

Atendimento a Vítimas de Acidentes - Estudo de Caso de Melhorias no Transporte Aeromédico

Jeferson G. Costa¹, Nádia P. Kozievitch¹

¹Departamento de Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
CEP 80230-901 – Curitiba – PR – Brasil

jefersonghisi@alunos.utfpr.edu.br, nadiap@utfpr.edu.br

Abstract. *Emergency care for victims of road accidents is a challenging problem for society. Faced with this urgency, air medical transport becomes the safest and most favorable modality for medical rescue. Given this perspective, this work carries out a requirements analysis with professionals, and presents a kNN selection algorithm to find the best ambulance, the most appropriate hospital and the best flight plan to deal with incidents involving serious victims. This work also presents suggestions for the main support bases for aeromedical teams and priority service areas to optimize resource allocation.*

Resumo. *O atendimento de emergência às vítimas de acidentes rodoviários é um problema desafiador para a sociedade. Diante dessa urgência, o transporte aeromédico torna-se a modalidade mais segura e favorável para o resgate médico. Diante dessa perspectiva, este trabalho realiza uma análise de requisitos junto aos profissionais, e apresenta um algoritmo de seleção kNN para encontrar a melhor ambulância, o hospital mais adequado e o melhor plano de voo para atender as ocorrências com vítimas graves. Este trabalho também apresenta a sugestão das principais bases de apoio às equipes aeromédicas e áreas prioritárias de atendimento para otimizar a alocação de recursos.*

1. Introdução

No Brasil, todos os dias nas estradas federais, ocorre uma série de acidentes automobilísticos, vários deles com vítimas. De acordo com um estudo realizado em 2018 pela Confederação Nacional do Transporte¹, os principais dados foram: a) 69.206 acidentes foram registrados em 2018 nas rodovias federais que cortam o Brasil, sendo 53.963 com vítimas (mortos ou feridos); b) No período acumulado de 2007 a 2018, foram 1.721.609 acidentes, sendo 756.732 com vítimas; e c) Ocorreram, em média, 82 acidentes com vítimas a cada 100 km de rodovia em 2018.

O mesmo estudo mostra que as regiões Sudeste e Sul concentram a maior média de acidentes por 100 km das rodovias federais do país, com 131 e 136 acidentes, respectivamente. Dentre as cinco rodovias federais com mais acidentes em 2018, três delas atravessam o estado do Paraná: em primeiro, a BR-101, com 8.896 acidentes; em segundo lugar, a BR-116, com 7.524 acidentes; e, em quinto lugar, a BR-153, com 2.176 acidentes.

Dentre as cinco que mais registraram óbitos em 2018, as três primeiras também estão no estado do Paraná²: a BR-116, com 649 óbitos; a BR-101 com 615; e a BR-153

¹ <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>

² <https://www.gov.br/prf/pt-br/acao-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-da-prf>

com 257 óbitos. Ainda, segundo o estudo, 7.934 acidentes foram registrados em 2018 nas rodovias federais que cortam o Paraná, sendo 6.132 com vítimas (mortos ou feridos). No estado, ocorreram, em média, 155 acidentes com vítimas a cada 100 km de rodovia em 2018. O custo anual estimado dos acidentes ocorridos em rodovias federais no Paraná chegou a R\$ 1,04 bilhões em 2018.

Diante da literatura revisada, e considerando a análise de requisitos feita junto à equipe de atendimento aéreo a vítimas de acidentes (Aeroporto do Bacacheri), foi verificado que não ainda existe no mercado nenhum protótipo ou aplicativo que utilize dados abertos e os integre, como o objetivo de auxiliar o transporte aeromédico. Em paralelo, no contexto brasileiro, tanto sistemas de emergência quanto cidades inteligentes e dados abertos são temas presentes nos Grandes Desafios de Pesquisa em SI³. Considerando as demandas, as especificidades e o seu serviço de planejamento de rotas obtidas da mesma análise, este trabalho aplica o algoritmo *K-Nearest Neighbors (kNN-Select)* para tratar as ocorrências com vítimas graves. Especificamente, apresentamos uma abordagem *kNN-Select* (em consultas como encontrar k-hospitais e k-aeródromos mais próximos do local do acidente) que calcula o melhor meio e trajetória para o resgate (plano de voo) e remoção de feridos graves para o destino mais adequado para atendimento.

Este artigo também apresenta uma sugestão das principais estações como bases das ambulâncias aéreas, os dados coletados, juntamente com recomendações que impactam o transporte aeromédico. Uma versão preliminar do sistema aqui descrito foi publicada [Costa e Kozievitch 2022], onde a ênfase foi sobre o uso de dados abertos, citando as fontes de informação e os tratamentos para melhorar a qualidade dos dados.

No presente trabalho, o foco principal foi utilizar e integrar os serviços de Controle de Tráfego Aéreo, os conceitos de Sistemas de Informações Geográficas, utilização de Banco de Dados abertos e algoritmo de otimização (kNN), a fim de trazer a melhoria na integração e no tratamento das informações, dos quais tanto o Setor de Transporte Aeromédico necessita.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: essa breve introdução, a Seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados, a seção 3 descreve os materiais e os métodos usados para desenvolver o algoritmo proposto, e, finalmente, a Seção 4 conclui o artigo.

2. Trabalhos Relacionados

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo⁴ presta os Serviços de Tráfego Aéreo no Brasil, mas cada serviço é padronizado internacionalmente pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI⁵). Nessa direção, a legislação padrão é a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-12 [DECEA 2016], definindo as “Regras do Ar”, ou a que diz respeito ao Regulamento sobre Transporte Aéreo de Sistemas de Veículos Não Tripulados (UAV ou drones) – ICA 100-40⁶.

³ <https://www2.sbc.org.br/ce-si/arquivos/grandsi.pdf>

⁴ <https://www.decea.mil.br/>

⁵ https://www.icao.int/safety/annexes_booklet_en.pdf

⁶ <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>

Do ponto de vista de pesquisa, o conceito de cidades inteligentes envolve alguns fatores essenciais, tais como: dados abertos, legislação e transportes. Em relação aos transportes, com finalidades diversas, carros, caminhões, ônibus, navios, trens, veículos aéreos não tripulados (VANT), aviões e helicópteros necessitam transportar pessoas e materiais de um lugar a outro, dentro e fora das cidades. A logística por trás desses veículos e dos serviços que eles constituem é parte passível de otimização, sendo fundamental para a melhoria da eficiência da cidade. Do ponto de vista de mobilidade, os acidentes nas rodovias brasileiras também foram analisados em outro trabalho [Kageyama, Kozevitch e Bernardi 2019], explorando os números dos acidentes de trânsito e suas características (como localização, mortalidade e tipo de estrada, entre outros). Esses dados são também usados para um protótipo destinado a atender pessoas que necessitam de atendimento de emergência [Souza-Júnior et al. 2020], e como base para solicitações de operadores de transporte aeromédico [Aragão et al. 2020].

Os desafios da mobilidade urbana podem ser abordados usando descoberta de padrões, análise estatística, integração de dados e dados abertos e conectados [Kozevitch et al. 2016]. Mas se for considerado o serviço de emergência, os locais apropriados para helipontos ou ambulâncias é um dos principais desafios apontados pelos prestadores do serviço aeromédico. O uso de informações de trânsito junto com a solicitação de emergência são essenciais para otimizar o tempo médio de tráfego [Yuhong et al. 2015].

Em termos de algoritmo, podemos citar o *K*-vizinhos mais próximos, *k Nearest Neighbors (kNN)*, que é usado em aplicativos SIG e CAD/CAM, para encontrar os *k* objetos espaciais mais próximos de um determinado ponto de consulta. A execução rápida de *kNN* em aplicativos de banco de dados espacial requer uma estrutura de índice informativa e eficiente que pode efetivamente reduzir o espaço de pesquisa (BHIMA et al., 2012). Um dos predicados mais utilizados é o *kNN-Select*, para otimizar rotas de transporte (onde *k* é um parâmetro que se refere ao número de vizinhos mais próximos a serem incluídos no processo de votação, como, por exemplo, encontrar *k*-hospitais e *k*-aeródromos mais próximo da minha localização). Um exemplo de localização de estações de ambulância usando informações reais de tráfego são apresentadas em [Yuhong et al. 2015], avaliando a cobertura de *k*-minutos em vários cenários de tráfego.

O *kNN* também já foi utilizado para detectar e corrigir os desvios (fora dos pontos da curva), tanto para trajetórias de grupo quanto para trajetórias individuais, encontrados no domínio do transporte inteligente, onde os analistas de dados enfrentam inúmeras trajetórias derivadas da mobilidade de pessoas, carros, ônibus e táxis [Djenouri et al. 2021].

A otimização do transporte aeromédico inclui vários desafios, tais como: (1) Segurança operacional: cenários não seguros combinados com resposta rápida, clima frio, voos noturnos, ruído, vibração, entre outros; (2) UAVs: melhorias considerando design, regulamentos, testes, capacidades para fornecer melhor controle, voo, processamento de dados, monitoramento e pouso sistemas, para garantir a comunicação com o as estações de controle no solo, integração e confiabilidade; (3) Governança: padrões de dados, protocolos e integração; (4) Segurança física e educação: leis, efeitos da atitude, gestão de desastres, reanimação avançada; (5) Gestão de recursos naturais:

árvores, linhas de energia, guindastes, torres de celular, zonas de pouso pré-estabelecidas; (6) Dados abertos; (7) Melhoria da qualidade de vida; (8) Transportes de emergência; e (9) Compartilhamento de informações sobre produtos de controle do espaço aéreo e outros serviços.

Para auxiliar o transporte aéreo e terrestre no que diz respeito à assistência médica, os itens 8 (Transportes de emergência) e 6 (Dados abertos) foram considerados neste trabalho. Observa-se, porém, que, embora os serviços de tráfego aéreo já estejam consolidados e regulamentados na maioria dos setores de Análise de Requisitos e Arquitetura do Sistema, ainda há pouca integração deles com o transporte aeromédico para assistência em acidentes rodoviários, o que é a proposta deste trabalho. Em paralelo, outros algoritmos além do KNN foram previamente verificados (como algoritmos baseados em *deep learning*, árvore de decisão, *random forest*), mas não fizeram parte deste trabalho, tendo em vista a simplicidade do KNN em problemas de classificação.

3. Metodologia e Desenvolvimento

Esta seção apresenta a metodologia, a análise de requisitos, os casos de uso, a arquitetura do sistema e a entrega de serviços. A metodologia engloba as seguintes etapas, conforme Figura 1.



Figura 1. Metodologia e suas etapas

Realizada a revisão da bibliografia das áreas afins, iniciou-se o aprofundamento na análise dos dados sobre os acidentes rodoviários nas Rodovias Federais do Paraná, os aeródromos e helipontos que poderiam servir de base para a decolagem dos meios aéreos e os hospitais de referência em traumas. Como parte desta fase de análise, também foi realizada a análise de requisitos, através do levantamento junto aos usuários das funcionalidades que o sistema deveria ter. Em seguida, foi analisado o algoritmo kNN, a fim de verificar se os resultados teóricos apresentados por ele em termos de escolha e priorização de pontos estavam de acordo com o que é visto na prática.

Durante o ano de 2022, a análise de requisitos foi organizada em duas atividades: questionário e entrevistas semiestruturadas com os operadores do setor de transporte aeromédico no Estado do Paraná. Quatro usuários participaram das atividades, em um visita aos hangares localizados no Aeroporto Bacacheri (SBBI) em Curitiba. Os questionários foram aplicados a cada participante por meio do

fornecimento de um Formulários Google⁷. Dezenove questões abordaram as condições e o ambiente do setor de transporte aeromédico, considerando os locais de apoio, os meios aéreos utilizados, o número de empresas nesta área no Paraná, a adequação de infraestrutura, o número e a qualificação dos profissionais especializados, a quantidade e as condições das Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e os tipos de vítimas atendidas, entre outros dados. Além dos questionários, também foram realizadas entrevistas não estruturadas, ou seja, o entrevistador utilizou um roteiro de perguntas pré-definidas e, com base nas respostas, foi possível elaborar novas questões.

As respostas ao questionário e as entrevistas mostraram algumas descobertas, incluindo: (1) O custo considerado é alto (uma vez que inclui preços de combustível, baixo volume de chamadas e ausência de padrões de taxas federais para reembolso de serviços médicos aéreos); (2) Existe a necessidade de mais helipontos e dados sobre as áreas próximas aos locais do acidente e a melhoria das condições dos helipontos em termos de operação noturna e iluminação adequada; (3) os acidentes ocorrem com mais frequência nos trechos de estradas próximos às montanhas, e, às vezes, aeronaves são usadas como suporte para unidades terrestres; (4) Três prestadores do serviço indicaram que uma ferramenta que integrasse dados, algoritmos e cuidados médicos na operação seria muito útil para a navegação aérea; e (5) Em relação à conveniência e aos benefícios de um aplicativo para auxílio na definição das melhores condições de atendimento, 75% responderam que sim (seria muito conveniente) e 25% afirmaram que sim, dependendo da aeronave/helicóptero e da regulamentação adequada do setor de transporte aeromédico. Mais detalhes sobre o formulário de plano de voo, perguntas dos questionários, suas respostas/sugestões podem ser encontradas em Costa 2022.

A partir da análise de requisitos, as próximas etapas foram elaboradas. Os diagramas de caso de uso para o sistema de atendimento em questão, individualmente identificados, são apresentados a seguir na Figura 2, identificando dois usuários principais: usuário externo e usuário operacional.

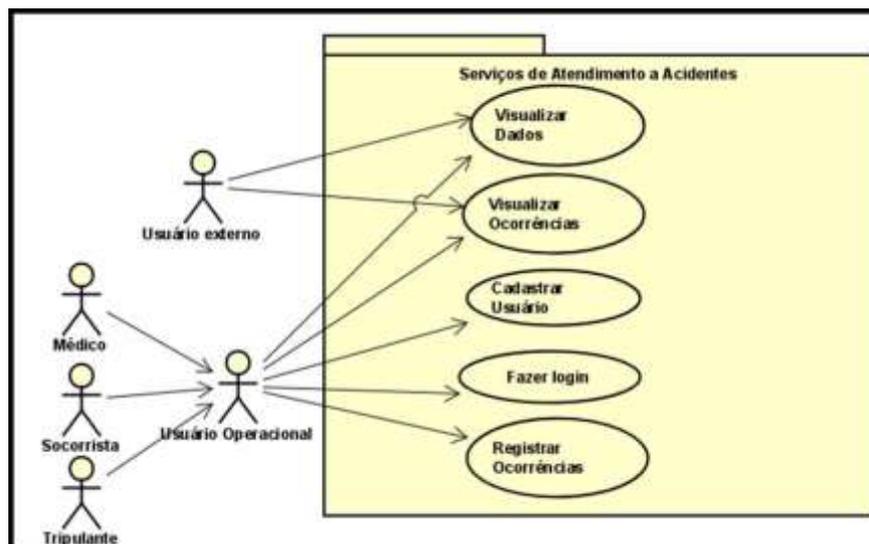


Figura 2. Diagrama de Casos de Uso

⁷ <https://forms.gle/xHsXVvPpemGzzGTcA>

A Figura 3 apresenta a arquitetura, baseada em um framework da computação urbana. É composto por quatro camadas: dados de aquisição, gerenciamento de dados, análise de dados e entrega de serviços. A aquisição de dados refere-se à tarefa de coletar dados sobre acidentes, aeródromos, hospitais e *feedback* dos usuários. A gestão é a tarefa de estruturar dados para apoiar uma análise eficiente. Na camada de análise de dados, algoritmos para mobilidade otimização são utilizados, com ênfase, neste trabalho, para o Algoritmo *kNN-Select*. A camada de entrega de serviços oferece recursos específicos serviços, que posteriormente é explorado como protótipo, permitindo a visualização da ocorrência, por exemplo.

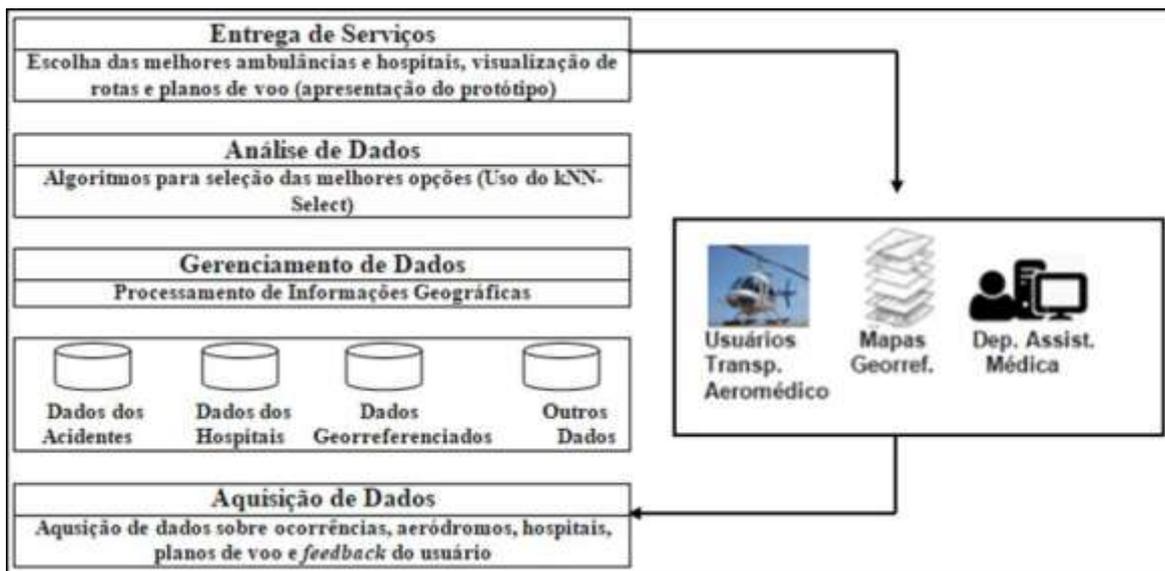


Figura 3. Visão geral da arquitetura do sistema (adaptado de Zheng et al. 2014).

Considerando as respostas obtidas durante a análise de requisitos, a próxima fase foi gerenciar e integrar sistemas de dados abertos, para o atendimento a acidentes rodoviários (Figura 4):

- (1) Acesso aos dados sobre acidentes em rodovias federais no Brasil⁸, de 2007 a 2018;
- (2) Localização e características dos aeródromos privados (298 helipontos, 2.476 aeródromos privados e 508 públicos aeródromos); e
- (3) Dados de hospitais (9.224 unidades) e clínicas, considerando estado do Paraná⁹.

Os dados abertos reais das localidades do Estado do Paraná são então conectados aos atendimentos a ocorrências de acidentes (listadas nas tabelas de ocorrências e de plano_voo na Figura 4). Nem todos os hospitais e unidades de saúde mencionados aqui possuem UTIs prontas ou helipontos já construídos para operação de helicópteros, sendo apenas uma sugestão de pontos de apoio a ser proposta ao governo. Essa sugestão foi apresentada, levando-se em conta os principais locais apresentados pelos dados do acidente, bem como considerando as distâncias mais curtas dos hospitais até estes locais

⁸ http://vias-seguras.com/dados_da_prf

⁹ <http://www.crmpr.org.br/>

e a infra-estrutura anteriormente existente nos respectivos helipontos. Os dados foram armazenados em um banco de dados PostGis, posteriormente indexado com índices primários e referenciados através de Sistemas de Coordenadas Geográficas.

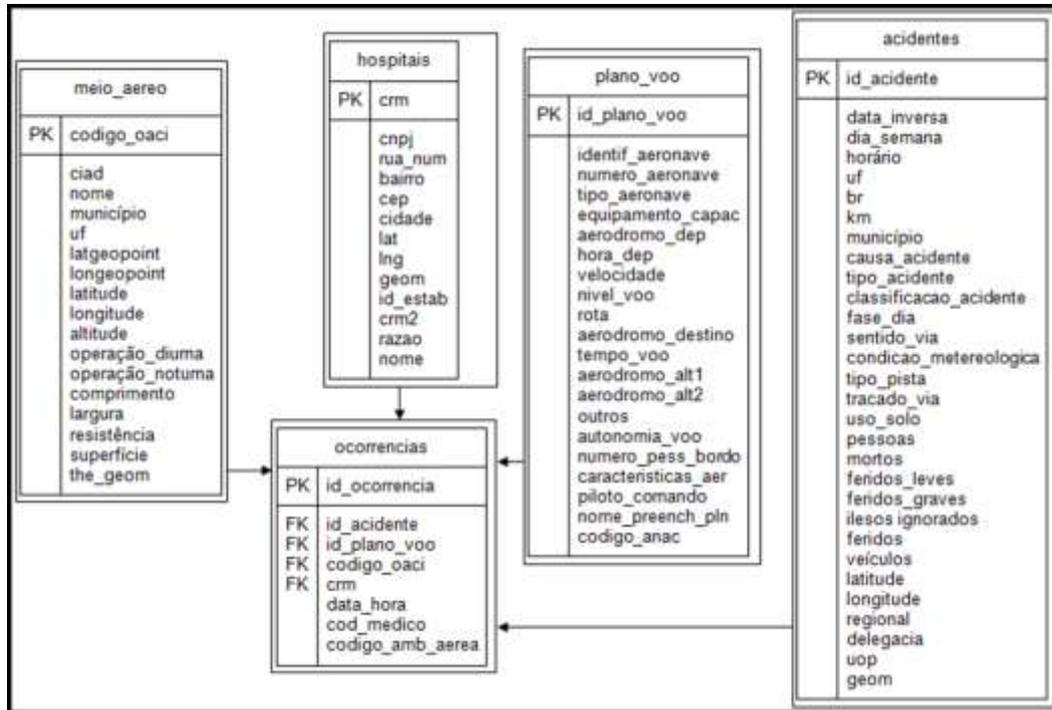


Figura 4. Integração de Dados Abertos.

Neste ponto, apresentamos a construção do algoritmo *kNN-Select* proposto. Para isso, são consideradas as seguintes definições:

- (1) A área de cobertura de uma ambulância é calculada comparando os dados iniciais do acidente com as localizações das ambulâncias aéreas (Cho e Yoon 2015). As possíveis localizações para a origem das ambulâncias são escolhidas entre os pontos definidos na base de dados (Tabela `meio_aereo`);
- (2) O *kNN* é um algoritmo normalmente baseado na distância euclidiana, que é calculada como a raiz quadrada da soma das diferenças quadráticas entre um novo ponto (x) e um ponto existente (x_i) em todos os atributos de entrada (Ali, Neagu e Trundle 2019);
- (3) Os hospitais considerados como destinos são aqueles definidos na base de dados (Tabela `hospitais`), após uma seleção prévia realizada pelo médico regulador, responsável por verificar se o hospital contém os especialistas e os equipamentos necessários ao atendimento; e
- (4) O algoritmo 1 recebe, como dado de entrada, a localização do acidente e tem, como saída, os dados da ambulância aérea, do hospital e do plano de voo, que serão armazenados como ocorrência (Tabela `ocorrencias`).

Desta forma, são realizadas as seguintes etapas no Algoritmo 1:

(1) `kNN_SelectAmbulancia`: Calcula o *ranking* ou classificação das 6 melhores localizações de origem da ambulância (o k-aeródromo mais próximo do principal local histórico do acidente) para atendimento do acidente, e retorna a melhor, considerando a menor distância (foram solicitadas 6 localidades, pois pode haver restrições sobre meteorologia e outras condições a serem verificadas no momento pelo pessoal operacional). A Figura 6 exemplifica o SQL para esta etapa ;

(2) `kNN_SelectHospital`: Considerando os resultados da etapa anterior, calcula o *ranking* dos 6 melhores hospitais e retorne o melhor (também foram selecionados 6 hospitais, pois serão considerados pelo pessoal operacional envolvidos outros fatores como disponibilidade, pista operacional para pouso de helicóptero, etc.); e

3) `Calcula_Voo`: Considerando o resultado da etapa anterior, calcula o melhor plano de voo, o qual será apresentado ao controle de tráfego aéreo, contendo origem do voo, trajeto até o acidente, deslocamento até o hospital, tempo de voo, dentre outras informações. O plano de voo é então criado, considerando o local do acidente e é resultante das etapas um e dois.

```

ALGORITMO 1: Ocorrencia_Ambulancia_Aerea (Acidente, Ocorrencia_Hospital, Ocorrencia_Ambulancia, Plano_Voo)

/* Seleciona a melhor ambulância disponível para o acidente, considerando a localização, e a menor distância */
If(tráfego obstruído e condições meteorológicas favoráveis) {
    /* 1. Seleciona os melhores locais para origem da ambulância e a melhor ambulância para atendimento da ocorrência */
    Ocorrencia_Ambulancia ← kNN_SelectAmbulancia (Acidente);
    /* 2. Considerando a Ambulância de origem e o acidente, calcular os melhores hospitais como possível destino */
    Ocorrencia_Hospital ← kNN_SelectHospital (Acidente, Ocorrencia_Ambulancia);
    /* 3. Tendo os dados da ambulância de origem, o acidente e o hospital de destino calcule o melhor plano de voo, ligando os pontos e construindo o trajeto */
    Plano_Voo ← Calcula_Voo (Ocorrencia_Hospital, Acidente, Ocorrencia_Ambulancia); }

```

Figura 5. Algoritmo usado para uma ocorrência de ambulância aérea.

```

select *, A.the_geom <-> 'SRID=29193;POINT(-49.1992531000
-25.3812036000)':::geometry AS dist, st_AsEWKT(the_geom)
from meio_aereo A
order by dist limit 6;

```

Figura 6 - SQL para o passo `kNN_SelectAmbulancia`.

Em seguida foi realizada uma análise exploratória para a compreensão dos dados (Figura 4). No Paraná, as principais Rodovias Federais que cortam o estado são: BR-476; BR-376; BR-277; BR-116; e BR-369.

No total, o estado teve, no período acumulado de 2007 a 2018, 175.717 acidentes, sendo 81.292 com vítimas, sendo 3.244 pessoas com ferimentos graves e 7.388 óbitos, classes que são o principal alvo deste estudo. Deste total, 52% são durante o dia, 41% com tempo claro, 17% com tempo nublado, 48% com automóveis e 71% com motorista do sexo masculino.

Com relação aos dados referentes a pontos de apoio aéreo, na base de dados, estavam disponíveis 160 pontos (106 aeródromos e 54 helipontos) no estado do Paraná. No setor médico, apesar de existirem cerca de 9.200 unidades de saúde no Paraná, apenas oito hospitais possuem heliponto em total funcionamento (Tabela 1): quatro na região metropolitana de Curitiba e um em cada cidade: Londrina, Maringá, Cascavel e Ponta Grossa.

A cada acidente, quilômetros de congestionamento podem estar presentes e, de fato, a urgência, o tempo crítico de resposta e os fatores climáticos podem se tornar condições determinantes para atender às vítimas de acidentes por meio do transporte aeromédico.

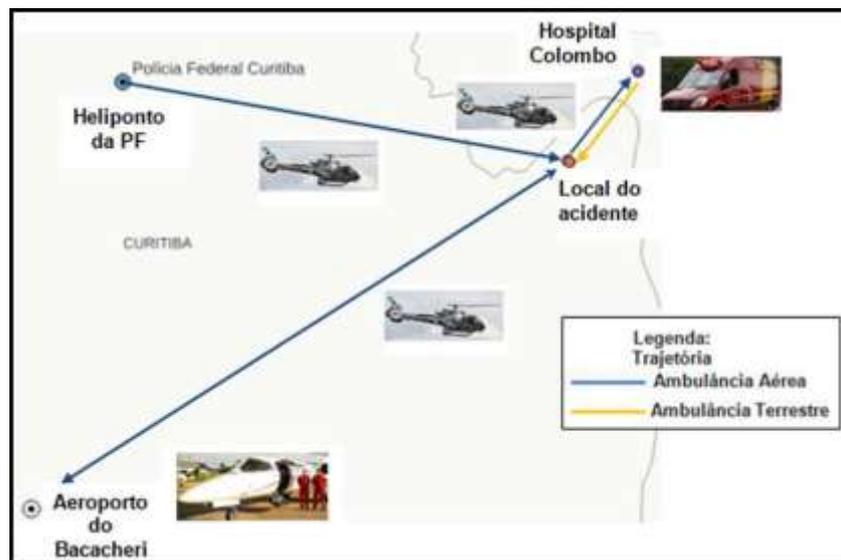
Utilizando-se a tabela acidentes (Figura 4), contendo as posições geográficas das ocorrências, foram verificados, os locais com alto índice de acidentes, bem como os dez principais pontos das rodovias federais do Paraná com os maiores números de acidentes (Tabela 2). A tabela apresenta as coordenadas geográficas do ponto, a base de apoio aéreo e a unidade de saúde mais próximas, para fins de disponibilização de meios aéreos e instalação de Unidades Médicas com UTI ou demais serviços médicos para pronto-atendimento às vítimas de acidentes rodoviários.

Tabela 1. Situação atual dos hospitais no PR com helipontos operacionais

Cidade	Latitude	Longitude	Instituição de Saúde
Campo Largo	-25.4559724	-49.5342322	HOSPITAL DO ROCIO LTDA.
Curitiba	-25.469555	-49.206397	FUNDAÇÃO EAE SAÚDE DE CURITIBA
Campina Grande do Sul	-25.3510537	-49.0821299	SOCIEDADE HOSPITALAR ANGELINA CARON
Curitiba	-25.4847163	-49.2952638	FUNPAR
Londrina	-23.3275282	-51.1951961	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
Maringá	-23.4003942	-51.9567738	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
Ponta Grossa	-25.0959618	-50.1102323	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Cascavel	-24.974378	-53.494093	UNIVERSIDADE ESTADUAL OESTE DO PARANÁ

Tabela 2. Classificação dos 10 locais com mais acidentes no Paraná

id	BR	km	Nº de acidentes	Ambulância Aérea mais próxima	Distância do Acidente à ambulância (Km)
1	476	124	994	SSJF (Polícia Federal Heliponto Curitiba)	3.22
2	376	668	978	SSIG (ISOGAMA Heliponto S. J. Pinhais)	29.87
3	476	125	888	SSHI (IURD - Heliponto Curitiba)	3.26
4	376	665	824	SSIG (ISOGAMA Heliponto S. J. Pinhais)	16.03
5	376	176	782	SSPX (PARANÁ MODA PARK Heliponto Curitiba)	12.33
6	376	183	752	SSPX (PARANÁ MODA PARK Heliponto Curitiba)	12.33
7	476	138	672	SSJF (Polícia Federal Heliponto Curitiba)	3.21
8	376	182	672	SSPX (PARANÁ MODA PARK Heliponto Curitiba)	12.33
9	376	666	670	SSIG (ISOGAMA Heliponto S. J. Pinhais)	16.03
10	476	122	636	SSJF (Polícia Federal Heliponto Curitiba)	3.22

**Figura 7 - Ocorrência atendida pelo Heliponto da PF no KM 124 da BR-476.**

Para um primeiro teste prático, considere o seguinte exemplo da Figura 7: um acidente ocorrido no Km 124 da BR-476 tem um bloqueio do trajeto terrestre, devendo ser atendido por um helicóptero pré-allocado na Sede da Polícia Federal (SSPF - situado a cerca de 3,2 km do local), melhor localização para procedência da ambulância, com tempo estimado de 3 minutos para o deslocamento até o local do acidente. A mesma resposta é retornada pelo algoritmo na etapa 1 (kNN_SelectAmbulancia), usando a consulta SQL descrita na Figura 6.

Assim, dependendo da gravidade das lesões, a vítima deverá ser levada através de ambulância aérea ao Hospital de Colombo, a 800 metros de distância (Maxipas

Colombo), o melhor hospital como destino. A mesma resposta é retornada pelo algoritmo na etapa 2 (kNN_SelectHospital). Caso não houvesse helicóptero disponível na Polícia Federal, a próxima origem a ser considerada seria o Aeroporto do Bacacheri. Esta solução é calculada e a trajetória e o respectivo plano de voo são apresentados pelo algoritmo na etapa 3 (Calcula_Voo) de acordo com as condições iniciais, tais como localização, tráfego de ambulância terrestre obstruído, condições meteorológicas e ambulância disponível.

Todos os dados do plano de voo (trajetória aérea, nível de voo, velocidade, combustível consumido, entre outros) também são registrados para servir de referência para atendimentos futuros em locais próximos à ocorrência atual.

Os dados apresentados neste caso de uso mostraram a capacidade de se utilizar os recursos computacionais para chegar a um resultado otimizado em termos de gerenciamento dos principais meios para atendimento às vítimas de acidentes nas Rodovias Federais do Paraná, priorizando os principais pontos, de acordo com os recursos e meios a serem disponibilizados em termos de aeronaves, instalação de UTI, ambulâncias, dentre outros.

Após a análise exploratória, foram analisados os *insights* e recomendações. Dado que os recursos são limitados, ou seja, não é possível disponibilizar aeronaves e Unidades de Terapia Intensiva em todos os pontos mais próximos a todos os locais com alto índice de acidentes, uma outra estratégia sugerida, neste trabalho, é definir três regiões prioritárias em termos de atendimento: 1) A Região 1, que fica entre Curitiba e Tijucas do Sul (Figura 8); 2) A Região 2, que fica entre Maringá e Jandaia do Sul; e a 3) Região 3, que fica entre Foz do Iguaçu e Cascavel.

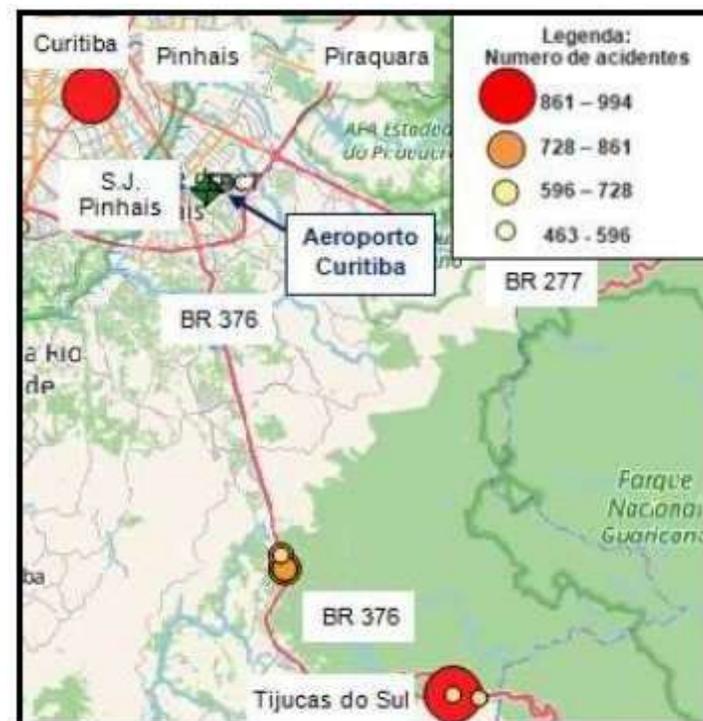


Figura 8 -Região 1 - Entre Curitiba e Tijucas do Sul.

Além dessa análise, em uma situação real, outros itens são essenciais, como: (i) a pré-existência de ambulância e equipe médica de solo no local (e suas características locais, como disponibilidade de leito e espaço no elevador para a maca); (ii) o tipo e altimetria do terreno no local do acidente; (iii) a existência de linhas de alta tensão ao longo do caminho; (iv) mapas de navegação aérea atualizados da área; (v) as condições meteorológicas atuais; e (vi) as características dos pontos de apoio em termos de altitude, tipo de dia / operação noturna, forma da rampa de aproximação, dimensões, resistência e superfície do Heliponto ou Aeródromo. Além disso, na falta de locais para pouso, pontos como campos de futebol são utilizados. Contudo, estes itens não foram considerados no protótipo inicial, objeto deste trabalho, devido à restrição do tempo. A Figura 9 ilustra o protótipo gerado, com o ranqueamento das seis primeiras localizações de ambulâncias aéreas mais perto do acidente. Mais detalhes da implementação do protótipo e testes preliminares estão disponíveis em Costa et. al 2022.

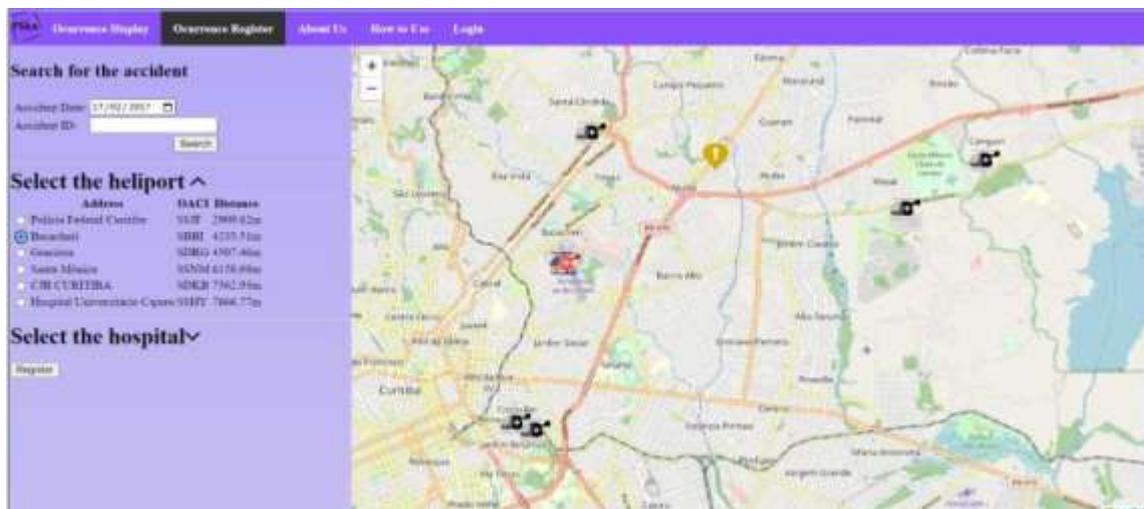


Figura 9 - O protótipo gerado.

Sobre os principais fatores que influenciam o planejamento de apoio aos governos local e federal, podemos elencar: (i) Custos: alto custo para manter recursos aéreos em pontos de apoio, UTIs, ambulâncias, equipes médicas; (ii) Presença de UTI adequada; (iii) Meteorologia, altimetria do terreno e tempo de voo; (iv) Análise de pontos sobre a possibilidade de atendimento híbrido (uma ambulância leva o acidentado a um ponto onde o helicóptero possa pousar com segurança); e (v) medidas preventivas (campanhas de conscientização do trânsito, policiamento rodoviário ostensivo nos principais locais de acidentes conhecidos).

O governo estadual do Paraná possui atualmente seis aeronaves para o atendimento aeromédico. Portanto, as sugestões verificadas nos casos de uso ainda poderiam ser otimizadas para a frota disponível. Observou-se também, nos relatos obtidos dos operadores do sistema de transporte aéreo, que seria muito providencial e importante a existência de um centro de atendimento a acidentes, que ficaria responsável por receber, processar e registrar as informações sobre as ocorrências, deixando para pilotos e equipes médicas a parte operacional da missão.

4. Conclusão

A movimentação do tráfego aéreo mundial tem crescido significativamente, implicando na necessidade de novas tecnologias, softwares e sistemas de informação neste setor.

Neste trabalho, foi apresentada uma análise de requisitos junto aos profissionais (especificando os casos de uso e usuários principais), e um algoritmo de seleção kNN para encontrar a melhor ambulância, o hospital mais adequado e o melhor plano de voo para atender as ocorrências com vítimas graves. Este trabalho também apresenta contribuições, do ponto de vista de cidades inteligentes, como a sugestão das principais bases de apoio às equipes aeromédicas e áreas prioritárias de atendimento para otimizar a alocação de recursos. Para o trabalho ser estendido para todo o território brasileiro, bastaria a obtenção de dados georreferenciados de todos os hospitais (e seus helipontos) a nível nacional.

As principais contribuições do trabalho foram: apresentação de um algoritmo que calcula a melhor opção (ambulância aérea, caminho mais curto, hospital de destino e plano de voo); definição de casos de uso a partir de dados abertos reais e integração do serviço de transporte aeromédico com os órgãos de controle de tráfego, de forma a priorizar essas missões, à semelhança do transporte de órgãos vitais. Salienta-se que a utilização de dados reais, em ambiente efetivo junto às equipes operacionais e atuantes do transporte aeromédico, possibilitou a verificação “in loco” da efetividade do algoritmo e protótipo, contribuindo significativamente com o estado da arte. Mais detalhes sobre a implementação do protótipo e testes preliminares podem ser encontrados em Costa et. al 2022. Além disso, a base de dados gerada¹⁰ e o código do protótipo¹¹ estão disponíveis online.

Como trabalhos futuros, pode-se citar a expansão do modelo de meios de atendimento a vítimas de acidentes de trânsito para outros estados do Brasil, a utilização dos helipontos por drones, o desenvolvimento de aplicativo com interface para acesso aos dados e o cálculo em termos de área de abrangência e população.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Prefeitura de Curitiba, ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (DECEA), UTFPR, Polícia Militar do Paraná - Subcomando Geral de Operações Aéreas Militares, no Seção de Ensino e Instrução do Batalhão de Polícia, e a *Projeto Smart City Concepts* (2019-04893) patrocinado pela VINNOVA (agência de inovação da Suécia).

Referências

Ali, N., Neagu, D. e Trundle, P. (2019) “Evaluation of k-nearest neighbor classifier performance for heterogeneous data sets”. SN Appl. Sci. 1, 1559 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1356-9>.

¹⁰ https://github.com/Jefersonghisi/data_aeromedical

¹¹ <https://sourceforge.net/projects/pssa-tcc-project-alpha/>

- Aragão, A., Machado, L., Moreno, N., Viana, D., Silva, F., Sousa, T., Rivero, L., Teles, A., Da Conceição, A. F. e Costa, I. (2020) “Improving a smart city application through evaluation of Quality Metrics and Usability”. *ISys - Brazilian Journal of Information Systems*, 13(3), 55–81.
- Bhima, K.; Aruna Sri, T.; Ramaiah, K. D.; Jagan, A. 2012. Exerting spatial join and KNN queries on spatial database, *International Conference on Recent Advances in Computing and Software Systems*, 2012, pp. 260-266,
- Cho, J. e Yoon, Y. (2015) “GIS-Based Analysis on Vulnerability of Ambulance Response Coverage to Traffic Condition: A Case Study of Seoul”. In: *Proceedings of the 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC '15)*. IEEE Computer Society, USA, 1402–1407. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.230>.
- Costa. J. G. Transporte aeromédico no atendimento a vítimas de acidentes - desafios e estudo de caso. 2023. Dissertação (Mestrado) - UTFPR.
- Costa, J. G. e N. P. Kozievitch, N. P. (2022) “Use of Airspace Control Data and GIS for assistance in road accidents - A case study”. In: *ERBD*, 17. , 2022, Lages/SC. Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 51-60.
- Costa, J.G., Ribeiro, L. F., Guerrero, G. C., Kozievitch, N. P., Santi, J., Fonseca, K. V. (2022) “Assisting victims of road accidents: a case study of aeromedical transport improvements”. *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, Bucharest, Romania, 2023, p. 1-7.
- DECEA. (2016) “ICA 100-12 REGRAS DO AR”, <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-12>.
- Djenouri, Y., Djenouri, D. e Lin, J.C.W. (2021) “Trajectory Outlier Detection: New Problems and Solutions for Smart Cities”. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*. Volume 15, 2, Article 20 (April 2021), 28 pages. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3425867>.
- Foina, A.G., Sengupta, R., Lerchi, P., Liu, Z. e Krainer, C. (2015) “Drones in smart cities: Overcoming barriers through air traffic control research”, *Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS)*, 2015, pp. 351-359, doi: 10.1109/RED-UAS.2015.7441027.
- Kageyama, M., Kozievitch, N. e Bernardi, R. (2019) “Acidentes nas rodovias brasileiras nos últimos 10 anos: uma análise com dados abertos”. In: *ERBD*, 15. , 2019, Chapecó. Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 71-80.
- Kozievitch, N.P., Gadda, T. M. C., Fonseca, K. V. O., Rosa, M. O., Gomes-JR.L.C. e Abkar, M. (2016) “Exploratory Analysis of Public Transportation Data in Curitiba”. In: *SEMINÁRIO INTEGRADO DE SOFTWARE E HARDWARE (SEMISH)*, 43. , 2016, Porto Alegre. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. p. 1656-1667. ISSN 2595-6205. DOI: <https://doi.org/10.5753/semish.2016.9516>.
- Souza-Júnior, M. F., Amorim, L. A. M., Santos, L. E. P. S., Correia-Neto, J. S. e Souza, H. A. (2020) “Improvement of User Interfaces in Prehospital Healthcare Information Systems in the Perspective of Situational Awareness”. *iSys - Brazilian Journal of*

Information Systems, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 98–116, 2020.
DOI:10.5753/isys.2019.782.

Yuhong, L., Yu, Z., Shenggong, J., Wenjun; W., Ryan, U. e Zhiguo, G. (2015) “Location Selection for Ambulance Stations: A Data-Driven Approach”. In Proceedings of the 23rd SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 85, 1–4. <https://doi.org/10.1145/2820783.2820876>.

Zheng, Y., Capra, L., Wolfson, O., e Yang, H. (2014) “Urban computing: Concepts, methodologies, and applications”. ACM Trans. Intell. Syst. Technol. 5, 3, Article 38 (Sept. 2014).