

Dimensionamento de pistas de pousos e decolagens em pequenos aeroportos na otimização de investimentos e segurança operacional

Mauro Caetano¹, Lívia Gabriella de Melo Sousa²

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG) - maurocaetano1912@gmail.com

² Universidade Paulista (UNIP) - liviagabriella@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE

Aeroporto,
Comprimento de pista,
Infraestrutura aeroportuária,
Projeto geométrico.

Recebido 06.08.2018
Aceito 12.12.2018

ISSN 1980-4431
Double blind review



RESUMO

Identificar as principais características de projetos geométricos de pistas de pousos e decolagens em pequenos aeroportos torna-se necessário para a otimização de investimentos e também a oferta de segurança operacional. Com isso, nesse estudo são identificadas as demandas para comprimento total de pista para decolagens (TORA: Take-off Runway Available), definidas pela aeronave autorizada para o seu uso, bem como o tamanho de pista disponibilizado de acordo com as declarações apresentadas pelos aeródromos junto ao órgão regulador brasileiro, a ANAC. A partir da análise de dados referentes a 49 pequenos aeroportos brasileiros, foram calculadas as dimensões longitudinais de pista realizando as devidas correções de altitude do aeródromo, temperatura local em relação à temperatura padrão e também declividade longitudinal de pista. Os resultados demonstram que entre os aeroportos que possuem maiores dimensões longitudinais em relação as requeridas pela aeronave de projeto são os de São Gabriel da Cachoeira/AM (SBUA) e o aeroporto de Vilhena/RO (SBVH). Também foram analisados os custos adicionais aplicados à infraestrutura de pista. Com isso, melhores compatibilizações entre oferta e demanda por infraestrutura aeroportuária referente às dimensões de pista devem ser melhor consideradas em projetos geométricos de pistas de pousos e decolagens.

KEYWORDS

Aeroporto,
Comprimento de pista,
Infraestrutura aeroportuária,

ABSTRACT

Identifying the main characteristics of geometric designs of landing runways and takeoffs at small airports becomes necessary for the optimization of investments as well as the offer of operational safety. This study identifies the demands for total runway length (TORA), defined by the aircraft authorized for its use, as well as the runway size made available according to the declarations presented by aerodromes with the Brazilian regulatory agency, ANAC. From the data analysis of 49 small Brazilian airports, the longitudinal dimensions of the runway were calculated by performing the correct aerodrome altitude corrections, local temperature in relation to the standard temperature and also longitudinal runway slope. The results show that among the airports that have the largest longitudinal dimensions in relation to those required by the project aircraft are São Gabriel da Cachoeira / AM (SBUA) and Vilhena / RO (SBVH) airport. The additional costs applied to the runway infrastructure were also analyzed. Thus, better compatibility between supply and demand for airport infrastructure regarding runway dimensions should be better considered in geometric designs of runways and landings

1 Introdução

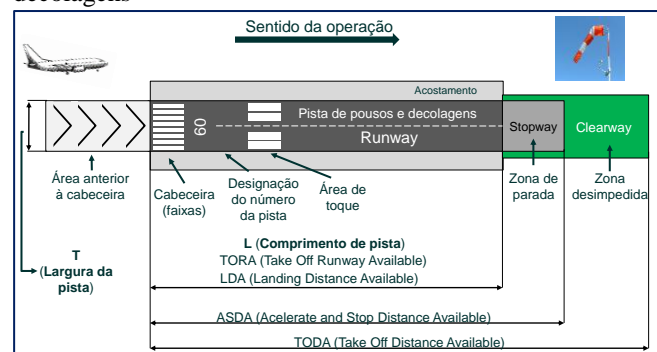
Há no Brasil, de acordo com dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017), 2421 aeródromos, dos quais 591 são aeródromos públicos e 1830 aeródromos privados. Apesar dessa quantidade significativa, apenas 129 desses possuem operações de aviação comercial regular, ou seja, cerca de 5% do total. Acredita-se que parte dessa não utilização dos aeródromos brasileiros para a aviação comercial se deve a diferentes fatores, como baixa demanda, limitações operacionais para determinadas aeronaves, limitações nas pistas de pouso e decolagens, entre outras incompatibilidades de infraestrutura aeronáutica.

Incompatibilizações na infraestrutura aeronáutica podem se dar tanto em relação à falta de determinado elemento necessário para as operações de transporte aéreo no aeródromo, como ausência de terminal de embarque e desembarque de passageiros, ou a falta de dimensões mínimas de pista, quanto ao excesso na oferta de instalações e estruturas que não sejam demandadas, como dimensões de pistas de pousos e decolagens maiores do que as propriamente utilizadas, ocasionando na má utilização do espaço físico e de recursos investidos na pavimentação, por exemplo.

Diferentes documentos, como o Anexo 14, da International Civil Aviation Organization (ICAO, 1999), o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC nº 154 (ANAC, 2012), Young e Wells (2011), entre outros, propõem critérios para o dimensionamento de pistas de pouso e decolagens. Entretanto, nota-se comumente que tais documentos tratam das condições mínimas para o dimensionamento, como comprimento e largura mínimos de pista, distâncias mínimas de separação entre pistas, sinalização, áreas de segurança, bem como demais elementos mínimos necessários para as operações de determinada aeronave de projeto.

Com isso, tais dimensões mínimas, como no caso das pistas de pousos e decolagens, além de serem atendidas, muitas vezes são sobre majoradas em aeródromos, acarretando na construção de estruturas subutilizadas e desperdício de recursos investidos. A Figura 1 apresenta a representação das principais dimensões de pista associadas às operações de pousos e decolagens de aeronaves.

Figura 1. Principais dimensões para a pista de pousos e decolagens



Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a Figura 1, apresentada sem escala, para a execução de procedimentos de pouso ou decolagens, há uma extensão máxima para o comprimento de pista (L) disponível para a corrida das aeronaves durante a decolagem, identificada como TORA (Take Off Runway Available). Essa mesma distância também é considerada para fins de procedimento de aterrissagem, a LDA (Landing Distance Available). Somada à LDA, uma zona de parada da aeronave (Stopway) se constitui na ASDA (Accelerate and Stop Distance Available) que, por sua vez, somada à uma área livre de obstáculos ou zona desimpedida (Clearway), constituem-se na distância total de decolagem TODA (Take Off Distance Available). Em relação à largura da pista (T) e ao acostamento da pista de pousos e decolagens, há também dimensões mínimas a serem consideradas.

A definição dessas distâncias passa obrigatoriamente pelas características de desempenho da aeronave de projeto considerada na construção dessa pista, o que deve atender às regulamentações mínimas que possam atender aos critérios de segurança operacional. Entretanto, tais regulamentos não estabelecem as dimensões máximas para o caso de otimização do investimento de modo a não tornar obsoletas partes dessa estrutura em um aeroporto.

Nesse estudo, os aeródromos analisados são considerados como toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves. Já um aeroporto refere-se a um aeródromo, público ou privado, dotado de instalações e facilidades para o apoio de operações de aeronaves, embarque e desembarque de pessoas e cargas (BRASIL, 1986). O foco dado nesse estudo na análise dos aeroportos refere-a ao projeto geométrico das pistas de pouso e decolagens de aeronaves, em pavimento com superfície de asfalto (flexível) de pequenos

aeroportos, considerando a melhor geometria possível diante das reais necessidades operacionais e otimização de investimentos.

Sendo assim, o presente estudo possui o propósito de analisar diferentes pequenos aeroportos brasileiros, correlacionar suas dimensões com seu uso propriamente dito e identificar índices de subutilização desses aeroportos a partir de variáveis de dimensionamento de pistas de pousos e decolagens.

Esse estudo justifica-se pelas suas possíveis contribuições teóricas para estudos sobre o tema, pois complementa estudos como os de Mello et al. (2016), que trata dos custos associados às obras de pavimentação rodoviária, bem como Giustozzi, Toraldo e Emanuele (2012), que apresentam possibilidade de reduções de impactos com a reciclagem de pavimentos aeroportuários.

Além disso, esse estudo justifica-se pelo seu possível impacto e contribuições, tanto diante da quantidade significativa de aeródromos no país quanto pela limitação de recursos destinados às obras de infraestrutura aeroportuária, pois considera a otimização de investimentos a partir das reais necessidades dos aeroportos planejados de modo a otimizar os investimentos realizados.

2 Robustez Metodológica

Para a realização desse estudo foi utilizada a pesquisa documental sobre as determinações regulamentares para projeto geométrico de aeródromos, bem como suas variáveis consideradas, como envergadura da aeronave de projeto, nesse estudo considerada como aeronave de projeto (AP) do aeroporto, bitola do trem de pouso, máximo peso de decolagem (MTOW) e máximo peso de pouso (MLW). Tais dimensões são então tomadas como referência na análise de conformidade de diferentes aeroportos brasileiros.

A análise de aeroportos brasileiros foi realizada a partir de dados coletados junto aos órgãos do setor, como ANAC, Infraero, DAESP (Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo), concessionárias de aeroportos, entre outros.

A operacionalização do estudo foi realizada em dois momentos distintos, o primeiro relacionado à seleção e coleta de dados, e o segundo relacionado à análise dos dados.

2.1 Seleção e Coleta de Dados

A seleção dos dados para o estudo passou por diferentes etapas consideradas necessárias para o delineamento do estudo, o que também representa significativas contribuições metodológicas.

2.1.1 Identificação dos Aeroportos Analisados

Por se tratar de um estudo voltado para a aviação comercial em pequenos aeroportos brasileiros, o estudo se restringe inicialmente à análise dos 591 aeródromos públicos, de um total de 2421 aeródromos homologados e registrados no país pela ANAC (2017b) na sua relação mais recente no momento desse estudo.

Como há entre os aeródromos públicos vários grandes aeroportos, houve a necessidade de definição de um parâmetro para segmentar os pequenos aeroportos. Para tanto, foi utilizada a metodologia proposta pela Federal Aviation Administration (FAA, 2017), que classifica os aeroportos com mais de 10.000 embarques anuais conforme critérios apresentados na Tabela 1 em relação ao total de passageiros embarcados nos aeroportos do país.

Tabela 1. Classificação de aeroportos adotada no estudo

Percentual de passageiros anuais embarcados	Total de passageiros anuais embarcados	Classificação
1% ou mais	Acima de 480.814	Grande
Até 1% e acima de 0,25%	Até 480.814 e acima de 120.204	Médio
Até 0,25%	Até 120.204	Pequeno

Fonte: ANAC (2017) e adaptado de FAA (2017).

Conforme dados da Tabela 1, foi considerada a quantidade total de passageiros pagos transportados em 2016 nos aeroportos brasileiros, equivalente a 96.162.660 passageiros (ANAC, 2017), ou seja, 48.081.330 embarques anuais, e os respectivos percentuais para a classificação dos aeroportos, sendo considerados pequenos os aeroportos brasileiros com até 120.204 embarques anuais, ou 240.406 movimentos anuais.

2.1.2 Identificação da População e Amostra do Estudo

Como esse estudo refere-se aos pequenos aeroportos utilizados no transporte aéreo de passageiros, foi adotada como referência a

quantidade de passageiros embarcados por aeroporto no mercado doméstico (ANAC, 2016). Com isso, foi identificada a quantidade total de 56 aeroportos que se enquadram na classificação de pequenos aeroportos, ou seja, cerca de 50% do total de 124 aeroportos utilizados no transporte aéreo de passageiros no Brasil e que estão homologados pela ANAC (2017d). Como a grande totalidade desses aeroportos possui suas pistas pavimentadas em asfalto, esse tipo de superfície foi definida como o foco do estudo.

No caso do aeroporto de Pelotas/RS (SBPK), que possui duas pistas identificadas junto à ANAC, foi considerada somente a pista principal de pousos e decolagens. Já nos casos do aeroporto de Santa Maria/RS (SBSM) e de Humaitá/AM (SWHT), ambos foram excluídos da análise por possuírem pistas com superfície de concreto e terra, respectivamente, sendo nesse estudo analisados somente os aeroportos com superfície em asfalto. Também foram excluídos os aeroportos de Conceição do Araguaia/PA (SBAA), Carolina/MA (SBCI), Ourilândia do Norte/PA (SDOW), Redenção/PA (SNDC), Borba/AM (SWBR), Maués/AM (SWMW) e Boca do Acre/AM (SWNK) por não apresentarem suas aeronaves críticas declaradas junto à ANAC. Com isso, o total de aeroportos selecionados e que se enquadra nas categorias estabelecidas refere-se a 56 aeroportos.

Após esse filtro, foram então analisados os voos vigentes autorizados no HOTRAN – Horário de Transporte (2017), sendo desconsiderados os seguintes aeroportos por não possuírem voos vigentes autorizados no momento dessa pesquisa: Almeirim/PA (SBMD), Forquilha/SC (SBCM), Macaé/RJ (SBME), Manicoré/AM (SBMY), Patos de Minas/MG (SNPD), São José dos Campos/SP (SBSJ), Tucuruí/PA (SBTU). No caso de SBSJ, mesmo que aeronaves de grande porte utilizem o aeroporto, não havia no momento da pesquisa voos comerciais regulares autorizados vigentes. Com isso, no total foram analisados 49 diferentes aeroportos, ou seja, 88% dos aeroportos universo da pesquisa, conforme características disponibilizadas no Quadro 1 referente às principais características dos aeroportos analisados, apresentada em ordem alfabética dos códigos ICAO dos aeroportos.

Cabe ressaltar que esse percentual de pequenos aeroportos não se apresenta maior em função de que cerca de 30% de toda a movimentação doméstica de passageiros no país

concentra-se em três grandes aeroportos, no Aeroporto Internacional de São Paulo-Guarulhos (SBGR), Aeroporto de São Paulo-Congonhas (SBSP) e no Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR), com 12,8%, 9,7% e 9,6% do total de passageiros transportados, respectivamente (ANAC, 2016).

2.1.3 Dimensões Consideradas no Estudo

As dimensões físicas consideradas no estudo referem-se à largura de pista T e ao comprimento de pista L (LDA e TORA), incluindo as dimensões de acostamento nos casos para os quais a aeronave crítica demande tal estrutura, sendo considerada a largura total de 60m para aeronaves classe D, sendo 45m de largura de pista somados aos 7,5m de acostamento em cada lado da pista, e também de 75m para aeronaves classe F, sendo 60m de largura de pista somados aos 7,5m em cada lado da pista.

Para a identificação do comprimento de pista real (L_{real}) necessário e calculado para cada aeroporto, foram considerados o aeródromo de referência, ou simplesmente comprimento de pista de referência (L_{ref}) da aeronave de projeto, a altitude (a) e a média das temperaturas máximas (t) do aeródromo nos meses mais quentes, bem como a declividade longitudinal (dl) da pista. A identificação do L_{real} foi realizada a partir das devidas correções de temperatura (C_t), altitude (C_a) e declividade longitudinal (C_{dl}) do aeródromo em relação ao L_{ref} , identificados junto aos ábacos de cada aeronave.

O L_{ref} é considerado de acordo com as características de desempenho da aeronave, sendo definido a partir das especificações do fabricante. As condições consideradas nesse estudo, antes da correção, para a identificação do L_{ref} foram MTOW, temperatura padrão, nível do mar como altitude, zero vento e zero gradiente de pista. A Tabela 2 apresenta a classificação de aeronaves para fins de identificação dos aeródromos de referência considerados.

As correções para a identificação do L_{real} em cada um dos aeroportos analisados foram realizadas a partir da aplicação da Equação 1.

$$L_{real} = L_{ref} \cdot C_t \cdot C_a \cdot C_{dl} \quad (1)$$

De acordo com a Equação 1, as correções a partir da temperatura (C_t) é realizada de tal modo que seja necessário 1% a mais de pista para cada 1

°C acima da temperatura padrão na altitude do aeródromo, conforme Tabela 3.

Por fim, para a correção de declividade longitudinal (C_{dl}), considera-se 1% a mais de pista para cada 0,1% de declividade

Tabela 2. Classificação de aeronaves para aeródromo de referência

Código numérico	Código de letra	Envergadura (m)	Distância entre as rodas externas do trem de pouso principal (m)	Aeródromo de referência - L_{ref} (m)
1	A	Até 14,99	Inferior a 4,5	Inferior a 800
2	B	Entre 15 e 23,99	Entre 4,5 e 5,99	Entre 800 e 1199
3	C	Entre 24 e 35,99	Entre 6 e 8,99	Entre 1200 e 1799
4	D	Entre 36 e 51,99	De 9 a 13,99	A partir de 1800
	E	Entre 52 e 64,99	De 9 a 13,99	
	F	Entre 65 e 79,99	De 14 a 16	

Fonte: RBAC 154 (2012).

Tabela 3. Temperatura padrão em relação à altitude do aeródromo

Altitude (m)	Temperatura Padrão
0	15 °C
300	13 °C
600	11 °C
900	9 °C

Fonte: RBAC 154 (2012).

A partir da Tabela 3, pode-se inferir que a temperatura padrão do aeródromo em função da altitude equivale ao decréscimo próximo de 2 °C na temperatura padrão a cada 300 m de acréscimo na altitude. Com isso, foi possível desenvolver os cálculos de modo que haja uma relação direta e inversamente proporcional entre essas duas variáveis, conforme proposta desenvolvida na Equação 2 para a identificação da temperatura padrão (t_p) em função da altitude (a) do aeródromo em questão para fins de correção a partir da temperatura (C_t).

$$f(t_p) = (13500 - 6.a).900^{-1} \quad (2)$$

Identificada a temperatura padrão do aeródromo em função da sua altitude e realizada a C_t , para a correção de altitude (C_a) considera-se o adicional de 7% de pista para cada 300 m de altitude do aeródromo em relação ao nível do mar. A Equação 3 apresenta o cálculo para o percentual p de acréscimo de pista em função da altitude.

$$f(p) = 7.a.300^{-1} \quad (3)$$

pista. Devido ao fato de que nessa última dimensão

há a necessidade de uma acurácia maior na identificação das cartas aeronáuticas de cada aeródromo e as respectivas cotas de cada cabeceira, optou-se por estimar a declividade das pistas em 0,1%, ou seja, dentro do limite estabelecido para os casos de aeródromos classificados com códigos 3 ou 4 (RBAC 154, 2012), sendo o valor de C_{dl} equivalente a 1,01.

2.1.4 Custos Considerados

Na definição dos custos de pavimentação foi adotado como referência o custo médio gerencial (CMG), divulgado bimestralmente pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e que considera dos custos de planejamento, implantação e adequação de obras de infraestrutura de transportes. Nesse estudo foi considerado o CMG mais recente no momento do estudo, divulgado em Abril de 2017 e referente à Novembro de 2016 (DNIT, 2017).

Dadas as características dos pavimentos aeroportuários, que no Brasil podem estar submetidos a cargas superiores a 70ton, como no caso da aeronave com maior participação na frota de aeronaves da aviação comercial do país, o Airbus A-320, foi considerado no CMG (DNIT, 2017) o custo de implantação e pavimentação de pavimento invertido pra tráfego pesado, que utiliza material cimentante na sub-base, para pista simples, com faixa de pista de 3,6m e acostamento de 2,5m, ou seja, equivalente a $2.(3,6+2,5) = 12,2m$ de largura de pista. Nesse caso, com revestimento CBUQ (Cimento Betuminoso Usinado a Quente) na pista, entre 12cm e 18cm, foi considerado o valor médio de R\$ 4.604.000,00 / km.

Sendo assim, o valor equivalente ao m^2 para esse tipo de pavimento foi considerado como sendo R\$ 4.604.000,00 / (1000m.12,2m) = **R\$ 377,37 /**

m².

Nota-se que esses custos referem-se apenas à pavimentação da pista principal de pousos e decolagens, não sendo estimados custos com pista auxiliar, pista de táxi, pátio, estacionamento, terminal, etc. Além disso, tais custos podem variar dependendo das características do CBR (*California Bearing Ratio*) e K (módulo de reação) do sub leito em cada aeródromo, bem como demais características associadas à largura de pista, materiais e técnicas utilizadas na obra. Apenas para se ter uma ideia, em Mello et al. (2016) os autores identificam em projetos da pavimentação flexível rodoviária custos totais de pavimentação por quilômetro que variam de R\$ 8,7 milhões (BR-116/RS) a R\$ 61,3 milhões (BR-448/RS), ou seja, bem acima do custo médio de R\$ 4,6 milhões / km considerado nesse estudo.

2.2 Métodos de Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada a partir das aeronaves dos voos autorizados no HOTRAN (2017), vigentes no momento desse estudo, sendo que os pequenos aeroportos analisados nesse estudo foram considerados como origem dos voos, pois entende-se que o máximo peso de decolagem (MTOW) apresenta-se mais crítico do que o máximo peso de pouso (MLW) no dimensionamento de pista de pousos e decolagens. Nesses aeroportos foram consideradas as aeronaves com maior classificação em cada aeroporto como aeronave de projeto (AP) para os cálculos em relação à aeronave crítica (AC) declarada no registro do aeroporto junto à ANAC.

Por fim, apresenta-se as principais características referentes ao projeto geométrico de pista para pequenos aeroportos de modo a gerar compatibilidade entre oferta e demanda na segurança das operações e otimizar os investimentos realizados na construção da pista de pousos e decolagens.

3 Análise dos Resultados

A relação dos 49 aeroportos considerados no estudo pode ser identificada no Quadro 1, em que também são apresentadas suas principais características declaradas junto à ANAC e as variáveis analisadas.

3.1 Identificação das Variáveis Analisadas

No Quadro 1, além dados referentes às dimensões declaradas pelos aeroportos junto à ANAC, também são apresentadas as aeronaves de projeto consideradas nesse estudo a partir do HOTRAN de 19/09/2017, sendo também apresentada a sua classificação para fins de definição do L_{ref} , identificadas uma a uma para cada aeroporto, para os quais foram consideradas as aeronaves de maior classificação em operação autorizada vigente para o aeroporto.

Os aeroportos apresentados no Quadro 1 foram então analisados a partir das características de desempenho das aeronaves utilizando-se o L_{ref} com o MTOW, temperatura padrão (ISA), nível do mar (SL), zero vento e zero gradiente de pista.

Nota-se que a maior quantidade de aeronaves com voos autorizados vigentes disponíveis no HOTRAN (2017) é AT72 (ATR 72-600), presente em 24 aeroportos, seguido pelo E190, em 8 aeroportos, o B737 e AT43 (ATR 42-600), em 5 aeroportos até o B772 (B777-200ER), presente em um aeroporto (SBCB).

A Figura 2 apresenta a imagem de uma das aeronaves consideradas no estudo, o A320-200, fabricado pela Airbus.

Figura 2. A320-200, com winglets



Fonte: Airbus (2017).

Para a aeronave apresentada na Figura 2, por exemplo, foi identificado o seu L_{ref} , conforme apresentado no ábaco da Figura 2, considerando seu MTOW de 79 ton.

Quadro 1. Principais características dos aeroportos considerados e suas respectivas cidades em ordem alfabética do código ICAO do aeroporto

Código ICAO	Cidade	Estado	Altitude do Aeródromo (m)	Comprimento de pista declarado (Ldecl) (m)	Largura (T) da pista (m)	Temperatura no aeródromo (°C)	Aeronave crítica	Aeronave de Projeto (AP) considerada				Correção a partir da temperatura			Correção a partir da altitude		Correção de declividade longitudinal (Cdl)	Comprimento de pista corrigido (Lreal)	Diferença entre L declarado e Lreal
								HOTRAN*	Aeródromo de Referência - Lref (m)	Modelo considerado	MTOW Considerado (Kg)	Temperatura para a altitude do aeródromo (°C)	Temperatura acima da temperatura padrão (°C)	Correção de temperatura (Ct)	Percentual de correção	Correção de altitude (Ca)			
SBAE	Bauru e Arealva	SP	594	2010	45	30	4C	A320	2200	A320-200	79000	11	19	1,19	13,9	1,14	1,01	3010	-1000
SBAT	Alta Floresta	MT	289	2500	30	38	3C	E190	2300	E190 AR	51800	13	25	1,25	6,7	1,07	1,01	3098	-598
SBAU	Araçatuba	SP	415	2120	35	30	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	12	18	1,18	9,7	1,1	1,01	1533	587
SBAX	Araxá	MG	999	1900	30	34	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	8	26	1,26	23,3	1,23	1,01	1839	61
SBCB	Cabo Frio	RJ	6,6	2550	45	37	4E	B772	3300	B777-200ER	297600	15	22	1,22	0,2	1	1,01	4074	-1524
SBCJ	Parauapebas	PA	629	2000	45	36	3C	B737	2500	B737-900ER with Winglet	85139	11	25	1,25	14,7	1,15	1,01	3625	-1625
SBCN	Caldas Novas	GO	685	2100	30	35	4C	B738	2900	B737-900	88541	10	25	1,25	16	1,16	1,01	4232	-2132
SBCP	Campos dos Goytacazes	RJ	17	1544	45	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	15	21	1,21	0,4	1	1,01	1443	101
SBCR	Corumbá	MS	141	1500	45	37	3C	E190	2300	E190 AR	51800	14	23	1,23	3,3	1,03	1,01	2950	-1450
SBCX	Caxias do Sul	RS	754	1670	30	29	3C	B737	2500	B737-900ER with Winglet	85139	10	19	1,19	17,6	1,18	1,01	3534	-1864
SBCZ	Cruzeiro do Sul	AC	194	2400	45	38	4C	B738	2900	B737-900	88541	14	24	1,24	4,5	1,05	1,01	3805	-1405

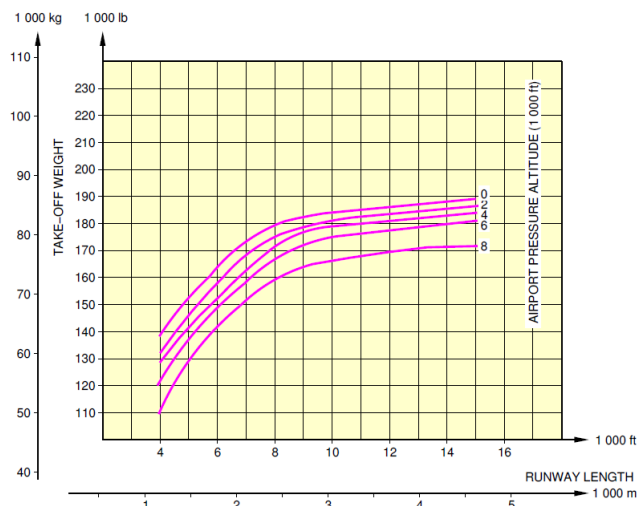
SBDB	Bonito	MS	334	2000	30	34	3C	E190	2300	E190 AR	51800	13	21	1,21	7,8	1,08	1,01	3036	-1036
SBDO	Dourados	MS	458	1950	30	33	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	12	21	1,21	10,7	1,11	1,01	1590	360
SBFN	Fernando de Noronha	PE	58	1845	45	38	3C	B737	2500	B737-900ER with Winglet	85139	15	23	1,23	1,4	1,01	1,01	3158	-1313
SBGV	Governador Valadares	MG	171	1400	30	34	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	14	20	1,2	4	1,04	1,01	1483	-83
SBIH	Itaituba	PA	33	1605	30	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	15	21	1,21	0,8	1,01	1,01	1450	155
SBIP	Santana do Paraíso	MG	239	2005	45	35	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	13	22	1,22	5,6	1,06	1,01	1523	482
SBJA	Jaguaruna	SC	35	2499	30	28	4C	A320	2200	A320-200	79000	15	13	1,13	0,8	1,01	1,01	2537	-38
SBJI	Ji-Paraná	RO	182	1800	45	37	3C	E190	2300	E190 AR	51800	14	23	1,23	4,2	1,04	1,01	2984	-1184
SBKG	Campina Grande	PB	502	1600	42	38	4C	B737	2500	B737-900ER with Winglet	85139	12	26	1,26	11,7	1,12	1,01	3564	-1964
SBLE	Lençóis	BA	506	2082	30	35	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	12	23	1,23	11,8	1,12	1,01	1637	445
SBML	Marília	SP	650	1700	35	32	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	11	21	1,21	15,2	1,15	1,01	1658	42
SBPB	Parnaíba	PI	5	2500	45	37	3C	E195	2380	E195 AR	52290	15	22	1,22	0,1	1	1,01	2937	-437
SBPF	Passo Fundo	RS	724	1700	30	29	3C	E190	2300	E190 AR	51800	10	19	1,19	16,9	1,17	1,01	3227	-1527
SBPK	Pelotas	RS	18	1980	42	30	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	15	15	1,15	0,4	1	1,01	1372	608
SBRD	Rondonópolis	MT	447	1850	30	34	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	12	22	1,22	10,4	1,1	1,01	1599	251
SBTB	Oriximiná	PA	87	1600	30	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	14	22	1,22	2	1,02	1,01	1472	128
SBTF	Tefé	AM	57	2200	45	36	3C	E190	2400	E190 AR	51800	15	21	1,21	1,3	1,01	1,01	2981	-781
SBTG	Três Lagoas	MS	324	2000	30	33	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	13	20	1,2	7,6	1,08	1,01	1534	466
SBTB	Tabatinga	AM	85	2150	45	36	3C	E190	2300	E190 AR	51800	14	22	1,22	2	1,02	1,01	2880	-730
SBUA	São Gabriel da Cachoeira	AM	76	2600	45	36	2C	AT43	1025	ATR 42-600	18600	14	22	1,22	1,8	1,02	1,01	1280	1320

SBUF	Paulo Afonso	BA	269	1800	45	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	13	23	1,23	6,3	1,06	1,01	1549	251
SBUG	Uruguaiana	RS	78	1500	30	32	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	14	18	1,18	1,8	1,02	1,01	1420	80
SBUR	Uberaba	MG	809	1759	45	35	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	10	25	1,25	18,9	1,19	1,01	1769	-10
SBVH	Vilhena	RO	615	2600	30	38	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	11	27	1,27	14,4	1,14	1,01	1725	875
SBZM	Goianá	MG	411	2525	45	34	4C	B737	2500	B737-900ER with Winglet	85139	12	22	1,22	9,6	1,1	1,01	3369	-844
SNBR	Barreiras	BA	748	1600	30	35	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	10	25	1,25	17,5	1,17	1,01	1742	-142
SNDV	Divinópolis	MG	795	1540	30	35	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	10	25	1,25	18,6	1,19	1,01	1763	-223
SNTF	Teixeira de Freitas	BA	105	1460	30	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	14	22	1,22	2,5	1,02	1,01	1480	-20
SNVB	Valença	BA	5	1800	30	32	3C	E195	2380	E195 AR	52290	15	17	1,17	0,1	1	1,01	2817	-1017
SSKW	Cacoal	RO	249	2100	45	38	3C	E190	2300	E190 AR	51800	13	25	1,25	5,8	1,06	1,01	3064	-964
SWBC	Barcelos	AM	34	1200	30	36	2C	AT43	1025	ATR 42-600	18600	15	21	1,21	0,8	1,01	1,01	1265	-65
SWCA	Carauari	AM	108	1665	18	36	2C	AT43	1025	ATR 42-600	18600	14	22	1,22	2,5	1,03	1,01	1292	373
SWEI	Eirunepé	AM	126	1600	30	36	2C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	14	22	1,22	2,9	1,03	1,01	1488	112
SWGK	Araguaína	TO	235	1804	45	38	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	13	25	1,25	5,5	1,05	1,01	1559	245
SWKO	Coari	AM	40	1600	36	36	2C	AT43	1025	ATR 42-600	18600	15	21	1,21	0,9	1,01	1,01	1267	333
SWLB	Lábrea	AM	58	1000	40	36	2C	AT43	1025	ATR 42-600	18600	15	21	1,21	1,4	1,01	1,01	1274	-274
SWLC	Rio Verde	GO	751	1500	30	33	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	10	23	1,23	17,5	1,18	1,01	1716	-216
SWPI	Parintins	AM	26	1800	30	36	3C	AT72	1175	ATR 72-600	22800	15	21	1,21	0,6	1,01	1,01	1447	353

* Voos autorizados vigentes, atualizado diariamente. Atualização em 19/09/2017.

Fonte: ANAC (2017a, 2017c, 2017d).

Figura 3. Ábaco para L_{ref} do A320-200, MTOW de 79 ton

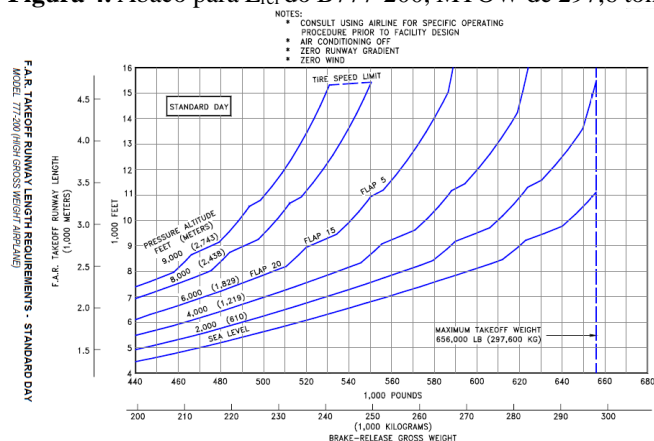


Fonte: Airbus (2017).

Pela Figura 3, nota-se que há diferentes dimensões para L_{ref} de acordo com a altitude do aeródromo, o que foi corrigido nesse estudo em cada aeroporto analisado.

Além das correções necessárias para a altitude, há também correções necessárias para a temperatura do aeródromo, pois foram adotados os ábacos considerando a temperatura em dia padrão para a altitude do aeródromo, conforme exemplo apresentado na Figura 4 para o ábaco da aeronave B777-200.

Figura 4. Ábaco para L_{ref} do B777-200, MTOW de 297,6 ton



Fonte: Boeing (2017).

Esses ábacos foram coletados junto aos manuais dos fabricantes de cada uma das aeronaves analisadas como aeronave de projeto (AP).

Também foi necessária a identificação das médias das temperaturas máximas nos meses mais quentes nos aeródromos considerados. Para tanto, foram utilizadas as bases meteorológicas das estações automáticas do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), para cada um dos aeroportos considerados, sendo adotadas aproximações para os casos de cidades que não possuem estações automáticas.

3.2 Análise de compatibilidade entre L_{decl} e L_{real}

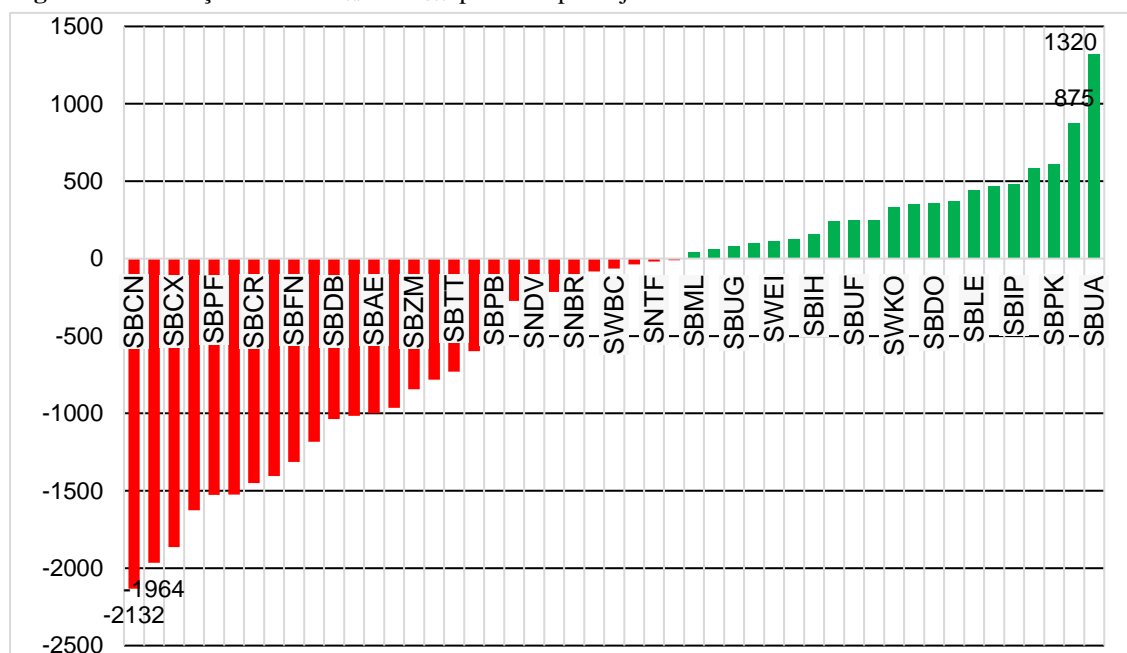
Após a realização das devidas correções, foram realizadas análises referentes a quanto o comprimento de pista do aeroporto declarado junto à ANAC (L_{decl}) se diferencia do L_{real} demandado para a aeronave de projeto considerada em operação no aeroporto. A Figura 5 apresenta as dimensões em metros das diferenças a favor da operação, em verde, em que o L_{decl} apresenta-se superior ao L_{real} demandado, ou quando acontece o inverso, quando o L_{decl} apresenta-se inferior ao L_{real} , ou seja, há incompatibilidade no tamanho de pista que pode comprometer principalmente as operações de decolagens das aeronaves com autorização vigente de uso do aeroporto.

De acordo com a Figura 54, nota-se que o aeroporto de São Gabriel da Cachoeira/AM (SBUA) e o aeroporto de Vilhena/RO (SBVH) são os aeroportos com maiores extensões de pista em relação ao solicitado pela aeronave de projeto considerada, com 1320 m e 875 m adicionais, respectivamente, acima do solicitado. Por outro lado, os aeroportos de Campina Grande/PB (SBKG) e Caldas Novas/GO (SBCN), com respectivamente 1964 m e 2132 m abaixo do demandado pela aeronave de projeto, são os aeroportos que tornam as operações mais críticas em termos de segurança operacional se considerado o MTOW da aeronave de projeto.

Acredita-se que as operações da aeronave de projeto considerada nesses aeroportos torna-se possível com a diminuição do MTOW operacional, o que viabilizaria tais operações, porém restringiria o uso do equipamento na sua plena carga.

3.3 Identificação dos custos

Nesse estudo também foram realizados os cálculos associados às extensões adicionais de pista em relação ao L_{real} calculado. Os valores de L_{real} de cada pista foram então multiplicadas pela largura declarada (T) da pista e pelo custo de R\$ 377,37 / m² adotado como referência. Para tanto, foram

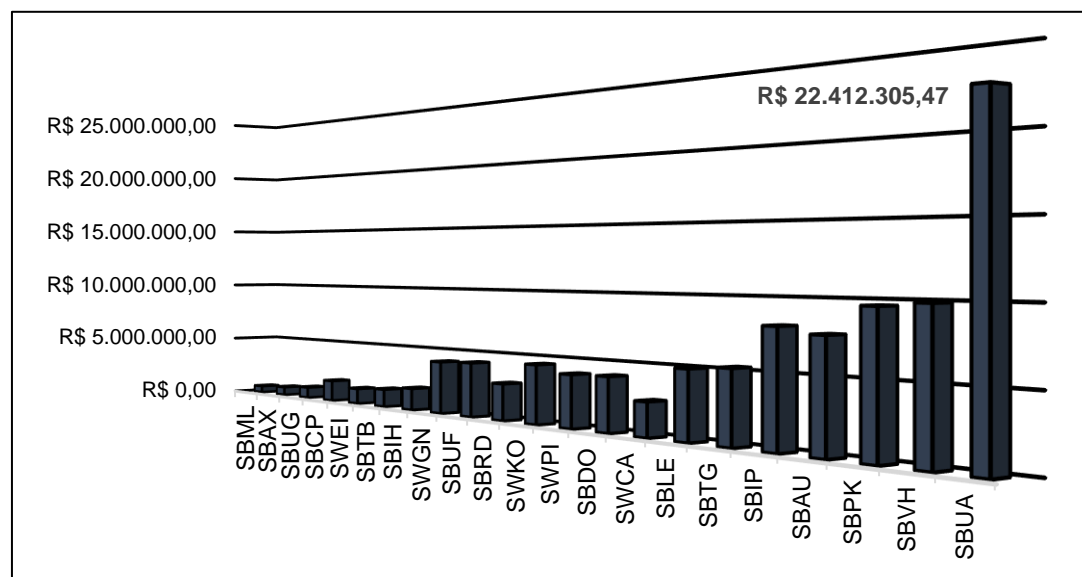
Figura 5. Diferenças entre o L_{real} e L_{decl} pelo aeroporto junto à ANAC

Fonte: Dados da pesquisa.

analisados somente os aeroportos com dimensões de L_{decl} acima L_{real} na identificação dos custos associados ao adicional de pista em 21 dos aeroportos que apresentam essa característica.

A Figura 6 apresenta os custos adicionais identificados para cada aeroporto analisado.

Nota-se pela Figura 6 que os aeroportos com maiores custos adicionais em relação ao

Figura 6. Custos adicionais identificados para cada aeroporto.

Fonte: Dados da pesquisa.

demandado são os de Pelotas/RS (SBPK), Vilhena/RO (SBVH) e São Gabriel da Cachoeira/AM (SBUA), com custos adicionais de R\$ 9,6 milhões, R\$ 9,9 milhões e R\$ 22 milhões, respectivamente, demonstrando que falhas em projetos geométricos em relação ao superdimensionamento podem gerar significativos

custos adicionais desnecessários no uso propriamente dito da pista.

Por outro lado, aeroportos como os de Marília/SP (SBML), Araxá/MG (SBAX) e Uruguaiana/RS (SBUG) estão entre os melhores projetados em relação aos mínimos custos adicionais, referentes a R\$ 550 mil, R\$ 691 mil e

R\$ 905 mil, respectivamente, ou seja, de acordo com as características consideradas tanto para as variáveis associadas ao tamanho de pista do aeródromo quanto à aeronave de projeto.

Cabe ressaltar que os dados os dados apresentados na Figura 6 apresentam os custos adicionais por metro quadrado apenas para fins comparativos, pois sabe-se que os custos locais para o planejamento e construção aeroportuária podem ser distintos entre as diferentes localidades consideradas.

4 Considerações Finais

O estudo buscou identificar as principais características de pequenos aeroportos brasileiros em relação ao dimensionamento real demandado e dimensionamento de pista declarado junto à ANAC. Essa identificação foi realizada a partir das aeronaves projetos definidas para cada aeroporto considerando o uso das pistas identificado no voos autorizados vigentes no HOTRAN (2017). Os resultados demonstram que 28 dos aeroportos analisados possuem dimensões de pista abaixo das dimensões solicitadas pelas respectivas aeronaves, demonstrando que caso essas aeronaves decolem no seu MTOW, pelos cálculos realizados, as operações de decolagem podem ser comprometidas.

Por outro lado, também foram identificados que os 21 aeroportos remanescentes da amostra possuem dimensões acima do solicitado em até 1320 m, representando custos adicionais desnecessários que chegam a R\$ 22 milhões no dimensionamento de uma determinada pista.

Algumas limitações foram identificadas no estudo, como a necessidade de ajustes nas aproximações entre as configurações de aeronaves identificadas no HOTRAN (2017) e os modelos utilizados pelas companhias, como no caso do AT43 identificado, que foi aproximado para ATR 42-600, ou B737, que foi aproximado para B737-900ER com *winglet*, o B738, que foi aproximado para B737-900, e o B772, que foi aproximado para o Boeing 777-200ER.

O uso de dados secundários também apresenta limitações no estudo, pois alguns dos dados adotados pela classificação dos aeroportos junto à ANAC, por exemplo, não são possíveis de serem checados *in loco*, como no caso das larguras ou demais dimensões declaradas.

Agradecimentos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

Referências

AIRBUS. Aircraft characteristics airport and maintenance planning. Disponível em. <<http://www.airbus.com/aircraft.html>>. Acesso em., 20, Set., 2017.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Anuário do transporte aéreo, 2016.

_____, Aeronaves e código de referência. Disponível em. <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/certificacao/aeronaves-e-codigo-de-referencia>>. Acesso em., 19, Set., 2017a.

_____, Dados do transporte aéreo. Disponível em. <<http://www.anac.gov.br/noticias/demanda-e-oferta-domestica-mantem-crescimento-em-abril>>. Acesso em., 31, Maio, 2017b.

_____, Lista de aeródromos privados. Disponível em. <<http://www.anac.gov.br/Anac/assuntos/setor-regulado/aerodromos>>. Acesso em., 03, Junho, 2017c.

_____, Lista de aeródromos públicos. Disponível em. <<http://www.anac.gov.br/Anac/assuntos/setor-regulado/aerodromos>>. Acesso em., 03, Junho, 2017d.

_____, RBAC nº. 154, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil, 2012.

BOEING. Airplane characteristics for airport planning. Disponível em. <http://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.page>. Acesso em., 20, Set., 2017.

BRASIL, Código Brasileiro de Aeronáutica. Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. CMG – Custo Médio Gerencial. Disponível em. <<https://189.9.128.64/custos-e>>

pagamentos/copy_of_custo-medio-gerencial>.
Acesso em., 05, Junho, 2017.

FAA, Federal Aviation Administration. Disponível em.

<https://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/>. Acesso em., 03, Junho, 2017.

GIUSTOZZI, Filippo; TORALDO, Emanuele; CRISPINO, Maurizio. Recycled airport pavements for achieving environmental sustainability: An Italian case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v 68, Nov., 2012. pp. 67–75, DOI: [10.1016/j.resconrec.2012.08.013](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.013)

HOTRAN, Horário de Transporte. Disponível em. < <http://www.anac.gov.br/hotran> >. Acesso em., 19, Set., 2017.

ICAO, International Civil Aviation Organization. Anexo 14: padrões internacionais e práticas recomendadas, Aeródromos, Terceira Edição, Julho, 1999.

MELLO, Luiz Guilherme Rodrigues; FARIAS, Márcio Muniz; PREUSSLER, Ernesto Simões; PREUSSLER, Rodrigo. Análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias. **Transportes**, v. 24, n. 4, 2016. DOI:10.14295/transportes.v24i4.1056 4.

YOUNG, S. B., WELLS, A. T. Airport planning & management. 6th ed., McGraw-Hill, 2011.