Automatização do processamento digital de imagens do Satélite Amazônia-1 (WFI) para o Projeto DETER Amazônia

Thiago de Moraes Nisimura [1], Luis Waldyr Rodrigues Sadeck [1,2] , Nelton Cavalcante da Luz [1,2] e David Naoki Nishimura Kawamura [1]Alessandra Rodrigues Gomes [1]

[1] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenação Espacial da Amazônia - Av. Perimetral, 2651 - Parque de Ciência e Tecnologia do Guamá - Belém/PA - 66077-830, Brasil, thiago.nisimura; luis.sadeck; alessandra.gomes; nelton.luz; david.naoki (@inpe.br); [2] Universidade Federal do Pará - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (@ufpa.br).

Resumo

Este estudo aborda a automatização do Processamento Digital de Imagens (PDI) no projeto DETER Amazônia, do INPE/COEAM, destacando a importância de otimizar o tratamento de dados do satélite Amazônia-1. A lacuna existente envolvia a necessidade de reduzir o tempo de processamento e os erros humanos, assegurando consistência nas imagens geradas. A metodologia empregou a automatização desde o *download* das imagens, ajustes, composição, modelo linear de mistura espectral, conversão para 8 bits e avisos informando que novas imagens estão disponíveis para a equipe utilizar. Como resultado, o tempo de processamento foi reduzido em até 80%, garantindo a escalabilidade e a padronização do fluxo de trabalho. A conclusão evidencia que essa abordagem permite a contínua análise de grandes volumes de dados, com impacto direto na eficiência operacional do projeto.

Palavras-chave — Automatização, Processamento Digital de Imagens, Amazônia-1, Modelo Linear de Mistura Espectral, DETER Amazônia.

Abstract

This study addresses the automation of Digital Image Processing (DIP) in INPE/COEAM's DETER Amazônia project, highlighting the importance of optimizing the processing of data from the Amazônia-1 satellite. The existing gap involved the need to reduce processing time and human error, while ensuring consistency in the images generated. The methodology employed automation from downloading the images, adjustments, composition, linear spectral mixing model, conversion to 8 bit and notices informing that new images are available for the team to use. As a result, processing time was reduced by up to 80%, ensuring scalability and standardization of the workflow. The conclusion is that this approach enables the continuous analysis of large volumes of data, with a direct impact on the project's operational efficiency.

Key words *— Automation, Digital Image Processing, Amazonia-1, Linear Spectral Mixture Model, DETER Amazon.*

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento ambiental da Amazônia exige análises constantes e precisas das imagens geradas por satélites. O processamento manual dessas imagens, que envolve a composição de bandas espectrais, a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), e a geração de índices de vegetação, é um processo demorado e dependente de avaliações subjetivas que podem ser suscetíveis a erros humanos. A automatização desses processos pode ser uma solução para otimizar o tratamento dos dados, garantindo precisão e consistência.

O satélite Amazônia-1, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e lançado em fevereiro de 2021, é o primeiro satélite de observação da Terra inteiramente projetado e operado pelo Brasil [1]. Ele desempenha um papel fundamental no monitoramento da floresta amazônica, fornecendo imagens de média resolução espacial com alta taxa de re-visita, que são importantes quando se monitora questões ambientais como desmatamento, queimadas e outros impactos [2]. Com o aumento do volume de dados gerados pelo satélite, há necessidade de se criar um processo automatizado para minimizar o tempo de processamento permitindo gerar dados mais rapidamente.

A automatização das etapas de *download*, composição de imagens, aplicação do MLME e contraste, bem como outras atividades, tem permitido à equipe técnica otimizar o uso dos dados do Amazônia-1. Ferramentas como o QGIS e a biblioteca GDAL foram fundamentais para o processamento de imagens, enquanto scripts em Python, conforme demonstrado por estudos recentes [3], e *batch* garantiram a robustez das operações automatizadas.

Essa automatização não apenas acelerou o processamento, como também garantiu a padronização e escalabilidade no tratamento de grandes volumes de dados, permitindo a análise contínua das imagens do Amazônia-1.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para implementar a automatização do PDI utilizados no projeto DETER Amazônia, foram utilizadas ferramentas e tecnologias que, em conjunto, permitiram padronizar e melhorar o fluxo de trabalho. A automatização foi implementada em duas plataformas principais: um servidor

Linux, responsável pela varredura, *download* e gerenciamento dos arquivos, e um servidor Windows, encarregado do processamento das imagens.

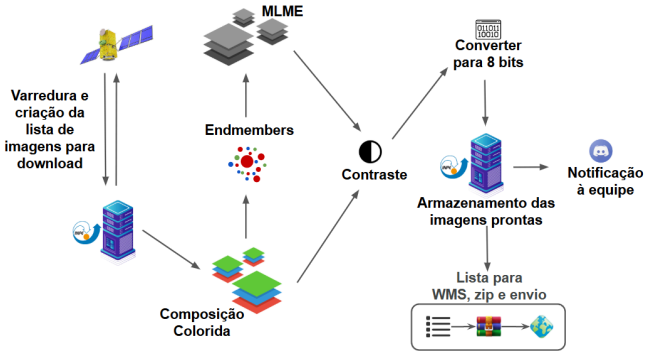


Figura 1. Fluxograma da automatização do PDI

2.1. Varredura e download das imagens

A primeira etapa a ser automatizada é relacionada ao *download* das imagens do satélite Amazônia-1, armazenadas em um servidor FTP acessível pelo endereço http://cbers9.dpi.inpe.br:8089/files/AMAZONIA1/. A varredura sistemática do servidor foi realizada por meio de um script *shell*, denominado *script_amazonia1_txt.sh*, que percorre o diretório e lista todas as imagens disponíveis do dia atual.

Esse processo de varredura ocorre a cada 30 minutos, gerando uma lista de links com os arquivos disponíveis. Após a varredura, outro script, o *script_amazonia1_download.sh*, utiliza o comando wget para realizar o *download* automático das imagens para o ambiente local, garantindo a integridade e a organização dos dados.

2.2. Transferência das imagens para o Servidor Windows

Após o *download* das imagens no servidor Linux, um script adicional (*script_amazonia1_move_imagens_u_w.sh*) transfere automaticamente as imagens para o servidor Windows, onde o PDI é realizado. A integração entre os servidores foi configurada por meio do mapeamento de um diretório remoto, que facilita a comunicação e a transferência de arquivos entre os ambientes.

2.3. Composição colorida

Para gerar as composições coloridas das imagens do satélite Amazônia-1, utilizando as bandas espectrais RED (banda 3), NIR (banda 4) e GREEN (banda 2), foram criados três scripts: *AMAZONIA1_RGB.bat*, *AMAZONIA1_RGB_L2.bat* e *AMAZONIA1_RGB_L4.bat*. O script principal, *AMAZONIA1_RGB.bat*, coordena a execução dos outros dois scripts, garantindo que a composição de imagens dos níveis L2 e L4 sejam realizadas sem intervenção manual.

O processo utiliza o ambiente **OSGeo4W** para acessar as ferramentas **GDAL**, como *gdalbuildvrt* e *gdal_translate*, que permitem compor as bandas espectrais em uma imagem RGB e converter os arquivos para o formato .tif em 10 bits.

2.4. Endmembers

Para a aplicação do MLME, foi necessário determinar os *endmembers* (assinaturas espectrais puras de classes como solo, vegetação e sombra). A identificação desses *endmembers* foi automatizada por meio de um script *Python* (*dispersograma.py*), que analisa as imagens TIFF em 10 bits e gera gráficos de dispersão a partir das bandas 3 (Red) e 4 (NIR).

Esses gráficos permitiram a visualização da distribuição dos pixels e a identificação das classes, com base na média de uma área selecionada. Com base nos gráficos, os *endmembers* de vegetação (círculo verde) e solo (círculo vermelho) foram extraídos e armazenados em arquivos .txt, garantindo que os valores específicos fossem utilizados no processamento de cada órbita-ponto.

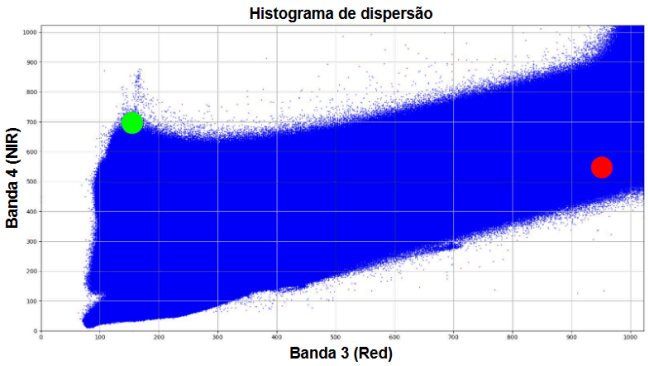


Figura 2. Gráfico de dispersão e identificação as classes vegetação e solo

2.5. Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

O MLME é aplicado para decompor os pixels das imagens em frações de solo, vegetação e sombra. Utilizando o script *mlme.py*, as bandas 3 e 4 das imagens foram processadas para gerar essas frações, que foram convertidas para 10 bits. Esse script empilha as bandas e calcula as frações com base nos *endmembers* extraídos. Para a fração de sombra, foi utilizada a inversa da fração vegetação, garantindo uma melhor visualização dos resultados.

2.6. Conversão para 8 bits

As imagens geradas pelo MLME são inicialmente produzidas em 10 bits, mas foram convertidas para 8 bits por meio do script *converter_8bits.py*, que utiliza as bibliotecas osgeo (GDAL) e NumPy. A conversão para 8

bits é necessária para otimizar o armazenamento e facilitar a visualização em sistemas que não suportam profundidade de 10 bits. O script converte as imagens RGB e as frações de solo, vegetação e sombra, mantendo a integridade geoespacial dos dados.

2.7. Contraste

Após a conversão para 8 bits, o contraste das imagens foi ajustado para aumentar a visibilidade dos detalhes, facilitando a interpretação visual. A técnica utilizada foi o *percentile stretch*, com percentis ajustados para cada fração: 12%-88% para solo e 2%-98% para sombra e vegetação. O script *contraste.py* aplica esse ajuste, gerando novas imagens com o contraste aplicado e mantendo as informações geoespaciais originais.

2.8. Exportação das imagens

Com o processamento concluído, as imagens são automaticamente transferidas de volta para o servidor Linux por meio do *script_amazonia1_move_imagens_w_u.sh*. As imagens são organizadas em pastas de 8 bits e 10 bits, separadas por data de obtenção pelo satélite Amazônia-1. Além disso, uma mensagem automática é enviada para a equipe de monitoramento via *Discord*, informando que novas imagens estão disponíveis.

3. RESULTADOS

3.1. Desempenho e eficiência

A automatização do PDI resultou em uma redução significativa no tempo necessário para a aquisição, processamento e disponibilização das imagens geradas pelo satélite Amazônia-1. No processo manual, o usuário realizava várias etapas, incluindo o *download* das imagens, a composição RGB, o cálculo das frações de solo, vegetação e sombra, a aplicação de contraste, e a organização dos arquivos em pastas. Cada grupo de imagens processadas manualmente levava cerca de 15 minutos.

Considerando uma média de três imagens processadas diariamente, o tempo total gasto com o método manual era de aproximadamente 45 minutos. Com a automação, esse fluxo de trabalho é concluído em apenas 15 minutos, resultando em uma redução de até 66% no tempo total de processamento. Esse ganho de eficiência permite à equipe focar em atividades de maior valor, ao invés de tarefas repetitivas.

Além da economia de tempo, a automatização também proporcionou um processo mais confiável, com menor variação na qualidade das imagens geradas. A consistência dos resultados foi mantida em todos os ciclos de processamento, assegurando a integridade do fluxo de trabalho.

3.2. Qualidade dos resultados

A automatização do PDI não só otimizou o tempo, mas também garantiu a qualidade das imagens processadas. As frações de solo, vegetação e sombra geradas pelo MLME foram validadas por meio de um teste A/B, que comparou versões automatizadas e manuais para medir desempenho [4].

Os resultados mostraram que a qualidade das imagens automatizadas foi equivalente à das imagens processadas manualmente. Em muitos casos, a automatização permitiu a identificação de detalhes adicionais, especialmente em áreas de transição, como bordas de florestas e zonas agrícolas. O fluxo automatizado eliminou erros humanos comuns, como falhas na aplicação de contraste, na composição de bandas espectrais e na coleta de *endmembers*, resultando em imagens mais consistentes e com menor variabilidade na qualidade. Esse aumento na confiabilidade e precisão reforça a confiança da equipe no uso de imagens automatizadas para análises ambientais e tomadas de decisão, além de assegurar a padronização dos produtos gerados.

3.3. Exemplos de saída

Para ilustrar a eficácia da automatização, a seguir são apresentados exemplos de imagens processadas automaticamente, comparadas com aquelas geradas manualmente. Cada conjunto de imagens inclui a composição RGB, além das frações solo, vegetação e sombra geradas pelo MLME.

Esses exemplos demonstram que, além de igualar o processo manual, a automatização pode, em muitos casos, fornecer resultados superiores, com maior nível de detalhamento.

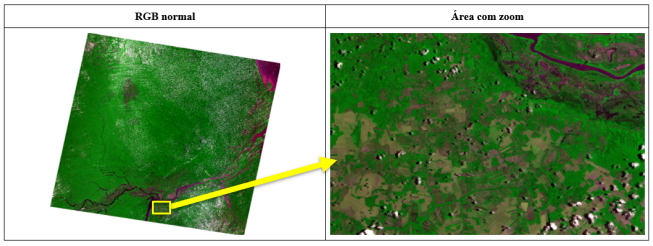


Figura 3. Composição RGB normal X Área com zoom

Para uma melhor análise de resultado, focaremos na área em amarelo selecionada acima, as quais representam as figuras 4 e 5 que serão mostradas a seguir, sendo elas representações das frações solo e sombra respectivamente.

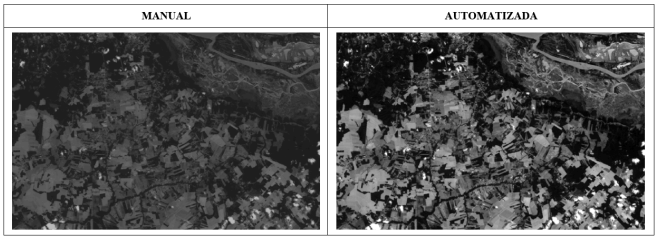


Figura 4. Fração solo manual X automatizada

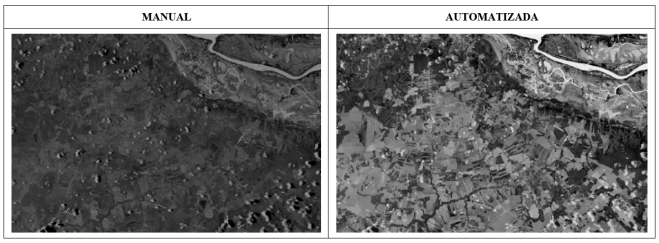


Figura 5. Fração sombra manual X automatizada

4. DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento da automatização do PDI com o satélite Amazônia-1 diversos desafios e limitações foram identificados que ajudaram no refinamento dos métodos, visando garantir a precisão e eficiência do procedimento.

Um dos principais desafios foi a ausência de algoritmos para correção atmosférica no Amazônia-1, o que comprometeu a padronização das cenas coloridas. Isso resultou em variabilidade nas imagens, exigindo correções manuais para assegurar consistência entre as capturas.

Outro desafio significativo foi a abordagem inicial de coleta dos *endmembers*. A estratégia de calcular valores médios globais para frações de solo, vegetação e sombra revelou-se inadequada devido à grande variabilidade espectral entre diferentes órbitas-ponto. A solução foi coletar dados espectrais específicos para cada órbita, permitindo ao MLME utilizar informações detalhadas e aumentando a precisão das frações geradas.

A aplicação de contraste também apresentou dificuldades. Inicialmente, a técnica de min/max foi utilizada, mas mostrou-se insuficiente para todas as frações, resultando em falhas visuais. Para solucionar esse problema, foi implementado um ajuste de contraste específico para cada fração, utilizando percentis apropriados. Essa mudança melhorou significativamente a qualidade visual e a precisão dos resultados nas imagens.

Esses desafios apresentam a complexidade da automatização de processos de PDI e, apesar das dificuldades, soluções podem ser encontradas para refinar o sistema, como ajustes contínuos e conhecimento das técnicas, que permitem superar barreiras tecnológicas e melhorar a qualidade dos resultados.

5. CONCLUSÕES

A automatização do processamento digital de imagens (PDI) e a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) trouxeram benefícios significativos para o fluxo de trabalho do DETER Amazônia. A principal conquista foi a redução no tempo de processamento, permitindo que a equipe tenha acesso a imagens prontas para análise em apenas 15 minutos, em comparação com os 45 minutos necessários para o processamento manual. Essa mudança não apenas economiza tempo, mas também assegura a qualidade e confiabilidade das imagens geradas.

A aplicação do MLME, em conjunto com a automatização, proporcionou uma boa precisão na separação das frações de solo, sombra e vegetação, otimizando a análise das áreas monitoradas. A confiabilidade dos resultados permite à equipe trabalhar com maior agilidade e segurança em suas atividades diárias.

Para melhorias futuras, sugere-se o desenvolvimento de ferramentas que integrem informações do sistema PRODES com dados de máscaras de nuvens e sombras. Isso aprimoraria a precisão na identificação de áreas de desmatamento e possibilitaria a geração de alertas automatizados, aumentando a eficiência do monitoramento.

A automatização das etapas de trabalho do Projeto DETER-Amz demonstra que os dados podem ser gerados de forma mais célere, o que viabiliza a atuação em campo, no combate ao desmatamento de forma rápida e precisa.

6. AGRADECIMENTO

Agradecimento ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico - CNPq processo 422354/2023-6 (Monitoramento e avisos de mudanças de cobertura da terra nos Biomas Brasileiros – capacitação e semi automatização do programa BIOMASBR), sediado e executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Agradeço também pelo apoio recebido no processo 384895/2023-9.

7. REFERÊNCIAS

[1] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **AMAZONIA 1: Descritivo da Missão e do Satélite**. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe>. Acesso em: 13 Sep. 2024.

[2] BOSCOLO, Helena K.; KÖRTING, T.; NAMIKAWA, L.; *et al*. Contributions of the Brazil's National Institute for Space Research (INPE) to emergency response in the International Space and Major Disasters Charter. Discover Applied Sciences, 2024.

[3] LEMENKOVA, P.; DEBEIR, O. Satellite Image Processing by Python and R Using Landsat 9 OLI/TIRS and SRTM DEM Data on Côte d'Ivoire, West Africa. Journal of Imaging, v. 8, n. 12, p. 317, 24 nov. 2022.

[4] **A explicação, o motivo e a razão para os testes A/B e multivariado**. Oracle Brasil. Disponível em: <https://www.oracle.com/br/cx/marketing/what-is-ab-testing/>. Acesso em: 15 Sep. 2024.