
USO DA ABORDAGEM *FUZZY* PARA DETERMINAR CENÁRIOS ASSOCIADOS À ESCOLHA DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE *VERTIPORTS*

Adriano da Rocha Ferreira¹, Giovanna Miceli Ronzani Borille², Eduardo Moraes Arraut³, Vinícius do Prado Capanema⁴

adrirch1@gmail.com¹, ronzani@ita.br², emarraut@ita.br³ e viniciuscapanema@hotmail.com⁴

PAPER ID: SIT165

RESUMO

Novas alternativas de mobilidade têm sido buscadas com o intuito de minimizar impactos negativos decorrentes do congestionamento do tráfego urbano. Dentre essas alternativas, surge a *Urban Air Mobility* (UAM), que pode ser definida como uma forma segura e eficiente de tráfego aéreo conduzidas por veículos não tripulados. Essa nova abordagem tornou-se possível a partir do desenvolvimento de novas tecnologias da aviação. Tais tecnologias permitiram o desenvolvimento de veículos tripulados e não tripulados chamados de *eVTOL* (do inglês *electric Vertical Take-off and Landing*). A infraestrutura necessária para a introdução dos serviços de UAM vem acompanhada de desafios e de limitações que as empresas devem enfrentar ao entrar neste mercado. Dentre esses, cita-se a tomada de decisão quanto à localização dos *vertiports* para a realização das operações a qual deve ser baseada em critérios, como demanda de usuários, disponibilidade de espaço e viabilidade da implantação da infraestrutura local. Este trabalho tem como objetivo determinar as áreas mais favoráveis para a construção da infraestrutura terrestre necessária às operações da UAM, mediante a análise de diferentes critérios com base criação de cenários utilizando a abordagem *Fuzzy*. Foram utilizados cinco operadores diferentes: *fuzzy AND*, *OR*, Produto Algébrico, Soma Algébrica e *fuzzy GAMMA* com os valores de *GAMMA* de 0,2, 0,5 e 0,9. Os resultados revelaram diferentes cenários para o fenômeno estudado. Os operadores Produto Algébrico e *GAMMA* 0,2 apresentaram cenários mais restritivos, ou seja, menor extensão de áreas favoráveis à instalação de *vertiports*. O oposto ocorreu com os operadores *OR* e Soma Algébrica, que apresentaram cenários menos restritivos resultando em maiores áreas com favorabilidade. O *fuzzy GAMMA* 0,5 e 0,9 apresentaram cenários intermediários. É importante destacar que, o estudo não identificou áreas exatas para instalação de *vertiports*, mas indicando quais são as áreas mais favoráveis e excluindo as áreas menos favoráveis à instalação de *vertiports*.

Palavras-chave: *Urban Air Mobility*. *eVTOL*. *Vertiports*. *Fuzzy*.

1. INTRODUÇÃO

O congestionamento do tráfego urbano terrestre é decorrente de fatores como a alta densidade populacional e o aumento da frota de veículos próprios (Rajendran & Srinivas, 2020). Estes autores destacam que em decorrência disso, em cidades metropolitanas, os usuários do sistema viário tiveram seu tempo de permanência no trânsito aumentado, ocasionando um aumento de estresse e ansiedade. Além disso, o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, impacta de forma prejudicial à saúde dos usuários dos meios de transporte e também o meio ambiente (Rajendran & Srinivas, 2020). É possível observar que a busca por novas soluções de mobilidade urbana ocasionou o surgimento de inovações baseadas em novas tecnologias para o transporte de passageiros e de cargas, como a Mobilidade Aérea Urbana (UAM, do inglês *Urban Air Mobility*) (Paul; De Lorenzo; Cordioli., 2020).

A UAM é definida como um sistema de transporte seguro e eficiente de tráfego aéreo em áreas metropolitanas conduzido por aeronaves e sistemas aeronáuticos não tripulados (Paul et al., 2020; Thipphavong et al., 2018; Vascik & Hansman, 2018). Esses veículos, que tem como característica o pouso e a decolagem verticais e são movidos principalmente a eletricidade, são conhecidos como *eVTOL*, (do inglês *electric Vertical Take-Off and Landing*). Por serem movidos a eletricidade, sua utilização está associada a um conceito mais sustentável, garantindo redução nas emissões de CO₂ (Rajendran & Srinivas, 2020). Projetados, sobretudo, para operar em centros urbanos, o desenvolvimento e a produção desses veículos devem estar pautados, principalmente, quanto à segurança de voo e ao impacto sonoro que exercem, a fim de garantir uma maior aceitação pela comunidade.

Um aspecto de suma importância para implementação da UAM é a infraestrutura necessária para o controle das operações e para o embarque e o desembarque de passageiros e de cargas. A implementação de infraestrutura adequada para a introdução dos serviços de UAM é acompanhada de grandes desafios e limitações multidisciplinares que as empresas devem enfrentar ao entrar neste mercado. Um dos principais desafios é a decisão quanto à localização dos espaços físicos para as estações de táxi aéreo que deve ser baseada

em diferentes critérios, como: (i) demanda de usuários, (ii) disponibilidade de espaço e (iii) viabilidade da operação de infraestruturas local (Rajendran; Zack, 2019).

A escolha das áreas para implantação da infraestrutura da UAM é um aspecto essencial a ser considerado e, nesse sentido, o uso de ferramentas de geoprocessamento associadas à geomática podem ser um importante aliado na determinação da localização dessas áreas. A abordagem *fuzzy* tem sido amplamente utilizada e recomendada como ferramenta de tomada de decisão (Bailey *et al.*, 2003). Modelos baseados na lógica *fuzzy* têm sido utilizados para melhorar as probabilidades de estimativas de ocorrência de determinado fenômeno. Associados ao ambiente SIG, os modelos *fuzzy* são capazes de produzir resultados mais precisos e mais próximos da realidade, auxiliando as estratégias de tomada de decisão baseadas e análises multicritérios (Penki, 2022). Assim, a abordagem *fuzzy*, associada a um ambiente SIG, pode auxiliar na escolha das áreas mais favoráveis para a instalação dos *vertiports*. A abordagem *fuzzy* é capaz de fornecer as localizações mais adequados no espaço geográfico tendo como base de entrada dados multivariados.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo utilizar a lógica *fuzzy* em diferentes cenários para determinar as áreas para a construção da infraestrutura terrestre necessária às operações da UAM, mediante a análise de diferentes critérios. Foram produzidos mapas, considerando diferentes operadores *fuzzy*, indicando as áreas mais favoráveis para instalação de *vertiports* no município de São Paulo.

2. PANORAMA UAM

O congestionamento do tráfego urbano é consequência de fatores como a falta de infraestrutura urbana terrestre necessária para atender a alta densidade populacional, aumento da frota de veículos particulares e do número de passageiros que trafegam em áreas onde o transporte público não atende aos usuários de maneira eficiente (Rajendran & Srinivas, 2020). Na tentativa de minimizar os problemas de congestionamento do tráfego urbano e melhorar a mobilidade dos passageiros, novas formas de transporte estão sendo desenvolvidas, como no

caso da UAM (Rajendran; Zack, 2019; Rajendran; Srinivas, 2020).

A UAM é uma nova alternativa de transporte considerado seguro, eficiente e sustentável, que pode ser feito por aeronaves e sistemas aeronáuticos tripulados e não tripulados. Este novo conceito de transporte tornou-se possível a partir do desenvolvimento de novas tecnologias e conceitos da aviação (Paul; De Lorenzo; Cordioli, 2020; Thippavong *et al.*, 2018; Vascik & Hansman, 2018). Considerando os sistemas propulsivos, os *eVTOLs* podem apresentar diferentes configurações de propulsão.

Devido os *eVTOLs* apresentarem diferentes configurações, Synodinos; *et al.* (2017) e Candeloro *et al.* (2019) destacam que há certa dificuldade no uso de ferramentas que auxiliem no estudo da predição da intensidade do ruído e seus impactos. No entanto, Grandl *et al.* (2018) ressaltam que, independentemente da configuração, os *eVTOLs* trarão grande melhoria quanto ao nível de ruídos, uma vez que são aeronaves elétricas. Contudo, é importante destacar que, de modo geral, a implantação da UAM enfrentará importantes desafios. Além dos fatores associados ao desenvolvimento dos *eVTOLs*, como por exemplo a intensidade de ruído, há também desafios quanto a infraestrutura necessária às operações bem como a escolha dessas áreas para construção dessa infraestrutura.

Rajendran e Zack (2019) destacam que para determinar o tipo de infraestrutura relacionada ao transporte aéreo urbano deve-se considerar o potencial do local a fim de acomodar novos usuários bem como de outras demandas latentes que podem se derivar à medida que o sistema UAM se desenvolva. Os estudos de Lineberger *et al.* (2019) e Grandl *et al.* (2018) ressaltam que um dos fatores importantes para o sucesso da UAM está associado ao planejamento e à implementação da infraestrutura de solo necessária. A infraestrutura terrestre exigirá uma avaliação abrangente e um projeto integrado às condições individuais de cada cidade, além de ser necessário considerar um conceito de integração entre espaço aéreo e a infraestrutura dos *vertiports* (Federal Aviation Administration, 2012).

De acordo com um estudo da EASA (2022), os projetos de infraestrutura dos *vertiports*

necessitarão contar com uma ação colaborativa das empresas fabricantes dos *eVTOLs*. Essas empresas deverão fornecer informações e requisitos para que sejam definidas as especificidades dos *vertiports*. Tais informações incluiriam a dimensão do *eVTOL*, forma, configuração, comprimento, largura, dimensão D^1 , peso máximo de decolagem, requisitos de movimentação em solo para taxiar e estacionar as aeronaves, dentre outros.

O documento da EASA (2022) elenca especificações importantes acerca da infraestrutura de um *vertiport*. Tais especificidades incluem as características físicas dos *vertiports*, como por exemplo uma possível proteção lateral para minimizar os efeitos do deslocamento de ar nos pousos e decolagens, configuração da pista de taxiamento (se necessário). O documento destaca a importância de analisar distâncias seguras de possíveis obstáculos para pouso e decolagem das aeronaves. O estudo da EASA (2022) pode ainda ser um importante ponto de partida para a consolidação da infraestrutura necessária para as operações da UAM. Além disso, pode ser um importante balizador para a seleção de áreas mais propensas para a instalação e construção dos *vertiports*.

3. ABORDAGEM FUZZY PARA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

O processo de análise multicritério utilizando a abordagem *fuzzy multilayer* combina diversas entradas e fornece resultados cujas fronteiras das classes não são bem definidas. Burrough (1998) recomenda a utilização dessa abordagem para fenômenos ambivalentes em modelos matemáticos ou conceituais. Diferentemente da teoria clássica de conjuntos, onde a função de pertinência é definida como falsa ou verdadeira, o grau de pertinência *fuzzy* e expresso em escala contínua que varia de 0 a 1. Assim, no processo de seleção de sítios aeroportuários por exemplo, valores mais próximos de 1 representam regiões mais adequadas para a escolha do sítio, e os valores mais próximos de 0 as regiões menos adequadas. Esta abordagem tem sido usada para escolha de sítios aeroportuários, como por exemplo no estudo de Jiang e Wang (2014) e Qiao; Zhang (2018).

¹ Dimensão D: diâmetro da menor circunferência que envolve a projeção do *eVTOL* no plano horizontal (EASA, 2022).

3.1. Lógica e operadores fuzzy

Burrough (1998) define que a função de pertinência para os conjuntos *fuzzy* deve garantir que o grau de pertinência máximo seja igual 1 no centro do conjunto. As regiões de fronteiras são representadas pelos valores próximos de 0. O ponto onde o grau de pertinência se aproxima de 0.5 é chamado de ponto de crossover. Há várias funções de pertinência que podem ser utilizadas na determinação de um valor de pertinência nas bordas de um conjunto *fuzzy*, dentre elas a linear, sigmoide e a quadrática, mais comumente utilizadas em plataformas SIG.

Assim como nos conjuntos Booleanos, na abordagem *fuzzy* os dados podem ser manipulados utilizando métodos lógicos de combinação de dados. Diversos operadores podem ser utilizados de forma a se obter um mapa resultante da sobreposição dos mapas (dados) de entrada. Dentre esses operados, pode-se citar o *fuzzy* AND, *fuzzy* OR, Soma Algébrica, Produto Algébrico e o operador GAMMA.

O *fuzzy* AND funciona como a lógica da intersecção e equivale ao AND booleano. Assim, o mapa resultante conterá os o conjunto de valores mínimos de todos os mapas sobrepostos. O operador OR segue a lógica de uma operação de união e funciona como o OR booleano. Assim, o mapa resultante armazenará os valores máximos dos mapas de entrada. O operador Soma Algébrica representa a soma dos valores dos mapas de entrada. Assim, o mapa resultante será a soma dos valores de cada mapa de entrada. O operador de Produto Algébrico representa a multiplicação dos valores dos mapas de entrada. Assim, o mapa resultante será resultado da multiplicação dos valores dos mapas de entrada. O operador GAMMA inclui o produto entre a Soma Algébrica *fuzzy* e o Produto Algébrico *fuzzy*, elevado a um expoente, chamado de GAMMA. Assim, quando γ é igual a 1, o resultado será o mesmo que a Soma Algébrica *fuzzy* e quando GAMMA for igual a 0 o resultado é equivalente ao Produto Algébrico *fuzzy*. A Equação 1 define a lógica *fuzzy* empregada.

$$fuzzy = (Soma\ Algébrica\ fuzzy)^\gamma * (Produto\ Algébrico\ fuzzy)^{1-\gamma} \quad (1)$$

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

A área selecionada para estudo é o município de São Paulo – SP que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), possui área territorial de aproximadamente 1.521,110km², população estimada para o ano de 2021 de 12.396.372 pessoas, densidade demográfica de 7.398,26hab/km² e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), em 2010, de 0,805. A seleção deste município se deu por conta de este ser uma grande região metropolitana com vários desafios associados ao tráfego urbano intenso de veículos terrestres e ao alto adensamento populacional. Essas características tornam o município de São Paulo um potencial candidato a ser um possível polo gerador de demanda para as operações da UAM.

4.2. Dados

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos de fontes diversas como por exemplo, Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Prefeitura Municipal de São Paulo (GEOSAMPA), IBGE, entre outras fontes. O conjunto de dados iniciais e suas respectivas fontes pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 Base de dados

<i>Categoria</i>	<i>Dado</i>	<i>Fonte</i>
Acesso	Localização dos helipontos	ANAC (2021)
	Localização das estações de metrô	GEOSAMPA (2021)
	Localização das estações de trem	GEOSAMPA (2021)
	Localização das estações de ônibus	GEOSAMPA (2021)
	Ciclovias	GEOSAMPA (2021)
	Localização dos edifícios mais altos	GEOSAMPA (2021)

Espaço aéreo	Localização de destino de resíduos	CETESB (2021)
	Rota de migração de AVES	ICMBIO (2021)
	Rotas Especiais de Aeronaves (REA)	DECEA (2021)
Demanda	Renda/domicílio	IBGE (2010)
	Densidade demográfica	IBGE (2010)

A seleção dos dados iniciais foi pautada, principalmente, na relação em que cada dado possui com o fenômeno estudado. Por exemplo, os dados de localização dos helipontos foram selecionados devido a possibilidade de utilização da infraestrutura destes já existentes. Os dados de localização das estações de metrô, trem, ônibus e malha ciclo viária foram escolhidos pela necessidade de integração da UAM com os modais existentes. Os dados de rotas de migração de aves e localização de destino de resíduos foram selecionados, pois a presença de aves em espaços aéreos representa um grande desafio e, portanto, essas áreas devem ser evitadas. É importante ressaltar que as áreas de destino de resíduos são atrativas para aves. Os dados de rotas especiais de aeronaves foram escolhidos, pois as operações dos espaços aéreos devem ser separadas para garantir a segurança das operações. Por fim, os dados de renda e densidade demográfica foram selecionados, pois estes dados podem funcionar como uma proxy de

demanda pelos serviços que serão oferecidos pela UAM.

4.3. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos incluem três etapas principais. A primeira consiste na obtenção e seleção de dados e no pré-processamento para sua compatibilização e organização do banco de dados. A etapa de seleção é bastante importante, pois inclui dados de fontes diversas e, portanto, é necessário a verificação da qualidade dos dados selecionados. A segunda etapa consiste na realização de medições objetivas no Sistema de Informação Geográfica envolvendo os helipontos e as variáveis independentes. Por exemplo, foi medida a distância entre cada heliponto e a estação de metrô mais próxima, entre cada heliponto e a estação de trem mais próxima, e assim por diante. A terceira etapa consiste no cruzamento de todas as variáveis utilizando diferentes operadores *fuzzy* para obtenção das regiões mais propensas a instalação dos *vertiports*.

A obtenção das variáveis contou com diferentes operadores disponíveis por meio da obtenção de medidas objetivas disponíveis no Sistema de Informações Geográficas. Foram obtidas inicialmente variáveis de diferentes fontes de dados, utilizando diferentes operadores. O processo de obtenção das variáveis está detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 Descrição dos dados, formato e operadores para obtenção das variáveis.

Dado	Formato	Operador	Variável
Localização dos edifícios mais altos	Vetor de pontos	Densidade de Kernel de pontos	Densidade de Kernel das edificações maiores que 20m.
Renda/domicílio	Vetor de polígonos (setores censitários)	Agregação	Renda domicílio
Densidade demográfica	Vetor de polígonos (setores censitários)	Agregação	Densidade demográfica
Ciclovias	Vetor de linhas	Distância euclidiana	Distância de ciclovias
Localização de destino de resíduos	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância de destino de resíduos
Rota de migração de aves	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância de rotas de migração de aves
Rotas Especiais de Aeronaves (REA)	Vetor de polígonos	Distância euclidiana	Distância de rotas especiais
Localização das estações de metrô	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância de estações de metrô

Localização das estações de trem	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância de estações de trem
Localização das estações de ônibus	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância de estações de ônibus
Localização das estações de metrô e helipontos	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância entre helipontos e estação de metrô mais próxima
Localização das estações de trem e helipontos	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância entre helipontos e estação de trem mais próxima
Localização das estações de ônibus e helipontos	Vetor de pontos	Distância euclidiana	Distância entre helipontos e estação de ônibus mais próxima

A Tabela 2 apresenta o conjunto de variáveis utilizadas. As variáveis possuem relação direta ou inversa com o fenômeno estudado. As variáveis de distâncias de estações de metrô, trem, ônibus, bem como as variáveis de distância entre helipontos e essas estações, ciclovias, densidade demográfica, renda e densidade de Kernel das edificações possuem relação direta, pois quanto mais próximo dessas áreas, mais favorável será à instalação de um *vertiport*. As demais variáveis possuem relação inversa, ou seja, quanto mais distante dessas áreas, mais favorável é determinado local à instalação de *vertiport*.

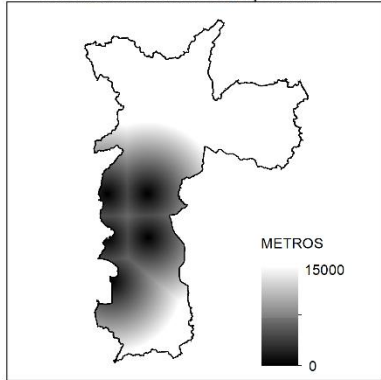
Após a obtenção das variáveis, aplicou-se um operador *fuzzy* linear para reescalonamento do valor das variáveis. Assim todas elas ficaram com valores entre 0 e 1. Após, foi aplicado

diferentes operadores *fuzzy* para a obtenção das regiões mais e menos favoráveis para instalação dos *vertiports*. Ao todo, foram aplicados cinco operadores: *fuzzy* AND, *fuzzy* OR, *fuzzy* Soma Algébrica, *fuzzy* Produto Algébrico e *fuzzy* GAMMA. Para o operado GAMMA foram utilizados três expoentes: 0,2, 0,5 e 0,9.

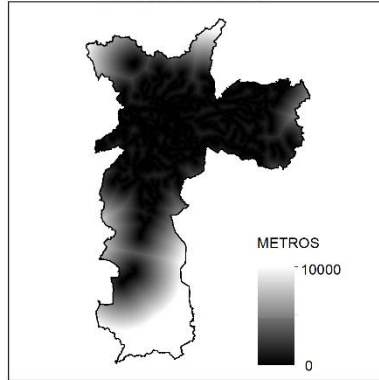
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação das medidas objetivas aos dados no ambiente SIG, foram obtidas as variáveis para cruzamento por meio dos operadores *fuzzy*. Como visto, ao todo, foram obtidas 13 variáveis originais, que podem ser observadas na Figura 1

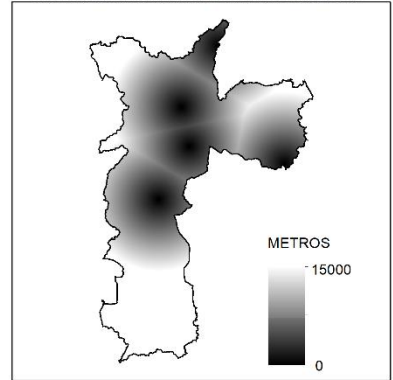
DISTÂNCIA DE ROTAS DE MIGRAÇÃO DE AVES



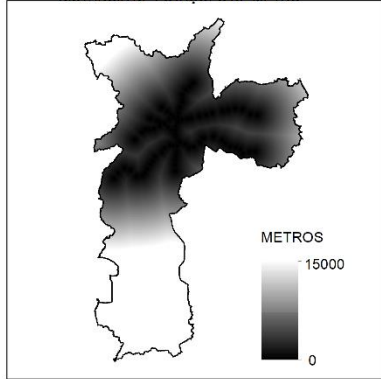
DISTÂNCIA DE CICLOVIAS



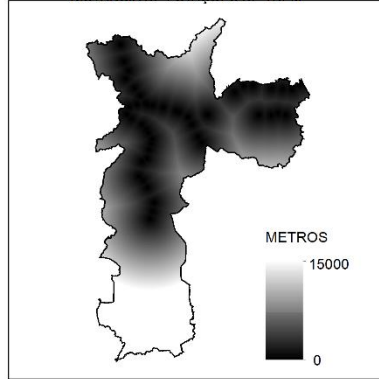
DISTÂNCIA DE LOCAIS DE DESTINO DE RESÍDUOS



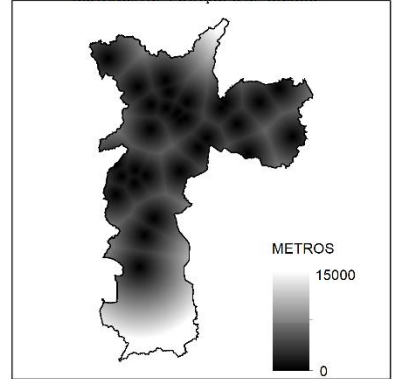
DISTÂNCIA DE ESTAÇÕES DE METRÔ



DISTÂNCIA DE ESTAÇÕES DE TREM



DISTÂNCIA DE ESTAÇÕES DE ÔNIBUS



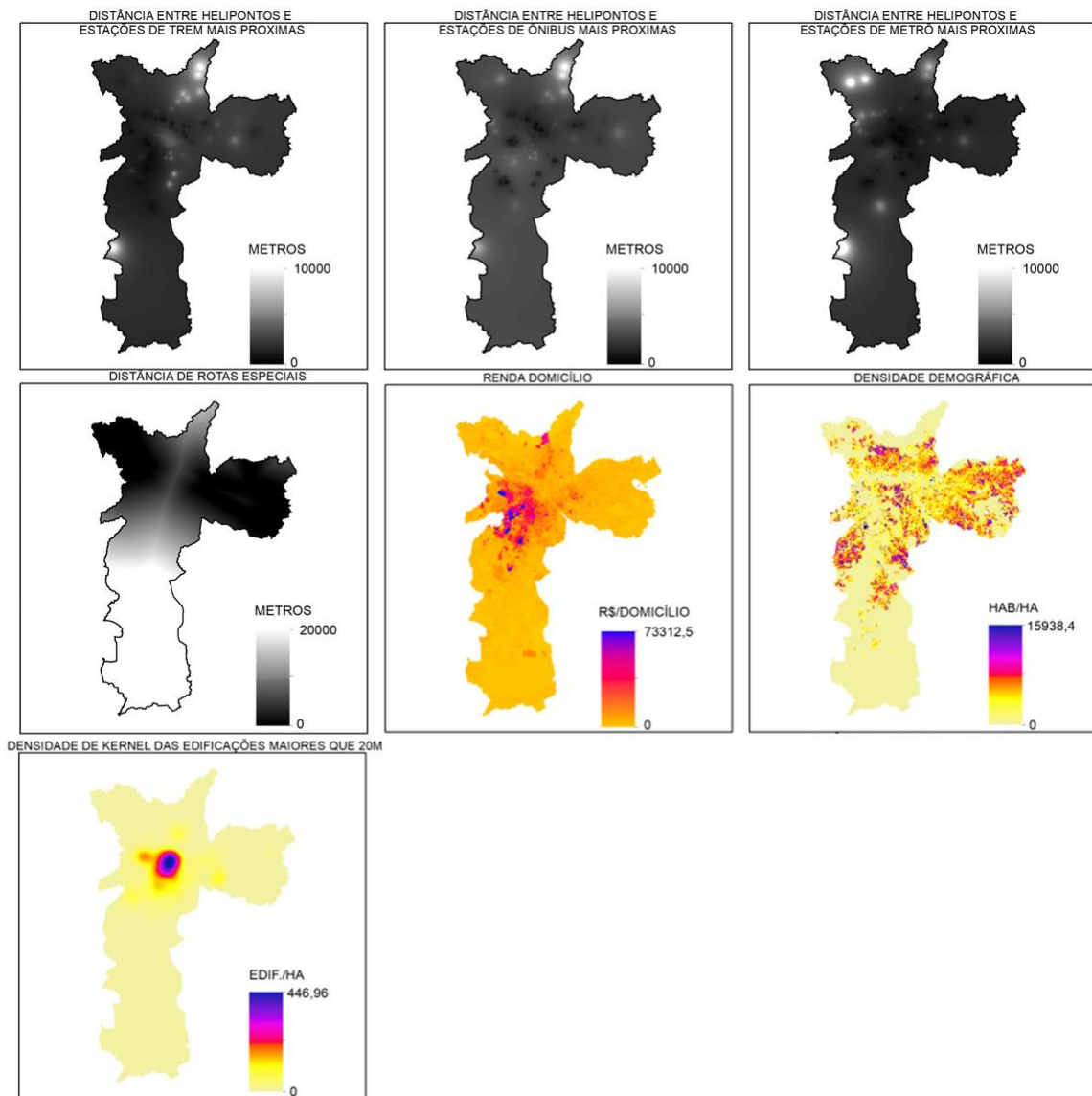


Figura 1 Conjunto de variáveis independentes originais selecionadas para o estudo

A Figura 1 apresenta o conjunto inicial de variáveis selecionadas onde, em cada mapa é demonstrado o range da métrica que os respectivos mapas expressam. Por exemplo, nos mapas de distância, como os de distância das estações de metrô, trem e ônibus, quanto mais escuro a cor no mapa, menor a distância, em metros, de tais estações. O oposto também é verdadeiro, ou seja, quanto mais clara a cor no mapa, maior a distância, em metros. Já nos mapas de Densidade de Kernel, quanto mais azul for a cor no mapa, maior a densidade de pontos do fenômeno representado. Por fim, no mapa que representa a variável renda/domicílio, quanto

mais azul for a cor no mapa, maior é a renda/domicílio naquela região.

Após a obtenção das variáveis originais, aplicou-se um operador *fuzzy* linear para transformar os valores das variáveis originais para que estas tivessem seu range entre zero e um. Em seguida, aplicou-se os operadores *fuzzy* para obtenção das áreas mais propensas à instalação dos *vertiports*. Essas áreas podem ser melhor observadas na Figura 2.

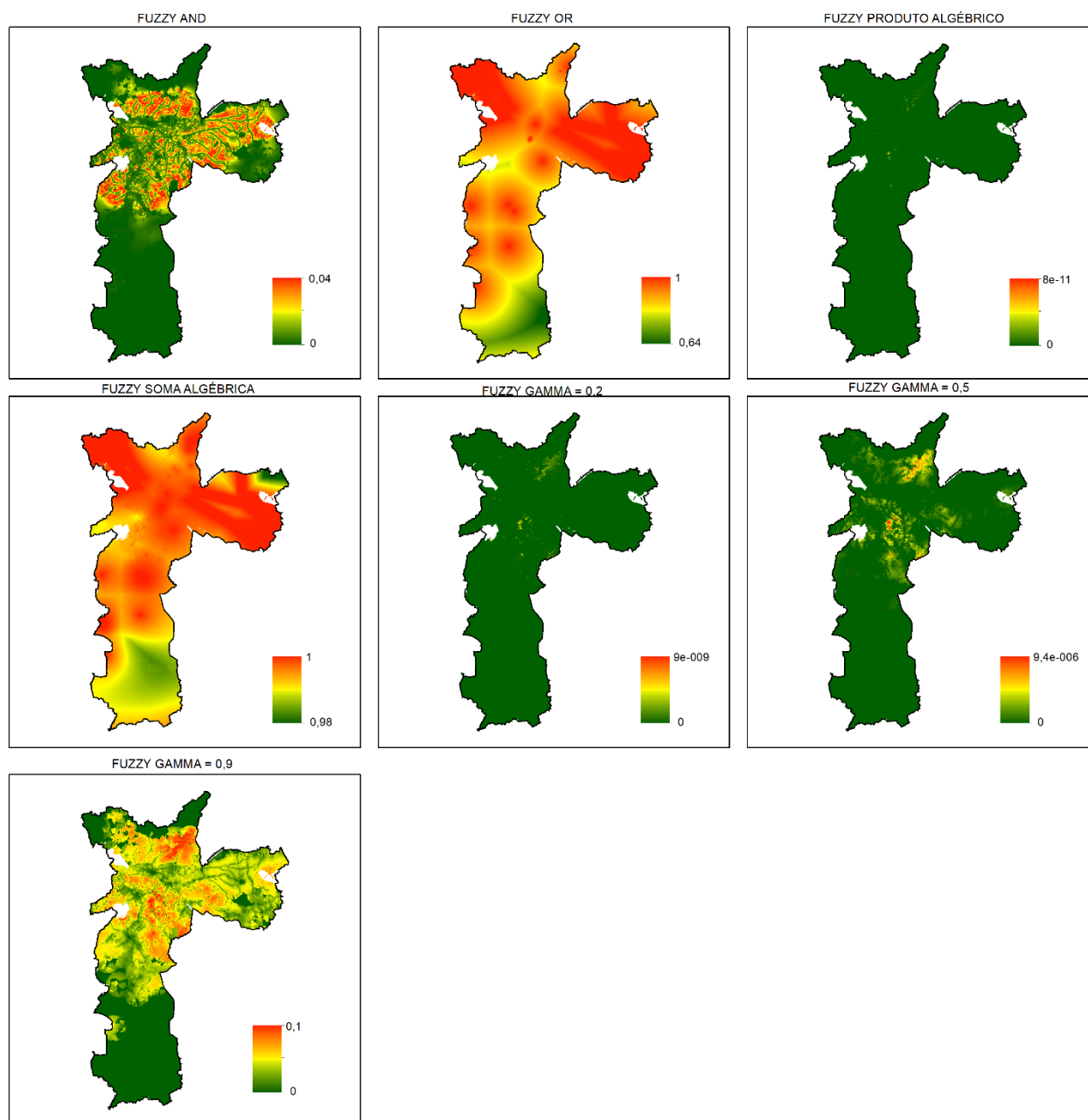


Figura 2 Áreas mais propensas a instalação dos *vertiports* de acordo com cada operador *fuzzy*

A análise da Figura 2 revela que há diferença significativa entre os resultados gerados por cada operador. Por exemplo, o operador AND gerou áreas mais favoráveis na região central do município com valores bem baixos, próximos de zero. Este fato pode ser explicado dada a natureza do operador, que coleta sempre os valores mínimos de cada variável, resultado em um cenário mais conservador, ou seja, gera uma menor extensão de áreas favoráveis à instalação (regiões com valores mais próximos de 1). O Operador OR e o operador Soma Algébrica têm comportamento oposto. Esses operadores geram resultados menos conservadores, ou

seja, geram extensões territoriais maiores de áreas mais favoráveis à instalação dos *vertiports*. Isto ocorre pois o operador OR trabalha sempre com os valores máximos de cada variável de entrada, e o Soma Algébrica trabalha com a soma destes valores, gerando um maior número de regiões com valores mais próximos de 1.

O oposto ocorre com o operador de Produto Algébrico, que gerou o cenário mais conservador dentre todos os estudados. Este operador gerou pouquíssimas áreas favoráveis à instalação dos *vertiports*. Este fato está associado ao fator multiplicativo dos valores dos pixels dos dados de entrada, gerando um

mapa de saída com valores muito baixos (próximos de 0). No operador GAMMA, pode observar cenários mais versáteis, variando de acordo com o expoente GAMMA. Os resultados se aproximam daqueles obtidos nos operadores Produto Algébrico a medida em que se diminui o valor do expoente GAMMA e, quando se aumenta o valor do expoente, o resultado se aproxima daquele obtido pelo operador Soma Algébrica.

Independente do operador utilizado, é consenso entre quase todos os resultados que as áreas mais favoráveis se encontram na região central do município de São Paulo. Este fato pode estar associado principalmente pelo maior adensamento populacional, pelo maior número de estações de trem e metrô e pela maior quantidade de estações de ônibus existentes nesta região. Há também a tendência do apontamento de áreas mais favoráveis na zona leste, outra região bastante adensada do município. Outro consenso entre todos os resultados é que não há regiões favoráveis para instalação de *vertiports* no extremo da zona sul do município, podendo ser justificado pela ausência de urbanização e infraestrutura urbana nesta região.

Assim, os operadores *fuzzy* se mostram uma alternativa interessante para auxiliar a tomada de decisão baseada em análises multicritérios. O mais interessante dessa abordagem é a sua versatilidade, podendo gerar vários tipos de cenários, do mais pro menos conservador, dependendo do objetivo de cada estudo. Isto permite identificar tendências espaciais que podem ser observadas nos diversos resultados gerados pelos diversos operadores. É importante ressaltar que não existe o mapa correto ou incorreto, o método serve para explorar os dados de entrada e a análise dos dados de saída devem ser interpretados com cautela, sendo utilizado principalmente para exclusão de áreas menos interessantes para o objetivo do fenômeno estudado. Por exemplo, no caso de instalação de *vertiports*, fica evidente que não há pouca aptidão para operações da UAM no extremo da zona sul e os resultados indicam que tais operações devem se concentrar na zona central, norte e leste do município.

6. CONCLUSÃO

É possível concluir que a utilização da abordagem *fuzzy* pode contribuir positivamente na identificação de áreas favoráveis à instalação de *vertiports* no município de São Paulo. Os diferentes operadores utilizados por meio do *fuzzy* resultaram em cenários distintos para o fenômeno estudado. Alguns cenários mais favoráveis como por exemplo, com o operador AND que apresentou resultado com maior favorabilidade à instalação de *vertiports* sobretudo em áreas localizadas na região central do município. Os cenários cujos operadores utilizados foram OR e Soma Algébrica apresentaram maiores extensões de áreas territoriais favoráveis à instalação de *vertiports*. Já o operador Produto Algébrico apresentou o cenário mais conservador dentre todos os estudados.

O estudo concluiu ainda que, mesmo com diferentes operadores e resultados, a abordagem *fuzzy* foi capaz de identificar áreas favoráveis à instalação de *vertiports* e que essas áreas se encontram em grande parte na região central, seguida das regiões norte e leste do município de São Paulo. É importante destacar que, o estudo não identificou áreas exatas para instalação de *vertiports*, mas indicando quais são as áreas mais favoráveis e excluindo as áreas menos favoráveis à instalação de *vertiports*. Vale ressaltar ainda que, não é possível definir qual dos operadores é o mais adequado sem que exista uma referência para comparação dos resultados. A escolha do operador a ser utilizado dependerá do cenário mais adequado para representação do fenômeno estudado. Desta forma, pode-se considerar que a abordagem *fuzzy* pode ser uma alternativa interessante para auxiliar estudos com essa finalidade.

References

- Bailey, D., Goonetilleke, A., & Campbell, D. (2003). A new fuzzy multicriteria evaluation method for group site selection in GIS. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12(6), 337–347. <https://doi.org/10.1002/mcda.365>
- Easa. (2022). *Vertiports Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned*

VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category (PTS-VPT-DSN). March.

- Federal Aviation Administration. (2012). AC 150/5390-2C - *Helipoint Design Document Information*. Federal Aviation Administration.
https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/150_5390-2
- Grandl, G., Ostgathe, M., Cachay, J., Doppler, S., Salib, J., & Ross, H. (2018a). The future of vertical mobility. In *7th Asian/Australian Rotorcraft Forum, ARF 2018*.
<https://www.porsche-consulting.com/en/press/insights/detail/study-the-future-of-vertical-mobility/>
- Grandl, G., Ostgathe, M., Cachay, J., Doppler, S., Salib, J., & Ross, H. (2018b). The Future of Vertical Mobility. In *Porsche Consulting*. <https://fedotov.co/wp-content/uploads/2018/03/Future-of-Vertical-Mobility.pdf>
- IBGE, I. B. de G. e E. (2020). *Cidades e Estados*. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-jose-dos-campos.html>
- Jiang, B., & Wang, Y. (2014). The evaluation of airport site selection based on the multilayer fuzzy reasoning model. *ICLEM 2014: System Planning, Supply Chain Management, and Safety - Proceedings of the 2014 International Conference of Logistics Engineering and Management*, 836–841.
<https://doi.org/10.1061/9780784413753.126>
- Lineberger, R., Hussain, A., Metcalfe, M., & Rutgers, V. (2019). *Infrastructure barriers to the elevated future of mobility*. Deloitte Insights.
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/infrastructure-barriers-to-urban-air-mobility-with-VTOL.html>
- Paolo, C., Tiziano, P., & Ragni, D. (2019). Small Scale Rotor Aeroacoustics for Drone Propulsion : a Review of Noise Sources and Control Strategies. *Engineering*.
- Paul, S., de Lorenzo, M., & Cordioli, J. A. (2020). Considerações iniciais sobre a regulamentação de ruído para aeronaves eVTOL. *Acústica e Vibrações*, 52(September).
- Penki, R. (2022). Application of Geographical Information System- Based Analytical Hierarchy Process Modeling for Flood Susceptibility Mapping of Krishna District in Andhra Pradesh. *Research Square*, 1–23.
- Qiao, L., & Zhang, L. (2018). *Evaluation of General Airport Site Selection Based on Synthetic Weighting Method and Grey Fuzzy Theory*. 199(Saeme), 244–251.
<https://doi.org/10.2991/saeme-18.2018.45>
- Rajendran, S., & Srinivas, S. (2020). Air taxi service for urban mobility: A critical review of recent developments, future challenges, and opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 143(September), 102090.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102090>
- Rajendran, S., & Zack, J. (2019). Insights on strategic air taxi network infrastructure locations using an iterative constrained clustering approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128(January), 470–505.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.003>
- Synodinos, A., Self, R., & Torija, A. (2017). Noise assessment of aircraft with distributed electric propulsion using a new noise estimation framework. *24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017*.
- Thippavong, D. P., Apaza, R. D., Barmore, B. E., Battiste, V., Belcastro, C. M., Burian, B. K., Dao, Q. V., Feary, M. S., Go, S., Goodrich, K. H., Homola, J. R., Idris, H. R., Kopardekar, P. H., Lachter, J. B., Neogi, N. A., Ng, H. K., Oseguera-Lohr, R. M., Patterson, M. D., & Verma, S. A. (2018). Urban air mobility airspace integration concepts and considerations. *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.2018-3676>
- Vascik, P. D., & Hansman, R. J. (2018). Scaling constraints for urban air mobility operations: Air traffic control, ground infrastructure, and noise. *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, 1–25.
<https://doi.org/10.2514/6.2018-3849>