

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IMPLEMENTAÇÃO OPERACIONAL DE MODELO DE PREVISÃO HIDROLÓGICA: PERCEPÇÕES DO FLUXO LÓGICO

*Anne Caroline Negrão¹; Roberto Ferreira dos Santos Júnior²; Karine Cristine Teixeira Xavier¹;
Henrique von Linsingen Pereira¹ & Julia Cristine Lucion Lima¹*

Abstract: The implementation of an effective monitoring system requires creativity and innovation, especially when it involves meteorological and hydrological forecasting models, which depend on the continuous updating of heterogeneous data. This paper describes the experience of operationalizing the Distributed Hydrological Model developed by the Brazilian National Institute for Space Research (MHD-INPE) with the objective of producing daily short- and medium-term streamflow forecasts. Being a robust model, it requires substantial input of meteorological data, including both observed data to initialize the model and forecasts from meteorological models. To meet these demands, daily assimilation was performed using information provided by INPE, such as the WRF weather forecast and MERGE precipitation estimates from satellite and rain gauge data, as well as reanalysis data from ERA5 (ECMWF). The reliance on the availability of these datasets makes the model's operationalization complex, as it requires the creation of a logical workflow that considers the release time of each dataset, processing time, and the possibility of delays, failures, or inconsistencies. This paper details how these diverse datasets were organized and how the logical workflow was structured to make operational streamflow forecasts feasible. The results provide practical insights into strategies for data integration and logical organization to ensure the effectiveness of hydrological forecasting systems.

Resumo: A implementação de um sistema de monitoramento eficaz exige criatividade e inovação, principalmente quando envolve modelos de previsão meteorológica e hidrológica, que dependem da atualização contínua de dados heterogêneos. Este trabalho descreve a experiência de operacionalização do Modelo Hidrológico Distribuído desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (MHD-INPE) com objetivo de realizar previsões diárias de vazão de curto e médio prazo. Por ser um modelo bastante robusto, ele requer uma entrada significativa de dados meteorológicos, tanto de informações já observadas, para aquecimento do modelo, quanto de previsões de modelos meteorológicos. Para atender a essas demandas, foi realizada a assimilação diária de informações disponibilizadas pelo INPE, como a previsão meteorológica do WRF e a estimativa de chuva por satélite e estações pluviométricas do MERGE, além de informações estrangeiras de reanálise do modelo meteorológico ERA5 (ECMWF). A dependência na disponibilidade dessas informações torna a operacionalização do modelo complexa, pois exige a criação de um fluxo lógico que considere o horário de disponibilização de cada dado, o tempo de processamento, bem como a possibilidade de atrasos, falhas ou inconsistências. Esse artigo detalha como essas diversas informações foram organizadas e como o fluxo lógico foi estruturado para tornar as previsões operacionais de vazão viáveis. Os resultados obtidos oferecem uma experiência prática

1) Tractebel Engineering Ltda., Florianópolis, SC, (48) 99184-3520, annenegrão@gmail.com

2) Exiti Soluções Digitais Ltda., Ilha Solteira, SP, (18) 99622-9175, robertoferreirajr@gmail.com

na adoção de estratégias de integração de dados e organização lógica para garantir a eficácia de sistemas de previsão hidrológica.

Palavras-Chave – assimilação de dados, sistema operacional, lógica computacional

INTRODUÇÃO

O Sistema de Monitoramento e Previsão de Chuva e Vazão foi desenvolvido por meio de um consórcio entre duas empresas particulares com atuação em segurança de barragens, sendo uma de engenharia e outra de desenvolvimento de softwares, com objetivo de atender às necessidades operacionais de usinas hidrelétricas. O Modelo Hidrológico Distribuído do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – MHD-INPE (Rodriguez e Tomasella, 2016) foi implementado de forma operacional para realizar previsão de vazão nos locais das usinas. Para garantir a operacionalidade desse modelo diversas fontes de informações são assimiladas e processadas diariamente e os resultados são disponibilizados através de boletins diários e plataforma web. A Figura 1 ilustra alguns componentes do sistema, que está operacional desde janeiro de 2024.

Figura 1 – Componentes do Sistema de Monitoramento e Previsão de Chuva e Vazão

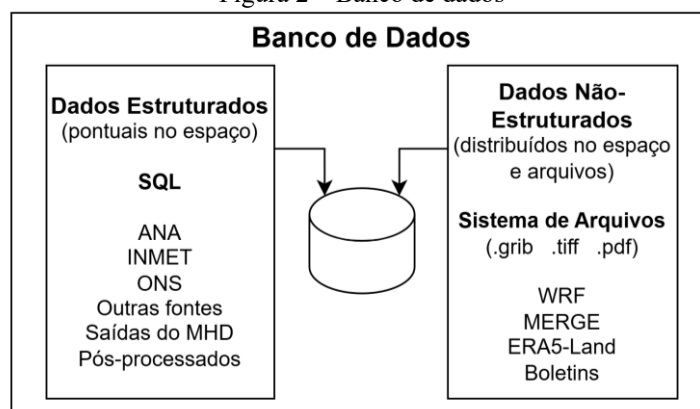


Implementar um sistema de previsão hidrológica é uma tarefa desafiadora, pois envolve a estruturação de diversos procedimentos para lidar com dados heterogêneos de múltiplas fontes e com diferentes horários de disponibilização, além de considerar possíveis falhas, inconsistências, desempenho computacional e conexão de plataformas de desenvolvimento distintas. Embora muitos estudos discutam os desafios de transformar avanços científicos - como a representação física, calibração e análise de incertezas de modelos hidrológicos - em sistemas operacionais (Emerton *et al.*, 2022; Almeida *et al.*, 2019; Siqueira *et al.*, 2018), poucas publicações detalham os aspectos práticos da implementação, integração de dados e manutenção de fluxos lógicos em ambiente operacional (Ayzel, 2021; De Filippis *et al.*, 2022; Ahmad e Hossain, 2019). Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo compartilhar uma experiência prática na implementação operacional de um modelo hidrológico com a complexidade do MHD-INPE, buscando promover a troca de experiências e colaboração, dado a importância desses sistemas para a segurança de barragens e otimização de geração energética.

BANCO DE DADOS

Para garantir a operação contínua do modelo hidrológico, um banco de dados foi estruturado para receber dados de fontes e formatos diversos. A Figura 2 ilustra as principais informações acessadas. Os dados foram divididos em dois tipos principais: Dados Pontuais no Espaço e Dados Distribuídos no Espaço. A Figura 2 apresenta as principais informações acessadas pelo sistema. Para facilitar o gerenciamento e tratamento dos dados, eles foram divididos em duas categorias: Dados Estruturados e Dados Não-Estruturados.

Figura 2 – Banco de dados



Os dados pontuais no espaço foram armazenados como Dados Estruturados e organizados em um banco de dados relacional PostgreSQL, com acesso via API (*Application Programming Interface*). Esse banco foi estruturado dentro do *schema* inventário, contendo tabelas e sequências que organizam estações hidrometeorológicas, variáveis, leituras, níveis de consistência, entre outras entidades necessárias para a integração e rastreabilidade das séries temporais utilizadas no modelo. Esses dados são compostos principalmente por séries temporais associadas a estações hidrometeorológicas, além de informações de usinas hidrelétricas. As principais fontes de informação utilizadas são: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) - dados de estações hidrológicas acessados via WebService³; Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - dados de estações meteorológicas acessados via API⁴; Operador Nacional do Sistema (ONS)⁵ - dados de vazões, volumes e níveis operativos das usinas hidrelétricas pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN) acessados via API⁶; e outras fontes particulares – dados de estações hidrológicas e informações operativas provenientes de sistemas corporativos. Dada a heterogeneidade nos formatos dessas fontes, foi definida uma estrutura unificada para que todas as séries temporais sigam um mesmo padrão de organização, o que facilitou a construção da API e integração com a Plataforma Web. Cada ponto de monitoramento está associado a um inventário cadastral contendo informações como nome, fonte, coordenadas geográficas, tipo de dado, discretização temporal, entre outras. Os dados de saída do modelo hidrológico e os pós-processados também são armazenados de forma estruturada. Entre as variáveis registradas estão: vazão prevista, vazão atualizada, vazão prevista discretizada, vazão simulada, chuva média nas sub-bacias, entre outras. A integração foi realizada por meio de conectores dedicados, permitindo a consulta automatizada desses dados e sua posterior ingestão na base relacional do sistema.

³ <http://telemetriaws1.ana.gov.br/ServiceANA.asmx>

⁴ <https://portal.inmet.gov.br/>

⁵ <https://dados.ons.org.br/dataset/dados-hidrologicos-res>

⁶ <https://github.com/ONSBR/ONS.Hidrologia.Dadosabertos.API>

Nem todas as informações utilizadas no sistema são compatíveis com estruturas de armazenamento relacional. Dados distribuídos no espaço, como os provenientes de satélite e modelos meteorológicos, exigem tratamentos específicos devido a sua complexidade, o que levou a utilização do armazenamento de Dados Não-Estruturados. Grande parte desses dados são disponibilizados no formato GRIB (GRIB). Esse formato é amplamente utilizado para armazenar informações meteorológicas devido a sua alta capacidade de compactação e padronização internacional (WMO, 2019). Para preservar a integridade dos dados, os arquivos são mantidos em seu formato original e organizados em uma estrutura lógica dentro de um Sistema de Arquivos Tradicional, seguindo um padrão semelhante ao utilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE): `{produto}/{ano}/{mês}/{dia}/`. Após o download, os dados passam por um pré-processamento, que inclui o recorte por região geográfica, seleção de variáveis, conversão de unidades e ajustes de intervalos temporais. Ao final desse processo, os dados são salvos em GeoTIFF, o que facilita sua visualização em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e representação em plataformas web. Além disso, boletins e relatórios de assertividade, gerados no formato PDF, também são armazenados nesse mesmo Sistema de Arquivos.

As principais fontes de dados distribuídos no espaço utilizadas no sistema são: CPTEC/INPE – produtos provenientes de imagens de satélites e de modelos meteorológicos, acessados via ftp⁷; *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) – reanálises de modelos meteorológicos, acessados via biblioteca Python⁸; *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) – modelos meteorológicos, acessados via biblioteca Python⁹.

O WRF (*Weather Research & Forecast Model*) é utilizado pelo sistema como modelo de previsão meteorológica, por ser disponibilizado diariamente de forma robusta pelo CPTEC/INPE¹⁰. O produto adotado possui resolução de 7 km, discretização horária, horizonte de previsão de 7,5 dias e cobre todo o território brasileiro. No repositório ftp do CPTEC/INPE são disponibilizados recortes como o “prec”, para precipitação, e “singleLevel”, para outras variáveis meteorológicas ao nível do solo. Esses recortes atendem as entradas exigidas pelo modelo hidrológico, além de serem mais leves e, portanto, mais rápidos para download e processamento. Ainda assim, caso um desses recortes não estejam disponíveis, o sistema faz o download do produto completo (“bruto”), que contém todas as variáveis meteorológicas em múltiplas camadas da atmosfera.

Para representar as condições observadas, são utilizados dois produtos: o MERGE do CPTEC/INPE e ERA5-Land do ECMWF. O MERGE¹¹ disponibiliza estimativas de chuva geradas a partir da combinação de dados de satélite e estações pluviométricas. A versão utilizada é a diária, com resolução de 10 km e abrange todo o território brasileiro. O ERA5-Land é a reanálise do modelo meteorológico ERA para variáveis representadas próximo ao nível do solo, com resolução de 9 km. Apesar do modelo ter cobertura global, são baixados apenas recortes geográficos que cobrem a bacia hidrográfica de interesse, contendo as variáveis requeridas pelo modelo.

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

O MHD-INPE é um modelo conceitual do tipo chuva-vazão-propagação, implementado de forma distribuída por uma grade regular. Em cada célula (ou *pixel*) da grade os processos de balanço

⁷ <https://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/>

⁸ <https://cds.climate.copernicus.eu/how-to-api>

⁹ <https://github.com/NCAR/rda-apps-clients/tree/main>

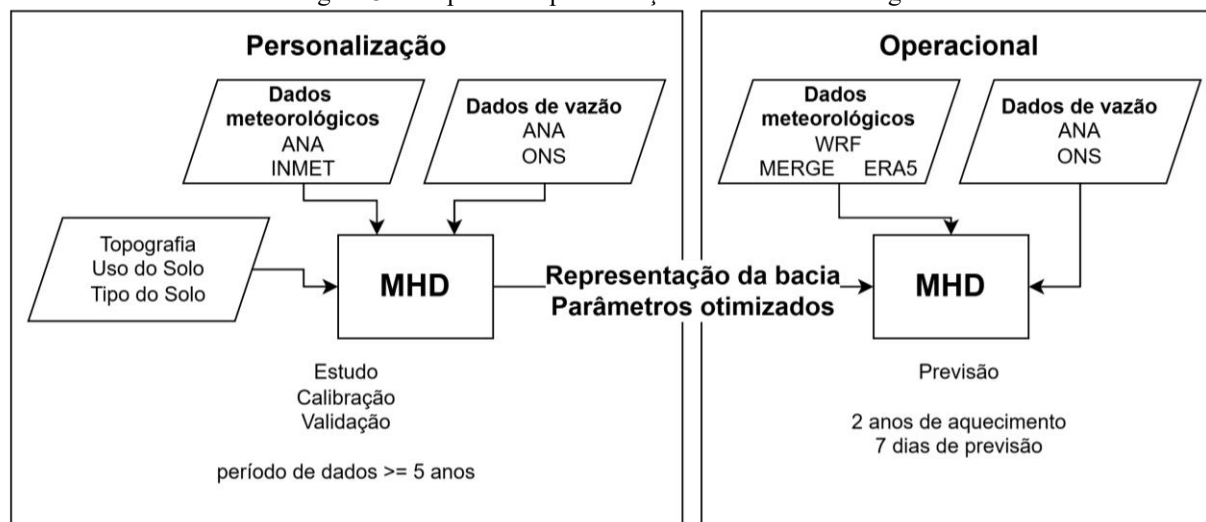
¹⁰ http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/WRF/ams_07km/

¹¹ <https://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/>

hídrico do ciclo hidrológico são computados, os volumes obtidos são propagados pela rede de drenagem considerando três camadas de fluxo: superficial, subsuperficial e subterrânea. A estrutura do modelo permite um fácil acoplamento com modelos meteorológicos e a representação da mudança do uso do solo com o passar do tempo (Rodriguez e Tomasella, 2016). O MHD-INPE, por possuir estrutura complexa, exige uma robusta entrada de dados, tais como: modelo digital de terreno; mapas de tipo e uso do solo e dados hidrometeorológicos. Além de dados de precipitação, também são necessários dados de temperatura, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação global incidente (CEMADEN, 2022).

A Figura 3 apresenta as duas etapas de implementação do modelo: Personalização e Operacional. A Personalização é uma fase pré-operacional na qual a bacia hidrográfica de interesse é estudada para a definição de sua representação no modelo e para calibração e validação dos parâmetros. Nessa etapa foram utilizados dados históricos de pelo menos cinco anos de estações hidrometeorológicas (ANA e INMET) e informações de operação de barragens (ONS), caso existam barragens localizadas a montante. Posteriormente, a representação da bacia e os parâmetros otimizados são utilizados na etapa Operacional para a realização das previsões de vazão. Na etapa Operacional, visando compensar a baixa disponibilidade de dados recentes de estações telemétricas e evitar falhas e dados inconsistentes, optou-se pela utilização de dados de satélites (MERGE) e reanálises de modelos meteorológicos (ERA5), cuja disponibilização de dados é menos instável e as inconsistências já são minimizadas pelas instituições que geram os produtos.

Figura 3 – Etapas de implementação do modelo hidrológico



A etapa de Personalização baseia-se no processamento de informações geoespaciais, incluindo: topografia (obtida do Topodata do INPE¹²); uso do solo (obtido do MapBiomas¹³); e tipo do solo (obtido do IBGE-EMBRAPA¹⁴). O MHD-INPE também permite a utilização o Modelo HAND¹⁵ (*Height Above the Nearest Drainage*), que simplifica a representação das unidades hidrológicas mantendo a boa qualidade dos resultados (Cuartas *et al.*, 2012).

As resoluções temporal e espacial do modelo são definidas conforme a dimensão da bacia hidrográfica. Como o modelo é frequentemente aplicado em bacias de grande escala, a resolução

¹² <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

¹³ <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>

¹⁴ <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html>

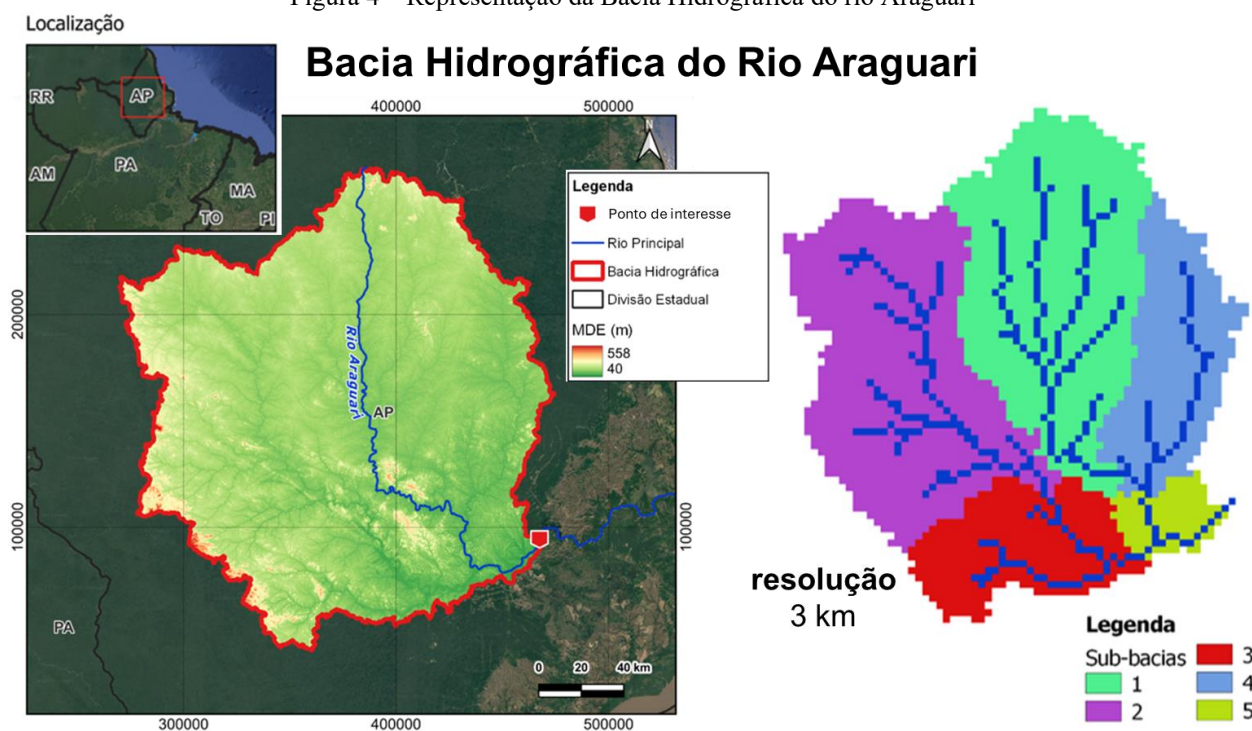
¹⁵ <https://handmodel.ccst.inpe.br/>

temporal diária é a mais utilizada. No caso da resolução espacial, buscou-se fazer um *upscale* dos pixels que mantenha as principais características da rede de drenagem da bacia.

Para calibração e validação do modelo, as bacias são divididas em sub-bacias nos pontos de monitoramento de vazão observada. Com objetivo de representar adequadamente a sazonalidade da bacia, foram utilizados ao menos dois anos de dados para o aquecimento do modelo, mais dois anos para calibração e um ano para verificação, totalizando pelo menos cinco anos de dados. Quanto maior o período de dados disponíveis, mais robusta tende a ser a calibração do modelo e menores são os riscos de *overfitting* (Ekmekcioğlu et al., 2022).

Para ilustrar, o modelo foi implementado no rio Araguari, no Amapá, com uma bacia hidrográfica de área de drenagem aproximada de 31.000 km². Na Figura 4 é apresentada a localização da bacia e sua representação espacialmente no modelo. A discretização temporal adotada foi diária e a resolução espacial foi definida em 3 km. A bacia foi dividida em 5 sub-bacias. O modelo foi calibrado e validado com dados de estações hidrológicas da ANA, dados de estações meteorológicas do INMET e dados de vazão natural do ONS.

Figura 4 – Representação da Bacia Hidrográfica do rio Araguari



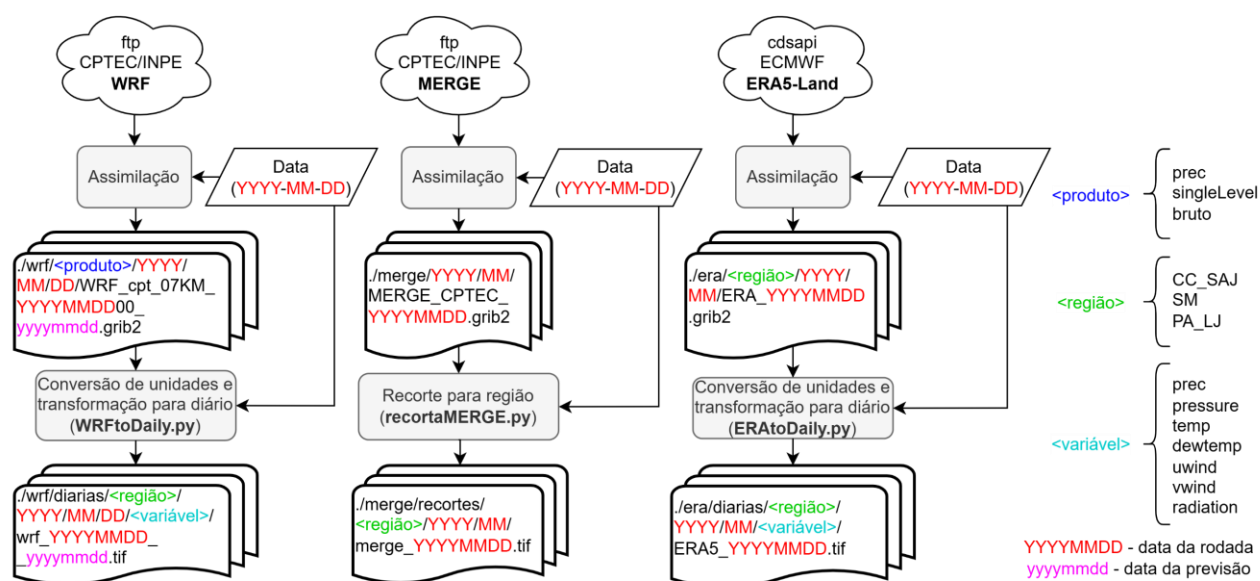
RECURSOS COMPUTACIONAIS

A versão original do MHD-INPE foi mantida em linguagem FORTRAN, por sua eficiência computacional para os diversos cálculos que são realizados pelo modelo. Já o pré-processamento, que consiste no acesso ao banco de dados via API, extração de dados dos GRIB, conversão de variáveis, deslocamento temporal, formatação das entradas, é realizado em Python, com utilização de diversas bibliotecas abertas e consolidadas, como: cdsapi, pygrib, xarray, scipy, pandas, numpy, matplotlib, rasterio, requests, subprocess. A API (*backend*) foi desenvolvida com Spring (Java) e implantada em um cluster Kubernetes, seguindo uma arquitetura de *microservices*. As rotinas em Python são executadas como processos disparados pela API, conforme necessário. O *frontend* foi desenvolvido em Next.js, e todo o sistema roda em ambiente Linux, garantindo compatibilidade com as bibliotecas utilizadas e desempenho estável.

FLUXO OPERACIONAL

A rotina operacional do sistema começa diariamente às 4h da manhã (UTC-3) com a assimilação de dados, pois, normalmente, nesse horário os dados do CPTEC/INPE já estão disponíveis. Logo após o download, os dados são pré-processados, o que consiste em fazer o recorte para as regiões geográficas de interesse, a conversão de unidades das variáveis e a transformação para dados diários. A Figura 5 ilustra esse procedimento, indicando as rotinas utilizadas e como os dados ficam organizados no sistema de arquivos.

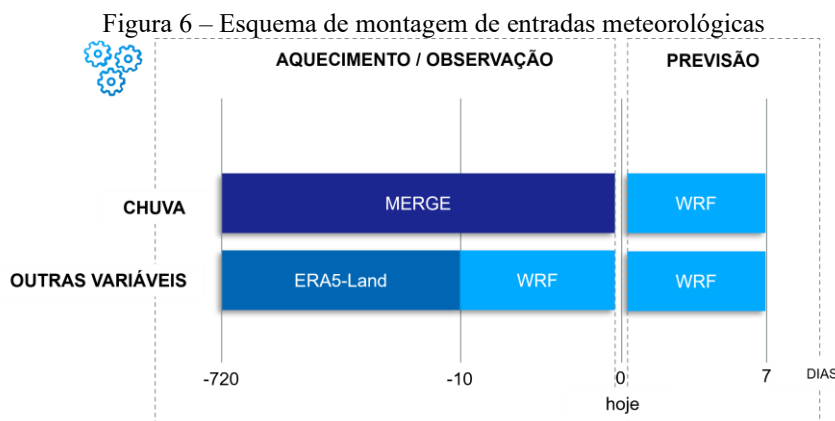
Figura 5 – Processo de Assimilação de Dados



Caso haja atraso na disponibilização dos dados na fonte, o sistema realiza tentativas automáticas de assimilação entre as 4 e 7 horas da manhã. Se, ainda assim, os dados não estiverem disponíveis antes das 7 horas, o processo de assimilação é encerrado e inicia-se a rodada do modelo hidrológico, que utiliza o que estiver disponível, mesmo que sejam previsões retrospectivas. Essa lógica garante que a previsão seja gerada diariamente, mesmo diante de eventuais indisponibilidades de fontes externas.

O MHD-INPE requer, no mínimo, dois anos de dados meteorológicos observados para o aquecimento do modelo. Dessa forma, na aplicação operacional, o modelo inicia a simulação 720 dias antes (D-720) com entrada de dados observados até um dia antes do dia da previsão (D-1). Os dias seguintes são alimentados com dados de previsão até o horizonte de 7 dias (D+7). Um esquema de montagem de dados meteorológicos de entrada é apresentado na Figura 6.

Para representar a chuva observada, utiliza-se o produto MERGE. Já para as demais variáveis meteorológicas é utilizado o ERA5-Land. Embora o ERA5-Land seja atualizado diariamente, ele apresenta uma defasagem temporal de aproximadamente 10 dias. Para completar essa lacuna, é utilizado o primeiro dia das previsões retrospectivas do WRF (*hindcast*). Esses dados são armazenados em formato binário, sendo um arquivo apenas para os dados observados de chuva (Prec.bin) e outro para as demais variáveis observadas (Met.bin) (CEMADEN, 2022). Para otimizar o tempo de processamento, esses arquivos não são recriados diariamente, mas sim atualizados por meio de *append* de dados novos. Além disso, foi implementada uma lógica de preenchimento automático para lidar com falhas. Quando necessário, os valores faltantes são preenchidos por previsão retrospectiva do WRF, sendo que o limite aceitável é de três dias consecutivos.



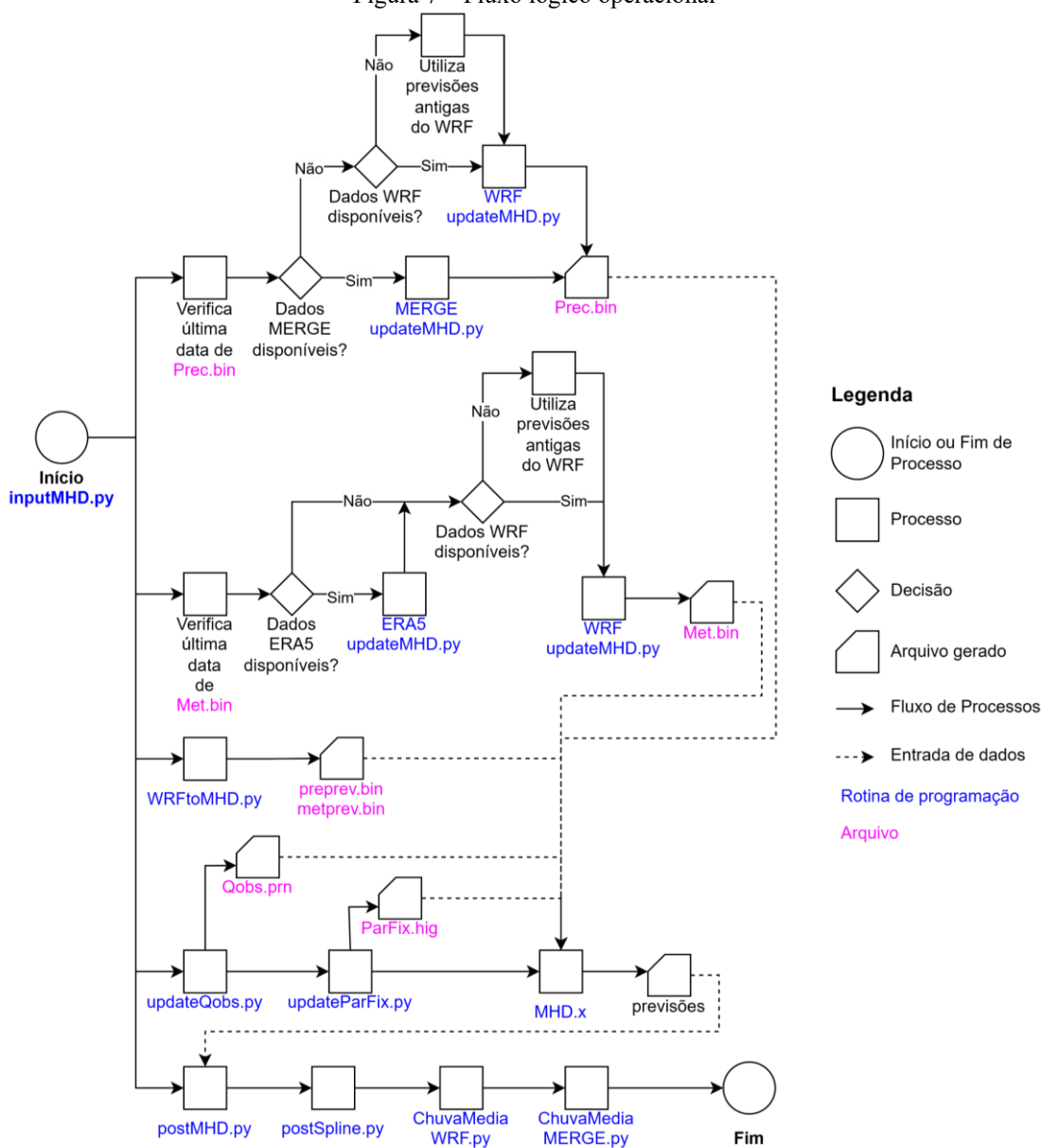
Na Figura 7 é apresentado um resumo das rotinas utilizadas e dos procedimentos realizados para preparar as entradas do modelo, executar o MHD, pós-processar e postar os resultados na API do sistema. O controle de execução é realizado por uma rotina principal (`inputMHD.py`), responsável por identificar a data e o horário de execução, verificar a disponibilidade de dados e executar as demais rotinas. Essa rotina é disparada diariamente por um agendador `@Scheduled` do *framework* Spring, que atua como gatilho dentro da arquitetura de *microservices*, iniciando a execução do script Python de forma automatizada.

A primeira etapa do fluxo operacional é a construção das entradas meteorológicas de observações (`Prec.bin` e `Met.bin`), conforme descrito anteriormente. Essa etapa é executada pelas rotinas `WRFupdateMHD.py`, `ERA5updateMHD.py` e `MERGEupdateMHD.py`, de acordo com a disponibilidade de dados, o que torna essa a etapa mais crítica. Em seguida, são formatadas as entradas meteorológicas de previsão por meio do `WRFtoMHD.py`, que cria as entradas binárias `preprev.bin` e `metprev.bin`. Além das entradas meteorológicas, também é necessário atualizar a entrada de vazão (`Qobs.prn`) com a última vazão observada e o arquivo de parâmetros fixos, que define os intervalos de simulação e previsão, bem como os arquivos de entrada a serem utilizados pelo modelo. Com todas as entradas configuradas, o MHD-INPE é executado e as saídas são enviadas à API (`postMHD.py`). Após essa etapa, são realizados procedimentos de pós-processamentos, que incluem a transformação da previsão de intervalo diário para o intervalo de 30 minutos através da técnica de *spline* cúbica (`PostSpline.py`) e o cálculo das chuvas médias observadas e previstas para cada sub-bacia do modelo (`ChuvaMediaWRF.py` e `ChuvaMediaMERGE.py`). Todos os resultados pós-processados são armazenados na API e posteriormente utilizados para criar os boletins e disponibilizados na plataforma web.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a experiência prática de implementação e manutenção de um sistema operacional de previsão de vazão baseado no modelo hidrológico MHD-INPE, com foco na integração de dados hidrometeorológicos provenientes de fontes diversas e com formatos heterogêneos, na escolha de recursos computacionais e na definição de um fluxo lógico de operação. A estruturação de um banco de dados que combina dados estruturados com não-estruturados permitiu o armazenamento e acesso padronizado de séries temporais e arquivos geoespaciais de forma robusta. Já a automação de rotinas em Python permitiu a construção de um processo lógico capaz de lidar com falhas na disponibilização de dados, assegurando a execução contínua do sistema. Destaca-se que, embora seja possível integrar dados particulares, o sistema é capaz de operar exclusivamente com dados e softwares abertos. Além disso, a solução desenvolvida apresenta potencial de aplicação em diferentes bacias hidrográficas, horizontes de previsão - como previsões de longo prazo e projeções climáticas - e em vários contextos de gestão de recursos hídricos.

Figura 7 – Fluxo lógico operacional



A construção de um sistema operacional de previsão exige uma abordagem multidisciplinar, que integra conhecimentos de meteorologia, hidrologia, hidráulica, monitoramento hidrológico e operativo, geotecnologias, lógica computacional e informática. Essa interseção de áreas combinada com a dependência de sistemas externos impõe alta complexidade de implementação. Além disso, o fato de lidar com dados ambientais, que são bastante volumosos, exige uma boa estrutura computacional, tanto de memória como de processamento.

Em uma primeira implementação, o armazenamento de dados GRIB em um sistema de arquivos tradicional foi uma solução simples e prática. Entretanto, reconhecemos que, à medida que o volume de dados cresce e as aplicações se tornam múltiplas, será necessário considerar uma transição para tecnologias mais especializadas, como o uso de banco de dados geoespaciais, a fim de garantir a escalabilidade do sistema.

Na prática computacional, observamos a importância da arquitetura modular e da separação em ambientes de desenvolvimento – ao menos o ambiente de teste e de produção. Essas boas práticas da

engenharia de software permitem atualizações e manutenções sem comprometer o funcionamento do sistema como um todo.

Apesar das dificuldades, as estratégias adotadas e refinadas com o tempo viabilizaram a implementação operacional de um modelo hidrológico conceitual, distribuído e complexo. Constatamos que a maturidade do sistema cresce com o tempo de operação contínua, devido ao acúmulo de experiências na identificação de gargalos, ajustes de rotinas e aprimoramento dos fluxos. Essa maturidade do sistema é fundamental para fortalecer a confiabilidade das previsões.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.K.; HOSSAIN, F. (2019). “*A web-based decision support system for smart dam operations using weather forecasts*”. Journal of Hydroinformatics, 21.5, pp. 687-707.
- ALMEIDA, A.S.; SORRIBAS, M.V.; GONÇALVES, J.E.; LEITE, E.A. (2019). “*Estimativas da Precipitação Média na Bacia e a Calibração de Modelos Hidrológicos para fins de Previsão Operacional*”. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu, PR.
- AYZEL, G. (2021). “*OpenForecast v2: Development and Benchmarking of the First National-Scale Operational Runoff Forecasting System in Russia*”. Hydrology, 8, 3.
- CEMADEN (2022). *Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE: Manual de Implementação*. Versão 2.0. Cachoeira Paulista, SP.
- CUARTAS, L.A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, A.D.; NOBRE, C.A.; HODNETT, M.G.; WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S.M.de; RANDOW, R.C.von; TRANCOSO, R.; FERREIRA, M. (2012). “*Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model*”. Journal of Hydrology, Volumes 462–463, Pages 15-27, ISSN 0022-1694.
- DE FILIPPIS, T.; ROCCHI, L.; MASSAZZA, G.; PEZZOLI, A.; ROSSO, M.; HOUSSEINI IBRAHIM, M.; TARCHIANI, V. (2022). “*Hydrological Web Services for Operational Flood Risk Monitoring and Forecasting at Local Scale in Niger*”. ISPRS - International Journal of Geo-Information, 11, 236.
- GEORGAKAKOS, K. P. (2022). “*Effective Transfer of Science to Operations in Hydrometeorology Considering Uncertainty*”. Hydrology, 9, 55.
- RODRIGUEZ D. A.; TOMASELLA, J. (2016). “*On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins*”. Hydrological Sciences Journal, 61(10), 1831-1846.
- SIQUEIRA, V.A. ; PAIVA, R.C.D. ; FLEISCHMANN, A.S. ; FAN, F.M. ; RUHOFF, A.L. ; PONTES, P.R.M.; PARIS, A.; CALMANT, S.; COLLISCHONN, W. (2018). “*Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America. Hydrology Earth System Sciences*”, 22, 4815–4842.
- WMO. (2019). *Manual on Codes, Volume I.1 – International Codes*. Annex II to the WMO Technical Regulations. Part A – Alphanumeric Codes. WMO-No. 306.