

Business Intelligence Aplicado à Operação Taquari II: um estudo de caso sobre o suporte à tomada de decisão em operações de resgate aéreo

Willian de Lima da Costa¹, Sergio Rebouças¹ e Níssia Carvalho Rosa Bergiante¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo—Este artigo apresenta a aplicação de Business Intelligence ao apoio às operações de busca e salvamento conduzidas durante a Operação Taquari II, resposta da Força Aérea Brasileira à catástrofe hidrológica ocorrida no Rio Grande do Sul em maio de 2024. O estudo descreve a metodologia desenvolvida para consolidar, georreferenciar e priorizar 1.477 solicitações de resgate, recebidas via WhatsApp pelo Centro de Crise da Base Aérea de Santa Maria, com o objetivo de subsidiar o direcionamento de helicópteros empregados na operação. Com base na análise temporal e espacial dos registros, identificou-se a migração do centroide das solicitações ao longo de aproximadamente 100 km, desde a região de montante da bacia hidrográfica até a foz do Guaíba. A evolução da demanda permitiu caracterizar três fases operacionais, definidas pela combinação entre o grau de concentração metropolitana e o raio de dispersão das ocorrências, evidenciando o potencial do Business Intelligence para o suporte à decisão em cenários de resposta a desastres.

Palavras-Chave— Business Intelligence, Gerenciamento de Desastres, Apoio à Decisão.

I. INTRODUÇÃO

Na fase de resposta, desastres de origem natural impõem ao comando e controle das operações de busca e salvamento um problema crítico de decisão sob incerteza, caracterizado pela alocação de recursos escassos em um ambiente de informação fragmentada, demanda dispersa e restrições temporais severas. A enchente que atingiu o Rio Grande do Sul, estado do Sul do Brasil, em 2024 ilustra a magnitude desse desafio: o evento deslocou cerca de 600 mil pessoas e causou mais de 180 mortes [2]. Diante de perdas dessa ordem, a qualidade da resposta depende menos da disponibilidade de meios e mais da capacidade de transformar, rapidamente, um fluxo desordenado de informação em direcionamento operacional, problema já estruturado pela literatura brasileira de alocação de recursos para resposta a desastres [6]–[9]. Nesse contexto, o uso estruturado de dados por meio de *Business Intelligence* deixa de ser acessório e torna-se determinante da eficácia do socorro.

Entre o final de abril e o início de maio de 2024, o Rio Grande do Sul enfrentou um dos mais severos desastres hidrometeorológicos da história recente da América do Sul [1], [2]. A análise de precipitação registrou chuva extrema entre 27 de abril e 4 de maio, com três dias consecutivos (30 de abril a 2 de maio) excedendo o percentil 99,9, como principal motor da inundação [3]. O volume de chuva superou 1.000 mm

em parte da região, afetando os vales dos rios Taquari, Caí, Jacuí, Sinos e Gravataí, todos integrantes da bacia do Guaíba, que deságua no Lago Guaíba e, posteriormente, na Lagoa dos Patos [4]. O evento mobilizou as três Forças Armadas, polícias, defesas civis e dezenas de organizações em uma operação aérea de busca, salvamento e apoio logístico de proporções inéditas [2].

A Operação Taquari II caracterizou-se por um fluxo intenso de solicitações de resgate recebidas predominantemente por aplicativos de mensagens, com qualidade variável de localização e priorização. Este artigo descreve a experiência no gerenciamento do Centro de Crise de Santa Maria/RS, onde foi implementada, de forma *ad-hoc*, uma metodologia de consolidação, georreferenciamento e priorização que evoluiu ao longo dos primeiros dias da operação.

Este estudo tem como objetivos: (i) descrever a metodologia de Business Intelligence empregada, com ênfase nos processos de consolidação e visualização geográfica dos dados; e (ii) caracterizar a evolução temporal e espacial da demanda de resgate a partir do fluxo de informações analisado. O trabalho é apresentado como um estudo descritivo de natureza aplicada, cuja contribuição consiste em evidenciar a operacionalização de fundamentos teóricos de Business Intelligence, alocação de recursos e Informação Geográfica Voluntária em um contexto real de resposta a desastres.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Gerenciamento de desastres e alocação de recursos

O gerenciamento de desastres compreende o conjunto articulado de decisões e ações voltadas a reduzir os impactos de eventos adversos sobre populações e infraestruturas, abrangendo desde a antecipação do risco até o restabelecimento das condições normais de vida. Estrutura-se tradicionalmente em quatro fases (mitigação, preparação, resposta e recuperação), sendo a fase de resposta aquela em que a alocação de recursos sob incerteza é mais crítica [6]. Diferentemente das demais, esta fase desenrola-se em um ambiente instável e de informação incompleta, no qual a extensão dos danos, a quantidade de vítimas e as condições de acesso permanecem incertas até que as informações sejam recebidas e confirmadas [6].

No contexto brasileiro, dois trabalhos de Pesquisa Operacional são particularmente aderentes ao problema aqui tratado. O primeiro, de estruturação de problemas, é representado por Manso, Suterio e Belderrain [9], que aplicaram o método *Strategic Options Development and Analysis* (SODA) ao gerenciamento de desastres do estado de São Paulo, evidenciando

Willian de Lima da Costa, willianwlc@fab.mil.br; Sergio Rebouças, reb@ita.br; Níssia Carvalho Rosa Bergiante, nissia@ita.br. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

lacunas estruturais que extrapolam a otimização puramente quantitativa. O segundo, de alocação e roteirização de recursos aéreos, foi originalmente estruturado por Rebouças [6], que aplicou o *Value-Focused Thinking* (VFT) e o Problema de Roteirização de Veículos com Frota Heterogênea e custos Dependentes (PRFHD) ao desastre do Vale do Itajaí (2008), estabelecendo os valores e objetivos fundamentais que orientam a decisão de resgate, e foi posteriormente desenvolvida em [7], [8]. Esses trabalhos são tomados como referência por tratarem, no contexto nacional, exatamente do tipo de decisão enfrentado na operação aqui analisada: a alocação de meios aéreos de resgate sob incerteza na fase de resposta.

Cabe destacar que o próprio Rebouças identificou, já em 2016, que o gerenciamento das operações de resgate é frequentemente conduzido por uma pessoa ou grupo diante da inexistência de estruturas e ferramentas de apoio à decisão [6]. Esses trabalhos fornecem os fundamentos conceituais de priorização e roteirização de recursos de resgate na fase de resposta a desastres.

B. Informação Geográfica Voluntária em desastres

A Informação Geográfica Voluntária (*Volunteered Geographic Information*, VGI) é o conteúdo geográfico produzido voluntariamente por cidadãos comuns, que atuam como sensores ao registrar o que observam no território [10]. Não vem de agências oficiais: surge de forma distribuída e em tempo quase real, quando pessoas relatam por aplicativos de mensagens, redes sociais ou plataformas de mapeamento colaborativo posições, ocorrências e descrições de situação, depois agregadas em um retrato espacial coletivo. Quando os canais formais falham ou são destruídos pelo próprio evento, essa coleta barata e em larga escala torna-se um recurso central na resposta a crises.

A literatura recente sistematiza esse uso. Uma revisão crítica de 250 estudos publicados entre 2010 e 2023 [11] organiza as estratégias de coleta, processamento e análise de dados de mídias sociais em desastres, enquanto uma revisão de escopo dedicada ao tema mostra que dados espaciais e VGI são determinantes para a resposta imediata [12]. Há casos análogos de coordenação *ad-hoc*: nas enchentes de Kerala (2018), voluntários consolidaram pedidos de socorro em planilhas eletrônicas e aplicativos de mensagens (WhatsApp) antes de repassá-los às equipes de resgate [13], padrão semelhante ao adotado na Operação Taquari II.

O aproveitamento dessa informação, porém, não é trivial. Qualidade desigual, coordenadas sem padrão e a necessidade de verificação em tempo real são desafios reconhecidos da VGI em desastres [11], [12]. Converter um fluxo desordenado de mensagens em uma representação geográfica coerente e acionável é, portanto, uma etapa de processamento que antecede qualquer uso operacional.

C. Business Intelligence e apoio à decisão

Business Intelligence (BI) designa o conjunto de tecnologias e processos que transformam dados brutos em informação acionável, permitindo decidir de forma mais rápida e fundamentada [5]. Mais do que uma ferramenta isolada, o BI é um ciclo: dados de origens diversas são reunidos, tratados e devolvidos ao decisor já em formato que orienta a ação. Sua arquitetura clássica encadeia cinco estágios (Fig. 1), que

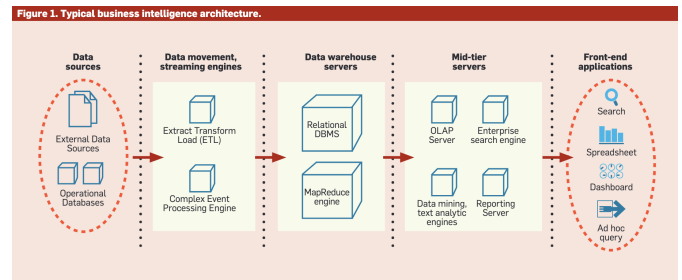


Fig. 1. Arquitetura típica de *Business Intelligence*, do encadeamento das fontes de dados às aplicações de visualização [5].

se resumem a quatro funções: coletar, integrar, analisar e visualizar.

Embora nascida no ambiente corporativo, essa lógica é diretamente transponível para a resposta a crises. Em um desastre, a decisão também depende de reunir dados dispersos, consolidá-los em uma base única e devolvê-los como informação visual que oriente a ação sob pressão de tempo. A diferença é o contexto: no lugar de relatórios de vendas, coordenadas de vítimas; no lugar do planejamento de médio prazo, minutos. É essa aderência entre o ciclo de BI e a decisão em emergências que justifica seu emprego como referência conceitual para a metodologia descrita a seguir.

III. METODOLOGIA

A. Fluxo de trabalho

A coordenação de BI foi conduzida no Centro de Crise de Santa Maria/RS e organizou-se em quatro etapas encadeadas, executadas de forma contínua, que reproduzem de forma artesanal o ciclo de *Business Intelligence* apresentado na Fundamentação Teórica (Fig. 2).

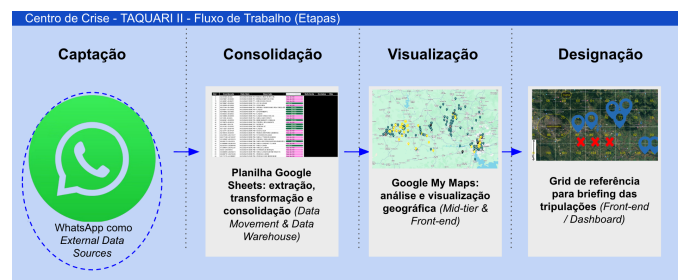


Fig. 2. Fluxo de trabalho do Centro de Crise em quatro etapas encadeadas (captação, consolidação, visualização e designação), reproduzindo de forma artesanal o ciclo de *Business Intelligence* [5].

Na *captação*, as solicitações chegavam por WhatsApp a partir de fontes diversas (familiares das vítimas, voluntários, militares e agentes de defesa civil), em texto livre; quando não acompanhavam a localização compartilhada pelo próprio aplicativo, o endereço era recuperado a partir de pontos de referência citados na mensagem. Na *consolidação*, cada registro era transcrito para uma planilha eletrônica única, com coordenadas, data e hora, descrição da situação e estado de atendimento. Na *visualização*, a planilha alimentava uma ferramenta de cartografia *web* (Google My Maps), na qual os pontos eram georreferenciados e categorizados por cor, compondo o mapa de situação (Fig. 3). Na *designação*, o mapa consolidado servia de base para o *briefing* das tripulações de

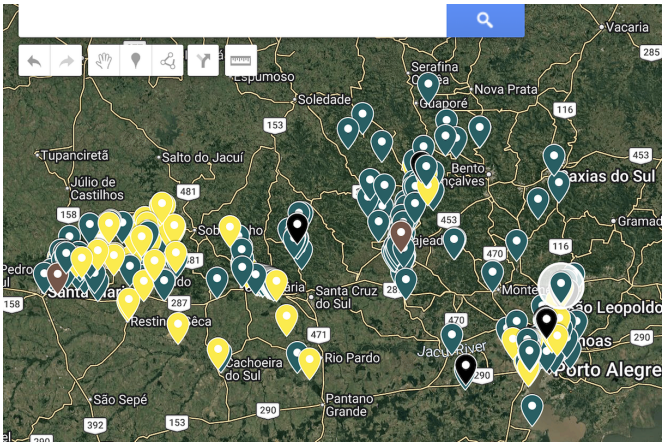


Fig. 3. Mapa de situação em cartografia web (Google My Maps), com os pontos categorizados por faixa de tempo decorrido desde o pedido.

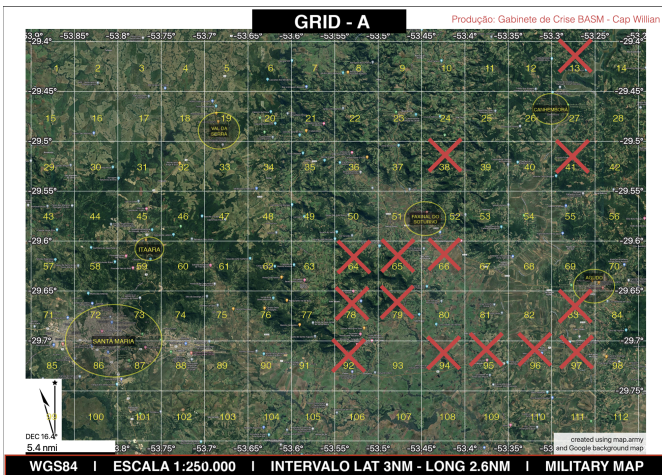


Fig. 4. Malha de referência (*grid*) empregada na designação e no *debriefing* das tripulações, com as quadrículas percorridas marcadas no retorno (cruzes). Elaborada em *map.army* sobre imagem de satélite.

helicópteros Black Hawk, orientando a priorização e o agrupamento de missões por proximidade. A natureza distribuída da captação evidencia o caráter de Informação Geográfica Voluntária do conjunto: foram identificados 235 solicitantes distintos, combinando agentes institucionais e cidadãos.

O controle de estado evoluiu durante a operação. Na fase inicial, de busca em massa, o volume de chamados e a escassez de informação de retorno tornaram inviável rastrear o desfecho individual de cada solicitação; a prioridade não era confirmar quem havia sido atendido, mas saturar o maior número de áreas sem repetir esforço. Dessa necessidade surgiu um segundo nível de controle, baseado em uma malha de referência (*grid*) sobreposta às regiões de maior concentração de pedidos (Fig. 4). Ao retornar, cada tripulação marcava as quadrículas percorridas e sinalizava, no *debriefing*, se ainda havia demanda na área. O cruzamento entre as quadrículas e a posição dos pontos permitia inferir, por cobertura de área, quais solicitações já haviam sido alcançadas, sem depender da confirmação individual de cada chamado.

A escolha das ferramentas seguiu um princípio de simplicidade deliberada. Como solicitantes e tripulações compunham um público de formação técnica heterogênea, optou-se pelas aplicações de maior difusão e menor barreira de uso: mensagem instantânea (WhatsApp), planilha em nuvem

(Google Sheets) e cartografia web (Google My Maps, com a malha de referência elaborada em *map.army*). A premissa era objetiva: sob pressão e com público heterogêneo, ferramentas de baixa barreira de adoção sustentam melhor o desempenho do que sistemas sofisticados de curva de aprendizado longa. Os produtos cartográficos foram disponibilizados em *grids* de referência tanto em PDF quanto em imagem, garantindo a visualização mesmo em aparelhos que não abriam PDF, e reunidos em um portal agregador de acesso único (*link-in-bio*).

O mapeamento de crises dispõe de plataformas consolidadas, como Ushahidi, o Humanitarian OpenStreetMap Team e, no Brasil, o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), mas todas pressupõem implantação e credenciamento prévios. Sua ausência no momento da resposta forçou a reconstrução artesanal do processo em ferramentas de uso corrente, evidenciando a falta de um sistema pronto para emprego imediato em busca e salvamento.

B. Delimitação da amostra

Os 1.477 registros analisados correspondem ao fluxo recebido pelo canal de WhatsApp de um dos coordenadores do Centro de Crise, constituindo uma amostra parcial da demanda total, distribuída também entre o Corpo de Bombeiros, a Defesa Civil e demais órgãos. A análise não pretende quantificar a demanda absoluta da operação, mas caracterizar o padrão temporal-espacial observável a partir deste fluxo. A estruturação sistemática do registro consolidou-se a partir de 3 de maio, embora as operações de resgate já ocorressem desde 30 de abril e 1º de maio; a “data zero” do conjunto corresponde, portanto, ao momento de maturação da metodologia, e não ao início da operação.

Por fim, o desfecho individual das solicitações não foi registrado de forma sistemática durante o pico, dado o volume de chamados; a confirmação apoiou-se na cobertura do *grid* em tempo real e em verificação telefônica posterior, de alcance parcial, o que limita análises de desfecho caso a caso. A caracterização temporal-espacial, contudo, apoia-se em coordenadas e horários, não afetados por essa limitação.

C. Análise temporal e espacial

A caracterização da evolução temporal-espacial da demanda, correspondente ao segundo objetivo, constitui uma análise exploratória posterior, conduzida sobre a base consolidada ao fim da operação, e não um instrumento empregado em tempo real pela coordenação. Em campo, a noção situacional provinha da leitura direta do mapa e do *grid*; a quantificação descrita a seguir foi reconstruída a partir dos mesmos dados, com fins analíticos.

A dinâmica espacial foi sintetizada pelo *centroide geográfico*, definido como o centro de massa das solicitações. Para um conjunto de n pontos, cada um com longitude e latitude, o centroide é dado por:

$$\text{lon}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{lon}_i, \quad \text{lat}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{lat}_i. \quad (1)$$

Em vez de um único centroide para todo o período, calculou-se um centroide para cada janela de 6 horas, obtendo-se a *trajetória* do centro de massa ao longo do tempo. A janela

de 6 h equilibra dois efeitos: janelas curtas tornam o centroide instável por conterem poucos pontos; janelas longas borram o deslocamento. As distâncias, entre centroides sucessivos e entre cada centroide e Porto Alegre, foram calculadas pela fórmula de Haversine, que considera a curvatura terrestre.

IV. RESULTADOS: EVOLUÇÃO TEMPORAL-ESPACIAL DA DEMANDA

Do total de 1.477 registros captados, 1.472 (99,7%) apresentaram coordenada geográfica e data válidas, sendo estes os efetivamente considerados na análise; os cinco restantes foram descartados por ausência ou inconsistência desses campos. A partir desse conjunto, extraiu-se a dinâmica temporal e espacial da demanda ao longo do período de 3 a 9 de maio de 2024. A análise é descritiva e exploratória, apoiada em estatística temporal e na trajetória do centroide geográfico da demanda.

A. Dinâmica temporal

A taxa de chegada de solicitações apresentou um perfil de surto bem definido (Fig. 5). Após uma rampa inicial lenta nos dias 3 e 4 de maio, o fluxo atingiu seu pico na tarde de 4 de maio, com 234 solicitações registradas no intervalo das 12h às 15h. Um segundo pulso expressivo ocorreu na manhã de 5 de maio (212 solicitações entre 9h e 12h), associado à ativação do eixo metropolitano. A partir de então, a taxa declinou progressivamente, retornando ao patamar inicial.

Em termos de ordem de grandeza, a sequência de taxas horárias (partindo de cerca de 3 solicitações por hora, saltando para o patamar de 60 a 80 por hora no pico e retornando a aproximadamente 3 por hora na cauda) desenha uma curva clássica de surto: rampa lenta, explosão, platô e declínio. Essa assinatura temporal, integralmente derivada de dado primário, sintetiza o comportamento da demanda sem necessidade de modelagem.

B. Migração espacial

O centroide geográfico da demanda deslocou-se de forma monotônica de montante para jusante, acompanhando a propagação da cheia na bacia (Fig. 6). Calculado em janelas acumuladas, o centroide partiu de aproximadamente 112 km de Porto Alegre (concentrado na região de Santa Maria e no Vale do Taquari) e convergiu progressivamente até menos de 12 km da capital, totalizando um deslocamento da ordem de 100 km em cerca de 36 horas.

A ordem de saturação das regiões, medida pela mediana do horário das solicitações, confirma a cascata hidrográfica: a região de Santa Maria apresentou mediana em 4 de maio às 14h05; o Vale do Taquari e Cruzeiro do Sul, por volta das 15h-16h do mesmo dia; Eldorado do Sul, às 20h45; Canoas, em 5 de maio às 7h38; e Porto Alegre, às 9h13. As três regiões do eixo metropolitano (Eldorado do Sul, Canoas e Porto Alegre) concentraram 78% das solicitações da amostra, coincidindo com os municípios identificados na literatura como de maior grau de perigo e exposição na bacia [1], [2].

A demanda não se distribuiu uniformemente. Das 1.472 solicitações, 948 correspondem a coordenadas distintas (resolução aproximada de 100 m), enquanto as demais reincidentem sobre pontos já registrados. Identificaram-se 123

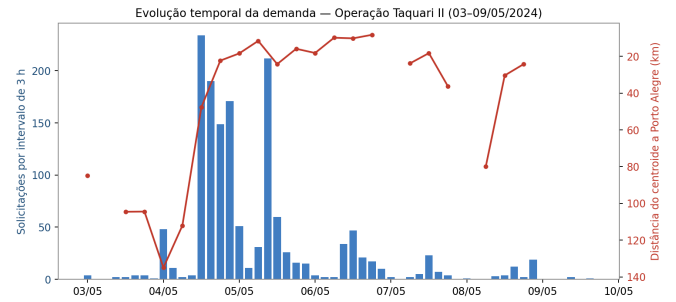


Fig. 5. Evolução temporal da demanda (barras, eixo esquerdo) e distância do centroide geográfico a Porto Alegre (linha, eixo direito invertido). O pico de solicitações coincide com a aproximação do centroide à foz da bacia.

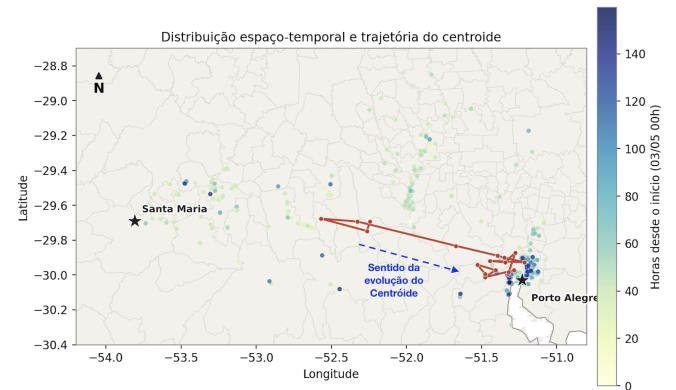


Fig. 6. Distribuição espaço-temporal das solicitações (cor indica horas desde o início) e trajetória do centroide da demanda (linha vermelha), evidenciando a migração de Santa Maria em direção a Porto Alegre. Contorno municipal: malha oficial do IBGE.

hotspots (pontos com três ou mais solicitações), alcançando um máximo de 14 chamados sobre uma mesma coordenada. Essa reincidência geográfica é operacionalmente relevante: *hotspots* indicam concentrações de vítimas (edifícios, condomínios, abrigos) que justificam o agrupamento de missões e o emprego de aeronaves de maior capacidade, reduzindo o número de surtidas necessárias. O mapa de densidade (Fig. 7) torna visível essa concentração: as células de maior intensidade situam-se exclusivamente no eixo Eldorado do Sul-Canoas, enquanto o restante da bacia apresenta densidade marcadamente inferior.

V. DISCUSSÃO

A. Caracterização das fases operacionais

A combinação entre a taxa de chegada, a concentração metropolitana e o raio de dispersão da demanda permite caracterizar empiricamente três fases operacionais (Fig. 8), coerentes com o faseamento percebido em campo pela coordenação do Centro de Crise.

A **Fase 1, busca em massa** (até a noite de 4 de maio), concentra 598 solicitações dispersas sobre um amplo território, com raio médio de dispersão de 66 km e alcance de até 199 km do centroide. Apenas 63% dos pedidos situam-se na Região Metropolitana (RM); o restante distribui-se por Santa Maria, Vale do Taquari e Rio Pardo. É a fase de maior extensão geográfica e menor previsibilidade espacial.

A **Fase 2, atendimento híbrido** (de 4 a 6 de maio), marca a contração espacial: o raio médio de dispersão cai para 20 km

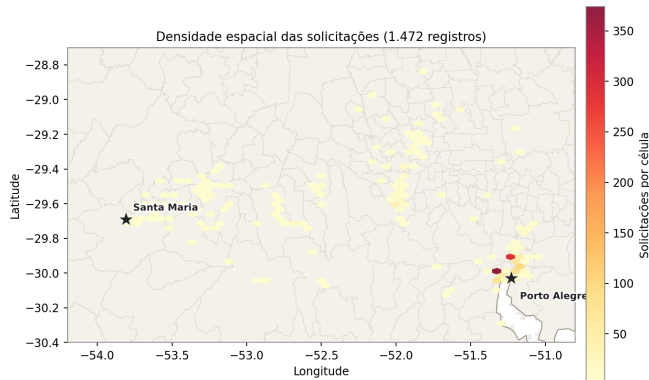


Fig. 7. Densidade espacial das solicitações por célula hexagonal. A concentração extrema no eixo metropolitano (foz da bacia) contrasta com a dispersão difusa a montante, ilustrando os 78% de solicitações na Região Metropolitana.

TABELA I
INDICADORES DAS FASES OPERACIONAIS.

Indicador	Fase 1 busca massa	Fase 2 híbrida	Fase 3 apoio log.
Solicitações	598	650	224
Raio médio (km)	66	20	21
Concentração RM (%)	63	89	93

e a concentração metropolitana sobe para 89%. A demanda deixa de ser difusa e passa a concentrar-se na foz da bacia, exigindo a transição de uma lógica de varredura ampla para uma lógica de atendimento denso e específico.

A **Fase 3, apoio logístico** (a partir de 6 de maio), consolida a concentração em 93% metropolitano, com volume decrescente (224 solicitações) e predominância de demandas de suprimento e remoção sobre resgates emergenciais. A queda da taxa de chegada ao patamar inicial marca o esgotamento da fase aguda.

A transição entre as fases não é arbitrária: ela emerge de duas variáveis mensuráveis movendo-se em sentidos opostos: a concentração metropolitana crescendo e o raio de dispersão diminuindo (Fig. 8). A inflexão entre a noite de 4 e a manhã de 5 de maio delimita a transição do regime de busca em massa para o de atendimento concentrado. Tal delimitação é qualitativa, guiada pela leitura conjunta dessas curvas e pelo faseamento percebido em campo. A Tabela I sintetiza os indicadores de cada fase.

B. Antecipação operacional

A leitura temporal-espacial do mapa consolidado funcionou como indicador situacional. Na tarde de 4 de maio, o centroide da demanda já cruzava a faixa de 22 km de Porto Alegre, em trajetória de aproximação, antes de a Região Metropolitana atingir sua mediana de demanda (5 de maio, 7h-9h). Havia, portanto, uma janela da ordem de 12 a 18 horas entre o sinal de aproximação do centroide e a saturação efetiva do eixo metropolitano. Essa antecipação, derivada exclusivamente da visualização dos dados consolidados, ofereceu base empírica para a decisão de relocação da metodologia para Porto Alegre. Diferentemente dos boletins hidrológicos, que projetam a

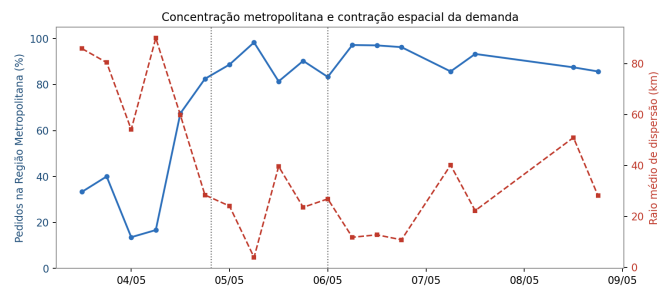


Fig. 8. Concentração metropolitana (linha azul, eixo esquerdo) e raio médio de dispersão (linha vermelha, eixo direito) por janela de 6 h. As linhas pontilhadas indicam as transições de fase. O cruzamento das curvas materializa a mudança de regime operacional.

evolução do nível dos rios, o centroide traduz essa dinâmica física em demanda operacional: indica onde a população efetivamente solicita resgate, informação que depende de exposição, mobilidade e comportamento, e não apenas da cota do rio. Trata-se, assim, de um indicador situacional complementar à previsão hidrológica, que torna visível uma tendência em curso, e não de predição por modelo formal.

C. Insights para a alocação de recursos

A análise sugere implicações práticas que dialogam diretamente com os fundamentos de alocação de recursos da literatura [6]–[8], sem pretender substituí-los ou compará-los formalmente.

Primeiro, a **trajetória do centroide como indicador antecipatório**: em desastres hidrológicos de bacia, o monitoramento do centro de massa da demanda fornece, em tempo real, uma direção de deslocamento do nó crítico, útil ao posicionamento prévio de recursos a jusante.

Segundo, o **faseamento como gatilho de mudança de doutrina**: a transição entre dispersão ampla e concentração densa sugere que a estratégia de emprego das aeronaves deve mudar com a fase: da varredura de área, na Fase 1, ao atendimento de *hotspots* de alta densidade, nas Fases 2 e 3.

Terceiro, os **hotspots como unidades de agrupamento**: a forte reincidência geográfica favorece o agrupamento de solicitações próximas em missões únicas, princípio que está na base da roteirização de frota heterogênea [6].

D. Perfil horário e janelas de operação

O perfil horário agregado das solicitações (Fig. 9) mostra forte predominância diurna: 75% dos pedidos concentram-se entre 8h e 20h, com pico ao meio-dia (163 solicitações). Esse padrão é operacionalmente significativo, pois grande parte da frota de asas rotativas opera com restrições em período noturno e sob condições meteorológicas adversas [6], de modo que a demanda diurna coincide com a janela de maior capacidade de resposta. Observa-se ainda um acúmulo anômalo à meia-noite (80 registros), atribuível à consolidação em lote de solicitações recebidas ao longo do dia anterior, um artefato do processo manual de registro que ilustra o desafio de carimbar temporalmente dados de origem voluntária.

E. Limitações

A principal limitação é a cobertura parcial da amostra, já delimitada na metodologia: os dados refletem o fluxo de um

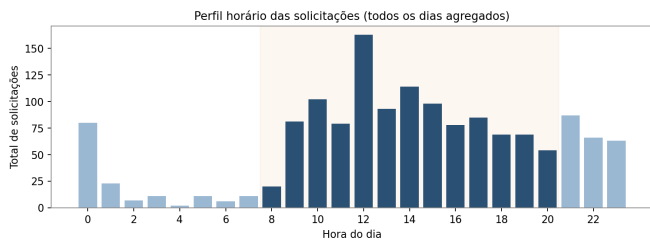


Fig. 9. Perfil horário agregado das solicitações. A faixa sombreada (8h–20h) concentra 75% dos pedidos, coincidindo com a janela de maior capacidade operacional das aeronaves. O acúmulo à meia-noite reflete consolidação em lote.

único canal de coordenação e não a totalidade da operação. Além disso, a estruturação sistemática iniciou-se em 3 de maio, de modo que os primeiros dias da resposta não estão representados. Por fim, o desfecho individual das solicitações não foi registrado de forma sistemática durante o pico, dado o volume de chamados, o que limita análises de desfecho caso a caso. A caracterização temporal-espacial, contudo, apoia-se em coordenadas e horários, não afetados por essa limitação.

VI. DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Em favor da transparência e da reprodutibilidade, o conjunto de dados que fundamenta este trabalho (a base completa com os 1.477 pontos georreferenciados da operação), bem como os produtos cartográficos (*grids* em PDF e imagem) e o mapa de situação, encontra-se publicamente acessível por meio do portal da operação (<https://linktr.ee/taquari2>). O mesmo portal foi utilizado, à época, como ferramenta operacional de apoio às equipes de resgate e de comunicação. Os dados foram previamente tratados em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD): números de telefone, nomes de solicitantes e demais informações pessoais sensíveis foram suprimidos ou restringidos, preservando-se apenas os atributos espaciais e temporais necessários à análise aqui apresentada. Essa disponibilização confere lisura ao processo e permite a verificação independente dos resultados.

VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma abordagem de Business Intelligence desenvolvida em contexto operacional, com base em ferramentas amplamente disponíveis (planilhas eletrônicas e cartografia web) e sem infraestrutura prévia dedicada, aplicada à análise da evolução temporal e espacial da demanda de resgate na Operação Taquari II. A análise de 1.477 solicitações georreferenciadas evidenciou um padrão de surto, com pico de demanda na tarde de 4 de maio, bem como a migração do centroide da demanda ao longo de aproximadamente 100 km, acompanhando a dinâmica de propagação da cheia na bacia do Guafba.

Os resultados ilustram como os fundamentos teóricos de alocação de recursos em desastres [6]–[9] e de Informação Geográfica Voluntária [10]–[12] se materializam na prática operacional, evidenciando o potencial do Business Intelligence como suporte à tomada de decisão em operações de resgate aéreo. Atende-se, ainda, a uma agenda de pesquisa previamente apontada [6], que recomendava a reconstrução

fidedigna de processos reais de resposta a desastres e o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão.

Como trabalhos futuros, propõe-se a implementação de um painel de Business Intelligence para suporte ao comando e controle, bem como a automação do georreferenciamento de solicitações textuais por meio de técnicas de processamento de linguagem natural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos militares da Base Aérea de Santa Maria e, em especial, ao 5º/8º Grupo de Aviação, cujo empenho operacional tornou possível a experiência aqui relatada.

REFERÊNCIAS

- [1] V. G. Donoso, L. Böhrkircher, E. R. dos Santos Junior, and M. Leuchner, “Uncovering the 2024 Rio Grande do Sul floods: land use change, extreme rainfall, and the urgent need for local adaptation in south Brazil,” *Natural Hazards*, vol. 122, art. 66, 2026, doi: 10.1007/s11069-025-07776-1.
- [2] B. Clarke, C. Barnes, R. Rodrigues *et al.*, “Climate change and El Niño behind extreme precipitation leading to major floods in southern Brazil in 2024,” *npj Natural Hazards*, vol. 3, art. 4, 2026, doi: 10.1038/s44304-025-00162-8.
- [3] J. Rathore, S. Kumari, P. Tripathy, S. S. Mahto, and P. Lal, “2024 Brazil floods: Mapping the extent and impacts in Eastern Rio Grande do Sul using geospatial techniques,” *Natural Hazards Research*, 2025, doi: 10.1016/j.nhres.2025.03.011.
- [4] L. M. Bertholdo, R. B. Paredes, G. de Lima Marin, C. A. H. Loureiro, M. K. Kashiwakura, and P. de Botelho Marcos, “Analyzing the effect of an extreme weather event on telecommunications and information technology: insights from 30 days of flooding,” in *Passive and Active Measurement (PAM 2025)*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 15567, Springer, 2025, doi: 10.1007/978-3-031-85960-1_12.
- [5] S. Chaudhuri, U. Dayal, and V. Narasayya, “An overview of business intelligence technology,” *Communications of the ACM*, vol. 54, no. 8, pp. 88–98, Aug. 2011, doi: 10.1145/1978542.1978562.
- [6] S. Rebouças, “Otimização de Rotas de Helicópteros de Resgate em Desastres Naturais,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica (Área de Produção), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2016.
- [7] S. Rebouças, R. A. Scarpel, and M. C. N. Belderrain, “Structuring the resource allocation in response natural disaster phase using the Value-Focused Thinking (VFT),” *Spectrum*, vol. 22, no. 1, pp. 35–41, Sep. 2021.
- [8] S. Rebouças, C. A. Rebouças, R. A. Scarpel, and A. R. Correia, “Disaster Logistics: Route Optimization for Air Rescue Units,” *Spectrum*, vol. 23, no. 1, 2022.
- [9] D. F. Manso, R. Suterio, and M. C. N. Belderrain, “Estruturação do problema de gerenciamento de desastres do estado de São Paulo por intermédio do método Strategic Options Development and Analysis,” *Gestão & Produção*, vol. 22, no. 1, pp. 4–16, Mar. 2015.
- [10] M. F. Goodchild, “Citizens as sensors: the world of volunteered geography,” *GeoJournal*, vol. 69, no. 4, pp. 211–221, 2007.
- [11] L. S. Gopal, R. Prabha, H. Thirugnanam, M. V. Ramesh, and B. D. Malamud, “Review article: Social media for managing disasters triggered by natural hazards: a critical review of data collection strategies and actionable insights,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 26, pp. 215–250, 2026, doi: 10.5194/nhess-26-215-2026.
- [12] K. Tzavella, A. Skopeliti, and A. Fekete, “Volunteered geographic information use in crisis, emergency and disaster management: a scoping review and a web atlas,” *Geo-spatial Information Science*, vol. 26, no. 3, pp. 423–454, 2023, doi: 10.1080/10095020.2022.2139642.
- [13] R. Guntha, S. N. Rao, and A. Shivas, “Lessons learned from deploying crowdsourced technology for disaster relief during Kerala floods,” *Procedia Computer Science*, vol. 171, pp. 2410–2419, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.04.261.