni et al. 1999], TecMap [Otsuka 2001] e Imageador [Wrasse 2004]. É esperado que essa arquitetura possa ser utilizada como referência para outras aplicações que precisam buscar e processar dados de sensores geograficamente distribuídos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2, os requisitos especificados para a modelagem da arquitetura são descritos; A seção 3 apresenta sucintamente as aplicações que foram desenvolvidas; A seção 4 introduz o modelo arquitetural proposto, incluindo soluções para coleta, armazenamento e processamento dos dados; A seção 5 apresenta as interfaces e informações sobre os dados recebidas das aplicações do Projeto EMBRACE; E a seção 6 apresenta as conclusões deste trabalho.

2. Requisitos dos Sistemas para Clima Espacial

Essa seção irá apresentar os principais requisitos dos sistemas de Clima Espacial que foram utilizados como parâmetro para se chegar à solução proposta. Será dado foco prin-

principalmente nos requisitos não funcionais que são similares entre os diferentes sistemas implementados. Seguem os requisitos:

- **R001 – Inspeção de Diretório:** O sistema deve ser capaz de inspecionar diretório previamente definido para identificar a criação de novos arquivos.
- **R002 – Pré-processamento de Arquivos:** O sistema deve ser capaz de realizar a abertura e pré-processamento de um arquivo, transformando-o em um ou mais arquivos aptos a serem enviados. Adicionalmente deve ser possível compactar os arquivos para otimizar o tempo de envio.
- **R003 – Envio de Arquivos:** O sistema deve enviar informações do sensor gerador de um arquivo específico para um local centralizado para permitir o processamento dos seus dados. No caso da existência de diversos arquivos, deve ser feito um controle de quais já foram enviados com sucesso, com reenvio em caso de falha.
- **R004 – Recepção de Dados:** O sistema deve ser capaz de receber os dados enviados de cada sensor, sabendo organizar e identificar sua origem. No caso dos arquivos de dados que foram quebrados em diversas partes, deve ser possível receber os mesmo em qualquer ordem e realizar processamento logo após sua chegada.
- **R005 – Gerenciamento do Processamento de Dados:** O sistema deve possuir capacidade de lidar com uma grande demanda de processamento quando diversos dados forem recebidos de forma simultânea e cadenciar o processamento dos mesmos para não prejudicar o seu desempenho.
- **R006 – Persistência:** O sistema deve persistir em uma base de dados os arquivos recebidos.
- **R007 – Visualização Gráfica dos Dados:** Os dados armazenados devem ser exibidos por meio de gráficos, imagens, vídeos, índices, tabelas e mapas de visualização geográfica. Uma vez que a geração desses formatos de saída demandam o acesso a uma grande quantidade de dados e são resultado de um processamento intenso, eles devem ser gerados previamente a requisição do usuário. Isso se agrava com a necessidade de atender múltiplos acessos simultâneos.
- **R008 – Alta Disponibilidade:** Devido ao recebimento contínuo de dados de instrumentos do programa de Clima Espacial e a importância da disponibilização dessas informações para a comunidade científica em tempo hábil para viabilizar análises e previsões, é necessário que os sistemas de recebimento, processamento e visualização estejam sempre disponíveis. A falha na disponibilidade pode ferir a credibilidade do sistema e causar uma impossibilidade de recuperar as informações no momento em que são necessárias.
- **R009 – Tolerância a Falhas:** O sistema deve ser capaz de continuar disponível mesmo em caso de falha de software ou hardware na infraestrutura utilizada. Adicionalmente, não pode haver perdas de dados no caso de falhas na comunicação, devendo o sistema retomar o envio de informações assim que as comunicações forem retomadas.
- **R010 – Desempenho:** O sistema deve ser capaz de fornecer aos interessados as visualizações e análises fornecidas em tempo hábil. Para isso deve receber, processar, e disponibilizar esses dados na mesma cadência em que os dados são recebidos.
- **R011 – Capacidade de Armazenamento:** O sistema deve ser capaz de armazenar uma grande quantidade de dados sem comprometer as aplicações de visualização e os algoritmos de processamento.

- **R012 – Modularidade:** Os módulos da arquitetura devem ser totalmente separados e isolados para o funcionamento de forma desacoplada, evitando a forte dependência entre as mesmas.
- **R013 – Interoperabilidade:** A arquitetura deverá ser capaz de se comunicar com outros sistemas através de novas tecnologias de interoperabilidade como exemplo, o uso de *web services*.

Esses requisitos foram considerados para todas as aplicações de Clima Espacial desenvolvidas. Elas manipulam dados que são coletados de forma geograficamente distribuídas e processados em um local central. Outras aplicações que possuam os mesmos requisitos podem utilizar a arquitetura, como aplicações meteorológicas e análise de tráfego aéreo.

3. Aplicações de Clima Espacial

A arquitetura proposta foi implementada à seis aplicações de Clima Espacial, utilizando dados provenientes de estações receptoras de dados espalhadas geograficamente. As seis aplicações citadas serão descritas a seguir:

- **Callisto:** Espectrômetro Solar baseado em um receptor de dupla frequência construído com componentes eletrônicos de baixo custo capaz de observar continuamente o espectro solar durante 24 horas por dia através de todo o ano.
- **Magnetômetro:** Instrumento usado para medir a intensidade e direção do campo magnético da Terra, prospecção mineral, testes não destrutivos de materiais, avaliação das interferências nos enlaces de radiocomunicação e controle de atitude de satélites.
- **Cintilação Ionosférica:** Variação rápida de amplitude e fase dos sinais de ondas de rádio que ocorrem quando estes sinais atravessam as irregularidades da ionosfera. Esta variação significativa no nível de sinal dos satélites pode levá-los a se tornarem indisponíveis para qualquer sistema, afetando o desempenho e a precisão de navegação, requisitos importantes e essenciais para a navegação crítica, como o transporte aéreo civil.
- **Ionossonda:** Tipo de radar que emite pulsos de energia eletromagnética em frequências variáveis entre 0,5 a 30 MHz, os quais são transmitidos verticalmente para a camada ionosférica. A ionossonda digital serve para fornecer dados para a análise do comportamento da densidade de elétrons da ionosfera.
- **TecMap:** Aplicação responsável por calcular o conteúdo total eletrônico suspenso na ionosfera. Um TEC corresponde a 10^{16} *elétrons/m²*. Após calculado, a aplicação disponibiliza para exibição sob a forma de imagens e vídeos a representação do mapa de TEC da região em que os sensores operam.
- **Imageador:** Aplicação para visualização e registro de imagens e informações provenientes do instrumento Imageador, que detecta variações de intensidade das camadas de aeroluminescência da ionosfera.

4. Modelo Arquitetural Proposto - Alfrodul

O nome Alfrodul é retirado da mitologia nórdica, sendo o nome da carruagem utilizada pela deusa Sol [Franchini and Seganfredo 2004]. De forma similar, a arquitetura viabiliza o transporte das informações de Clima Espacial, o que inclui os dados de emissão solar.

O modelo arquitetural Alfrodul proposto é baseado no modelo denominado *Pipeline*. Esse modelo representa o fluxo dos dados desde que são coletados até o ponto em que são armazenados. Após isso, outras aplicações podem manipular e processar esses dados, apresentando produtos.

A Figura 1 apresenta o modelo de *Pipeline* representando todo fluxo de informações desde a aquisição dos dados no instrumento até a carga de dados no servidor. Importante notar que os dados são conduzidos e transformados na estrutura por vários componentes, onde cada possui uma responsabilidade diferente no processo.

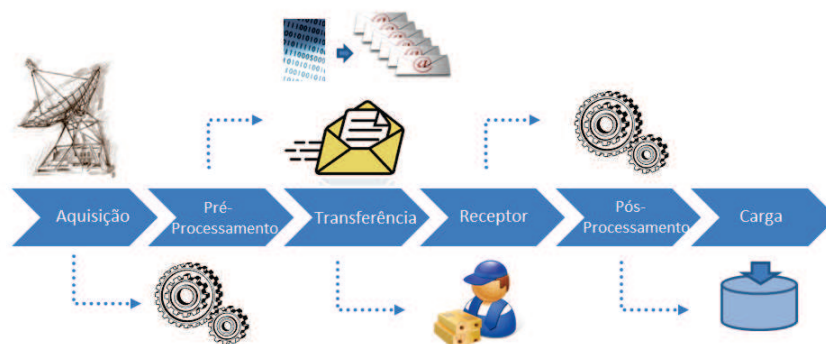


Figura 1. Pipeline de carga de dados dos instrumentos do clima espacial

4.1. Visão Geral da Arquitetura Alfrodul

A arquitetura Alfrodul possui oito componentes, os quais estão representados na Figura 2. A lista a seguir apresenta a descrição de cada um deles:

- **CollectorAgent:** Agente de software instalado na máquina que reside o sistema de arquivos que armazena os dados gerados para as aplicações. Têm como função fazer o pré-processamento do arquivo, isto é, leitura, interpretação dos campos, registros, formatação em arquivo XML, compressão de dados e envio para o ReceptorGW.
- **ReceptorGW:** Gateway(GW) que recebe o arquivo pré-processado pelo módulo agente e enfileira para carga em base de dados.
- **Consumer:** Recupera o arquivo pré-processado da fila e efetua o armazenamento dos registros em banco de dados.
- **Processing Queue:** É o responsável pelo padrão de mensagens, permitindo a comunicação entre diferentes componentes, possibilitando criar, enviar, receber e ler mensagens.
- **Core:** Responsável pelo acesso à base de dados e disponibilização das mesmas aos componentes.
- **Scheduler:** A função do componente Scheduler é monitorar o banco de dados em intervalos de tempo pré-estabelecidos, identificando a existência de dados disponíveis para a produção de arquivos de diferentes tipos para a camada de visualização.
- **Viewer:** Responsável pela criação de componentes de visualização dos dados coletados para as aplicações. Esses dados, que são previamente recebidos e ar-

mazenados em base de dados, são usados para a criação de gráficos, índices, mapas e tabelas.

- **Database:** Modelo de armazenamento dos dados das aplicações, contemplando metadados, aquisições e dados processados.

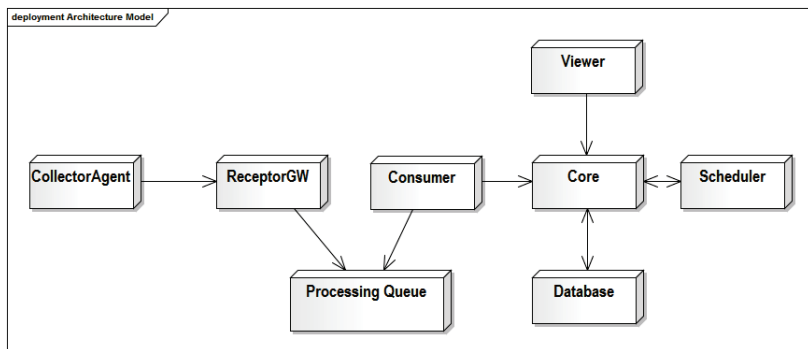


Figura 2. Dependências entre os componentes da arquitetura

A arquitetura do Alfrodul possui como objetivo principal evitar a forte dependência entre as aplicações. Sendo assim, todos os componentes estão totalmente separados e isolados para o funcionamento de forma desacoplada entre todas as aplicações. Desta forma cada aplicação terá seu CollectorAgent, Core, Consumer, Scheduler, Viewer e Database, como pode ser visto na Figura 3. Essa estruturação deve permitir que os recursos de hardware sejam explorados ao máximo.

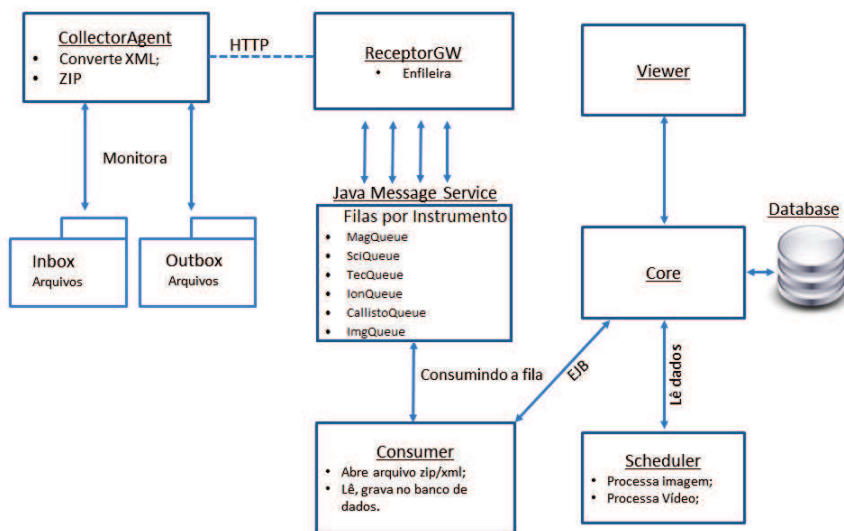


Figura 3. Arquitetura Alfrodul

4.2. Coleta e Envio de Dados

A atividade de coleta e envio de dados é desempenhada exclusivamente pelo CollectorAgent. De acordo com os requisitos R001, R002 e R003 o agente é responsável por: (a) Inspeccionar diretórios; (b) Pré-processar arquivos; e (c) Enviar arquivos. Os dados

coletados são armazenados em diretórios à espera do agente coletor a fim de realizar o pré-processamento. Dessa forma, os arquivos são formatados em XML e podem ser segmentados para facilitar o envio dos dados em redes com baixo desempenho. O envio dos dados para as instalações do INPE ocorre através de interação com o componente ReceptorGW. A comunicação é estabelecida através do protocolo HTTP. A Figura 4 abaixo ilustra a estrutura do CollectorAgent.

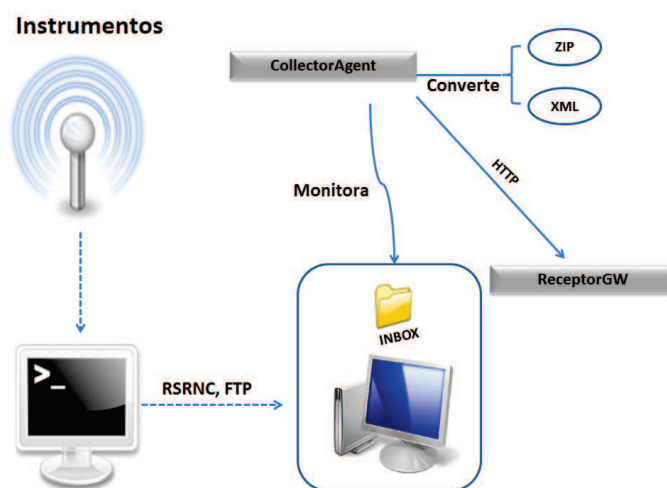


Figura 4. Estrutura do CollectorAgent

4.3. Armazenamento de Dados

No banco de dados do Programa EMBRACE são armazenados todos os dados brutos e processados das aplicações. É utilizada uma única base de dados, entretanto, ela é dividida em *schemas* e *tablespaces* distintos, visando aproveitar de forma otimizada os recursos computacionais, melhorando o desempenho da execução das aplicações desde o recebimento de dados à visualização de resultados, promovendo independência e desacoplamento entre as aplicações.

4.4. Processamento de Algoritmos

Muitos dos dados das aplicações que são recebidos pelos servidores do Programa EMBRACE são utilizados para a geração de novas informações a serem apresentadas pelo Viewer. Modelos científicos são utilizadas na geração dessas novas informações. Para viabilizar a disponibilização dos dados atendendo a proposta do Programa (dados em tempo real), os mesmo são submetidos a um pré-processamento e armazenados para visualização e consulta. Dessa maneira as aplicações ganham performance, pois os dados já se encontram disponíveis no formato correto para visualização, não havendo necessidade de processamento a cada requisição. Nesse pré-processamento foram implementados algoritmos com base nos modelos científicos específicos a cada aplicação.

O Scheduler é o módulo do *Pipeline* responsável por realizar essa atividade. Ele detecta novas informações inseridas no banco de dados e executa o processamento que acarreta na geração de novos dados. Esses dados podem ser armazenados na própria base de dados ou diretórios de arquivos, dependendo da quantidade e tamanho necessários para responder a cada requisição de usuário.

4.5. Arquitetura de Distribuição

O Alfrodul representa uma arquitetura de software distribuído, onde cada um dos seus componentes interage entre si através de rede. Desta forma, as aplicações podem ser particionadas para executar cada camada em uma máquina diferente. Essa abordagem permite que os requisitos não funcionais estabelecidos possam ser atendidos. Para atender o requisito de desempenho (R010), cada uma dessas camadas da arquitetura Alfrodul é implantada em um servidor de aplicação distinto. Desta forma é possível destinar recursos de hardware específicos para a necessidade de cada componente e isolar o impacto que picos de consumo de recursos (como memória e CPU) por um componente pode causar nas demais fases do processamento.

A possibilidade de replicar seus componentes fornece um meio de atender os requisitos de Alta Disponibilidade (R-008). Criando réplicas dos serviços é possível redirecionar o processamento quando um dos componentes torna-se indisponível. Para isso, são utilizadas ferramentas externas, como monitores de serviços e balanceadores de carga. Os monitores de serviço são utilizados em cada máquina onde existem componentes replicados. Nesta configuração, somente um instância do componente em questão responde as requisições. Quando os monitores detectam que o serviço não está mais disponível, outro componente é ativado e entra em operação. Essa solução é utilizada para componentes como ReceptorGW, Core e Scheduler.

Os balanceadores de carga são aplicações que recebem requisições TCP e as redistribuem para uma lista de servidores. Esse redirecionamento pode ser simples, onde o balanceador não verifica se existe retorno das requisições, ou inteligente, quando existe este tipo de verificação. Quando há verificação da resposta do serviço essa ferramenta, além de auxiliar em questões de desempenho, atua no aumento da disponibilidade de um tipo de serviço pois quando um dos servidores da lista torna-se indisponível, a requisição é enviada para o seguinte. Essa solução no contexto da implantação do Alfrodul é utilizada no Viewer e em cópias do banco de dados exclusivas para os Viewers.

4.6. Ferramentas de desenvolvimento

Para o desenvolvimento das aplicações sobre a arquitetura Alfrodul foram utilizados softwares livres que possuam a robustez necessária para a implementação das aplicações. Para o desenvolvimento das aplicações foi utilizado a linguagem de programação Java em todas as camadas. Na camada de apresentação (Viewer) foram utilizadas as tecnologias Java Server Faces [Geary and Horstmann 2010] e JQuery [Chaffer and Swedberg 2011].

Para o servidor web e container da aplicação foi utilizado o JBoss [Marchioni 2011] por possibilitar a integração com várias tecnologias, além de possuir nativamente requisitos necessários para implementação das aplicações, como o JMSQueue utilizado pelo componente Processing Queue. Para armazenamento dos dados optou-se por utilizar o PostgreSQL [Smith 2010], por também ser freeware e oferecer recursos para implantação de uma estrutura com tolerância a falhas, requisito R009, proposto na arquitetura.

5. Aplicações desenvolvidas

As aplicações desenvolvidas estão hospedadas nos servidores do INPE, na cidade de São José dos Campos-SP. Uma infraestrutura específica foi implantada para prôver acesso a

um grande número de usuários. Elas encontram-se disponíveis ao público: cientistas, estudantes, engenheiros, empresas ou qualquer interessado na área de Clima Espacial. Informações e as aplicações podem ser acessados pelo endereço eletrônico <http://www2.inpe.br/climaespacial/>. A Figura 5 apresenta os componentes Viewers das aplicações que estão acessíveis no portal do Programa EMBRACE.

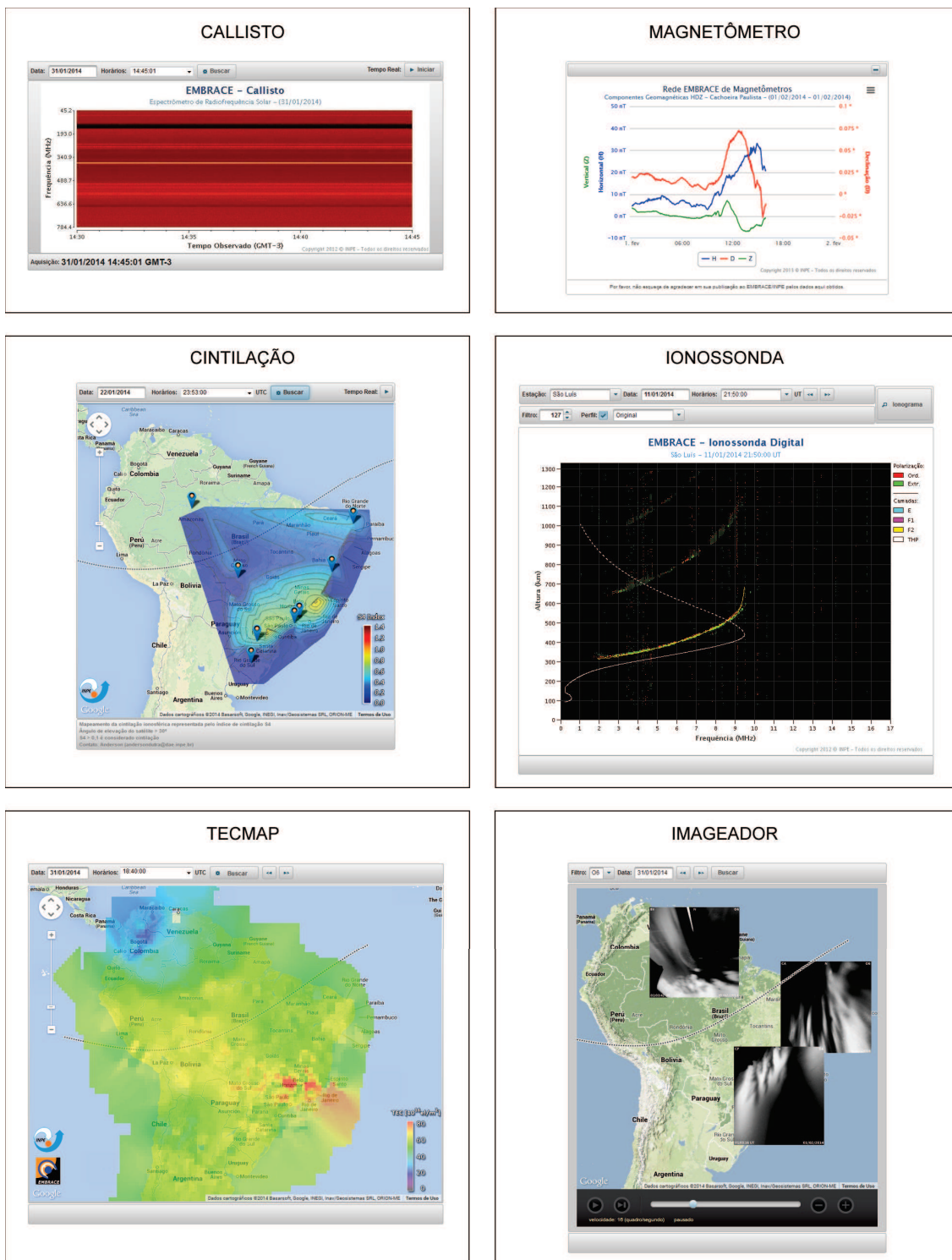


Figura 5. Viewers das aplicações desenvolvidas sobre a arquitetura Alfrodul

Cada aplicação possui uma maneira particular de apresentar seus dados, estabelecido de acordo com o tipo de informação necessária a ser distribuída. O desenvolvimento das aplicações teve por diretriz alcançar o maior grau de usabilidade possível. Para isso, foram utilizadas as possibilidades providas pela *Web 2.0*. O conteúdo apresentado nos Viewers é descrito a seguir:

- Na aplicação Callisto, é exibido um espectograma solar da frequência/tempo.
- Na aplicação Ionossonda, é apresentado um ionograma (sondagem do perfil da ionosfera).
- Na aplicação Cintilação, um mapa das variações de amplitude e fase dos sinais de rádio quando atravessam a ionosfera.
- Na aplicação Magnetômetro, gráficos da intensidade e direção do campo magnético da Terra são apresentados.
- Na aplicação TecMap, mapas de conteúdo eletrônico total são apresentados sobre a América Latina.
- Na aplicação Imageador, imagens do instrumento de captação das emissões da aeroluminescência noturna na região da mesosfera e da ionosfera são mostrados.

Os servidores do Programa EMBRACE recebem uma alta quantidade de dados diariamente. É possível calcular a taxa de dados recebidos por meio da quantidade de dados enviados por estação e o tempo necessário para recepção. Uma equipe de infraestrutura é responsável pelo monitoramento do tráfego na rede do Programa. Caso ocorra alguma anormalidade que ponha em risco a confiabilidade das aplicações, essa equipe toma ações imediatas. Na Tabela 1 estão disponíveis a quantidade de estações e o tempo de recepção dos dados nos servidores do Programa.

Tabela 1. Quantidade de estações, tempo de recepção e tamanho médio do arquivo de dados

Aplicação	Nº de estações	Tempo de recepção (min)	Tamanho Médio (KB)
Callisto	1	10	800
Magnetômetro	6	1	1000
Cintilação	17	1	10
Ionossonda	4	10	300
Tecmap	207	0.5	5
Imageador	3	2	512

6. Conclusões

Este artigo apresentou o modelo arquitetural Alfródul, adequado à aplicações que precisam coletar informações de sensores geograficamente distribuídos e consolidá-las em análises e gráficos para exibição ao usuário. Esse modelo arquitetural leva em consideração requisitos como a necessidade de processar os dados em tempo hábil às previsões realizadas por especialistas, como também a tolerância à falhas de hardware nos canais de comunicação, visando evitar a perda de dados. Esse modelo foi utilizado

no desenvolvimento de seis aplicações da área de Clima Espacial com diferentes características e se mostrou adequado para lidar com as peculiaridades de cada uma delas.

Outras aplicações científicas de áreas diferentes como ecologia ou meteorologia, que compartilhem dos mesmos requisitos descritos podem se beneficiar dessa experiência e utilizar diretamente o modelo Alfrudul. A sua utilização nas seis aplicações que possuíam requisitos distintos em relação a quantidade de dados, tempo de processamento e formato de saída da análise mostrou que o modelo pode ser facilmente adaptado dentro desse contexto.

Um possível trabalho futuro seria a criação de um *framework* para facilitar a adoção do modelo arquitetural Alfrudul. Esse *framework* iria capturar o fluxo de processamento proposto pelo modelo e prover pontos de extensão onde a implementação de uma aplicação específica se diferencia. Isso possibilitaria não apenas a reutilização de porções de código, como também permite que o foco do desenvolvimento esteja no domínio e nas particularidades das aplicações e não em questões relacionadas com a infraestrutura e tecnologias.

Referências Bibliográficas

- Anderson, B. J., Acuña, M. H., Lohr, D. A., Scheifele, J., Raval, A., Korth, H., and Slavin, J. A. (2007). The magnetometer instrument on messenger. *Space Science Reviews*, 131(1-4):417–450.
- Benz, A. O., Monstein, C., and Meyer, H. (2005). Callisto—a new concept for solar radio spectrometers. *Solar Physics*, 226(1):143–151.
- Bertoni, F. C., Batista, I. S., and Abdu, M. A. (1999). Derivas ionosféricas verticais: Comparação entre ionossonda digital e radar de espalhamento incoerente. In *6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*.
- Chaffer, J. and Swedberg, K. (2011). *Learning JQuery*. Community experience distilled. Packt Publishing, Limited.
- Franchini, A. and Seganfredo, C. (2004). *As melhores histórias da mitologia nórdica*. ARTES E OFÍCIOS.
- Geary, D. and Horstmann, C. S. (2010). *Core JavaServer Faces*. Prentice Hall Press, Upper Saddle River, NJ, USA, 3rd edition.
- Marchioni, F. (2011). *Jboss as 7 Configuration, Deployment and Administration*. Community experience distilled. Packt Pub.
- Moldwin, M. (2008). *An Introduction to Space Weather*. Cambridge University Press.
- Muella, M., de Paula, E., Kantor, I., Batista, I., Sobral, J., Abdu, M., Kintner, P., Groves, K., and Smorigo, P. (2008). Gps l-band scintillations and ionospheric irregularity zonal drifts inferred at equatorial and low-latitude regions. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70(10):1261–1272.
- Nardin, C. M. D., Abalde, J. R., Chen, S. S., Guizelli, L. M., Resende, L. C. A., J. Moro, A. L. P., Fagundes, P., Correia, E., Schuch, N. J., Domingos, S., Borges, W. S. C., Mesquita, F. P. V., Avicena-Filho, Cunha-Neto, A., Castilho, C., Jr, W. G., and Lima, R. A. A. (2012). The new embrace magnetometer network in south america. In *Book*

- of Abstracts of the 13th International Symposium on Equatorial Aeronomy*, pages 102–103. Jicamarca Radio Observatory.
- Otsuka, Y. (2001). *A new technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan*. PhD thesis, Kyoto University.
- Rezende, L. F. C., de Paula, E. R., Cunha, A., Stephany, S., Kantor, I., Muella, M., Siqueira, P. M., Dutra, A. P., and Correa, K. S. (2008). A implementação de um sistema para monitoramento, mapeamento e predição de cintilação ionosférica e conteúdo eletrônico total sobre o território brasileiro em tempo real. *Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia*.
- Silva, J. D. S. d., Sant’Anna, N., and Takahashi, H. (2010). Arquitetura do sistema sisclima para armazenamento e disseminação de dados do programa de clima espacial do inpe. In *Anais... III Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia*.
- Smith, G. (2010). *PostgreSQL 9.0: High Performance*. Open source : community experience distilled. Packt Publishing, Limited.
- Wrasse, C. M. (2004). *Estudos de geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas*. PhD thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.