

# Análise do Risco na Operação de Veículos Aéreos Não Tripulados Sobre Áreas Povoadas

Bruno Cesar Janhsen e Rainer Ferraz Passos

Universidade da Força Aérea (UNIFA) - EAOAR, Av. Mal. Fontenelle, 1200 – Campo dos Afonsos – Rio de Janeiro – RJ – CEP 21740-001.

**Resumo** — O objetivo do trabalho foi identificar um indicador quantitativo para comparar níveis de risco da operação de veículos aéreos não tripulados (VANTs), conforme a ocupação populacional, a fim de apoiar a construção de ferramentas de apoio à decisão sobre a operação desses veículos. Para tal, propõe-se a utilização da taxa de fatalidades esperada, para um nível equivalente de segurança à aviação tripulada, em função da densidade demográfica da área de sobrevôo. Sob esse enfoque, foram analisados três VANTs, considerando-se a distribuição demográfica do Brasil e da cidade do Rio de Janeiro. Como resultado, foi verificado que, com um nível equivalente de segurança em consonância com a situação corrente na aviação geral, o Heron GT poderia sobrevoar 12,24% do território carioca, enquanto o Hermes 450 cerca que 31,94% e já o modelo Acauã 82,79% da área do município.

**Palavras-Chave** — VANT, Nível Equivalente de Segurança, Densidade Demográfica.

## I. INTRODUÇÃO

Imagine a final da Copa do Mundo de 2014. Maracanã lotado com quase cem mil pessoas numa área de pouco mais de sessenta e oito mil metros quadrados. Agora imagine um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de uma tonelada se chocando contra os espectadores, nesta situação. Um cenário deste, apesar de improvável, não deixa de ser possível.

Partindo desta motivação, verificou-se a necessidade de se avaliar, quantitativamente, o nível de risco observado na operação de VANTs sobre áreas habitadas. Esta análise ganha relevância com vistas aos eventos desportivos dos anos de 2014 e 2016.

A utilização dos VANTs é algo recente e causa uma inovação nos moldes de emprego tanto das forças armadas quanto das auxiliares. Tal fenômeno é observado, pois o conceito de VANT abandona o princípio de um piloto a bordo da aeronave, substituindo-o por uma inteligência artificial. Como seu uso ainda é incipiente no Brasil, faz-se necessário o desenvolvimento de novos conceitos para sua operação segura, por isso, deve influenciar a Doutrina de Emprego das Forças Armadas.

Sob essa ótica, as ponderações iniciais sobre como abordar o assunto foram:

Quais são os principais tipos de riscos inerentes à operação dos VANTs? Como se pode medir de forma quantitativa estes riscos? Como a distribuição demográfica influencia o risco na operação sobre áreas habitadas?

A delimitação desse tema levou ao objetivo abordado neste artigo de identificar, de forma quantitativa, os níveis de risco na operação de VANTs sobre áreas habitadas, em função da densidade demográfica, a fim de apoiar a tomada de decisão sobre a utilização desses equipamentos, em específico visando os eventos desportivos de 2014 e 2016 no Brasil.

O texto apresentará os passos seguidos no intuito de completar esse objetivo: descrever os principais riscos na operação de VANTs, determinar de forma quantitativa estes riscos e verificar como a distribuição demográfica influencia no risco destas operações.

Já sobre a relevância do assunto, deve-se considerar que existem vários fatores que favorecem a utilização de VANTs no cenário atual. Verifica-se que o treinamento de pilotos é um processo longo, dispendioso e que enseja a necessidade de muita atenção com a segurança, assim, ao suprimir a necessidade de um piloto, a operação dos VANTs está se tornando uma opção natural.

Além disto, a própria redução de custos da plataforma é outra razão para sua crescente utilização. Em um voo não tripulado, o espaço interno e equipamentos requeridos para um operador humano podem ser removidos e, ainda, custos de construção e operação são reduzidos.

Um indicador simples dessas vantagens é o crescente aumento na utilização de tais veículos pelas forças armadas e auxiliares do Brasil. Assim, a relevância da pesquisa se dá na quantificação dos riscos presentes na operação destes aparatos com a finalidade de se planejar melhor as rotas de voo em função da segurança da operação.

### A. VANTs e o Risco

Existe uma bibliografia vasta quando se fala de VANTs e análise de risco separadamente, entretanto este assunto é escasso quando tratado de forma conjunta. Desta forma, tem-se que uma breve apresentação de conceitos envolvendo ambos os assuntos ganha importância.

De acordo com Costa [1], os veículos não tripulados podem ser distribuídos em categorias segundo a complexidade do seu sistema de controle. Os do tipo I são controlados por linha de visada direta com a aeronave,

utilizando-se de controles via-rádio convencionais. Aqueles do tipo II são controlados sem visada direta, por meio de um computador que recebe dados da aeronave em tempo real. Já o tipo III se refere ao voo autônomo com pouca ou nenhuma interferência do piloto.

Assume-se que, dentre os citados, os tipos de maior interesse para as missões de patrulhamento aéreo se enquadram no tipo III. Para a funcionalidade deste sistema, faz-se necessária uma aeronave e seu sistema de controle.

De uma forma geral, os sistemas de VANT possuem a arquitetura ilustrada na Fig. 1 [2], onde  $V$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ ,  $\theta$  e  $h$  representam, respectivamente, velocidade, ângulo de rolagem, proa, ângulo de arfagem e altitude da aeronave.  $\delta$  se refere à deflexão das superfícies de comando e à variação da potência do motor. Os índices  $c$ ,  $a$ ,  $e$ ,  $r$  e  $t$  são relativos a controle, aileron, profundor (elevador), pedal (rudder) e motor (throttle), respectivamente.

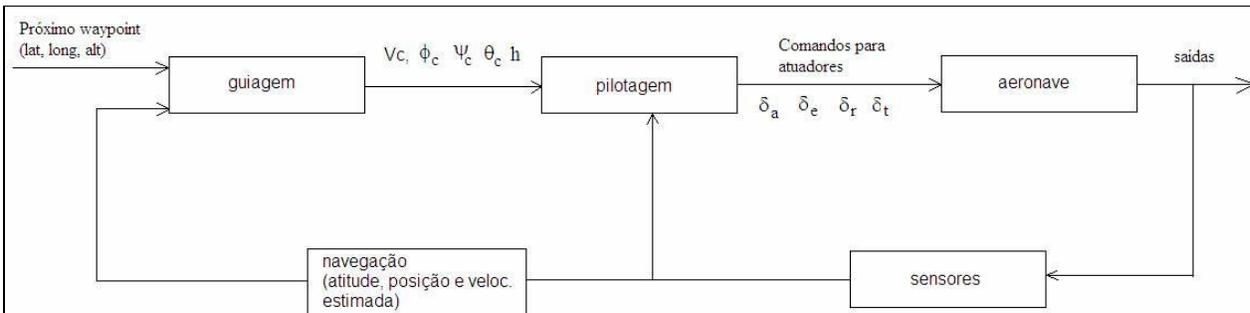


Fig. 1 - Arquitetura de Controle de um VANT [2].

Quanto ao gerenciamento de risco, existem algumas abordagens para diferentes áreas como economia, administração e a engenharia de sistemas. De acordo com Bateman [3], na análise do risco associam-se probabilidades a conseqüências de decisões. Neste caso, o impacto esperado é um produto da probabilidade, em função do risco, e do impacto causado, caso o evento ocorra.

De acordo com o Departamento de Defesa Norte Americano (DoD – Department of Defense), o risco é inerente a todas as atividades. Além disto, o risco é composto de duas características de um possível evento negativo: probabilidade de ocorrência e conseqüências da ocorrência. O risco ainda pode ser classificado como baixo, moderado ou alto, dependendo destas probabilidades e conseqüências [4].

Já na abordagem de engenharia de sistemas da Agência Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (National Aeronautics and Space Agency - NASA) [5], o risco é o produto de três grandezas: a estrutura do cenário, a probabilidade de ocorrência bem como suas incertezas, e a severidade das conseqüências com suas incertezas. Nesta referência, ainda são mostradas algumas limitações da matriz de risco tais como a falta de interação entre diferentes tipos de risco e a impossibilidade de se representar suas incertezas.

## II. METODOLOGIA

De acordo com as categorias de VANT citadas, para a realização deste trabalho, foi feito um apanhado de alguns VANTs em operação ou desenvolvimento no Brasil a fim de se comparar os níveis de risco entre si e com um padrão pré-estabelecido. Os veículos analisados são: Hermes450 (operado pela FAB), Heron GT (operado pela Polícia Federal) e Acauã (em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço).

A operação de veículos não tripulados está sujeita a alguns perigos que podem levar a três tipos básicos de

acidentes: perda de controle em solo, colisão em voo e impacto com o solo [6].

A perda de controle em solo se refere aos acidentes que ocorrem quando o VANT ainda não efetuou sua decolagem. Neste caso, a aeronave pode se mover inesperadamente, causando potenciais danos à equipe de solo bem como os equipamentos de controle próximos. Este tipo de acidente geralmente ocorre quando o operador não possui contato visual com o veículo e assume, incorretamente, que todo o time de apoio abandonou a área de decolagem. Este risco pode ser minimizado através de um eficiente gerenciamento de operações.

A colisão em voo pode ocorrer entre dois VANTs ou entre um VANT e uma aeronave tripulada. Dependendo da natureza da colisão, ela pode resultar na perda de uma ou ambas as aeronaves. Um acidente secundário proveniente deste é o impacto com o solo dos destroços que podem ferir pessoas ou causar danos a propriedades.

O impacto com o solo pode acontecer de maneira controlada ou não. No caso controlado, pode ser possível selecionar um ponto de impacto, bem como uma velocidade e orientação da aeronave. Assim, reduzindo a probabilidade de danos a propriedades e de fatalidades.

Danos potenciais resultantes destes acidentes incluem ferimentos ou fatalidades de pessoas no solo ou em outras aeronaves, dano ou perda do veículo e dano a propriedades. Um dano indireto é a poluição ambiental causada pela carga da aeronave ou como resultado de um vazamento de combustível seguido de incêndio. Outro possível dano é a rejeição por parte da população, podendo desencorajar futuras operações. Isto pode ser visto como conseqüência de uma alta taxa de acidentes, mesmo que não ocorram danos, ou se o acidente atingir pontos sensíveis da sociedade como monumentos, escolas ou igrejas. Um resumo destes possíveis acontecimentos pode ser visualizado na Fig. 2.

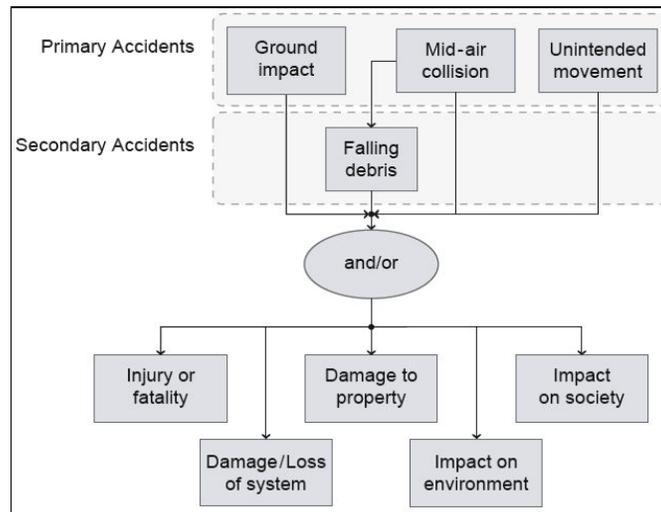


Fig. 2 - Acidentes Primários e Secundários e seus Possíveis Resultados [6].

Este trabalho focou na investigação do risco da queda dos VANTs e suas possíveis fatalidades. Para a análise de impactos, determina-se uma frequência máxima aceitável de acidentes ( $f_{GI}$ ) baseada na taxa de fatalidades esperada ( $f_F$ ), conforme a metodologia proposta por Dalamagkidis [6].

$$f_{GI} = E(\text{fatalidades/impacto})^{-1} f_F \quad (1)$$

O valor esperado de fatalidades dado o impacto é determinado como função de diversos parâmetros. Neste trabalho, é utilizado o número de pessoas expostas ( $N_{exp}$ ) e a probabilidade de fatalidade dado a exposição.

$$E(\text{fatalidades/impacto}) = N_{exp} P(\text{fatalidade/exposição}) \quad (2)$$

Para a realização deste cálculo, é necessário o conhecimento da densidade demográfica da área a ser analisada ( $\rho$ ). Primeiramente, foi realizada tal análise para todo o território nacional, de maneira mais ampla. Em seguida, restringiu-se geograficamente na região da cidade do Rio de Janeiro, visando os Jogos Olímpicos de 2016 e a Copa do Mundo de 2014.

Com os devidos cálculos matemáticos, utilizando a área exposta ( $A_{exp}$ ) do VANT, chega-se ao tempo mínimo requerido entre impactos com o solo ( $T_{GI,min}$ ) que é uma medida mais intuitiva do que a frequência de impactos e pode ser comparado com o tempo médio entre falhas (MTBF – Mean Time Between Failure), termo comum no gerenciamento de projetos.

$$T_{GI,min} = f_{GI,min}^{-1} = \frac{A_{exp} \rho}{f_F} P(\text{fatalidade/exposição}) \quad (3)$$

Para o cálculo da área de exposição, é necessário conhecer as dimensões dos veículos acima mencionados. E, além disto, são utilizadas as informações de massa e velocidade de tais aparatos para o cálculo da probabilidade de

fatalidade dado a exposição, em função da energia cinética. Existe mais de uma formulação para o cálculo desta probabilidade. Foi utilizado o modelo descrito por Dalamagkidis [6], onde a probabilidade é uma curva logística em função da energia no impacto ( $E_{imp}$ ), um parâmetro de abrigo ( $p_s$ ), um parâmetro de energia de impacto requerida para uma probabilidade de 50% com  $p_s=0.5$  ( $\alpha$ ), e um parâmetro de limiar de energia requerido para causar fatalidade com  $p_s$  tendendo a zero ( $\beta$ ).

$$P(\text{fatalidade/exposição}) = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\alpha}{\beta} \left[ \frac{\beta}{E_{imp}} \right]^{4 p_s}}} \quad (4)$$

### III. REFERENCIAL TEÓRICO

Para atingir o objetivo da pesquisa, é necessário comparar alguns veículos existentes, no Brasil, entre si e com relação a margens de segurança pré-estabelecidas pelas autoridades aeronáuticas competentes. Tal comparação foi realizada utilizando também a teoria descrita por Dalamagkidis [6].

De acordo com a Agência Europeia para a Segurança de Aviação [7], em sua Política para Certificação de VANTs, um dos princípios norteadores da regulamentação deve ser a equivalência. Com base neste princípio, é citado, neste documento, que as normas de regulamentação de aeronavegabilidade devem ser ajustadas para não serem menos exigentes do que as atualmente aplicáveis para aeronaves tripuladas, nem penalizar os sistemas não tripulados por exigir o cumprimento de normas superiores simplesmente porque a tecnologia permite.

Este princípio tem sido amplamente utilizado para a maioria das agências de aviação no mundo e é conhecido como ELOS (Equivalent Level Of Safety – Nível Equivalente de Segurança). Para defini-lo, inicialmente devem ser investigados os requisitos para a aviação de uma forma geral. O número de acidentes pode ser visto na tabela I, bem como a

taxa de fatalidades de acordo com o National Transportation Safety Board (NTSB) [8].

TABELA I TAXA DE FATALIDADES POR HORA DE VÔO - 1983 A 2006

Taxas por hora	Cargueiros	Transporte de Passageiros	Aviação Geral	Total
Acidentes	$2,43 \times 10^{-6}$	$2,37 \times 10^{-5}$	$8,05 \times 10^{-5}$	$5,05 \times 10^{-5}$
Fatalidades a bordo	$8,68 \times 10^{-6}$	$1,64 \times 10^{-5}$	$2,77 \times 10^{-5}$	$2,06 \times 10^{-5}$
Fatalidades no solo	$3,37 \times 10^{-7}$	$8,3 \times 10^{-6}$	$6,54 \times 10^{-7}$	$1,31 \times 10^{-6}$

Fonte: NTSB [8].

Dos dados relatados anteriormente, deve ser dada uma atenção especial ao fato de os VANTs não possuírem tripulação a bordo. Desta forma, apenas o número de fatalidades em solo deve ser levado em consideração. Pode ser visto na tabela I que este número representa uma pequena porcentagem do total de mortes devido aos acidentes aéreos. Assim, pode ser determinada uma taxa de fatalidades esperada ( $f_f$ ) na ordem de  $10^{-6}h^{-1}$ , a fim de se manter o princípio da equivalência.

Existem outras abordagens para determinar um ELOS para os VANTs. De uma forma geral, são obtidos valores de  $f_f$  da ordem  $10^{-6}h^{-1}$  a  $10^{-9}h^{-1}$ . Como a utilização dos veículos está sendo pensada para operações militares, será mantida, para este trabalho, a maior taxa esperada de fatalidades. Tal escolha está em consonância com os limites utilizados pela Marinha dos Estados Unidos [9] e pela Organização do Tratado Atlântico Norte - OTAN [10].

#### IV. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Como pôde ser visto na metodologia proposta, os dados necessários para se realizar os cálculos eram as dimensões, massa e velocidade dos VANTs em estudo e a densidade demográfica das regiões a serem analisadas.



O Hermes 450 está em fase de implantação na FAB. Atualmente, é operado pelo 1º/12º Grupo de Aviação, sediado na Base Aérea de Santa Maria. Este VANT, produzido pela empresa israelense Elbit, possui como características uma envergadura de 10,5 metros, um comprimento de 6,1 metros, massa de 450 kg e velocidade de operação de 36m/s [11].

Heron GT é um veículo de porte maior que o anterior. Operado pelo Departamento de Polícia Federal, este VANT é fabricado pela IAI (Israel Aerospace Industries). Ele apresenta como características físicas uma envergadura de 16,6 metros, comprimento de 8,5 metros, massa de 1250 kg e velocidade de operação de 57,5m/s [12].

O último veículo analisado é o Acauã. Este VANT é a plataforma em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) do Departamento de Ciência e Tecnologia da Aeronáutica (DCTA). Dentre as aeronaves analisadas é o menor. Possui 5,1 metros de envergadura, 4,8 metros de comprimento, massa de 150 kg e velocidade de 33m/s [13].

Os dados relativos aos três VANTs podem ser vistos na tabela II.

TABELA II CARACTERÍSTICAS DOS VANTS ANALISADOS

VANT	Envergadura (m)	Comprimento (m)	Massa (kg)	Velocidade (m/s)
Heron GT	16,6	8,5	1250	57,5
Hermes 450	10,5	6,1	450	36
Acauã	5,1	4,8	150	33

Fonte: Elbit [11], IAI [12] e d'Oliveira [13].

Outro dado importante para alcançar o objetivo do trabalho é a distribuição demográfica do Brasil [14], em geral, e da cidade do Rio de Janeiro [15], em específico. A região nacional pode ser vista na Fig. 3, enquanto a região do município está retratada na Fig. 4.

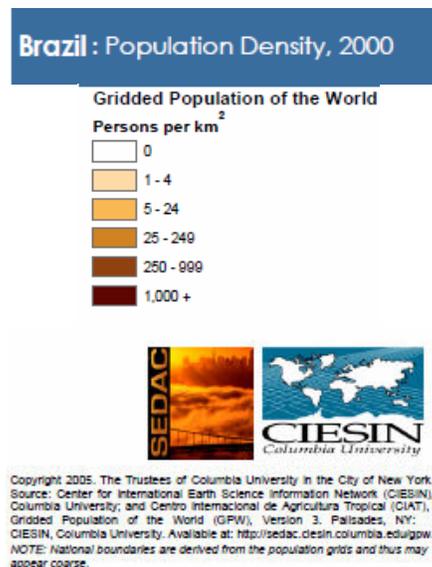


Fig. 3 - Distribuição Demográfica Brasileira – 2000 [14].

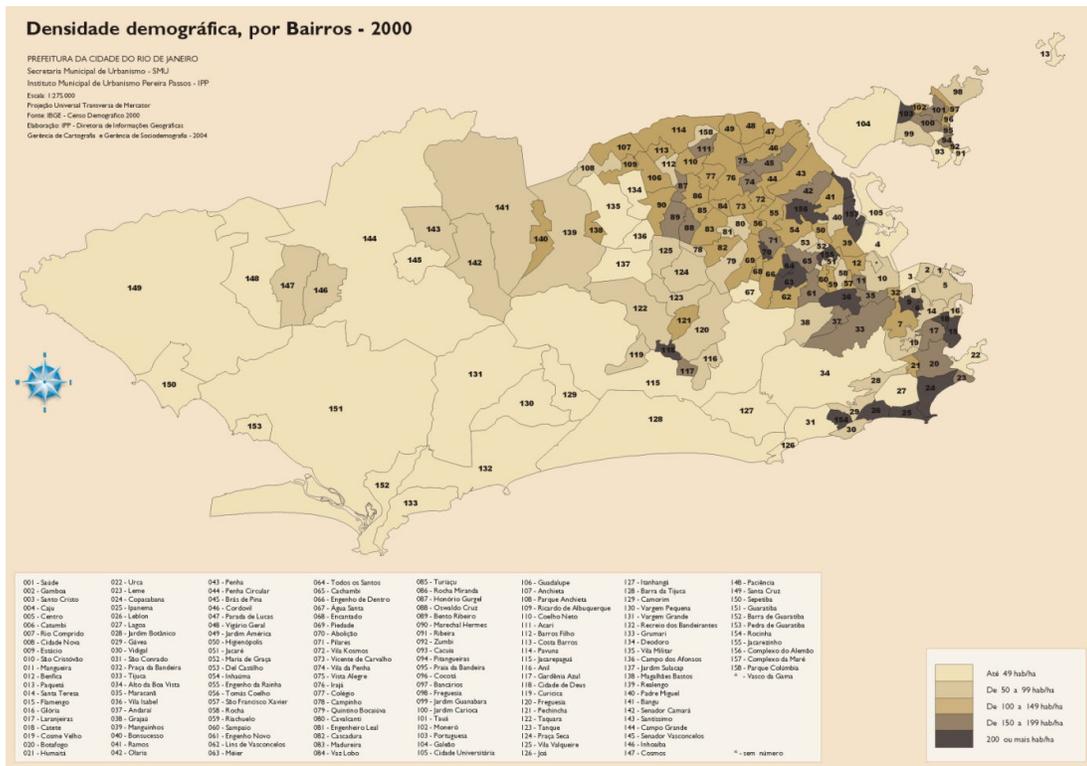


Fig. 4 - Distribuição Demográfica do Município do Rio de Janeiro [15].

Com base nestes dados, foi possível aplicar a metodologia proposta a fim de atingir o objetivo proposto da pesquisa. Inicialmente, foi extraída dos mapas a informação relativa à densidade demográfica. Para tal, foi elaborada uma rotina em Matlab®, com o objetivo de tratar a imagem e verificar qual percentagem de área corresponde a qual densidade demográfica.

Desta forma, é possível verificar os níveis equivalentes de segurança em função da posição geográfica. As imagens tratadas podem ser vistas nas Fig. 5 e 6, onde foram retiradas as fronteiras e divisas, bem como os indicativos de legenda.

Através destas imagens, foi possível quantificar as áreas em função de sua densidade demográfica. Para o Brasil, os valores encontrados podem ser vistos na tabela III. Quanto à cidade do Rio de Janeiro, a informação é verificada na tabela IV.

O próximo passo executado foi o cálculo do tempo mínimo entre impactos ( $T_{GI}$ ). Utilizando a metodologia proposta, foi possível determinar este parâmetro em função da densidade demográfica e das características físicas dos VANTs analisados. Os resultados destes cálculos podem ser vistos na tabela V.

Pode ser observado em destaque na tabela V, em destaque, o valor do  $T_{GI}$  da ordem de grandeza relativa à taxa de acidentes observados entre os anos de 1983 e 2006, já vista na tabela I. De forma que, com a informação obtida, responde-se à questão inicial sobre influência da densidade demográfica sobre o risco de operação dos VANTs, levando-

se em conta o princípio da equivalência utilizado como referencial teórico.

Relacionando esta informação aos dados relativos ao Brasil e à cidade do Rio de Janeiro, é possível inferir uma quantidade relativa de área sobre a qual os VANTs podem voar sem ferir o princípio da equivalência. Tal informação está retratada na tabela VI.

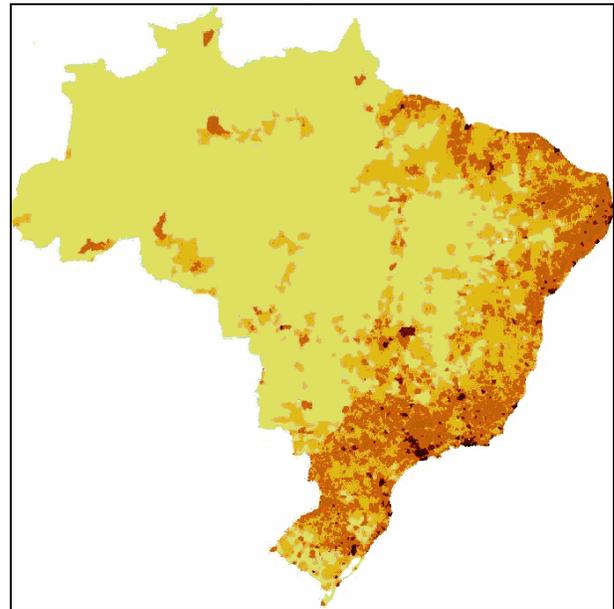


Fig. 5 - Distribuição Demográfica Tratada do Brasil.



Fig. 6 - Distribuição Demográfica Tratada do Município do Rio de Janeiro.

TABELA III PORCENTAGEM DA ÁREA POR DENSIDADE DEMOGRÁFICA – BRASIL

Densidade(Hab/km2)	<5	5 a 24	25 a 249	250 a 999	>1000
Área relativa	62,28%	22,15%	14,51%	0,71%	0,35%

Fonte: Autor.

TABELA IV PORCENTAGEM DE ÁREA POR DENSIDADE DEMOGRÁFICA – RIO DE JANEIRO

Densidade(Hab/km2)	<5000	5000 a 9999	10000 a 14999	15000 a 19999	>20000
Área relativa	79,45%	9,75%	6,52%	2,43%	1,85%

Fonte: Autor.

TABELA V  $T_{GI}$ (X MIL HORAS) EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DEMOGRÁFICA

VANT	Densidade(Hab/km2)						
	770	2010	5000	6710	10000	15000	20000
Heron GT	100	261,3	649,9	872,2	1299,8	1949,7	2599,6
Hermes 450	38,2	100	248,3	333,2	496,6	744,9	993,2
Acauã	11,5	29,9	74,4	100	148,9	223,3	297,7

Fonte: Autor.

TABELA VI ÁREA DE SOBREVÔO SEM FERIR O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA COM  $F_f=10^{-6}H^{-1}$

Local	VANT		
	Heron GT	Hermes 450	Acauã
Brasil	98,94 a 99,65%	>99,65%	>99,65%
Rio de Janeiro	<79,45%	<79,45%	79,45 a 89,20%

Fonte: Autor.

Um fator importante a ser verificado é a escassez de informações referentes à distribuição demográfica. Para uma conclusão mais precisa sobre a área de vôo sobre a cidade do Rio de Janeiro, seria necessário o conhecimento mais acurado da densidade demográfica na faixa inferior a 5000hab/km<sup>2</sup>. Caso considere-se uma variação linear de zero a cinco mil habitantes por quilômetro quadrado, pode ser feita uma estimativa da área de sobrevôo esperada para os valores de  $T_{GI}$  encontrados. Esta estimativa de variação linear pode ser vista na Fig. 7.

Ainda na Fig. 7, pode ser vista uma área relativa de 12,24% para o Heron GT e de 31,94% para o Hermes 450. Utilizando a mesma abordagem de variação linear para as demais faixas de densidade demográfica, é possível encontrar valores estimados da área de sobrevôo, os resultados podem ser vistos na tabela VII.

Desta forma, temos uma quantificação estimada de uma área relativa de sobrevôo sem ferir o princípio da equivalência. Estes resultados podem ser utilizados para o planejamento das missões utilizando VANTs sobre o território brasileiro e, em específico, sobre a cidade do Rio de Janeiro.

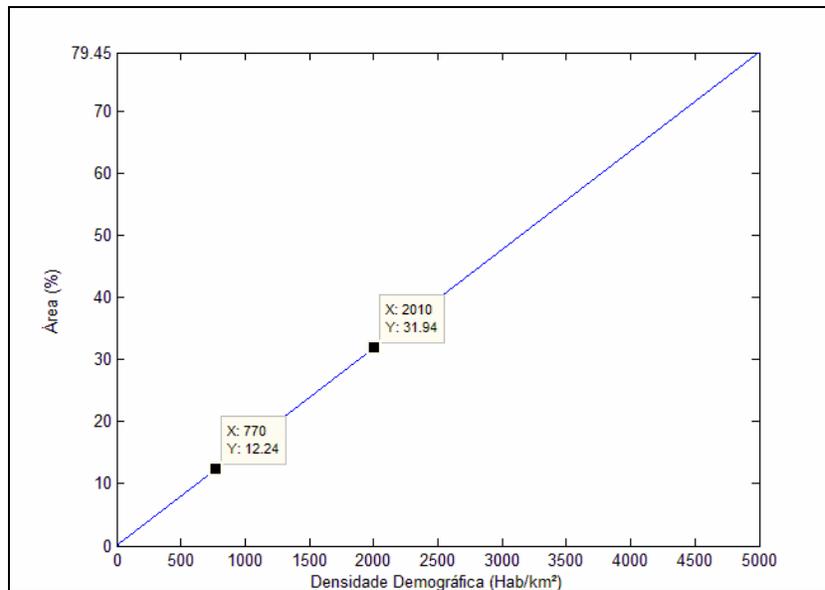


Fig. 7 - Estimativa da Área Relativa na Cidade do Rio de Janeiro.

 TABELA VII ÁREA DE SOBREVÔO ESTIMADA SEM FERIR A EQUIVALÊNCIA COM  $F_T=10^{-6}H^{-1}$ 

Local	VANT		
	Heron GT	Hermes 450	Acauã
Brasil	99,43%	>99,65%	>99,65%
Rio de Janeiro	12,24%	31,94%	82,79%

Fonte: Autor (2011)

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho se iniciou com a apresentação da necessidade de uma avaliação quantitativa do nível de risco inerente à operação de VANTs sobre áreas habitadas, especialmente visando sua possível utilização nos eventos desportivos que serão realizados no Brasil em 2014 e 2016.

O objetivo delimitado para o artigo foi de identificar, quantitativamente, os níveis de risco na operação de VANTs sobre áreas habitadas, em função da densidade demográfica, a fim de apoiar a tomada de decisão sobre a utilização desses equipamentos, em específico visando os eventos desportivos de 2014 e 2016 no Brasil. Para tal, foi identificada a possibilidade de usar um nível equivalente de segurança (ELOS), baseado em dados de órgãos internacionais relativos à aviação geral.

De posse dessa informação, foi verificado que o Modelo Heron GT pode sobrevoar 99,43% do território brasileiro e 12,24% do território carioca, pois mantém um nível equivalente de segurança em consonância com a situação corrente na aviação geral nas áreas com densidade demográfica inferior a 770 hab/km<sup>2</sup>. Já o modelo Hermes 450 pode sobrevoar mais que 99,65% do território brasileiro e 31,94% do território do Rio de Janeiro, ou seja, nas áreas com densidade demográfica abaixo de 2010 hab/km<sup>2</sup>. No caso do modelo Acauã, a área de sobrevôo é de mais de 99,65% para o Brasil e 82,79% sobre o território carioca, nas

regiões que possuem menos que 6710 hab/km<sup>2</sup> de densidade demográfica.

Iniciou-se realizando um apanhado geral sobre o funcionamento dos sistemas aéreos não tripulados, bem como as abordagens para tratamento do assunto risco. Já na segunda seção ocupou-se de apresentar os principais riscos inerentes à operação dos VANTs, que são a perda de controle no solo, colisões em voo e impactos contra o solo. Além disto, foi apresentada a metodologia proposta por Dalamagkidis [6] para uma quantificação do risco na operação destes veículos sobre áreas povoadas.

O princípio da equivalência foi verificado na seção seguinte, onde se mostrou que os requisitos de aeronavegabilidade para VANTs devem apresentar níveis semelhantes aos verificados na aviação tripulada. Para a análise realizada neste trabalho foi definido um nível equivalente de segurança (ELOS), baseado em dados de órgãos internacionais relativos à aviação geral. Definiu-se, então, uma taxa esperada de fatalidades a ser utilizada na análise dos dados.

Em seguida, foram apresentados os dados relativos aos VANTs pesquisados, bem como a distribuição demográfica no território brasileiro e na cidade do Rio de Janeiro. Utilizando a teoria apresentada na metodologia, foi verificado como a densidade demográfica de uma área influencia na quantificação do risco associado à utilização de tais veículos.

Com a aplicação do referencial teórico na metodologia apresentada, obtiveram-se valores de áreas relativas onde os veículos não tripulados podem sobrevoar sem ferir o princípio da equivalência, tanto no âmbito do Brasil quanto na cidade do Rio de Janeiro.

É importante ressaltar que este trabalho não esgota a análise do risco de operação de VANTs sobre áreas habitadas, assim são propostas algumas sugestões de trabalhos futuros. A primeira delas é a utilização de bancos de dados mais recentes sobre a distribuição demográfica, além disto, podem ser analisadas outras cidades do território brasileiro a fim de fornecer subsídios para o planejamento das missões nas demais cidades agraciadas com o evento esportivo de 2014.

Outra sugestão é o aumento do número de veículos analisados. Como existem outros VANTs comerciais em operação e desenvolvimento no Brasil, ainda existe a lacuna desta análise para estes outros vetores. Além das sugestões já citadas, podem ser realizadas análises do risco utilizando metodologias que abordem os outros tipos de acidentes e verifiquem as demais conseqüências além das fatalidades em solo.

De uma forma geral, o trabalho pode ser útil para a Força Aérea Brasileira, pois os resultados obtidos fornecem uma informação mais precisa sobre a atividade com VANTs aos decisores que se vejam envolvidos com o assunto.

## REFERÊNCIAS

- [1] COSTA, Luis Paulo da Silva. A Operação de Veículos Aéreos Não Tripulados em Teatro de Operações Conjuntos. **Revista da Universidade da Força Aérea**, Rio de Janeiro, n. 25, p.76-86, dez. 2009.
- [2] OLIVEIRA, Neusa Maria. **Introdução a Pilotos Automáticos para VANTs: Pilotos Automáticos para VANTs**. Notas de Aula. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2010.
- [3] BATEMAN, Thomas S.; SNELL, Scott A.. **Management: Leading & Collaborating in a Competitive World**. 8. ed. New York: McGraw-hill, 2009.
- [4] UNITED STATES OF AMERICA. Department of Defense. **Systems Engineering Fundamentals**. Virginia: Defense Acquisition University Press, 2001.
- [5] UNITED STATES OF AMERICA. National Aeronautics and Space Agency. **Systems Engineering Handbook**. Washington D.C: NASA Headquarters, 2007.
- [6] DALAMAGKIDIS, Konstantinos; VALAVANIS, Kimon P.; PEIGL, Les A.. **On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification and Recommendations**. Florida: Springer, 2009.
- [7] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. **Policy for Unmanned Aerial Vehicle Certification**. A-NPA, No. 16/2005 Cologne, 2005.
- [8] NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. **Aviation Accident Statistics**. Disponível em: <<http://www.ntsb.gov/aviation/stats.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2011.
- [9] UNITED STATES OF AMERICA. United States Navy. Rangers Commanders Council. **Range Safety Criteria for Unmanned Air Vehicles: Rationale and Methodology Supplement**. Washington, Dc, 1999.
- [10] NATO NAVAL ARMAMENTS GROUP. Joint Capability Group On Unmanned Aerial Vehicles. **Unmanned Aerial Vehicle Systems Airworthiness Requirements (USAR)**. STANAG 4671 Colônia, 2007.
- [11] ELBIT SYSTEMS. **Hermes 450: Tactical Long Endurance UAS**. Disponível em: <<http://www.elbitsystems.com>>. Acesso em: 20 abr. 2011.
- [12] ISRAEL AEROSPACE INDUSTRIES. **Heron Family**. Disponível em: <<http://www.iai.co.il>>. Acesso em: 22 abr. 2011.
- [13] D'OLIVEIRA, Flávio Araripe. CTA e o Projeto VANT. In: 1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE VANT, 2005. **Anais...** São José Dos Campos. Disponível em <[HTTP://www.defesabr.com/Fab/CTA\\_Projeto\\_VANT.pdf](http://www.defesabr.com/Fab/CTA_Projeto_VANT.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2011.
- [14] CENTER FOR INFORMATIONAL EARTH SCIENCE INFORMATION NETWORK. Columbia University. **Gridded Population of the World: Version 3**. Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>>. Acesso em: 15 mar. 2011.
- [15] INSTITUTO PEREIRA PASSOS. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. **Densidade Demográfica, por Bairros: 2000**. Disponível em: <[http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/arquivos/1327\\_densidade%20demogr%C3%A1fica,%20por%20bairros%20-%202000.JPG](http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/arquivos/1327_densidade%20demogr%C3%A1fica,%20por%20bairros%20-%202000.JPG)>. Acesso em: 25 mar. 2011.