

NOTA TÉCNICA No. 03 / Ano 2024

Assunto: Projeto de Pesquisa em Tecnologia – Monitoramento Climático de Grandes Bacias Hidrográficas – Bacia Amazônica

Período da pesquisa: 2020 - 2024

Financiador (es): Tesouro Nacional – Projeto LBA

1. INTRODUÇÃO

Esta Nota Técnica tem como objetivo apresentar uma análise detalhada e fundamentada sobre o projeto de pesquisa em tecnologia intitulado **“Monitoramento Climático de Grandes Bacias Hidrográficas – Bacia Amazônica”**. O projeto é desenvolvido por **INPA - Laboratório Amanã** e tem como foco principal elaboração de boletins semanais de monitoramento das condições de precipitação sobre as principais bacias hidrográficas da Amazônia, a pesquisa apresenta uma proposta de identificação e categorização de anomalias de precipitação observadas sobre as bacias hidrográficas e também inclui um prognóstico de evolução do comportamento esperados para as próximas semanas com base em modelos subsazonais permitindo uma avaliação contínua do comportamento e do desempenho do modelo agregando confiança aos tomadores de decisão no produto apresentado. A forma de divulgação atualmente se dá por documento eletrônico em formato (.pdf) disponível em repositório do INPA.

<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38510>

2. OBJETIVO

O projeto de pesquisa visa a delimitação de bacias hidrográficas, inclusão de metodologia de categorização de anomalias de precipitação baseada no método dos percentis de tal forma que permita a identificação de períodos consecutivos de déficit ou excessos de precipitação. A inclusão dos resultados do multimodelo subsazonal aos dados do monitoramento semanal torna possível identificar com razoável antecedência o comportamento futuro destas anomalias, proporcionando uma potencial ferramenta para os tomadores de decisão, frente a situações de crise hídrica de natureza de enchentes ou vazantes severas.

Objetivos específicos:

- **Objetivo 1:** Delimitação de bacias hidrográficas pelo Hydrosheds (Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales): Desenvolvido pelo World Wildlife Fund (WWF) fornece produtos de dados hidrográficos contínuos, em formatos raster e vetorial, disponíveis em várias escalas e resoluções (Lehner *et al.*, 2008). Com o uso deste conjunto de dados foi possível delimitar 32 bacias hidrográficas sobre a Amazônia.
- **Objetivo 2:** Identificação da precipitação acumulada no período de análise: Como produto do estudo foi gerado um acumulado de precipitação de 30 dias para todas as datas disponíveis a partir dos dados estimados pela técnica MERGE/GPM (produzidos pelo INPE/CPTEC). Posteriormente, os autores geraram uma classificação de anomalias pela técnica de percentis para tanto foi necessário gerar a climatologia para cada data do ano civil. Com base nos prognósticos subsazonais, disponibilizados pela FUNCEME, os autores estimam a precipitação em cada bacia nas datas futuras e, a partir desta informação, categorizam-se as anomalias previstas em cada bacia.
- **Objetivo 3:** Identificação das anomalias observadas: Ao aplicar a estratificação proposta, percebeu-se claramente por meio de tabelas e gráficos, a forma com que cada bacia hidrográfica evoluiu e mostrou sua tendência. Para tanto, comparou-se a média do índice de anomalia calculado para cada ponto de grade por meio do uso do conjunto de instruções do Climate Data Operators (CDO) e, por fim, ainda com o auxílio do CDO e a delimitação proposta das bacias hidrográficas, foi calculado o valor médio observado em cada uma destas bacias.
- **Objetivo 4:** Aplicação do Multimodelo Subsazonal: O produto utilizado é uma parceria entre a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), composto por quatro modelos globais, sendo três modelos americanos (CFSv2/NCEP, GEFSv12/NCEP e ESRL/NOAA) (Pegion *et al.*, 2019) e um modelo brasileiro (BAM-1.2/CPTEC). A previsão calibrada é gerada através de anomalias futuras a partir do uso dos acumulados de precipitação previstos para períodos de 7 e 14 dias, bem como os valores observados em períodos de 23 e 16 dias antecedentes a rodada do modelo. A geração dos mapas de anomalias de climatologia e estimativa de precipitação corrente são gerados em um mapa com a descrição do comportamento das chuvas sobre as bacias de interesse.

3. JUSTIFICATIVA PARA A EMISSÃO DA NOTA TÉCNICA

A justificativa para a realização deste projeto se baseia na necessidade de elaborar um monitoramento contínuo das condições de precipitação observadas sobre as bacias, pois somente com um diagnóstico adequado e uma metodologia ajustada do ponto de vista das relações espaço-temporal entre fenômenos meteorológicos e as análises pretendidas é possível fornecer informações mais precisas e previsões confiáveis. A pesquisa é particularmente importante porque possui um caráter regional, faz uma análise espacial e não pontual, usa conjunto de dados ajustados a realidade regional diferente de produtos “globais”. Os produtos de estimativa de precipitação e de previsão são avaliados constantemente para o Brasil, oriundos de parcerias de instituições federais e estaduais com profundo conhecimento de nossas realidades, fornece um conjunto de previsões que permitem acompanhar seu desempenho no passado recente gerando confiabilidade nos produtos apresentados aos tomadores de decisão para que suas ações possam ser mais assertivas.

A região amazônica, em especial o Estado do Amazonas, enfrenta grandes desafios no monitoramento climático devido à baixa densidade de estações meteorológicas. As dimensões continentais do estado, as dificuldades logísticas e operacionais para a instalação e manutenção de estações em áreas remotas resultam em uma cobertura meteorológica insuficiente. Esse cenário limita a capacidade de obter dados precisos e em tempo real, os quais são essenciais para a gestão ambiental, previsão do tempo, planejamento agrícola, gerenciamento dos recursos hídricos e para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes.

Os produtos oriundos de observação por satélites, surgem como uma solução eficaz para superar essas limitações. A técnica MERGE integra dados tanto observacionais (estações meteorológicas de superfície) quanto estimativas de satélites, gerando produtos de alta resolução espacial e temporal. Esse processo resulta em um conjunto de dados mais representativo e robusto, que preenche lacunas deixadas pela escassez de estações *in situ*.

4. METODOLOGIA

O projeto foi conduzido utilizando a seguinte abordagem metodológica:

- Etapas da Pesquisa:
- Etapa 1: Delimitação de Bacias Hidrográficas (BH) em ambiente QGIS (*open source*)
- Etapa 2: Formação de base de dados, geração de climatologia, aplicação de técnicas estatísticas para identificação de limiares e caracterização de anomalias, geração de mapas e gráficos de comportamento de totais precipitados por BH de interesse, comportamento evolutivo em relação a climatologia em amostras semanais, comportamento climático em períodos futuros, identificação das anomalias de precipitação observadas por BH em amostras semanais e projeção com base em modelos subsazonais do comportamento futuro das anomalias, bem como análise do desempenho através de gráficos de fácil leitura em ferramentas *open source* para análise estatística, geração de mapas e gráficos.
- Etapa 3: Editoração de relatórios eletrônicos, armazenamento e divulgação em repositório público, emissão de e-mail com resumo e endereço para download de documento. Divulgação em mídias sociais como forma de popularizar a informação, tornando-a mais acessível a população de interesse.
- Ferramentas e Tecnologias:
 - Computadores em ambiente Linux para processamento paralelo, coleta de dados, análise estatística customizada, geração automatizada de tabelas, gráficos e mapas, extração e organização de resultados, geração de documentos automatizados, revisão e editoração;
 - Servidores computacionais para repositório e divulgação de documentos finais;
 - Celulares para organização de mídias sociais;
 - Ferramentas eletrônicas *open source* para: análise espacial (QGIS), operadores climáticos por script (CDO) Climatic Data Operator, geração de mapas por script (GrADS) Grid Analysis and Display System, geração de gráficos GNUPLOT, Shell Scrip, compilador C++.

- Cronograma:

Publicação imediata:

(*) Caso seja interesse do Estado do Amazonas uma publicação sucinta abrangendo apenas as bacias hidrográficas que desaguam no Estado, uma versão poderá estar operacional em 15 dias:

(*) Caso precise adequação por calhas conforme uso operacional da Defesa Civil (30 dias).

5. RESULTADOS ESPERADOS

- Desenvolvimento Tecnológico: Fornecer aos tomadores de decisão uma análise objetiva do comportamento passado, presente e futuro das chuvas sobre bacias hidrográficas e suas implicações sobre o comportamento dos cursos d'água de interesse, conforme produtos descritos a seguir:

5.1. Análise da situação atual

- Mapa de anomalias de precipitação para a bacia hidrográfica;
- Mapa com espacialização dos índices de anomalias de precipitação categorizada com base na técnica de quantis;
- Mapa com espacialização da precipitação observada no período de análise; e
- Mapa com espacialização da climatologia referente ao período de análise.

Com essa apresentação gráfica é possível identificar visualmente quais bacias apresentam maiores anomalias em relação a climatologia, onde a chuva se concentrou no período de análise e qual seria o comportamento médio esperado no momento.

Juntamente com os mapas, apresenta-se uma tabela para facilitar a identificação imediata de quais bacias se encontram em condição de anomalia positiva, negativa ou normalidade, bem como um resumo descritivo do contexto geral que busca identificar as causas e inclui a projeção do comportamento nas próximas semanas.

5.2. Análise individual por bacia hidrográfica

- Análise textual individual por bacia apresenta de forma qualitativa e quantitativa as condições médias predominantes em cada uma das bacias analisadas. Projeção pelo uso do multimodelo das condições num horizonte de tempo de 7 a 14 dias;
- Gráficos contendo o comportamento médio observado nas últimas 5 semanas em termos de precipitação média acumulada na bacia, análise do comportamento médio das anomalias, a projeção para 7 e 14 dias deste comportamento e o acompanhamento do índice de acerto do multimodelo subsazonal para a região;

5.3. Previsão Sazonal Multimodelo

- Multimodelo de previsão subsazonal para área de interesse do boletim, com imagens e textos identificando nominalmente as bacias que poderão apresentar déficit ou excesso de precipitação nos períodos de previsão. Atualmente, são apresentadas as saídas para 7 e 14 dias mas estão disponíveis as previsões para 30 e 44 dias. Adicionalmente é incluída uma tabela lateral para identificação nominal das bacias e padronização de cores para projeção de áreas de anomalias positivas e negativas;

5.4. Climatologia

- Valores de referência para a precipitação no período de análise contém a climatologia e limiares da estratificação de percentis para identificação e categorização das anomalias do período corrente;
- Tabela de comportamento da precipitação observada e categorização das anomalias individuais por bacias, a qual permite o acompanhamento dos valores e evolução das anomalias nas últimas 5 semanas e, dessa forma, facilita a identificação de bacias que apresentem quadro de evolução para enfrentamento de situações mais graves nas próximas semanas ou melhorias no quadro atual.

5.5. Gráficos Auxiliares

- Gráficos auxiliares: evolução do comportamento de anomalias de precipitação acumuladas em períodos de 7 e 30 dias para identificar alterações que ocorreram nas últimas 5 semanas em cada uma das bacias para auxiliar na análise de resultados discutidos nos textos anteriores.

6. PARECER CONCLUSIVO

Este projeto de pesquisa em tecnologia, ao abordar o comportamento das chuvas sobre bacias hidrográficas nas escalas espaço-temporais adequadas tem potencial para fornecer uma perspectiva realista do comportamento da variável mais importante na determinação dos regimes dos rios mais importante do estado. A execução bem-sucedida deste projeto contribuirá significativamente para monitoramento e análise das condições hídricas atuais e futuras contribuindo para o estabelecimento de políticas públicas adequadas. Fornecendo previsões confiáveis, com a possibilidade de antecipar ações de mitigação de impactos de eventos extremos ligados ao tema cheias e vazantes de grandes rios amazônicos.

A incorporação desses produtos já vem ocorrendo por vários órgãos, como a Defesa Civil do Estado do Amazonas e Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) em âmbito estadual, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) em âmbito regional e Monitor de Secas da Agência Nacional de Águas (ANA) em âmbito federal para auxílio de suas análises e tomadas de decisão.

Manaus/AM, 19 de setembro de 2024

Renato Cruz Senna

Pesquisador Titular III

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia

Laboratório AMANÃ