METODOLOGIA PARA PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE SÍTIO AEROPORTUÁRIO

Alberto de Barros Moraes Sayão
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA
alberto.sayao7@gmail.com

Giovanna Miceli Ronzani Borille
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA
ronzani@ita.br

RESUMO

Com o objetivo de complementar o método, para escolha de sítios aeroportuários, existente no Manual de Planejamento de Aeroportos da ICAO (1987), este artigo apresenta uma proposta de metodologia no que diz respeito à adequação de ponderação de critérios. Desta forma, acredita-se ser possível mitigar possíveis distorções no processo decisório, realizando uma comparação entre as alternativas, atribuindo níveis de relevância para cada critério. Para este fim, é utilizado o método AHP (*Analitic Hierarchy Process*) para hierarquização dos critérios e definição de seus pesos de forma a auxiliar na seleção de um sítio aeroportuário.

Keywords: sítio aeroportuário, AHP, critérios, ponderação

1. INTRODUÇÃO

A escolha do sítio para a implantação de um aeródromo é uma das etapas mais importantes do planejamento de um aeroporto. Conforme é possível inferir de Neufville (2003), a escolha, além de buscar uma otimização nos investimentos, deverá conter um plano de desenvolvimento do aeroporto que seja flexível de forma a minimizar riscos e maximizar oportunidades, seja no incremento de movimento de passageiros e/ou carga, na geração de empregos ou na melhoria da economia local. Para tanto, a escolha de um sítio deve considerar diversos cenários possíveis e não apenas projeções de demanda. Deve, ainda, conforme Horonjeff (2010), compatibilizar-se com o planejamento de desenvolvimento local, com adequados zoneamentos urbanos e integração dos modais de transporte.

Portanto, conforme Ballis (2003), a seleção de um sítio é uma tarefa complexa e exige a participação de especialistas de diversas áreas e depende da análise e da adequada ponderação de critérios. Ele sugere a utilização de ferramentas multicritério para a tomada de decisões. Neste contexto, este trabalho utiliza o método AHP para uma adequada ponderação de critérios, complementando a metodologia adotada no Manual de Planejamento de Aeroportos da ICAO (1987), auxiliando no processo de decisão da melhor alternativa de seleção um sítio aeroportuário para determinada região.

Este trabalho, além de ponderar os critérios procurou defini-los e relacionar os principais fatores que os afetam.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Trabalhos para a seleção de sítios aeroportuários utilizando a ferramenta AHP para ponderação de critérios foram realizados por Ballis (2003) e Sennaroglu e Celebi (2018), mas os critérios utilizados e sua hierarquização não foram padronizados.

2.1 ETAPAS DO PROCESSO DE SELEÇÃO

Conforme Horonjeff (2010), a escolha de um sítio aeroportuário deverá contar com três principais etapas. A primeira seria a identificação de sítios a partir de requisitos pré-definidos (um exemplo seria a existência de aeroportos em determinado raio daquela localidade). A segunda seria a avaliação de alternativas de sítios a partir de critérios envolvendo questões técnicas, econômicas e sociais. E a terceira seria a seleção da melhor alternativa para a construção do aeródromo.

De acordo com o Manual de Planejamento de Aeroportos da ICAO (1987), para a identificação de alternativas de sítios, além da definição de pré-requisitos, é necessário definir a finalidade e tipo de aeroporto, e com isso definir áreas necessárias para implantação e desenvolvimento do aeroporto (reservando área para a máxima ampliação prevista). A partir daí, são analisados possíveis sítios aeroportuários, considerando-se uma avaliação inicial de mapas com planialtimetria e geologia, planos de zoneamento urbano, custos de aquisição de terreno e dados meteorológicos (principalmente intensidade e direção de ventos).

Ultrapassada esta etapa e tendo escolhido possíveis localidades, a ICAO (1987) indica que sejam realizadas inspeções in loco para verificação de possíveis vantagens ou desvantagens que não puderam ser apropriadas na avaliação inicial. Em seguida, sugere que sejam realizados estudos ambientais e preliminares para configuração da implantação do possível aeródromo. Na sequência são feitas as estimativas de custo e de posse de todos os dados é feita a avaliação das alternativas. Ultrapassada esta etapa e tendo escolhido possíveis localidades, a ICAO (1987) indica que sejam realizadas inspeções *in loco* para verificação de possíveis vantagens ou desvantagens que não puderam ser apropriadas na avaliação inicial. Em seguida, sugere que sejam realizados estudos ambientais e preliminares para configuração da implantação do possível aeródromo. Na sequência são feitas as estimativas de custo e de posse de todos os dados é feita a avaliação das alternativas.

Realizada a avaliação das alternativas é selecionada a melhor alternativa. E então é divulgado o resultado da seleção, que é a etapa final do processo.

2.2 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA SELEÇÃO

Para a avaliação de alternativas de sítios foram coletados e ajustados os critérios indicados por diversas fontes, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios para avaliação de sítio

id.	Critérios	Kazda (2008)	Horonjeff (2010)	ICAO (1987)	Ashford (1992)	Wells (1996)	Celebi (2018)
1	Espaço Aéreo		x	x	x	x	x
2	Obstáculos	x	x	x	x	x	x
3	Metereologia - ventos e condições atmosféricas (neblina e névua, por exemplo)		x	x	x	x	x
4	Perigos na aproximação (aviário, geração de fumaça, dentre outros)			x		x	
5	Topografia - condições de drenagem			x		x	x
6	Disponibilidade de áreas (inicial e expansões)	x	x	x	x	x	x
7	Geologia - condições do solo		x	x	x	x	x
8	Disponibilidade de serviços de utilidade pública (energia, água, telefone, internet e etc)		x	x	x	x	x
9	Distância do centro gerador de demanda		x	x	x	x	x
10	Acessibilidade - vias, estradas, ferrovias, portos	x	x	x	x	x	x
11	Acessibilidade - transporte público	x	x	x	x	x	x
12	Ruído e zoneamento urbano	x	x	x	x	x	x
13	Preservação de flora e fauna - áres de proteção		x	x	x		x
14	Mudanças socioeconômicas	x	x	x	x		x
15	Outros impactos ambientais (água, qualidade do ar, resíduos, preservação de sítios históricos, dentre outros)		x	x	x		x
16	Custo de aquisição de terras		x	x	x		x
17	Custos de implantação do aeródromo - pista de pouso e decolagem		x	x	x		x
18	Custos de implantação do aeródromo - edificações e equipamentos		x	x	x		x

2.3 METODOLOGIA AHP

Com o objetivo de proporcionar uma adequada tomada de decisão no caso de questões complexas, Saaty (1977) criou a metodologia AHP. Para compreender e representar o problema, ele propôs a montagem de uma estrutura hierárquica dos critérios, conforme ilustrado na Figura 1, que são importantes para sua análise. Com isso, permite a obtenção de uma visão geral da questão e atribuir níveis de importância para a cada critério ou subcritério para um processo decisório.

A segunda fase da metodologia baseia-se na comparação pareada de critérios classificados em um mesmo nível hierárquico para definição de pesos de importância a serem considerados, realizada por especialistas da área. Como esta comparação é subjetiva, Saaty (1990) criou uma escala relativa para relacionar os pares, conforme a Tabela 2.

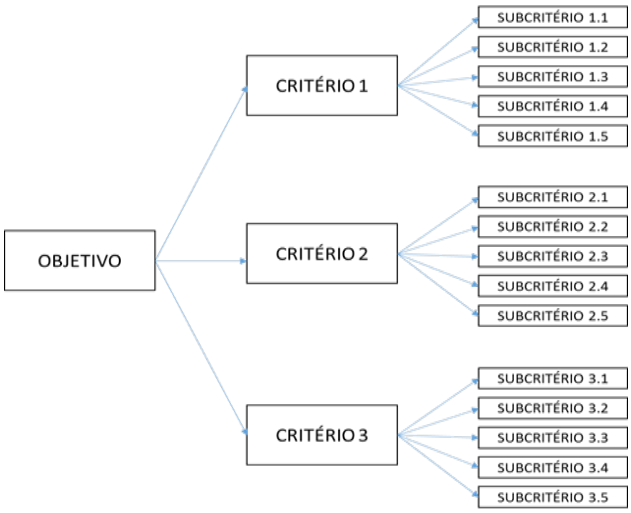


Figura 1: Estrutura hierárquica de critérios

Tabela 2: Escala relativa de importância de Saaty

Escala de importância	Ponderação	Descrição
1	Igual importância	Os dois itens contribuem de forma igual para o objetivo
3	Ligeiramente mais importante	Experiência e julgamento favorecem mais um item em relação ao outro
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente um item em relação ao outro
7	Muito forte importância	É claramente demonstrado na prática que um item favorece mais que o outro
9	Extrema importância	Há evidência absoluta que um item favorece mais que o outro
2, 4 ,6, e 8	Valores intermediários entre os acima especificados	Quando necessário são atribuídos valores intermediários.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

A partir dos resultados obtidos na comparação pareada é montada a chamada matriz de decisão e realizados testes de validação dos dados. A seguir é obtido o chamado vetor de prioridade, que é o fator (peso) a ser considerado em cada critério.

Uma vez mensurados cada critério, multiplica-se pelo vetor de prioridade e com a somatória destas multiplicações é gerado um score para cada alternativa. A alternativa com o score mais elevado é a mais vantajosa para a implantação do aeródromo.

3 – METODOLOGIA PROPOSTA

3.1 – DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E DA SUA ESTRUTURA HIERÁRQUICA

A partir dos critérios indicados no item 2.2 é proposta a estrutura hierárquica disposta na Figura 2.



Figura 2: Estrutura hierárquica de critérios para escolha de sítio aeroportuário

3.2 – DESCRIÇÃO DE SUBCRITÉRIOS

Segue breve descrição dos subcritérios e os fatores mais relevantes que são considerados para a sua ponderação.

Espaço Aéreo

Critério relacionado ao tráfego aéreo, principalmente no que se refere a conflito de trajetos na aproximação e decolagem de aeronaves. Assim a ponderação deste critério leva em conta duas principais variáveis: distância do aeródromo mais próximo e se há convergência das pistas.

Obstáculos

Critério relacionado a objetos naturais ou artificiais que podem interferir nas operações de aproximação ou decolagem de aeronaves (exemplos: montanhas, prédios e antenas). A ponderação deste critério leva em consideração duas principais variáveis: tipo de operação e categoria do aeroporto (número). A escolha destas variáveis está relacionada as rampas livres de obstáculos definidas pela autoridade aeronáutica.

Meteorologia

Critério relacionado a interferência do clima nas operações de pouso e decolagem. Assim são consideradas duas principais variáveis: vento e visibilidade.

Implantações perigosas e perigo aviário

Critério relacionado a rotas de migração de aves de grande porte, bem como a implantações que podem atrair pássaros ou gerar fumaça e turbulência.

Condições de drenagem

Critério relacionado a geomorfologia do terreno em que as principais variáveis consideradas foram declividade do terreno e permeabilidade do solo.

Disponibilidade de áreas

Critério relacionado as áreas para implantação e para expansões do aeródromo. As áreas devem ser relacionadas as previsões de demanda do aeroporto. As áreas necessárias para implantação mínimas estão relacionadas com comprimentos e larguras de pistas de pouso e decolagem necessários.

Geologia – condições do solo

Critério associado a natureza do solo que pode dificultar e onerar a implantação do sistema de pistas do aeródromo, bem como a sua manutenção.

Serviços de utilidade pública

Critério associado a disponibilidade de serviços de energia, água potável, comunicações, rede de esgotos e demais serviços básicos.

Distância do centro gerador

Critério relacionada a distância efetiva de trajeto rodoviário ou ferroviário da área prevista para o terminal de passageiros até o centro de gravidade do polo gerador ou centro da cidade.

Acessibilidade - vias, estradas, portos e ferrovias

Critério relacionado a existência de uma rede de transportes que sirva a região em condições de atender a demanda esperada em boas condições de operação.

Acessibilidade - transporte público

Critério associado a existência de uma rede de transportes público que já atenda a região do aeródromo.

Meio ambiente - nível de ruído e zoneamento urbano

Critério associado a verificação do impacto de ruído nas áreas adjacentes ao potencial sítio, conforme curvas que representam níveis iguais de exposição ao ruído e o uso solo (zoneamento urbano).

Meio ambiente – preservação da fauna e flora

Critério associado a reservas ambientais, áreas com alta densidade de árvores, águas (por exemplo rios e lagos), restrições de fauna (por exemplo o corte de araucárias em determinada área), e preservação de espécies animais.

Meio ambiente – mudanças sociais e econômicas esperadas

Critério associado a necessidade de deslocamento de famílias e negócios para implantação do aeródromo, bem como a oportunidade de desenvolvimento econômico regional, com a criação de empresas e geração de empregos.

Meio ambiente – impactos físicos

Critério associada a impactos ambientais que podem prejudicar a região, tais como a possibilidade da contaminação de aquíferos, aumento da emissão de gases em região já prejudicada, e preservação de sítios históricos.

Custo estimado de aquisição de terras

aeródromo. É importante apropriar possíveis custos de demolições ou de compensação ambiental

Custo estimado da construção do sistema de pistas

Critério associado aos custos de construção do sistema de pistas. É importante apropriar possíveis custos de demolições ou de compensações ambientais. Os volumes de movimentação de terra e transporte de materiais são muito relevantes para apropriar estes custos

Custo estimado da construção de edificações e aquisição de equipamentos e sistemas

Critério associado ao custo de edificações, tais como terminais de passageiros e de carga,

Critério associado a custos de aquisição de terras para implantação e expansão do torres de controle e seções de contraincêndio, e de equipamentos e sistemas para a operação do aeródromo.

Ressalta-se as diferenças de custos em fundações, terraplenagem, transporte de materiais, disponibilidade de redes de energia e comunicações.

3.3 – PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS

Utilizando a metodologia AHP e a estrutura hierárquica proposta é possível gerar o vetor de prioridade, apropriando pesos a serem considerados em cada critério e subcritério, conforme pode ser observado no exemplo demonstrado nas Tabela 3 e 4.

Tabela 3: Ponderação de critérios

Critérios	Condições operacionais	Condições de implantação	Acessos	Meio Ambiente	Custos	vetor de prioridade obtido
Condições operacionais	1	5	6	2	2	0,426
Condições de implantação	1/5	1	3	1	1	0,152
Acessos	1/6	1/3	1	1/4	1/2	0,056
Meio Ambiente	1/2	1	4	1	1	0,186
Custos	1/2	1	3	1	1	0,177

Tabela 4: Ponderação de subcritérios

Subcritérios de condições operacionais	Espaço Aéreo	Obstáculos	Meteorologia	Perigos	vetor de prioridade obtido
Espaço Aéreo	1	5	6	2	0,158
Obstáculos	1/5	1	3	1	0,524
Meteorologia	1/6	1/3	1	1/4	0,222
Perigos	1/2	1	4	1	0,096

3.4 – DEFINIÇÃO DE VALORES PARA CADA CRITÉRIO DE CADA ALTERNATIVA

Para a determinação de valores para cada subcritério referente a cada alternativa estudada sugere-se a elaboração de questões objetivas que englobem os fatores descritos no item 3.2. Neste trabalho, para fins de exemplificar a metodologia foi adotada uma escala que varia de 1 a 5, sendo 1 a pior situação e 5 a melhor.

Por exemplo, para valorar o subcritério obstáculos pode-se utilizar as questões demonstradas na Tabela 5:

Tabela 5: Exemplo de questões para o subcritério obstáculos

Descrição	Peso
Áreas livres de obstáculos apenas para operações visuais código do aeródromo 1 ou 2.	1
Áreas livres de obstáculos apenas para operações visuais código do aeródromo 3 ou operações IFR não precisão código do aeródromo 1 e 2.	2
Áreas livres de obstáculos para operações visuais código do aeródromo 4 e operações IFR não precisão código 3 e 4.	3
Áreas livres de obstáculos para operações IFR precisão Categoria I para qualquer código de aeródromo.	4
Áreas livres de obstáculos para operações IFR precisão Categoria II ou III para código de aeródromo 3 ou 4.	5

Assim, são gerados valores obtidos por alternativa proposta para cada subcritério

Tabela 6: Exemplo de valoração obtida por subcritérios e alternativas

Subcritérios de condições operacionais	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Espaço Aéreo	4	3	5
Obstáculos	3	2	4
Meteorologia	1	2	3
Perigos	5	1	4

3.5 – GERAÇÃO DE SCORE POR ALTERNATIVA

Obtidos os valores por subcritério eles devem ser multiplicados pelos pesos. Assim é gerado o score final, conforme demonstrado no exemplo da Tabela 7.

Neste exemplo, foram comparados os scores das alternativas 1, 2 e 3 (colunas 6, 8 e 10) e o maior valor significa que é a melhor alternativa, no caso a alternativa 1.

Tabela 7: Obtenção de score por alternativa

Id	Subcritérios (1)	Peso do critério (2)	Peso do subcritério (3)	fator considerado (4)	Alternativa 1 nota obtida (5)	Alternativa 1 *score* do subcritério (6)	Alternativa 2 nota obtida (7)	Alternativa 2 *score* do subcritério (8)	Alternativa 3 nota obtida (9)	Alternativa 3 *score* do subcritério (10)
1	Espaço Aéreo	0,426	0,158	0,067	4	0,269	3	0,202	5	0,337
2	Obstáculos		0,524	0,223	4	0,893	2	0,446	3	0,670
3	Metereologia - ventos e condições atmosféricas		0,222	0,095	1	0,095	2	0,189	3	0,284
4	Perigos na aproximação		0,096	0,041	5	0,204	1	0,041	4	0,164
5	Topografia - condições de drenagem	0,152	0,259	0,039	4	0,157	2	0,079	3	0,118
6	Disponibilidade de áreas		0,558	0,085	5	0,424	5	0,424	3	0,254
7	Geologia - condições do solo		0,112	0,017	5	0,085	2	0,034	5	0,085
8	Disponibilidade de serviços de utilidade pública		0,071	0,011	2	0,022	1	0,011	2	0,022
9	Distância do centro gerador de demanda	0,056	0,701	0,039	5	0,196	5	0,196	3	0,118
10	Acessibilidade - vias, estradas, ferrovias, portos		0,213	0,012	3	0,036	5	0,060	3	0,036
11	Acessibilidade - transporte público		0,085	0,005	1	0,005	4	0,019	1	0,005
12	Ruído e zoneamento urbano	0,189	0,397	0,075	5	0,375	2	0,150	4	0,300
13	Preservação de flora e fauna - áres de proteção		0,124	0,023	4	0,094	2	0,047	3	0,070
14	Mudanças socioeconômicas		0,409	0,077	2	0,155	5	0,387	3	0,232
15	Outros impactos ambientais		0,07	0,013	1	0,013	3	0,040	2	0,026
16	Custo de aquisição de terras	0,177	0,581	0,110	5	0,549	2	0,220	3	0,329
17	Custos de implantação - pista de pouso e decolagem		0,309	0,058	4	0,234	2	0,117	4	0,234
18	Custos de implantação - edificações e equipamentos		0,11	0,021	2	0,042	4	0,083	2	0,042
		Score final:				**3,847**		2,744		3,324

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado esperado com a utilização da metodologia proposta é a obtenção da seleção da melhor alternativa de sítio aeroportuário proposta, considerando variáveis econômicas, sociais e técnicas bem distribuídas, complementando a metodologia já disseminada pela ICAO. Para tanto, é importante definir e estruturar adequadamente os critérios (estrutura hierárquica de critérios), como pôde ser observado neste trabalho. É importante ressaltar que a ferramenta AHP exige a participação de especialistas de diversas áreas e permite que sejam obtidos vetores de prioridade considerando cenários diferentes (por exemplo, em determinada região pode ser importante colocar um peso maior para custos, em outra acessibilidade, ou seja a matriz não seria fixa para todas as seleções de sítio).

Referências

ASHFORD, N. Airport Engineering, 3rd, John Wiley&Sons, Inc.,1992.

BALLIS, A. Airport site selection based on Multicriteria Analysis: the case of The Island of Samothraki, Operational Research, V.3, I.3, 261-279, Greece, 2003.

De NEUFVILLE, R. & ODONI, A. Airport Systems – Planning, Design, and Management. McGraw-Hill, 2003.

FAA. Airport Design. Advisory Circular – AC 150/5300-13, 2007.

HORONJEFF, R., McKELVEY, F.X., SPROULE, W., YOUNG, S. B.,, R. Planning and Design of Airports. 5th Ed., McGraw-Hill, 2010.

ICAO, Doc. 9184 - Airport Planning Manual. Part 1 – Master Planning. 2nd Ed., 1987.

KAZDA, A & CAVES, R. Airport Design and Operation. 2nd Ed., Elsevier, 2008.

SAATY, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology, 15/3,234-281, 1977.

SAATY, T. L. How make a decision: the analytic hierarchy process, Euporean Journal of Operational Research, 48,9-26,1990.

SENNAROGLU,B. & CELEBI, G.V. A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods, Transportation Research Part D 59, 160-173, 2018.

WELLS, A. T. Airport planning & management, 3rd, McGraw-Hill,1996