

## **Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por meio de aeronave não tripulada**

Marina Calais de Freitas Moura<sup>1\*</sup>; Walter Mesquita Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Controle do Espaço Aéreo Sudeste. Auxiliar da Seção de Sistema de Aeronave Não Tripulada. Rua Monsenhor Antônio Pepe, 418 – Jardim Aeroporto; 04357-080 São Paulo, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup> Pecege. Professor Orientador. Parque Tecnológico R. Cezira Giovanoni Moretti, 600 - Santa Rosa; 13418-445 Piracicaba, São Paulo, Brasi

\*autor correspondente: marinakalais@hotmail.com

## **Acesso ao Espaço Aéreo por meio de aeronave não tripulada**

### **Resumo**

O aumento de número de solicitações de acesso ao espaço aéreo por meio de aeronave não tripulada aponta um desafio para o controle de tráfego aéreo o qual é responsável por garantir a segurança das operações do espaço aéreo. Para obter autorização para ingressar no espaço aéreo de forma segura, se faz necessário seguir as condicionantes impostas pela legislação. O objetivo central deste trabalho foi averiguar associação entre as solicitações de acesso ao espaço aéreo por meio de aeronave não tripulada analisadas manualmente no sistema SARPAS e algumas características dos voos (altitude, perfil de voo e tipo de voo). Utilizou-se a análise de correspondência e análise de regressão logística para análise dos dados. As solicitações aprovadas apresentaram associação com os voos EVLOS, perfil padrão e altitude até 131 pés. Já as solicitações negadas apontaram associação com os pedidos VLOS e altitude entre 131 e 400 pés. Os pedidos de aerolevante indicaram forte relação com o tipo de voo BVLOS.

**Palavras-chave:** espaço aéreo; aeronave não tripulada; SARPAS.

### **Access to Airspace by Unmanned aircraft**

#### **Abstract**

The increase in the number of airspace access requests by unmanned aircraft has become a challenge for air traffic control, which is responsible for ensuring the safety of airspace operations. In order to obtain authorization to enter the airspace safely, it is necessary to follow the conditions laid out by legislation. The main objective of this work was to investigate the association between requests for airspace access to by unmanned aircraft analyzed manually in the SARPAS system and some flight characteristics (altitude, flight profile and type of flight). Correspondence analysis and logistic regression analysis were carried out. Approved requests were associated with EVLOS flights, standard profile and altitude up to 131 feet. The denied requests, on the other hand, showed an association with VLOS requests and altitude between 131 and 400 feet. The aerial survey requests indicated a strong relationship with the type of BVLOS flight.

**Keywords:** airspace; unmanned aircraft; SARPAS.

### **Introdução**

As aeronaves não tripuladas [Unmanned Aircraft – UA] foram utilizadas pela primeira vez na Primeira Guerra Mundial, para fins militares. Entretanto, com o passar dos anos, a sua aplicabilidade também foi observada na esfera civil, como na agricultura, infraestrutura, mídia e entretenimento, segurança, busca e salvamento e mineração (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2015).

Os Serviços de Tráfego Aéreo são prestados em todo espaço aéreo que superpõe ao território nacional (Instrução do Comando da Aeronáutica [ICA], 2020). O Departamento de Controle do Espaço Aéreo [DECEA] é a organização do Comando da Aeronáutica [COMAER]

responsável por gerenciar e controlar as atividades relacionadas com o controle do espaço aéreo (Regulamento de Organização do Comando da Aeronáutica [ROCA], 2019). Uma de suas competências é propor normas de acesso ao espaço aéreo.

A estrutura que engloba a área de jurisdição do DECEA é dividida em 5 (cinco) Regionais, sendo estes 4 (quatro) Centro Integrado de Defesa Aérea de Tráfego Aéreo [CINDACTA] e o Centro Regional de Controle do Espaço Aéreo Sudeste [CRCEA-SE]. O COMAER adotou os moldes operantes de trabalhar com a defesa aérea e controle de tráfego aéreo juntos, que são os CINDACTA. O CRCEA-SE é o único regional que não possui a defesa aérea integrada com o controle de tráfego aéreo.

Apesar da área de jurisdição do CRCEA-SE ser bem menor do que os outros Regionais, o maior movimento de aeronaves encontra-se nesse Regional. A área de responsabilidade do CRCEA-SE inclui os aeroportos e as Áreas de Controle de Terminal [TMA] Rio de Janeiro e São Paulo que são os mais movimentos do Brasil (Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo, 2021).

Com o intuito de manter a ordem e a segurança do espaço aéreo para as aeronaves tripuladas, foram criadas as estruturas do espaço aéreo, controle de tráfego aéreo, radar, cartas aeronáuticas, dentre outros (ICA, 2020). A aviação tripulada é mais que centenária e suas operações já estão bem estabelecidas, entretanto o acesso ao espaço aéreo por meio de aeronave não tripulada pode colocar em risco as operações dessas aeronaves.

De acordo com o artigo 8º da Convenção de Chicago (Decreto n. 21.713, 1946), uma aeronave sem piloto a bordo só poderá ingressar no espaço aéreo após uma emissão de autorização especial emitida pelo Estado Contratante. Como o sistema de aeronaves tripuladas está bem estruturado, as UA serão acomodadas no espaço aéreo brasileiro e deverão cumprir as regras estipuladas pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA, 2020). Existem duas maneiras dessas aeronaves serem acomodadas que são por meio de condicionantes operacionais ou segregação do espaço aéreo (área restrita para uso de um usuário específico).

Essas condicionantes operacionais são permitidas às aeronaves com Peso Máximo de Decolagem [PMD] acima de 250 g e até 25 kg operando em alturas muito baixas, que são aquelas realizadas até 400 ft (aproximadamente 120 metros) de altura (ICA, 2020). Atualmente, existe dois tipos de condicionantes operacionais específicas que são para as operações do solo até 131 ft (aproximadamente 40 metros de altura) e para as operações de 131 ft (exclusive) até 400 ft Acima do Nível do Solo [AGL] inclusive (aproximadamente de 40 a 120 metros de altura).

As UA são divididas em três categorias: aeronaves remotamente pilotadas [RPA], aeromodelos (são RPA com finalidade recreativa) e autônomas (não permite a interação humana como as RPA), conforme definido pela ICAO (ICA, 2020).

Com o aumento e maturação dos voos nos setores que envolvem os operadores de UA, cada vez mais esta ferramenta tem sido utilizada na área profissional. Com isso, foram disponibilizadas regras específicas para o acesso ao espaço aéreo por meio de UA com objetivos voltados às operações emergências, que estão ligadas à manutenção da vida e redução do sofrimento humano (MCA, 2020); com objetivos exclusivamente recreativos (MCA, 2020); com objetivos voltados às operações em proveito dos Órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual ou Municipal (MCA, 2020) e com objetivos exclusivamente voltados às operações de Segurança Pública, Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal do Brasil (MCA, 2020).

Existem três tipos de operações que podem ser realizadas pelos pilotos remotos das UA, que são: a operação em linha de visada visual [VLOS], que consiste numa operação em condições meteorológicas de voo visual [VMC], na qual o piloto mantém contato visual direto com a aeronave sem auxílio de lentes ou equipamentos (exceto lentes de contato); a operação em linha de visada visual estendida [EVLOS], que se refere também numa operação VMC, em que o piloto remoto, sem auxílio de lentes ou outros equipamentos, não é capaz de manter o contato visual direto com a aeronave, e necessita do auxílio de outros observadores para conduzir o voo; e operação além da linha de visada [BVLOS], que trata da operação na qual o piloto não consegue manter a aeronave remotamente pilotada dentro do seu alcance visual (ICA, 2020).

Para a utilização do Espaço Aéreo Brasileiro, os pilotos em comando das UA devem fazer uma solicitação do voo por meio do Sistema de Autorização de Acesso ao Espaço Aéreo por Aeronave Não Tripulada [SARPAS] e obter autorização. Caso o voo solicitado não interfira com nenhum heliponto ou aeródromo ou área restrita, o sistema autoriza automaticamente. No entanto, se o pedido ferir com alguma restrição imposta pela legislação pertinente, a solicitação irá para análise manual em que o pedido poderá ser aprovado ou negado.

O objetivo deste trabalho é analisar os pedidos de acesso ao espaço aéreo brasileiro por meio do Sistema SARPAS nas Áreas de Controle de Terminais Rio de Janeiro [TMA-RJ] e São Paulo [TMA-SP], que interfere com as aeronaves tripuladas, averiguando a existência de associação para aprovação ou negação desses voos.

## **Material e Métodos**

Os dados que ilustram este trabalho foram coletados do Sistema SARPAS no período compreendido entre 1 de janeiro de 2017 a 31 de julho de 2022. As análises foram realizadas por meio do software R (R Core Team, 2023).

Para este estudo, optou-se por averiguar apenas as análises manuais, ou seja, os pedidos que foram aprovados ou negados, visto que são essas solicitações que podem interferir com as aeronaves tripuladas. Os dados referem-se à 29.277 pedidos de acesso ao espaço aéreo brasileiro por meio de aeronaves não tripuladas que foram analisados manualmente.

As variáveis incluem informações quanto à autorização de acesso ao espaço aéreo (0= negado, 1= aprovado). Além disso, foram consideradas as altitudes da operação, do solo até 131 pés AGL (acima do nível de solo) (aproximadamente 40 metros de altura) (código 1) e entre 131 (exclusive) e 400 pés AGL (aproximadamente de 40 a 120 metros de altura) (código 2).

Empregou-se, também o perfil de voo utilizado pelo usuário para a realização do voo, contendo o usuário padrão (código 1), o usuário que utiliza o princípio da sombra (código 2), que se refere ao voo limitado verticalmente a 5 (cinco) metros acima da altura da estrutura ou do obstáculo e afastado horizontalmente até 30 (trinta) metros deste obstáculo, e voo de aerolevanteamento (código 3). As categorias recreativo, órgão de segurança e operação diferenciada foram retiradas da análise por não terem sido analisadas manualmente no período descrito.

Para avaliar o tipo de voo realizado foram consideradas as operações VLOS (código 1), EVLOS (código 2) e BVLOS (código 3).

Para este estudo, foram empregadas como variáveis explanatórias as variáveis altitude, perfil e tipo de voo. Já a variável resposta considerada foi autorização de acesso ao espaço aéreo.

Como as variáveis explanatórias são todas categóricas, é possível construir uma tabela de contingência contendo as duas categorias da variável resposta e a combinação das categorias das variáveis explanatórias, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de contingência bidimensional

Combinações das variáveis explanatórias	Categorias da variável resposta		Totais
	1	2	
1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1+}$
2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2+}$
3	$n_{31}$	$n_{32}$	$n_{3+}$

...	...	...	...
S	$n_{s1}$	$n_{s2}$	$n_{s+}$
Totais	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n$

em que:

$n_{ij}$  = número de observações classificados simultaneamente linha  $i$  e coluna  $j$ ;

$n_{i+} = \sum_{j=1}^2 n_{ij}$  = total de observações da linha  $i$ ;

$n_{+j} = \sum_{i=1}^s n_{ij}$  = total de observações da coluna  $j$ ; e

$n = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^2 n_{ij}$  = total de observações.

Utilizou-se o teste qui-quadrado de Pearson a fim de verificar a associação entre a variável resposta e as variáveis explicativas. A ausência de associação significa admitir que a probabilidade de autorização de acesso ao espaço aéreo não difere das características da solicitação do usuário quanto a altitude de voo, perfil do usuário e tipo de voo utilizado.

A estatística do teste qui-quadrado de Pearson é dada pela seguinte expressão:

$$Q_p = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^J \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (1)$$

em que  $e_{ij} = \frac{(n_{i+})(n_{+j})}{n}$ ,  $i = 1, \dots, s$  e  $j = 1, 2$ . Quando a tabela de contingência não possui valores esparsos,  $Q_p$  segue uma distribuição normal com  $(s - 1)(2 - 1)$  graus de liberdade.

De acordo com Giolo (2017), a hipótese nula ( $H_0$ ) e hipótese alternativa ( $H_1$ ) do teste qui-quadrado de Pearson é definida da seguinte maneira:

$H_0$  : ausência de associação entre as variáveis categóricas (ou categorizadas)

$H_1$  : há associação entre as variáveis categóricas

Outra técnica utilizada foi a análise de correspondência múltipla a qual é útil para investigar associação entre as variáveis e entre as suas categorias, bem como a intensidade dessa associação. Esta técnica, utilizada quando os dados são categóricos, consiste em uma representação das linhas e colunas da tabela de contingência como coordenadas de um gráfico (chamado mapa percentual) (Fávero, 2017). O mapa percentual é uma representação visual o qual mostra a distribuição percentual dos valores das variáveis em uma tabela de contingência. Pontos mais próximos estão mais associados (Fávero, 2017).

Antes da construção do mapa percentual, é possível criar a tabela de resíduos ajustados padronizados, conforme notação abaixo:

$$resíduo = n_{ij} - e_{ij} \quad (2)$$

$$resíduo padronizado = \frac{n_{ij} - e_{ij}}{e_{ij}} \quad (3)$$

$$\text{resíduo padronizado ajustado} = \frac{\text{resíduo padronizado}}{\sqrt{(1 - \frac{n_{i+}}{n})(1 - \frac{n_{+j}}{n})}} \quad (4)$$

Adotando um nível de significância de 5% da distribuição normal, valores positivos superior a 1,96 indicam excesso de ocorrência de uma determinada célula, ou seja, caracteriza associação entre as categorias das variáveis. Segundo Fávero (2017), a construção desta tabela facilita a análise do mapa percentual pois esta verifica a existência de associação entre os pares das categorias das variáveis.

Para a elaboração do mapa percentual, se faz necessário a determinação dos autovalores da matriz A (matriz de resíduos padronizados) ( $\text{resíduo padronizado} / \sqrt{n}$ ). Com base na matriz A, obtém-se a matriz  $W = A'A$ , em que  $A'$  é a matriz transposta de A. Os autovalores (também chamados de inércia principais parciais) são obtidos a partir da expressão  $\det(\lambda^2 I - W)$ , em que  $I$  é a matriz identidade e  $\lambda^2$  os autovalores. A quantidade de autovalores vai depender da quantidade de categorias das variáveis ( $m = (\min(I - 1)(J - 1))$ ). A partir dos autovalores, pode-se calcular os autovetores da linha  $U$  e coluna  $V$ , conforme as expressões abaixo:

$$v'_k = u'_k \left[ D_I^{-\frac{1}{2}} \cdot (P - lc') \cdot D_c^{-\frac{1}{2}} \right] \cdot \lambda_k^{-1} \quad (5)$$

$$u_k = \left[ D_I^{-\frac{1}{2}} \cdot (P - lc') \cdot D_c^{-\frac{1}{2}} \right] v'_k \cdot \lambda_k^{-1} \quad (6)$$

em que:

A pode ser definida da seguinte maneira:  $A = D_I^{-\frac{1}{2}} \cdot (P - lc') \cdot D_c^{-\frac{1}{2}}$

D: matriz diagonal das massas nas colunas ( $\text{massa da coluna} = \frac{\sum l_c}{n}$ )

Massa da linha =  $\frac{\sum c_l}{n}$

P: matriz de proporções ( $\frac{n_{ij}}{n}$ )

Com base nos autovalores e autovetores, calcula-se as coordenadas (abscissa e ordenadas) de cada categoria das variáveis da seguinte forma.

Por fim, aplicou-se o modelo de regressão logística binária, também conhecido como *modelo logito*. Este modelo é um caso especial do Modelos Lineares Generalizados, em que a variável resposta é binária, ou seja, admite apenas dois resultados (sucesso ou fracasso) (Cordeiro e Demétrio, 2008).

Considere  $Y_i$  como a variável binária. Então,  $Y_i$  segue uma distribuição de Bernoulli em que  $P(Y_i = 1/x_i)$  é a probabilidade de sucesso dado um valor  $x_i$  e  $P(Y_i = 0/x_i)$  é a probabilidade de fracasso dado um valor  $x_i$ . O modelo de regressão logística tem a seguinte forma:

$$\text{logito}(P(Y_i = 1/x_i)) = \log \left[ \frac{P(Y_i=1/x_i)}{1-P(Y_i=1/x_i)} \right] = \alpha + \beta x_i \quad (7)$$

em que  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros desconhecidos e  $x_i$  denota o vetor dos valores das variáveis explanatórias para a observação  $i$ .

Desta maneira, exponencializando a expressão acima, é possível obter as interpretações do modelo, em que  $\frac{P(Y_i=1/x_i)}{1-P(Y_i=1/x_i)}$  representa a chance de um determinado evento acontecer. Além disso, pode se obter a probabilidade de o evento acontecer por meio da seguinte expressão:

$$P\left(Y_i = \frac{1}{x_i}\right) = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_1 X_{1i}+\beta_2 X_{2i}+\dots+\beta_k X_{ki})}} \quad (8)$$

A estimação dos parâmetros do modelo pode ser feita por meio do método de máxima verossimilhança, que consiste em maximizar a seguinte expressão:

$$\ln \prod_{l=1}^n P(Y = y_l | x_l) = \sum_{l=1}^n \left\{ y_l \ln \left[ \frac{1}{1+e^{-(z_l)}} \right] + (1 - y_l) \ln \left[ 1 - \frac{1}{1+e^{-(z_l)}} \right] \right\} \quad (9)$$

em que,  $l = 1, \dots, n$  é o número de observações e  $z_l$  são os parâmetros do modelo ajustado.

Com este modelo, além de verificar a associação entre as variáveis, é possível calcular a probabilidade de autorização de acesso ao espaço aéreo para cada característica de solicitação.

Para avaliar a adequabilidade do modelo utiliza-se o teste de significância dos parâmetros, que é realizado pelo teste de razão de verossimilhança [TRV]. Segundo Giolo (2017), este teste é uma comparação entre a função de verossimilhança do modelo sem as variáveis ( $L_s$ ) e a função de verossimilhança do modelo com todas as variáveis ( $L_c$ ), por meio da seguinte expressão:

$$TRV = -2 \ln \left[ \frac{L_s}{L_c} \right] \quad (10)$$

Esta estatística segue a distribuição qui-quadrado com  $p$  graus de liberdade, em que  $p$  são os coeficientes associadas às variáveis do modelo. A hipótese nula é que os coeficientes não diferem de zero.

Um método utilizado para selecionar as variáveis em um modelo é o método stepwise, que consiste em incluir e eliminar uma variável do conjunto de variáveis explicativas a partir de algum critério de seleção, tal como o Critério de Informação Akaike (Akaike, 1974). O intuito deste método é obter um modelo reduzido que inclua as variáveis que mais são importantes para explicar a probabilidade de sucesso (Paula, 2013).

Ainda para avaliar a adequabilidade, emprega-se a matriz de confusão que é uma tabela a qual indica acertos e erros de modelo ajustado.

Tabela 2. Matriz de confusão



		Real	
		Verdadeiro	Falso
Classificada	Verdadeiro	Verdadeiro Positivo [VP]	Falso Positivo [FP]
	Falso	Falso Negativo [FN]	Verdadeiro Negativo [VN]

Fonte: Fávero (2017)

O VP e VN refletem a classificação correta. Já o FN reflete o erro do modelo que previu falso quando era verdadeiro (Erro tipo II). E FP denota que o modelo classificou verdadeiro quando era falso (Erro tipo I).

A partir da Tabela 2, podemos avaliar a classificação a partir das seguintes expressões:

$Acurácia = \frac{VP+VN}{VP+FP+FN+VN}$ , indica quanto o modelo classificou corretamente;

$Sensitividade = \frac{VP}{VP+FN}$ , indica a proporção dos resultados classificados como positivo pelo modelo;

$Especificidade = \frac{VN}{VN+FP}$ , indica a proporção dos resultados classificados como negativo pelo modelo.

A partir dessas medidas, é possível construir a curva ROC (Receiver Operator Characteristic Curve), que é uma representação gráfica entre a sensibilidade e especificidade. Desta maneira, obtém-se a área sob a curva (área under the curve [AUC]) que é uma medida útil para avaliar a acurácia do modelo, em que se fornece uma estimativa da probabilidade de classificação correta (Fávero, 2017).

## Resultados e Discussão

Para ilustrar a aplicação com os dados supramencionados, comparou-se a variável resposta com cada variável explanatória a fim de verificar associação entre a aprovação ou não dos pedidos com as características da solicitação.

Inicialmente, utilizou-se o teste qui-quadrado de Pearson para testar a associação entre a autorização de acesso ao espaço aéreo por meio de aeronave não tripulada e o nível de voo solicitado (Tabela 3). Os resultados obtidos foram:  $Q_p = 19,110$  e valor  $p < 0,0001$  ( $g.l. = 1$ ), com isso conclui-se que existe evidências de associação entre a autorização de acesso ao espaço aéreo e o nível de voo requerido.

Tabela 3. Distribuição conjunta das variáveis autorização de voo de aeronaves não tripuladas e altitude de voo (em pés)

altitude de voo (em pés)	autorização de acesso ao espaço aéreo		Total
	aprovado	negado	
até 131 ft	9239 (61,1%)	5870 (38,9%)	15109 (100%)
entre 131 e 400 ft	8984 (63,6%)	5134 (36,4%)	14118 (100%)
Total	18223 (62,3%)	11004 (37,7%)	29227 (100%)

Fonte: SARPAS (2022).

A partir da Figura 1, observa-se que (18223) 62,3% das solicitações foram aprovadas e que 15109 (51,7%) foram referentes aos pedidos de voo até 131 pés.

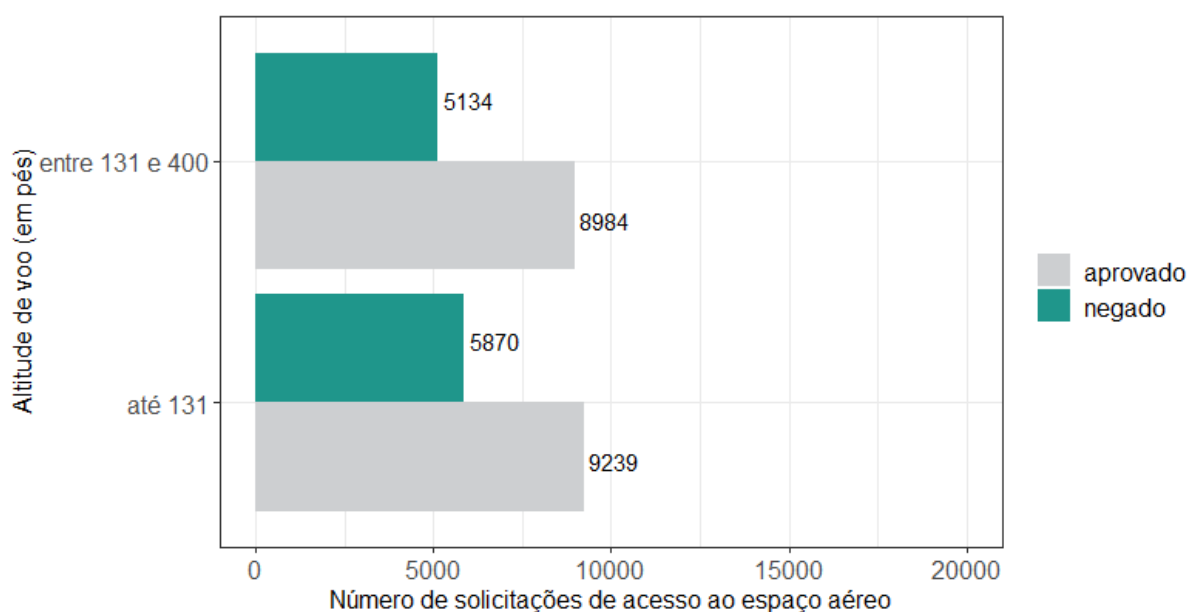


Figura 1. Número de solicitações de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada por altitude de voo (em pés)

Fonte: SARPAS (2022).

É possível verificar relação significativa no mapa percentual (Figura 2) entre as categorias acesso aprovado e altitude de voo entre 131 e 400 pés e entre as categorias acesso negado e altitude de voo até 131 pés.

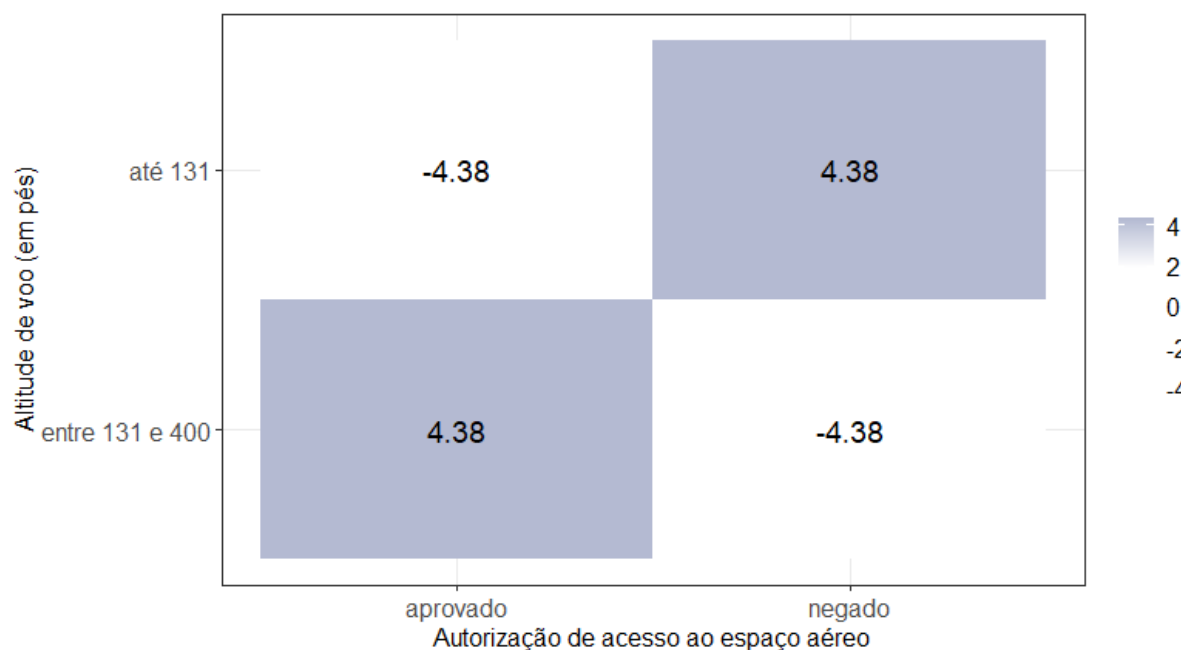


Figura 2. Mapa de calor dos resíduos padronizados ajustados entre a autorização de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada e altitude de voo (em pés)  
Fonte: SARPAS (2022).

Já para as variáveis autorização de acesso ao espaço aéreo e perfil de voo, o teste qui-quadrado de Pearson apresentou os seguintes resultados:  $Q_p = 656,54$  e valor  $p < 0,0001$  ( $g.l. = 2$ ), verificando também a evidência de associação entre a autorização de acesso ao espaço aéreo e o perfil de voo adotado.

Tabela 4. Distribuição conjunta da variável autorização de voo de aeronaves não tripuladas e perfil de usuário

perfil do voo	autorização de acesso ao espaço aéreo		Total
	aprovado	negado	
padrão	17747 (63,9%)	10006 (36,1%)	27753 (100%)
princípio da sombra	305 (42,2%)	418 (57,8%)	723 (100%)
aerolevantamento	171 (22,8%)	580 (77,2%)	751 (100%)
Total	18223 (62,3%)	11004 (37,7%)	29227 (100%)

Fonte: SARPAS (2022).

Observa-se, pela Figura 3, que 27753 (94,9%) das solicitações analisadas foram realizadas pelo perfil padrão. Além disso, 580 (77,2%) dos pedidos realizados para voos de aerolevantamento, foram negados.

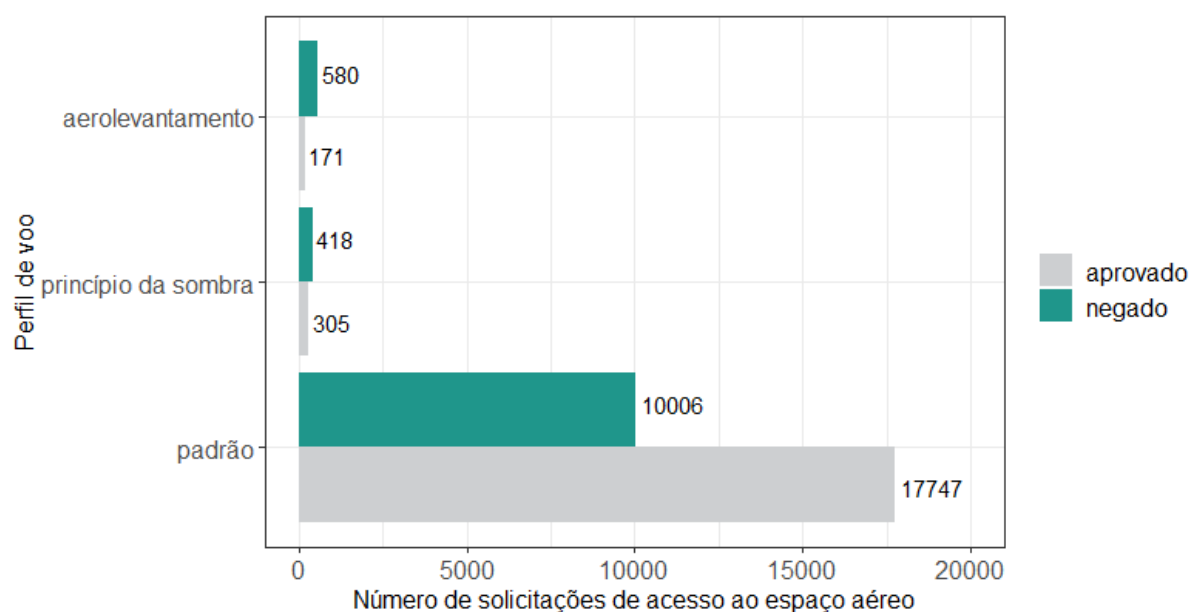


Figura 3. Número de solicitação de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada e perfil de voo

Fonte: SARPAS (2022).

É possível verificar a existência de forte relação entre as categorias aerolevantamento e princípio da sombra com os pedidos negados e forte relação da categoria padrão com os pedidos aprovados (Figura 4).

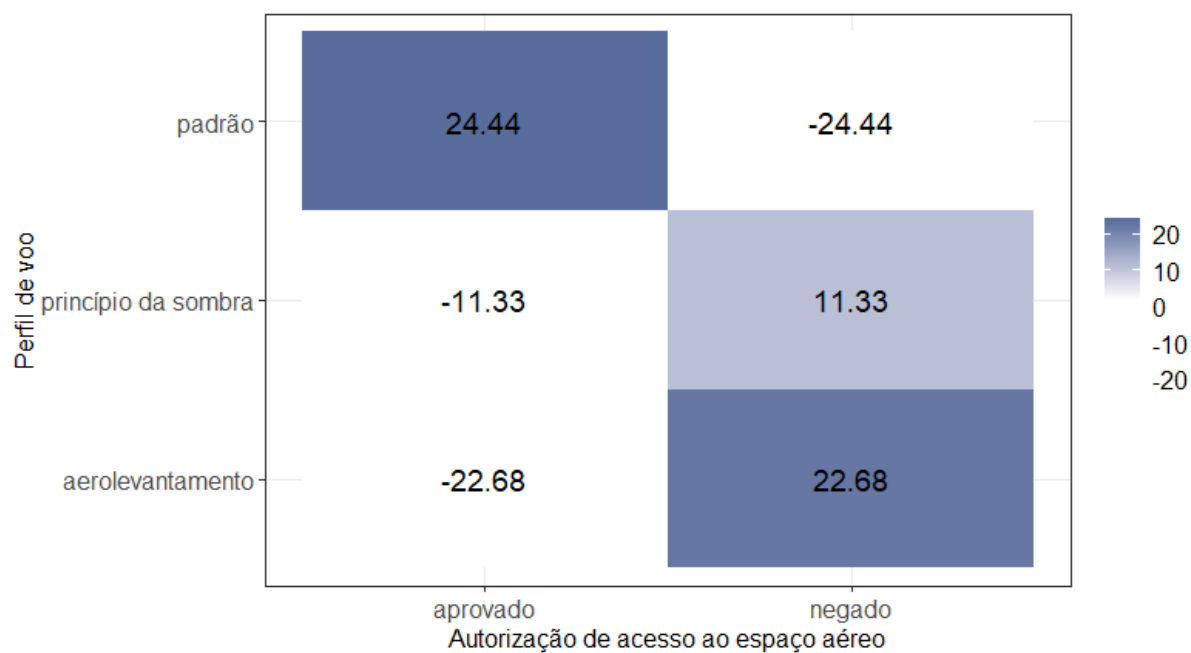


Figura 4. Mapa de calor dos resíduos padronizados ajustados entre a autorização de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada e perfil de voo

Fonte: SARPAS (2022).

No tocante ao tipo de voo realizado, verificou-se haver evidências de associação entre as solicitações de acesso ao espaço aéreo e o tipo de voo ( $Q_p = 141,84$  e valor  $p < 0,0001$  com g.l. = 2).

Tabela 5. Distribuição conjunta das variáveis autorização de voo de aeronaves não tripuladas e tipo de voo

Tipo de voo	autorização de acesso ao espaço aéreo		Total
	aprovado	negado	
VLOS	12031 (61,3%)	7595 (38,7%)	19626 (100%)
EVLOS	6185 (65%)	3332 (35%)	9517 (100%)
BVLOS	7 (8,3%)	77 (91,7%)	84 (100%)
Total	18223 (62,3%)	11004 (37,7%)	29227 (100%)

Fonte: SARPAS (2022).

A partir da Figura 5, observa-se que apenas 84 (0,29%) das solicitações foram para voo BVLOS sendo que 77 (91,7%) desses pedidos foram negadas. Além disso, 19626 (67,2%) dos pedidos foram realizados para voo VLOS sendo que 12031 (61,3%) desses pedidos foram aprovados.

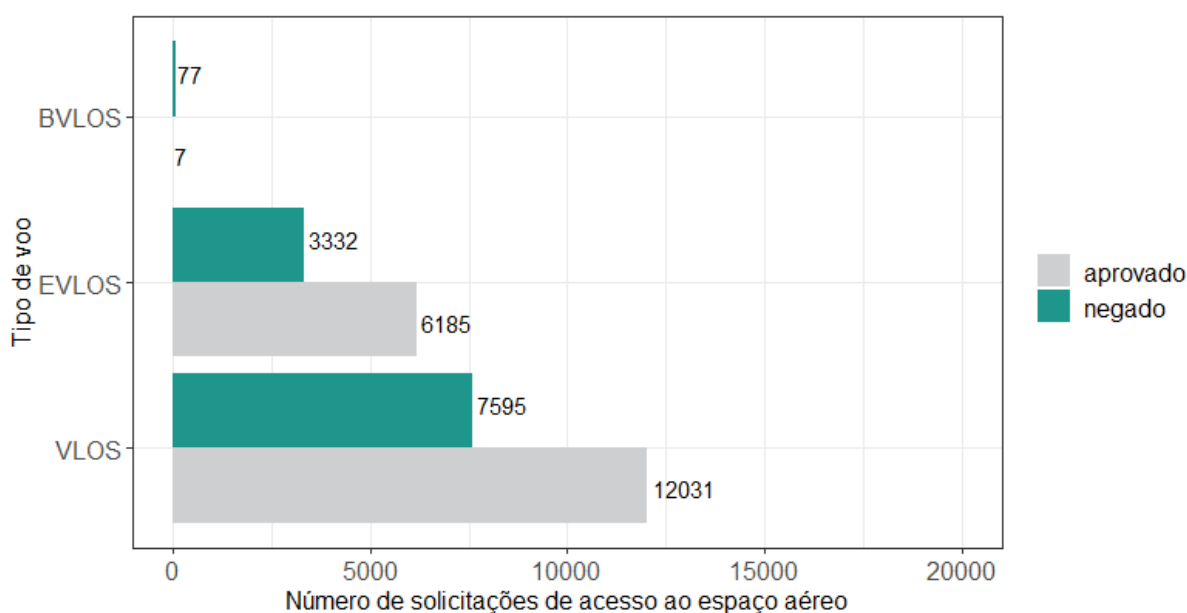


Figura 5. Número de solicitações de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada e tipo de voo

Fonte: SARPAS (2022).

A Figura 6, mostra a existência de relação significativa com as solicitações de voo VLOS e BVLOS e o acesso ao espaço aéreo negado e solicitações de voo EVLOS com acesso ao espaço aéreo aprovado.

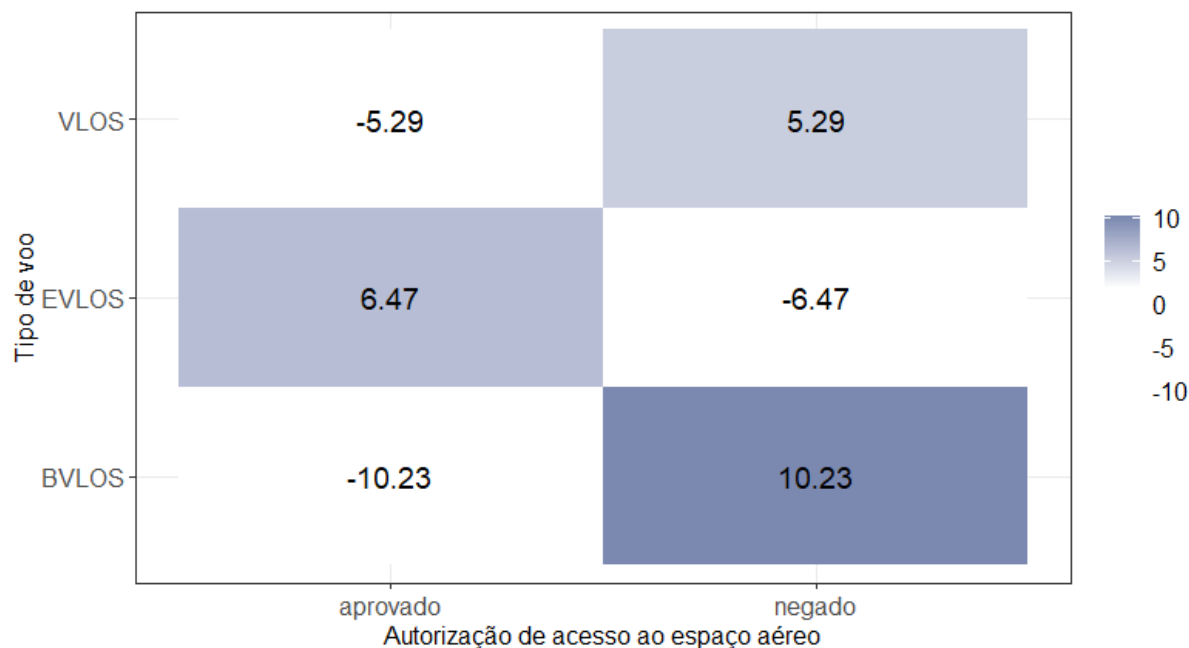


Figura 6. Mapa de calor dos resíduos padronizados ajustados entre a autorização de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada e tipo de voo  
Fonte: SARPAS (2022).

Com base no mapa percentual da Figura 7, verifica-se que a categoria acesso ao espaço aéreo aprovado apresenta associação com as categorias tipo de voo EVLOS, altitude de voo até 131 pés e perfil padrão. Por outro lado, a categoria acesso ao espaço aéreo negado aponta proximidade com as categorias tipo de voo VLOS e altitude de voo entre 131 e 400 pés. Além disso, observou-se que a categoria perfil de voo aerolevantamento apresenta forte associação com a categoria tipo de voo BVLOS. Verificou-se, ainda que as dimensões 1 e 2 explica 39,21 % (20,71% + 18,5%) da inércia principal total.

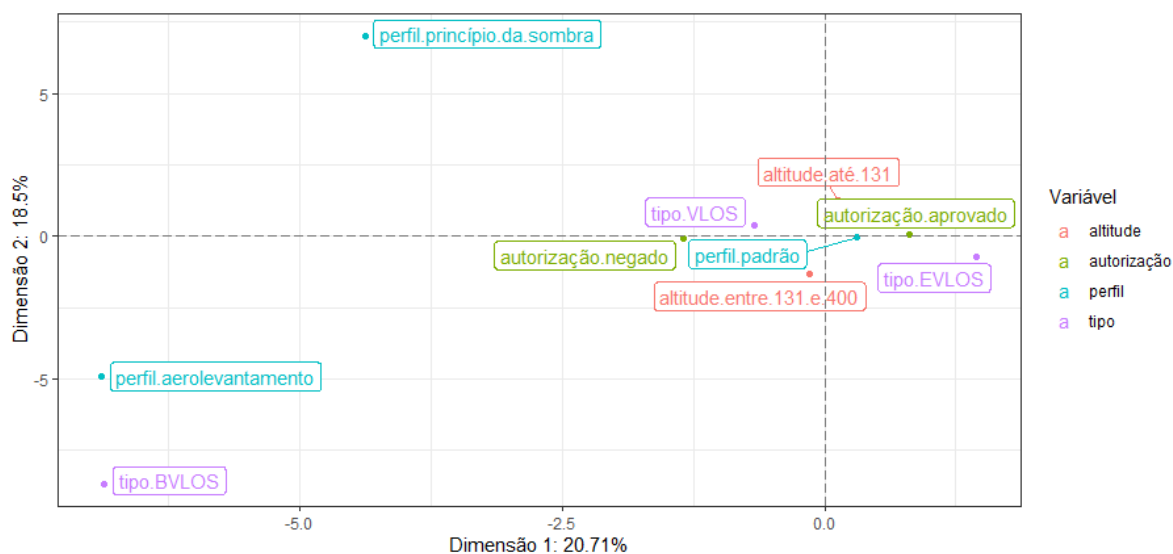


Figura 7. Mapa percentual das categorias das variáveis autorização de acesso ao espaço aéreo por aeronave não tripulada, altitude de voo, perfil de voo e tipo de voo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por fim, ajustou-se o modelo de regressão logística binária para a variável resposta autorização de acesso ao espaço aéreo, conforme dados descritos na Tabela 4. Para selecionar as variáveis do modelo, utilizou-se o método de seleção stepwise. O modelo final está descrito na Tabela 4. Observa-se que todas as variáveis explanatórias foram significativas, ou seja, todos os coeficientes do modelo associados as variáveis explanatórias são diferentes de zero.

Tabela 6. Estimativas dos parâmetros do modelo final

Variável	Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Valor p
Intercepto	$\alpha$	-2,3866	0,3961	<0,0001
Altitude (entre 131 e 400 pés)	$\beta_1$	0,1509	0,0247	<0,0001
Tipo (EVLOS)	$\beta_2$	2,9319	0,3965	<0,0001
Tipo (VLOS)	$\beta_3$	2,8751	0,3962	<0,0001
Perfil (princípio da sombra)	$\beta_4$	-0,8527	0,0769	<0,0001
Perfil (aerolevanteamento)	$\beta_5$	-1,8137	0,0889	<0,0001

Fonte: Resultados da pesquisa.

O modelo final ajustado pode ser expresso por meio dos logitos, conforme expressão abaixo:

$$\log \left[ \frac{P(Y_i = 1/x_i)}{1 - P(Y_i = 1/x_i)} \right] = -2,3866 + 0,1509X_1 + 2,9319X_2 + 2,8751X_3 - 0,8527X_4 - 1,8137X_5$$

em que:

$X_1 = 1$  representa se a altitude de voo solicitada foi de 131 a 400 pés;  $X_1 = 0$ , caso contrário;

$X_2 = 1$ , se o tipo de voo adotado foi EVLOS;  $X_2 = 0$ , caso contrário;

$X_3 = 1$ , se o tipo de voo foi VLOS;  $X_3 = 0$ , caso contrário;

$X_4 = 1$ , se o perfil foi princípio da sombra;  $X_4 = 0$ , caso contrário; e

$X_5 = 1$ , se o perfil foi aerolevanteamento;  $X_5 = 0$ , caso contrário.

É possível obter a interpretação do modelo por meio da razão de chances. Por exemplo: a razão de chances entre solicitações de voo até 131 pés, VLOS e utilizando o perfil padrão e as solicitações de voo até 131 pés, VLOS e utilizando o perfil princípio da

$$\text{sombra resulta em: } \frac{\text{Chance}_1}{\text{Chance}_2} = \frac{\frac{P(Y_i=1/x_i)}{1 - P(Y_i=1/x_i)}}{\frac{P(Y_i=1/x_i)}{1 - P(Y_i=1/x_i)}} = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})}{\exp(\alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})} = 2,35, \text{ o que permite}$$

concluir que a chance de uma solicitação de acesso ao espaço aéreo por meio de aeronave não tripula para um voo até 131 pés, VLOS e utilizando um perfil padrão ser aprovada manualmente é duas vezes maior que uma solicitação de voo até 131 pés, VLOS e utilizando o perfil princípio da sombra.

Da mesma maneira, podemos concluir que a chance de uma solicitação de voo até 131 pés, VLOS, utilizando um perfil padrão ser aprovada manualmente é seis vezes maior que uma solicitação de voo até 131 pés, VLOS e utilizando o perfil de aerolevantamento.

Este modelo apresentou acurácia de 0,5452, sensibilidade de 0,6312 e especificidade de 0,4029. A partir da Figura 8, observa-se que a partir do modelo adotado a área abaixo da curva AUC foi de 0,556.

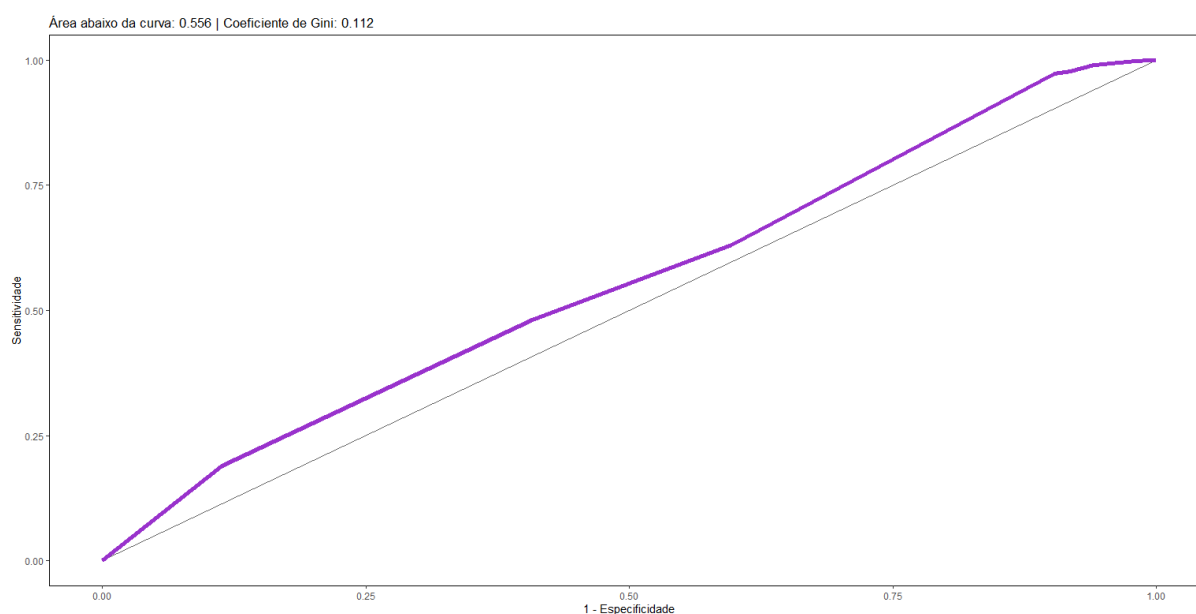


Figura 8. Curva ROC do modelo ajustado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Uma forma de melhorar o poder de predição para este tipo de modelo seria acrescentar novas variáveis explicativas ao modelo, o que poderá ser feito em pesquisas futuras.

## Conclusão

As atividades relacionadas ao uso de aeronaves não tripuladas devem ser conduzidas de forma segura. Para isso, se faz necessário obter autorização para acessar ao espaço aéreo, seguindo as condicionantes impostas pelo agente regulador. Quando o usuário não segue as condições exigidas, é negado o acesso a fim de não colocar em risco as operações com as aeronaves tripuladas.



As solicitações aprovadas manualmente no sistema SARPAS apontaram relação com os voos EVLOS, com altitude até 131 pés feitas com perfil padrão. Já as solicitações negadas indicaram relação com os voos VLOS.

Os pedidos de voo com a finalidade de realizar aerolevanteamento apresentou associação com os voos tipo BVLOS. Além disso, as solicitações de voo utilizando o perfil da sombra não apresentou relação com nenhuma outra categoria analisada.

Pelo modelo ajustado, as probabilidades mais altas de receber aprovação dos pedidos de acesso ao espaço aéreo foram para as solicitações utilizando o perfil padrão com tipo de voo VLOS ou EVLOS com altitudes até 400 pés.

O DECEA é órgão responsável pela fiscalização e regulamentação das normas de acesso ao espaço aéreo brasileiro. É fundamental que os pilotos de aeronaves não tripuladas tenham conhecimento adequado dos regulamentos relativos à aviação não tripulada, a fim de possibilitar que mais pilotos acessem o espaço aéreo brasileiro de forma segura. Tal conhecimento facilitará a autorização junto ao sistema SARPAS.

## **Agradecimento**

Agradeço a Deus por me dar condições para concluir o trabalho. Aos meus pais, Eivanyr de Moura e Maria José de Freitas Moura, por estarem sempre ao meu lado. Aos meus familiares e amigos que me apoiaram, e em especial ao professor Walter Mesquita Filho pelos ensinamentos e excelente orientação.

## **Referências**

Akaike(1974) Hirotugu Akaike. A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control, 19:716–723.

Brasil. 1946. Decreto n. 21.713, de 27 de agosto de 1946. Promulga a Convenção sobre Aviação Civil Internacional, concluída em Chicago a 7 de dezembro de 1944 e firmado pelo Brasil, em Washington, a 29 de maio de 1945. Disponível em : [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1930-1949/d21713.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d21713.htm). Acesso em: 21/10/2022.

Cordeiro, Gauss Moutinho; Demétrio, Clarice Garcia Borges. Modelos Lineares Generalizados e Extensões. Piracicaba, SP. 2008. Disponível em: <<https://www.ufjf.br>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

Fávero, L. P. 2017. Manual de Análise de Dados - Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®. Editora GEN LTC.

Giolo, S. R. 2017. Introdução à análise de dados categóricos com aplicações. Editora Edgar Blucher Ltda.

ICAO. 2015. Doc 10019, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). International Civil Aviation Organization, Canadá, Montreal, 27 de fevereiro de 2015.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Aeronaves não Tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro (Instrução do Comando da Aeronáutica [ICA] 100-40). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de julho de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Aeronaves não Tripuladas para uso exclusivo em apoio às situações emergenciais (Manual do Comando da Aeronáutica [MCA] 56-1). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de julho de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Aeronaves não Tripuladas para uso exclusivo recreativo - Aeromodelos (MCA 56-2). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de julho de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Aeronaves não Tripuladas para uso em proveito dos Órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual ou Municipal (MCA 56-3). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de julho de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Aeronaves não Tripuladas para uso exclusivo em proveito dos Órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal (MCA 56-4). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de julho de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2019. Regulamento do Departamento de Controle do Espaço Aéreo [DECEA] (Regulamento de Organização do Comando da Aeronáutica [ROCA] 20-7). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de dezembro de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2020. Serviços de Tráfego Aéreo (ICA 100-37). Departamento do Controle do Espaço Aéreo, Rio de Janeiro, 01 de dezembro de 2020.

Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. 2021. Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo de 2021. Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea [CGNA]. Disponível em: <http://portal.cgna.decea.mil.br/>. Acesso em: 21 de outubro de 2022.

Paula, Gilberto A. Modelos de Regressão com apoio computacional. São Paulo, SP. 2013. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

R Core Team(2023) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>.

