SATÉLITE NOTURNO NO MONITORAMENTO DE DESASTRES: ANÁLISE DOS DADOS *BLACK MARBLE* NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE DURANTE A INUNDAÇÃO DE 2024

Guilherme Gandra Franco [1], Guilherme Garcia de Oliveira [2]

[1]Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Setor 5, Prédio 44202, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, e-mail: guigandra@yahoo.com.br; [2] CEPSRM/UFRGS e-mail: g.g.oliveira10@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho investiga os impactos das inundações de maio de 2024 na Região Metropolitana de Porto Alegre, a partir dos produtos de sensoriamento remoto noturno do *Black Marble* e dados censitários de 2022. As inundações causadas por chuvas extremas afetaram milhões de pessoas, resultaram em 183 mortes e grandes danos à infraestrutura. Foram utilizados dados de luminosidade noturna para identificar áreas sem eletricidade durante o evento. A metodologia incluiu análises de emissão de energia, conversão de arquivos, processamento em Python e álgebra de mapas, a fim de estimar a população e área afetada no evento. O estudo conclui que, apesar das limitações de resolução, o *Black Marble* é uma ferramenta valiosa para o monitoramento quase em tempo real de desastres.

Palavras-chave **—** Luminosidade Noturna, Infraestrutura Energética, Desastres Urbanos.

ABSTRACT

This study investigates the impacts of the May 2024 floods in the Metropolitan Region of Porto Alegre, using Black Marble nighttime remote sensing products and 2022 census data. The floods caused by extreme rainfall affected millions, resulted in 183 deaths, and led to significant infrastructure damage. Nighttime luminosity data identified areas without electricity during the extreme event. The methodology included analysis of energy emissions, file conversion, Python processing, and map algebra to estimate the population and area affected by power loss. The study concludes that, despite resolution limitations, Black Marble is a valuable tool for near real-time disaster monitoring.

Key words — *Nighttime Light, Energy, Flooding, Urban Disasters.*

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos catastróficos, como secas, inundações, furacões e terremotos, têm se tornado cada vez mais frequentes e severos ao redor do mundo, causando danos humanos e materiais, além de prejuízos significativos à infraestrutura e às economias de diversos países [1]. Embora esforços contínuos sejam feitos para a recuperação, muitas comunidades ainda não conseguem retornar à normalidade. O custo dessas catástrofes tem aumentado globalmente, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, e a necessidade de investimentos e ações para mitigar seus impactos é cada vez mais urgente [2].

No intuito de melhorar a gama de produtos de monitoramento por sensores remotos, a NASA em parceria com a NOAA, desenvolveu a suíte de dados chamada *Black Marble*. Baseada em informações do sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day Night Band* (VIIRS DNB), a bordo do *Suomi National Polar-orbiting Platform* (SNPP), o *Black Marble* permite monitorar as emissões de luzes artificiais na superfície terrestre. O VIIRS DNB se caracteriza pela elevada sensibilidade em condições de pouca luz e pela resolução radiométrica de 16 bits. Orbita diariamente a Terra em 102 minutos, com resolução espacial de 15 segundos de arco (aproximadamente 500 m), nas faixas do espectro de 505 a 890 nm, capaz de registrar dados emitidos pelas principais fontes luminosas urbanas, como lâmpadas de haleto metálico, sódio, LED até as de vapor de sódio (HPS) [3;4].

Em órbita desde 2012, no entanto com melhorias contínuas nos algoritmos de processamento, o *Black Marble* possibilita uma série de aplicações em desastres como o furacão Michael, na Flórida, no ano de 2018 [5], onde os autores quantificam os danos com o cruzamento de dados demográficos e os padrões de iluminação pós desastre; nos terremotos, furações e tornados em diferentes regiões na América Central e do Norte [6], onde se mediu a acurácia dos dados e destacou algumas limitações, principalmente relacionadas ao *Ground Sample Distance* (GSD). No Brasil, estudos socioeconômicos têm trabalhado com a temática do monitoramento noturno [7], além disso, estas imagens estão sendo utilizadas para detecção de atividades humanas, como garimpo e ocupações irregulares na Amazônia Legal [8].

No âmbito dos desastres, esta tecnologia é pouco explorada no país, com isso, o objetivo da pesquisa visa testar uma metodologia de dimensionamento do *blackout*, a partir da diferença de emissão de luminosidade na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). A pesquisa se concentra nos eventos de inundação ocorridos em maio de 2024, quando o estado enfrentou episódios extremos de precipitação, com destaque para a Região Hidrográfica do Guaíba. As fortes chuvas afetaram mais de 2,3 milhões de pessoas, resultou em 183 mortes e 27 desaparecidos. Durante esse período, os volumes de precipitação chegaram a 667 mm em abril e 803 mm em maio, em intervalos curtos, o que causou registros inéditos na região [9].

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para estimativa regional dos danos, foi criada uma mancha de inundação por meio da integração de imagens ópticas (Planet, BlackSky, Skysat e WorldView-2) com modelos digitais de terreno e elevação (MDT-RF1, SPGG-RS, CGEO e FABDEM), além de pontos coletados em campo, e interpolações por krigagem ordinária, que resultou em estimativas de profundidade da água e limites da inundação [10]. Apesar da mancha ter abrangido 176 municípios, com aproximadamente 7.100 km² – que corresponde a 2,5% do território gaúcho – a RMPA foi selecionada para este estudo, por conter grande parte da população do estado.

A etapa seguinte do processo foi o download de uma série histórica dos dados VNP46A2 do *Black Marble*, a partir de da poligonal de interesse. Esta fase ocorreu no portal *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System Distributed Active Archive Center* (LAADS DAAC). Apesar de existir uma interface entre NASA e usuário, foi necessário estudar publicações do *Applied Remote Sensing Training Program* (ARSET) de como operar o sistema, consultar as bases e efetuar o download. Além disso os *scripts* em Python disponibilizados pela Agência tiveram que ser customizados para realização dos procedimentos.

A unidade de medida representada na matriz é dada em $nWatts{\cdot}cm^{-2}{\cdot}sr^{-1}$ que representa a intensidade da luz ou radiação eletromagnética que chega ao sensor de uma certa área e ângulo sólido. A Agência converte a radiância em níveis digitais de 0 a 65.535.

A data inicial da investigação foi dia 1º de maio de 2024 e a final 31 de maio de 2024. As cenas selecionadas foram H12V12 e H12V11. O formato de arquivos fornecido pela Agência é o H5, com sete subcamadas. A partir de um *script* em Python [11] ocorreu o empilhamento de toda série histórica obtida no portal e os índices de nano $nWatts{\cdot}cm^{-2}{\cdot}sr^{-1}$ da camada VNP46A2-GapFilled foram gerados para a RMPA.

O Gráfico de DNB gerado pelo *script* serviu como baliza para verificar os dias críticos de luminosidade na RMPA, para que em seguida as cenas do dia 1º de maio, compreendido nas faixas de estabilidade de luminosidade e 9 de maio, com os mínimos registros pudessem ser convertidos de H5 para Geotiff.

No software ArcGIS PRO, foi realizada a diferença entre as duas matrizes convertidas, (“*1_maio”* - *“09_maio”* = *“raster_dif”*), para que em seguida as áreas com variação de luminosidade pudessem ser transformadas em polígonos para o dimensionamento e sobreposição com demais dados.

Uma vez que o propósito do estudo também foi estimar a população diretamente afetada, ocorreu uma interpolação com as áreas afetadas e o dados censitários da coluna “V0001” da tabela “Características dos Domicílios” do Censo 2022, que quantifica o número de moradores por setor. Foi aplicado a função *Zonal Statistics* e cada setor censitário recebeu dados de estatística descritiva da diferença de luminosidade.

3. RESULTADOS

A Figura 1 demonstra o resultado do “empilhamento” de dados temporais do *Black Marble*, onde a linha azul representa os cálculos em matrizes de pixel de 500m e a laranja de 1500m aproximadamente. Nela, é possível identificar que o declínio da luminosidade na RMPA começou no dia 05/05, com oscilações decrescentes entre os dias 09 e 12/05. Após o dia 13/05, a luminosidade manteve um padrão estável até o dia 15/05. Importante ressaltar que o comportamento está compatível com os dados de pico da cheia da estação Cais Mauá C6 / Usina Gasômetro [12], inclusive o repique da inundação que ocorreu no dia 14/05/2024.

Os picos de luminosidade observados nos dias 07 e 20/05 foram excluídos da análise, pois não foi possível determinar suas causas.

Apesar das diferenças de resolução das duas matrizes utilizadas, constatou-se que o comportamento cronológico foi similar, com a equalização das condições de luminosidade ocorrendo somente a partir do dia 21/05, com a retomada dos níveis observados no início do mês.

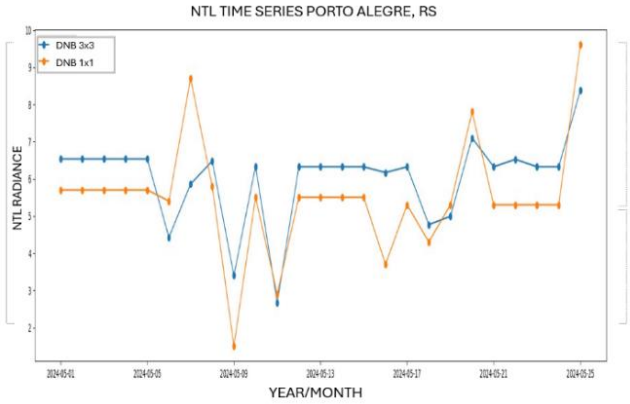


Figura 1. ***Day/Night Band*** **(DNB) da RMPA (maio de 2024).**

A área “iluminada” no dia 1º de maio totalizou 1.704 km², ao passo que, no dia 9 de maio, foram 1.133 km², ou seja, 507 km² com *blackout* no dia, o que corresponde a 1/3 do tecido urbano metropolitano impactado. Os municípios com maiores registros foram Santo Antônio da Patrulha (32,3 km² para 1,62 km²), Eldorado do Sul (51 km² para 10 km²), Nova Santa Rita (52 km² para 11 km²) e Canoas (111, 05 km² para 58,3 km²), respectivamente. Destes, apenas Santo Antônio da Patrulha estava fora da mancha de inundação. A capital Porto Alegre continha aproximadamente 345,4 km² de área “iluminada” no dia 1° de maio e passou a ter 239,5 km² no pico da cheia, com a região norte mais impactada do que as demais (Figuras 2 e 3).

No que tange os dados demográficos (Figura 4), dos 8.901 setores censitários analisados na RMPA, 3.137 (35,24%) mostraram uma redução na luminosidade durante a noite de 09/05/2024, correspondendo a aproximadamente 1.646.572 habitantes (40,9%), de um total de 4.025.316. Além disso,

799 setores censitários, que equivalem a 25% das feições com radiância alterada, estavam localizados dentro da mancha de inundação. Isso sugere que as imagens foram capazes de detectar regiões impactadas, mesmo que não estivessem diretamente submersas pela inundação.

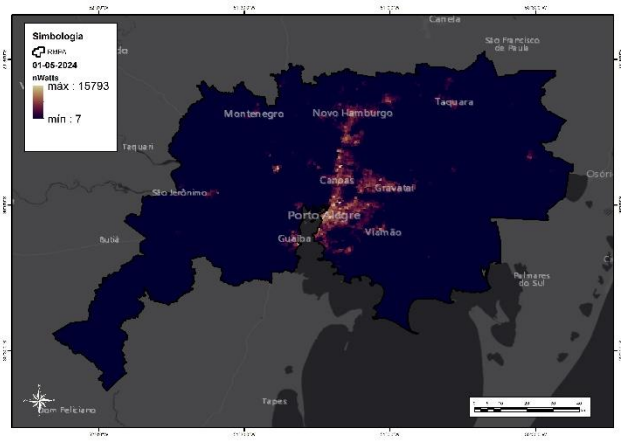


Figura 2. ***Luminosidade registrada pelo Black Marble na RMPA, no dia 01 de maio.***

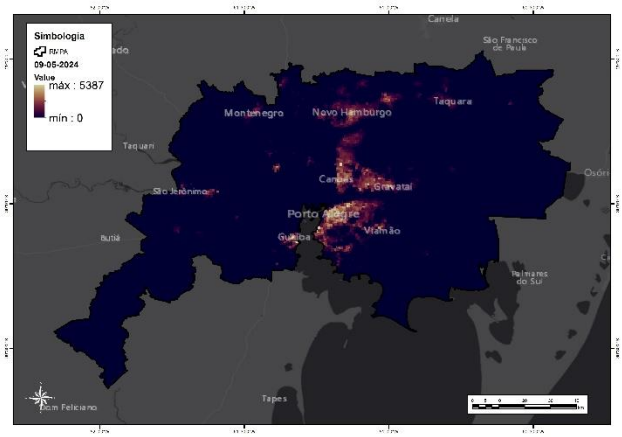


Figura 3. ***Luminosidade registrada pelo Black Marble na RMPA, no dia 09 de maio.***

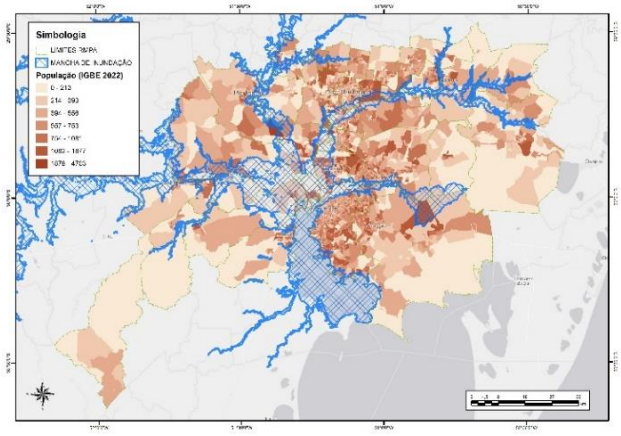


Figura 4. ***Setores censitários e mancha de inundação na RMPA.***

4. DISCUSSÃO

Os resultados da análise revelam importantes informações sobre o impacto do evento na RMPA, com uma clara correlação entre a passagem do fenômeno e a variação da luminosidade noturna. O declínio da luminosidade, observado a partir do dia 05/05, seguido por oscilações decrescentes até o dia 12/05, sugere um impacto direto na infraestrutura elétrica e, possivelmente, em outras formas de iluminação pública e privada.

Os picos de luminosidade nos dias 07 e 20/05, que foram excluídos da análise por falta de justificativa clara, representam uma incógnita que pode estar associada a fenômenos atípicos nas condições atmosféricas, que interferiram na captura da informação - apesar do VNP46A2-GapFilled aplicar técnicas de interpolação e preenchimento de lacunas, que minimizam estas inconsistências. Estes picos sugerem a necessidade de um aprofundamento nas análises de possíveis fatores externos que possam afetar a interpretação de dados do *Black Marble*, principalmente em situações de emergência.

A análise revelou uma limitação importante relacionada à resolução espacial dos dados. O GSD de 500 metros, embora adequado para observações em larga escala, mostrou-se insuficiente para capturar detalhes em setores censitários menores, como áreas urbanas densas. Em situações como esta, onde o detalhamento espacial é fundamental para entender o impacto em nível local, a baixa resolução pode mascarar variações importantes de iluminação. Por exemplo, áreas menores que o tamanho do pixel acabam representadas por um único valor de brilho, o que reduz a precisão da análise e pode levar a interpretações equivocadas sobre a real extensão do impacto.

Apesar dessa limitação, a capacidade do *Black Marble* de detectar variações de luminosidade em setores censitários durante o período de análise foi notável. Os números revelam um impacto significativo no fornecimento de energia elétrica ou nas condições de iluminação pública para milhões de habitantes, confirmando o potencial dos dados de satélite para mapear áreas afetadas por desastres naturais em tempo quase real.

A baixa resolução do sensor levanta questões importantes sobre a acurácia em ambientes urbanos densos, porém demandaria de dados das companhias energéticas para possíveis calibrações e confrontação de dados, em sua grande maioria indisponíveis para consultas.

A figura 5 representa a diferença de luminosidade entre os dias 1º e 9 de maio, com destaque para Santo Antônio da Patrulha, município mais impactado em proporção de área durante o *blackout.* A ausência da mancha de inundação em seu tecido urbano destaca a dimensão do desastre analisado. Em números absolutos, Porto Alegre, por concentrar a maior parte da população, registrou aproximadamente 109.849 habitantes com variação nos níveis de reflectância de luminosidade, conforme o cruzamento com os setores censitários.

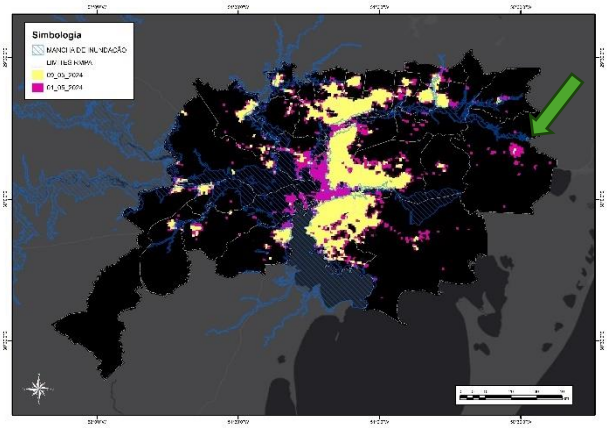


Figura 5 ***Sobreposição das poligonais de luminosidade dos dias 1º (magenta) e 9 de maio (amarelo) de 2024 na RMPA.***

5. CONCLUSÕES

O *Black Marble* provou ser uma ferramenta de respostas no dimensionamento de desastres na infraestrutura energética local e apresentou bons resultados no contexto dos desastres de maio de 2024 na RMPA. O acompanhamento das séries diárias permitiu o monitoramento do reestabelecimento da rede, já que os produtos são publicados em poucas horas no LAADS DAAC. A resiliência energética da RMPA pode ser monitorada com clareza ao longo do mês avaliado.

Para estudos mais detalhados e aplicações locais, é fundamental complementar os dados *Black Marble* com registros das concessionárias de energia, o que possibilitaria calibrações mais precisas do mapeamento. Mesmo com limitações, a solução mostrou-se um recurso valioso, especialmente em contextos de emergência, nos quais o monitoramento diário permite observar o progresso da recuperação e fornece informações úteis para ações rápidas de mitigação e suporte. O recurso permite que autoridades e órgãos fiscalizadores compreendam melhor a dimensão dos eventos e cobrem com maior celeridade o reestabelecimento das funções normais da estrutura energética.

A estimativa de número de residentes impactados, a partir dos setores censitários, pode ser uma baliza para que os dados de clientes afetados, divulgados pelas companhias de energia, sejam confrontados. De posse de uma base sólida, a sociedade e os órgãos fiscalizadores podem assegurar maior transparência, de modo que eventuais inconsistências possam ser identificadas e corrigidas, fortalecendo a confiança pública e promovendo uma resposta mais eficaz.

Este estudo reforça a importância de contínuo aprimoramento de dados noturnos em vista do seu potencial de realizar o monitoramento de desastres e suas consequências para a sociedade, apesar do GSD não fornecer um detalhamento, o *Black Marble* é uma tecnologia sem custos quase em tempo real. Essa prontidão informacional consolida-o como um recurso inovador e indispensável para análise e mitigação de desastres em escala global.

8. REFERÊNCIAS

[1] United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Human cost of disasters: an overview of the last 20 years 2000-2019. https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019, 2020.

[2] M. Y. Mohammadi, E. Abbasi, H. Farhadian, A. Asgary. Mitigating the flood disaster effects through the implementation of knowledge management: A systematic literature review, *Environmental and Sustainability Indicators*, Volume 23, 2024.

[3] M. O. Román, Z. *et al.* NASA's Black Marble nighttime lights product suite, *Remote Sensing of Environment*, Volume 210,113-143, 2018.

[4] E. Stokes, R. Shrestha. Introduction to NASA's "Black Marble" Night Lights Data. *NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)*, 2020.

[5] D. Mitsova, *et al*. Using nighttime light data to explore the extent of power outages in the Florida Panhandle after 2018 hurricane Michael, *Remote Sensing*, 16(14), p. 2588, 2024.

[6] D. Zhang, *et al.* Black marble nighttime light data for Disaster Damage Assessment. *Remote Sensing*, 15(17), p. 4257, 2023.

[7] F. Agostinho, *et al.* Assessing cities growth-degrowth pulsing by emergy and fractals: A methodological proposal. *Cities*, Volume 113, 2021.

[8] G. Bragion, A. Dal'Asta,.S. Amaral. Bringing to light the potential of angular nighttime composites for monitoring human activities in the Brazilian Legal Amazon, *Remote Sensing*, 15(14), 2023.

[9] M. S Reboita *et al*. A multi-scale analysis of the extreme precipitation in southern Brazil in April/May 2024', Atmosphere, 15(9), p. 1123, 2024.

[10] G. G. Oliveira. Mapa de áreas atingidas por inundações e enxurradas em maio de 2024 na Região Hidrográfica do Guaíba, RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), 2024.

[11] G. S. Vicente, R. Marty. BlackMarblePy: Georeferenced Rasters and Statistics of Nighttime Lights from NASA Black Marble, 2023.

[12] F. F. N. MARCUZZO. Nota Técnica: Aferição Direta e Avalição Indireta do Nível Máximo de Rios em Estações Fluviométricas e Marcas de Inundação no Rio Grande do Sul na Grande Cheia de Maio de 2024: 6. Versão. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2024