

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES**

**ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES DE AERONAVES EM SOLO DURANTE  
OPERAÇÕES DE POUSO OU DECOLAGEM**

**ROBERTA DAVID DE AQUINO SANTOS**

**ORIENTADOR: JOSÉ ALEX SANT'ANNA, PhD**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DA AVIAÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E-TA-005A/2009**

**BRASÍLIA/DF: OUTUBRO/2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES**

**ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES DE AERONAVES EM SOLO DURANTE  
OPERAÇÕES DE POUSO OU DECOLAGEM**

**ROBERTA DAVID DE AQUINO SANTOS**

**MONOGRAFIA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO SUBMETIDA AO CENTRO DE  
FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ESPECIALISTA EM GESTÃO  
DA AVIAÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**JOSÉ ALEX SANT'ANNA, PhD (UnB)**

**(Orientador)**

---

**ADYR DA SILVA, PhD (UnB)**

**(Examinador)**

---

**ANDERSON RIBEIRO CORREIA, PhD (ITA)**

**(Examinador)**

---

**JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, PhD (UnB)**

**(Examinador)**

**BRASÍLIA/DF, OUTUBRO DE 2009**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

SANTOS, ROBERTA DAVID DE AQUINO

Análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso ou decolagem

xii, 70p., 210x297mm (CEFTRU/UnB, Especialista, Gestão da Aviação Civil, 2009)

Monografia de Especialização - Universidade de Brasília, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes.

1. Infraestrutura Aeroportuária      2. Segurança Operacional

3. Estudo Aeronáutico                4. Análise de Risco

I. CEFTRU/UnB                            II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SANTOS, R. D. A., (2009). Análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso ou decolagem, Monografia de Especialização, Publicação E-TA-005A/09, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 82p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Roberta David de Aquino Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso ou decolagem

GRAU/ANO: Especialista / 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de especialização e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de especialização, pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

**Roberta David de Aquino Santos**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

À minha família, principalmente meu marido, Leonardo, por todo o apoio, carinho e incentivo.

Ao Cel Manuel Ayres, oficial da reserva da Aeronáutica, e investigador principal do modelo de análise de risco do ACRP Report 3, que teve uma participação fundamental na elaboração deste trabalho.

À CEFTRU/UnB e a todos os professores, pela preocupação em transmitir da melhor forma possível os ensinamentos que certamente serão extremamente úteis em minha vida profissional.

A todos os amigos do curso que me acompanharam, ajudaram e torceram muito durante este ano.

Por fim, um agradecimento especial à Agência Nacional de Aviação Civil, pela oportunidade que foi dada.

## **RESUMO**

### **ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES DE AERONAVES EM SOLO DURANTE OPERAÇÕES DE POUSO OU DECOLAGEM**

Neste trabalho foram apresentadas pesquisas sobre análise de risco, referentes a incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso e decolagem em aeródromos, sendo elaborado um comparativo entre os modelos de análise de risco de Eddowes et al. e do ACRP Report 3.

Tendo em vista que tais modelos se baseiam em dados estatísticos colhidos de aeródromos de várias partes do mundo, foram analisadas as considerações presentes em cada modelo, com o objetivo principal de verificar a aplicabilidade em aeródromos brasileiros.

Foi verificada uma variação significativa entre os resultados obtidos pelos dois modelos, principalmente quando considerada a presença de fatores adversos nas operações do aeródromo.

Concluiu-se que o modelo apresentado pelo ACRP Report 3 é mais adequado para análise da probabilidade de incidentes em solo durante operações de pouso e decolagem em aeródromos brasileiros, por considerar os fatores operacionais presentes no aeródromo avaliado.

## **ABSTRACT**

### **RISK ANALYSIS OF AIRCRAFT INCIDENTS ON THE GROUND DURING LANDING OR TAKE-OFF OPERATIONS**

This document presents risk analysis research about aircraft incidents on the ground at airports during landing or take-off operations, comparing the risk analysis models of Eddowes et al. and ACRP Report 3.

Considering that such models are based on statistical data collected from airports in many parts of the world, the considerations present in each model were analyzed, with the main purpose of checking the applicability in Brazilian airports.

A significant variation between the results obtained by the models was verified, mainly when considering the presence of adverse factors in airport operations.

It was concluded that the ACRP Report 3 model is more adequate on analysis of the probability of incidents at Brazilian airports during landing or take-off operations, since it considers operational factors present in the airport being evaluated.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>1.3</b>	<b>HIPÓTESE</b>	<b>2</b>
<b>1.4</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>2</b>
<b>1.5</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>2</b>
<b>1.6</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>3</b>
<b>1.7</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
<b>1.8</b>	<b>ESTRUTURA DO DOCUMENTO</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>SEGURANÇA OPERACIONAL / PERIGO / RISCO</b>	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>NÍVEL ACEITÁVEL DE SEGURANÇA</b>	<b>7</b>
<b>2.4</b>	<b>REQUISITOS DE PROJETO DE AERÓDROMOS</b>	<b>13</b>
<b>2.5</b>	<b>ESTUDO AERONÁUTICO DE AERÓDROMOS</b>	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES EM AERÓDROMOS</b>	<b>15</b>
<b>2.7</b>	<b>ESTUDOS RELATIVOS À ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES EM AERÓDROMOS</b>	<b>18</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Diretrizes da OACI para Elaboração de Estudo Aeronáutico (2005)</b>	<b>18</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Modelo de Análise de Risco do ACRP Report 3 (2008)</b>	<b>19</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Modelo de Análise de Risco de Eddowes Et Al.</b>	<b>29</b>
2.7.3.1	Modelo de Análise de Risco de <i>Overrun</i>	29
2.7.3.2	Modelo de Análise de Risco de <i>Undershoot</i>	37
2.7.3.3	Modelo de Análise de Risco de <i>Veer-Off</i>	43
<b>2.8</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
<b>3</b>	<b>COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS DE ANÁLISE DE</b>	<b>49</b>

	<b>RISCO DO ACRP REPORT 3 E DE EDDOWES ET AL.</b>	
<b>3.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS</b>	<b>49</b>
<b>3.3</b>	<b>ANÁLISE</b>	<b>51</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Modelo de Eddowes Et Al.</b>	<b>52</b>
3.3.1.1	Cenários 1 e 2	52
3.3.1.2	Cenário 3	52
<b>3.3.2</b>	<b>Modelo do ACRP Report 3</b>	<b>53</b>
3.3.2.1	Cenário 1	53
3.3.2.2	Cenários 2 e 3	55
<b>3.4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS MODELOS APRESENTADOS EM AERÓDROMOS BRASILEIROS</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DO RISCO - MODELO DE EDDOWES ET AL.</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DO RISCO - MODELO DO ACRP REPORT 3</b>	<b>60</b>
<b>4.4</b>	<b>NÍVEL ACEITÁVEL DE SEGURANÇA</b>	<b>60</b>
<b>4.5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>64</b>
	<b>GLOSSÁRIO</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
Tabela 2.1	Escalas de risco (Eddowes et al., 2001)	9
Tabela 2.2	Definições do FAA referentes à gravidade (ACRP Report 3, 2008)	11
Tabela 2.3	Níveis de probabilidade apresentados pelo FAA (ACRP Report 3, 2008)	12
Tabela 2.4	Determinação da variável "b" de acordo com o modelo do ACRP Report 3	24
Tabela 2.5	Tabela de referência para a determinação da variável "b" (ACRP Report 3, 2008)	28
Tabela 2.6	Risco residual de <i>overrun</i> (por milhão de movimentos) associado com especificações do Anexo 14 da OACI (Eddowes et al., 2001)	31
Tabela 2.7	Risco residual de <i>overrun</i> (por milhão de movimentos) associado com diferentes comprimentos de faixa de pista/RESA (Eddowes et al., 2001)	33
Tabela 2.8	Proporção de incidentes contidos dentro de uma determinada distância de faixa de pista/RESA (Eddowes et al., 2001)	34
Tabela 2.9	Risco residual de <i>undershoot</i> (por milhão de movimentos) associado com os comprimentos de segurança especificados pelo Anexo 14 da OACI (Eddowes et al., 2001)	40
Tabela 2.10	Risco residual de <i>undershoot</i> (por milhão de movimentos) associado com diferentes comprimentos de faixa de pista/RESA	42
Tabela 2.11	Risco residual de <i>veer-off</i> associado com diferentes dimensões de faixa de pista (Eddowes et al., 2001)	46
Tabela 3.1	Características consideradas para operações de pouso e decolagem em ambas as cabeceiras do aeródromo hipotético, referentes ao cenário 1 (ACRP Report 3, 2008)	50
Tabela 3.2	Características consideradas para operações de pouso e decolagem em ambas as cabeceiras do aeródromo hipotético, referentes aos cenários 2 e 3	51

<b>Tabela 3.3</b>	<b>Probabilidade de <i>overrun</i> e <i>undershoot</i> para operações de pouso e decolagem para os cenários 1 e 2, calculado a partir do modelo de Eddowes et al.</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 3.4</b>	<b>Probabilidade de <i>overrun</i> e <i>undershoot</i> em operações de pouso e decolagem para o cenário 3, calculado a partir do modelo de Eddowes et al.</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 3.5</b>	<b>Cálculo da variável "b" para o cenário 1</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 3.6</b>	<b>Probabilidade de ocorrer um evento de <i>overrun</i> e <i>undershoot</i> para o cenário 1, a partir do modelo do ACRP Report 3</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 3.7</b>	<b>Cálculo da probabilidade de localização, a partir do modelo do ACRP Report 3</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 3.8</b>	<b>Probabilidade de aeronave alcançar 90 m da cabeceira para o cenário 1, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 3.9</b>	<b>Valores de "b" para os cenários 2 e 3</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 3.10</b>	<b>Probabilidade de ocorrer um evento de <i>overrun</i> e <i>undershoot</i> para os cenários 2 e 3, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 3.11</b>	<b>Probabilidade de aeronave alcançar 90 m da cabeceira para os cenários 2 e 3, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 3.12</b>	<b>Resumo dos resultados obtidos pelos modelos de Eddowes et al. e do ACRP Report 3, para os cenários 1, 2 e 3</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 3.13</b>	<b>Relação entre os resultados obtidos pelo modelo do ACRP Report 3 e de Eddowes et al.</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 3.14</b>	<b>Relação entre os resultados obtidos para os diferentes cenários de operação</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 4.1</b>	<b>Nível aceitável de segurança recomendados para incidentes de <i>overrun</i>, <i>undershoot</i> e <i>veer-off</i></b>	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>Figura 2.1</b>	<b>Matriz risco de Eddowes (Eddowes et al., 2001)</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.2</b>	<b>Matriz de risco do FAA (FAA, 1988;2006)</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2.3</b>	<b>Anomalias mais frequentes em incidentes de <i>overrun</i> em operações de pouso (ACRP Report 3, 2008)</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.4</b>	<b>Anomalias mais frequentes em incidentes de <i>undershoot</i> em operações de pouso (ACRP Report 3, 2008)</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.5</b>	<b>Anomalias mais frequentes em incidentes de <i>overrun</i> em operações de decolagem (ACRP Report 3, 2008)</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.1</b>	<b>Obstáculo localizado na RESA de um aeródromo hipotético</b>	<b>49</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

<b>ACRP</b>	<i>Airport Cooperative Research Program</i>
<b>ANAC</b>	Agência Nacional de Aviação Civil
<b>ASDA</b>	Distância disponível de aceleração e parada
<b>ASDR</b>	Distância requerida de aceleração e parada
<b>CAA</b>	<i>U.K. Civil Aviation Authority</i>
<b>CRM</b>	Modelo de Risco de Colisão
<b>EMAS</b>	<i>Engineered Materials Arresting System</i>
<b>FAA</b>	<i>Federal Aviation Administration</i>
<b>IAC</b>	Instrução de Aviação Civil
<b>ICAO AWOP</b>	<i>All Weather Operations Panel</i> da OACI
<b>ICAO OCP</b>	<i>Obstacle Clearance Panel</i> da OACI
<b>ICRP</b>	<i>International Commission on Radiological Protections</i>
<b>LDOR</b>	<i>Overrun</i> em operação de pouso
<b>LDA</b>	Distância de pouso disponível
<b>LDR</b>	Distância de pouso requerida
<b>LDUS</b>	<i>Undershoot</i> em operação de pouso
<b>MTOW</b>	Peso máximo de decolagem
<b>NOD</b>	Operações normais de voo
<b>OACI</b>	Organização de Aviação Civil Internacional
<b>OFZ</b>	Zona Livre de Obstáculos
<b>RBAC</b>	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
<b>RESA</b>	Área de Segurança de Fim de Pista
<b>TOOR</b>	<i>Overrun</i> em operação de decolagem
<b>TRB</b>	<i>Transportation Research Board</i>

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 APRESENTAÇÃO**

Os padrões e práticas recomendadas preconizadas pela OACI em seu Anexo 14 (Aeródromos) estabelecem um conjunto de dimensões e requisitos do aeródromo que visam garantir um nível adequado de segurança operacional e, essencialmente, proporcionar um espaço livre de obstáculos a fim de evitar colisões e/ou mitigar danos às aeronaves e passageiros em caso de acidentes.

Contudo, durante os processos de certificação ou inspeções aeroportuárias são identificadas, invariavelmente, não-conformidades em características físicas de aeródromos, dentre as quais:

- Relevos, edificações ou outras implantações e objetos ultrapassando as superfícies limitadoras de obstáculos, constantes do Plano Básico ou Específico de Zona de Proteção de Aeródromos ou de auxílios à navegação aérea;
- Faixa de Pista ou Área de Segurança de Fim de Pista (RESA) insuficiente (dimensões e/ou qualidade) em relação ao estabelecido em regulamentação;
- Afastamento entre pista de pouso e pista de táxi paralela insuficiente em relação ao estabelecido em regulamentação; e
- Falta ou implantação incorreta de auxílios visuais ou auxílios à navegação aérea.

Considerando que a solução para tais não-conformidades pode ser impossível ou inviável, faz-se necessário o desenvolvimento de um Estudo Aeronáutico para avaliar se o nível de segurança operacional nestes aeródromos é adequado.

Nesse sentido, o Estudo Aeronáutico tem por objetivo avaliar o impacto das não-conformidades em relação aos padrões estabelecidos em regulamentação, quantificando os riscos associados (análise de risco) e estabelecendo soluções alternativas, visando manter a segurança operacional sem reduzir de forma significativa a capacidade operacional dos aeródromos.

No que consiste ao transporte aéreo, o foco principal desse tipo de análise são as colisões de aeronaves, em situações de vôo, em operações de pouso ou decolagem, ou em operações no solo (IAC 154-1001, 2004).

Assim, esta monografia aborda especificamente análises de risco em aeródromos, referentes a incidentes em solo durante operações de pouso ou decolagem.

## **1.2 PROBLEMA**

Como garantir um nível adequado de segurança operacional em aeródromos brasileiros com não-conformidades em faixa de pista, sem reduzir sua capacidade operacional, utilizando um modelo de análise de risco baseado em dados de aeródromos estrangeiros?

## **1.3 HIPÓTESE**

Considera-se não ser adequado estimar o nível de segurança operacional de um aeródromo brasileiro, através de modelos de análise de risco baseados em dados históricos de incidentes ocorridos em aeródromos estrangeiros, que consideram fatores contribuintes, como gelo e neve, não presentes no território nacional.

## **1.4 OBJETIVO**

O objetivo principal deste estudo é pesquisar os modelos de análise de risco existentes, referentes a incidentes em solo durante operações de pouso e decolagem, e comparar seus resultados, a fim de verificar a aplicabilidade de tais modelos em aeródromos brasileiros, bem como visando contribuir para a elaboração de novos modelos.

## **1.5 JUSTIFICATIVA**

O não atendimento, pelas administrações aeroportuárias, das normas preconizadas em regulamentação conduz à degradação da segurança operacional de um aeródromo.

Para a eliminação de tais não-conformidades, de forma a garantir um nível adequado de segurança operacional, devem ser adotadas medidas que podem reduzir significativamente a capacidade operacional de aeródromos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de um Estudo Aeronáutico é visto como uma solução para a avaliação do impacto das não-conformidades em relação aos padrões estabelecidos, quantificando os riscos associados e estabelecendo soluções alternativas que não degradem a segurança operacional nem reduzam de modo significativo a capacidade operacional de aeródromos.

Tendo em vista que os estudos existentes sobre análise de risco em aeródromos se baseiam em dados estatísticos colhidos de aeródromos de outros países, verificou-se a necessidade de analisar as considerações presentes em tais modelos, a fim de verificar a aplicabilidade dos mesmos em aeródromos nacionais.

## **1.6 METODOLOGIA**

A metodologia adotada foi a hipotético-dedutiva, por meio do qual se formulam hipóteses utilizando-se do processo de inferência dedutiva.

A metodologia abrangerá a seguinte sequência de atividades:

- 1- Revisão bibliográfica: tópicos sobre segurança operacional, requisitos de projeto de aeródromos, estudo aeronáutico e análise de risco de incidentes em aeródromos; bem como apresentação de alguns dos principais estudos de risco existentes referentes a incidentes de aeronaves em solo em operações de pouso ou decolagem;
- 2- Comparativo entre os modelos de análise de risco do ACRP Report 3 e de Eddowes et al.;

3- Verificação da aplicabilidade dos modelos existentes de análise de risco em aeródromos brasileiros;

4 – Conclusões e Recomendações para futuros trabalhos.

## **1.7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A base teórica utilizada neste trabalho foi obtida através de compêndios, livros e documentações que versam sobre análise de risco, tais como:

- Manual de Projeto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901) - Parte 2 - *Taxiways, Aprons and Holding Bays*, 2005, Organização de Aviação Civil Internacional;
- *Safety Management Manual – SMM* (DOC 9859-AN/474) – 2ª edição, 2009, Organização de Aviação Civil Internacional;
- IAC 154-1001 – Termo de Referência para Estudo Aeronáutico, Nov/2004, Departamento de Aviação Civil - DAC/COMAER;
- *Final Report on the Risk Analysis in Support of Aerodrome Design Rules*, Dez/2001, *Norwegian Civil Aviation Authority*;
- *Airport Cooperative Research Program (ACRP) Report 3 – Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Areas*, 2008, *Transportation Research Board – TRB*;
- Cir 301 -AN/174 - *New Larger Aeroplanes - Infringement of the Obstacle Free Zone: Operational Measures and Aeronautical Study*, Dez/2005, Organização de Aviação Civil Internacional.

## **1.8 ESTRUTURA DO DOCUMENTO**

No capítulo 2 deste trabalho são apresentados, de forma resumida, conceitos referentes a segurança operacional, a requisitos de projeto de aeródromos, a estudo aeronáutico e a análise de risco de incidentes em aeródromos, bem como são apresentados alguns dos principais estudos de risco existentes referentes a incidentes de aeronaves em solo em operações de pouso ou decolagem.

É realizado, no capítulo 3 desta monografia, um comparativo entre os modelos de análise de risco do ACRP Report 3 e de Eddowes et al.

No capítulo 4 é realizada uma análise da aplicabilidade dos estudos existentes sobre análise de risco em aeródromos brasileiros.

As conclusões gerais do trabalho e algumas recomendações para futuros estudos estão apresentadas no capítulo 5.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo são abordados, de maneira resumida, conceitos referentes a segurança operacional, a requisitos de projeto de aeródromos, a estudo aeronáutico e a análise de risco de incidentes em aeródromos, bem como são apresentados alguns dos principais estudos de risco existentes referentes a incidentes de aeronaves em solo em operações de pouso ou decolagem.

### **2.2 SEGURANÇA OPERACIONAL / PERIGO / RISCO**

A OACI, em seu DOC 9859 AN/474, define segurança operacional como o estado no qual o risco de lesão a pessoas ou dano a propriedades é mantido em, ou abaixo de, um nível aceitável, mediante um contínuo processo de identificação de perigos e gerenciamento de riscos.

Perigo é definido como uma condição ou objeto que potencialmente pode causar lesões a pessoal, danos a equipamentos ou estruturas, perda material, ou redução da habilidade de desempenhar uma função determinada. (OACI, 2009)

A existência do perigo implica, portanto, a possibilidade de efeitos adversos, sendo tal possibilidade definida como risco e medida em termos de gravidade e probabilidade. Ou seja, risco é a possibilidade que algo possa ocorrer e suas conseqüências se ocorrer, sendo, portanto, bi-dimensional.

Desta forma, a avaliação da aceitabilidade de um determinado risco associado a um perigo particular deve levar em conta a probabilidade de ocorrência do perigo, e a gravidade de suas conseqüências potenciais.

Se o risco não estiver dentro dos critérios predeterminados de aceitabilidade, uma tentativa deve ser realizada a fim de reduzi-lo a um nível que seja aceitável, usando procedimentos de mitigação apropriados.

Para um eficaz gerenciamento da segurança operacional deve ser realizado, de acordo com o FAA, em sua AC 150/5200-37, um programa oficial de avaliação de risco, que identifique e documente os perigos existentes em um aeroporto, de forma a:

- Determinar o(s) risco(s) associado(s);
- Identificar a gravidade e a probabilidade de ocorrência do(s) risco(s);
- Desenvolver estratégias de mitigação, conforme apropriado;
- Aplicar e acompanhar as estratégias de mitigação;
- Avaliar e alterar as estratégias conforme necessário.

O risco relativo na área de movimento de um aeródromo (expresso em termos de probabilidade de uma colisão ocorrer), de acordo com o DOC 9157 – Parte 2 da OACI, é geralmente considerado como mais elevado quando o aeródromo apresentar baixo cadastro de acidentes/incidentes; aumento de densidade de veículos e objetos; e aumento de condições que contribuam para a distração, confusão ou falha na interpretação do piloto da aeronave.

Verifica-se, assim, que os conceitos de perigo, risco e segurança operacional estão severamente relacionados entre si.

### **2.3 NÍVEL ACEITÁVEL DE SEGURANÇA**

O termo “nível aceitável de segurança” é utilizado pela Organização de Aviação Civil Internacional para expressar o grau mínimo de segurança que deve ser garantido por um sistema (DOC 9859, 2009).

Para se estabelecer o nível aceitável de segurança operacional é necessário considerar alguns fatores, como o nível de risco envolvido, o custo/benefício das melhorias para o sistema e as expectativas dos usuários relativas à segurança da indústria da aviação.

Logo, o nível aceitável de segurança se torna a referência através da qual a autoridade e a indústria de aviação podem determinar o desempenho de segurança operacional do sistema de aviação (Costa, 2007).

O Anexo 14, em sua seção 2.1.2, estabelece níveis de segurança para o gerenciamento de “dados aeronáuticos”, devendo, os estados contratantes da Convenção de Chicago, assegurar a integridade destes dados de acordo com os seguintes níveis:

- Dados críticos, nível de integridade:  $1 \times 10^{-8}$ ;
- Dados essenciais, nível de integridade:  $1 \times 10^{-5}$ ;
- Dados rotineiros, nível de integridade:  $1 \times 10^{-3}$ .

Além disso, de acordo com a IAC 154-1001, vários grupos de trabalho da OACI empregam critérios quantitativos como base para o desenvolvimento de normas. O All Weather Operations Panel (ICAO AWOP), com relação aos acidentes ocorridos na aproximação e no pouso, e também o Obstacle Clearance Panel (ICAO OCP), em relação às colisões com obstáculos, identificam os seguintes critérios de segurança, estabelecidos a partir das taxas históricas de acidentes:

- Risco de perda da fuselagem durante todas as fases e devido a qualquer causa:  $1 \times 10^{-7}$  por hora de voo ou  $1,5 \times 10^{-7}$  por missão (ICAO AWOP);
- Risco de acidente na aproximação e no pouso, por qualquer causa:  $1 \times 10^{-8}$  por missão (ICAO AWOP); e
- Risco de colisão com obstáculo causado por desvio da aeronave, lateralmente ou abaixo, em relação à trajetória de voo prevista:  $1 \times 10^{-7}$  por operação de aproximação (ICAO OCP).

A autoridade de aviação civil do Reino Unido (CAA) estabelece também níveis de segurança com relação a eventos em que aeronaves ultrapassam a cabeceira da pista (*overrun*), fixando os valores de  $5 \times 10^{-7}$  por operação, como a taxa de referência de *overrun*, e  $1 \times 10^{-7}$  por operação, como a taxa de referência de *overrun* com conseqüências graves. (Eddowes et al., 2001)

Além disso, o guia de gestão de risco do Reino Unido identifica a necessidade de um padrão mais elevado de segurança para novas instalações, se comparado com instalações existentes. O ICRP estabelece também uma distinção entre normas aplicáveis em situações de planejamento e em intervenções reais (Eddowes et al., 2001).

Eddowes et al. apresenta em seu estudo a tabela abaixo que estabelece cinco escalas de risco: desprezível (N), baixo (L), médio (M), alto (H) e catastrófico (C), tanto para a probabilidade de ocorrência de um acidente quanto para a gravidade das suas conseqüências. Através de exame da matriz risco/conseqüência, os riscos globais são avaliados dentro de três grandes faixas: alto, médio e baixo, conforme a figura abaixo.

**Tabela 2.1 - Escalas de risco (Eddowes et al., 2001)**

<b>Classificação</b>	<b>Probabilidade</b>		<b>Consequência</b>
C	Frequente	$> 10^{-3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Perda da aeronave</li> <li>– Múltiplas mortes</li> </ul>
H	Razoavelmente provável	$10^{-5}$ a $10^{-3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grande redução nas margens de segurança</li> <li>– Tripulação não pode agir completamente</li> </ul>
M	Remoto	$10^{-7}$ a $10^{-5}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Redução significativa nas margens de segurança</li> <li>– Tripulação não pode agir em condições adversas</li> <li>– Prejuízo aos ocupantes</li> </ul>
L	Extremamente remoto	$10^{-9}$ a $10^{-7}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Perturbação</li> <li>– Limitações de operação</li> </ul>
N	Extremamente improvável	$< 10^{-9}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Efeitos não significantes</li> </ul>

Probabilidade	<b>C</b>					
	<b>H</b>				<b>ALTO</b>	
	<b>M</b>			<b>MÉDIO</b>		
	<b>L</b>					
	<b>N</b>	<b>BAIXO</b>				
		<b>N</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>H</b>	<b>C</b>
		Consequências				

**Figura 2.1 - Matriz risco de Eddowes (Eddowes et al., 2001)**

O estudo original de Eddowes et al. foi adaptado de forma a refletir as definições estabelecidas pelo FAA quanto a gravidade e probabilidade, conforme apresentado nas tabelas 2.2 e 2.3 e na figura 2.2.

**Tabela 2.2 – Definições do FAA referentes à gravidade (ACRP Report 3, 2008)**

<b>Classificação da gravidade de um Perigo</b>				
<b>Sem efeito quanto à segurança 5</b>	<b>Menor 4</b>	<b>Maior 3</b>	<b>Perigoso 2</b>	<b>Catastrófico 1</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>–Sem efeito na tripulação</li> <li>–Sem efeito na segurança</li> <li>–Inconveniência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leve aumento na carga de trabalho da tripulação</li> <li>– Leve redução na margem de segurança ou capacidade funcional</li> <li>– Desconforto físico dos ocupantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Significante aumento na carga de trabalho da tripulação</li> <li>–Significante redução na margem de segurança ou capacidade funcional</li> <li>–Perigo físico possivelmente incluindo ferimentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Grande redução na margem de segurança ou capacidade funcional</li> <li>–Ferimentos graves ou fatais a um número pequeno de ocupantes ou tripulação</li> <li>–Perigo físico /carga de trabalho excessiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Perda da fuselagem</li> <li>–Múltiplas fatalidades</li> </ul>

**Tabela 2.3 – Níveis de probabilidade apresentados pelo FAA (ACRP Report 3, 2008)**

	NAS			Procedimentos em voo	Operacional	
	Quantitativa	Qualitativa			Por facilidade	NAS - geral
		Item / Sistema Individual	Serviço ATC / Sistema NAS			
<b>Frequente A</b>	Probabilidade de uma ocorrência por operação é igual a ou maior que $1 \times 10^{-3}$	Esperado de ocorrer frequentemente e para um item	Continuamente experimentado no sistema	Probabilidade de uma ocorrência por operação é igual a ou maior que $1 \times 10^{-5}$	Esperado de ocorrer mais de uma vez por semana	Esperado de ocorrer a cada 1-2 dias
<b>Provável B</b>	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-3}$ , mas igual a ou maior que $1 \times 10^{-5}$	Esperado de ocorrer varias vezes na vida de um item	Esperado de ocorrer frequentemente e no sistema		Esperado de ocorrer cerca de uma vez por mês	Esperado de ocorrer várias vezes por mês
<b>Remoto C</b>	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-5}$ , mas igual a ou maior que $1 \times 10^{-7}$	Esperado de ocorrer algumas vezes no ciclo de vida de um item	Esperado de ocorrer varias vezes no ciclo de vida de um sistema	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-5}$ mas igual a ou maior que $1 \times 10^{-7}$	Esperado de ocorrer cerca de uma vez a cada 1-10 anos	Esperado de ocorrer cerca de uma vez em poucos meses
<b>Extremamente remoto D</b>	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-7}$ , mas igual a ou maior que $1 \times 10^{-9}$	Improvável, mas possível de ocorrer no ciclo de vida de um item	Improvável, mas aceitável de ocorrer no ciclo de vida de um sistema	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-7}$ mas igual a ou maior que $1 \times 10^{-9}$	Esperado de ocorrer cerca de uma vez a cada 10-100 anos	Esperado de ocorrer cerca de uma vez a cada 3 anos
<b>Extremamente improvável E</b>	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-9}$	Tão improvável, que pode ser assumido que não irá ocorrer no ciclo de vida de um item	Improvável de ocorrer, mas possível no ciclo de vida do sistema	Probabilidade de uma ocorrência por operação é menor que $1 \times 10^{-9}$	Esperado de ocorrer menos de uma vez a cada 100 anos	Esperado de ocorrer menos de uma vez a cada 30 anos

**Nota: Ocorrência é definida por operação (usado para eventos distintos tal como pouso, decolagem, etc.)**

gravidade probabilidade	Sem efeito quanto à segurança 5	Menor 4	Maior 3	Perigoso 2	Catastrófico 1
Frequente A					
Provável B					
Remoto C					
Extremamente remoto D					
Extremamente improvável E					*

\* Inaceitável em falhas relacionadas a causas simples

Alto risco
Risco médio
Baixo risco

**Figura 2.2 – Matriz de risco do FAA (FAA, 1988;2006)**

## 2.4 REQUISITOS DE PROJETO DE AERÓDROMOS

A regulamentação brasileira que estabelece os critérios de projeto de aeródromos, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC nº 154 e Portaria 1.141/GM5, de 08/12/1987, têm como base as normas e práticas recomendadas preconizadas pela OACI em seu Anexo 14.

Tais documentos identificam um conjunto de dimensões e requisitos do aeródromo que têm por objetivo, essencialmente, fornecer um espaço livre de obstáculos, de forma a evitar colisões e/ou mitigar danos às aeronaves e passageiros por ocasião de acidentes.

Em geral, podem ser identificados dois tipos de exigências:

- Aquelas relacionadas às dimensões físicas dos aeródromos, associadas com a proteção da aeronave durante as operações no solo (estabelecidas no RBAC 154); e
- Superfícies limitadoras de obstáculos, que visam à proteção da aeronave no ar (definidas através da Portaria 1.141/GM5).

Com relação às características físicas de um aeródromo, descritas no RBAC nº 154, podem-se identificar recomendações de distâncias e dimensões, entre outras, para as seguintes situações específicas:

- Larguras das pistas de pouso e decolagem e de táxi, bem como afastamentos entre uma pista de pouso e decolagem e uma pista de táxi paralela, entre duas pistas de táxi paralelas, e entre uma pista de táxi ou de pouso e decolagem e um objeto.
- Largura da faixa de pista ao longo da pista de pouso e decolagem, que tem por finalidade mitigar os danos às aeronaves que porventura saiam da área pavimentada, ou proteger aeronaves sobrevoando essa faixa durante as decolagens e pousos.
- Comprimento da faixa de pista após as cabeceiras e área de segurança de fim de pista (RESA), cuja finalidade, em relação à segurança operacional, é reduzir o risco de danos à aeronave que realiza o toque antes da cabeceira (*undershoot*) ou venha a parar após o fim da pista (*overrun*).

Os requisitos contidos no RBAC nº 154 e na Portaria 1.141/GM5 fornecem, portanto, um instrumento para a realização de projetos de aeródromos que garantam um nível adequado de segurança às operações aéreas.

## **2.5 ESTUDO AERONÁUTICO DE AERÓDROMOS**

Segundo o Manual de Projeto de Aeródromos – Parte 2 da OACI, não é intenção que o Anexo 14 da OACI seja utilizado para regular a operação de aeronaves, sendo permitida a operação em aeródromos existentes com afastamentos menores que os especificados naquele documento, caso um Estudo Aeronáutico indique que tal afastamento não afeta a segurança operacional nem a regularidade das operações das aeronaves.

O RBAC 154 prevê também que poderá ser concedida autorização para a operação de um aeródromo com qualquer não-conformidade associada às suas normas, mediante a apresentação de um Estudo Aeronáutico, providenciado pelo responsável do aeródromo, de forma a analisar os riscos envolvidos com a não-conformidade e demonstrar que um nível satisfatório de segurança operacional pode ser alcançado.

Um Estudo Aeronáutico de aeródromo é elaborado, portanto, para avaliar o impacto de não-conformidades em relação aos padrões estabelecidos em regulamentação, analisando os riscos associados, implicações operacionais e custos associados às suas correções, bem como estabelecendo soluções alternativas que garantam que o nível de segurança operacional seja equivalente ao assegurado pelas normas e procedimentos em vigor.

Em outras palavras, o Estudo Aeronáutico é necessário quando uma não-conformidade não pode ser corrigida de imediato e, portanto, uma análise deve verificar se o risco é aceitável e, caso contrário, propor medidas mitigadoras do risco.

Desta forma, uma das etapas que compõe o Estudo Aeronáutico de um aeródromo é a análise quantitativa ou qualitativa do risco associado à não-conformidade.

## **2.6 ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES EM AERÓDROMOS**

A análise de risco envolve a estimativa do nível de risco existente, calculado a partir das possibilidades de perigo elencadas numa fase preliminar, e a comparação desse nível com critérios previamente estabelecidos, com a finalidade de verificar se os riscos são aceitáveis.

De acordo com Bellini (2008), inicialmente técnicas de análise de risco eram mais utilizadas nas áreas militar e aeroespacial, até que, a partir de 1970, outras aplicações de gerenciamento de riscos foram desenvolvidas.

Atualmente a gerência de riscos têm se tornado um assunto de suma importância no meio empresarial, pois a conscientização da administração dos riscos potenciais é uma questão de competitividade e sobrevivência. (Brasiliano et al., 2005)

Segundo Souza (1995) a análise de risco tem por objetivo responder a uma ou mais de uma das seguintes questões:

- Quais os riscos presentes, e o que pode acontecer de errado?
- Qual a probabilidade de ocorrência de acidentes devido aos riscos presentes?
- Quais os efeitos e as conseqüências destes acidentes?
- Como poderiam ser eliminados ou reduzidos estes riscos?

Na aviação, as avaliações de risco são utilizadas em diversas áreas, da concepção de aeronaves à definição de padrões operacionais e regras de controle de tráfego aéreo (ACRP Report 3, 2008).

Nas questões relacionadas ao transporte aéreo, o foco principal das análises de risco são colisões de aeronaves, em situações de vôo, em operações de pouso ou decolagem, ou em operações no solo (IAC 154-1001, 2004).

Sendo confirmada a presença de um perigo, é necessária alguma forma de análise do potencial de prejuízo, sendo que, normalmente, essa avaliação envolve três aspectos (OACI, 2006):

- A probabilidade de o perigo acelerar um evento perigoso (isto é, a probabilidade de condições adversas, se as condições subjacentes de insegurança persistirem);
- A gravidade das potenciais conseqüências adversas ou o resultado de um evento perigoso; e

- O índice de exposição aos perigos. A probabilidade de consequências adversas cresce com o aumento da exposição às condições perigosas. Logo, a exposição deve ser considerada outra dimensão da probabilidade.

Modelos de avaliação de riscos podem ser utilizados no auxílio à definição de diretrizes a serem seguidas no que tange às características físicas de aeródromos, visando um nível adequado de segurança, como por exemplo (Eddowes et al.,2001):

- Modelo de risco para definir regras de projeto quanto à largura de pista;
- Modelo de risco para definir regras de projeto quanto à largura da faixa preparada da pista;
- Modelo de risco para definir regras de projeto quanto à largura da faixa de pista; e
- Modelo de risco para definir regras de projeto quanto a afastamentos entre pista de pouso e decolagem / pista de táxi.

Modelos de análise de risco são utilizados também na definição de padrões referentes às dimensões e características das Superfícies Limitadoras de Obstáculos, com o objetivo de garantir a segurança das operações.

A OACI descreve, em seu documento Cir 301-AN/174, a utilização de análise de risco para verificação da aceitabilidade da operação de aeronaves de grande porte (código F), em procedimentos de aproximação por instrumento precisão, em aeródromos existentes projetados para acomodar operação de aeronaves código E. O estudo utilizou o auxílio de simuladores de vôo, visando conhecer a trajetória de aeronaves durante eventos de aproximação, a fim de avaliar as dimensões necessárias da Zona Livre de Obstáculos (OFZ).

O Modelo de Risco de Colisão (CRM), desenvolvido pela OACI e descrito em seu DOC 9274, verifica a probabilidade de colisão em operações de aproximação por instrumento precisão, com presença de obstáculos com localização e dimensões conhecidas. O modelo é utilizado como uma ferramenta para tomada de decisão no desenvolvimento de procedimentos de aproximação seguros e no planejamento aeroportuário (ACRP Report 3, 2008).

## **2.7 ESTUDOS RELATIVOS À ANÁLISE DE RISCO DE INCIDENTES EM AERÓDROMOS**

Abaixo são apresentados sucintamente alguns estudos sobre análise de risco de incidentes de aeronaves em solo em aeródromos.

### **2.7.1 Diretrizes da OACI Para Elaboração de Estudo Aeronáutico (2005)**

O Manual de Projeto de Aeródromos da OACI (DOC 9157) Parte 2 - *Taxiways, Aprons and Holding Bays* auxilia na condução de um Estudo Aeronáutico, definindo critérios para verificação da adequação de pistas de taxi com afastamentos menores que aqueles especificados em seu Anexo 14.

No entanto, a OACI não define a natureza dos Estudos Aeronáuticos ou os critérios de quantificação dos riscos, porém exige a comprovação de que um nível de segurança adequado seja obtido, dentro das condições específicas do aeródromo.

De acordo com o referido documento, a experiência operacional com aeronaves de grande porte, em aeródromos que não foram projetados conforme as exigências especificadas para tais aeronaves, demonstra que a operação regular e com segurança é viável, ainda que possíveis restrições operacionais específicas tenham que ser adotadas (exemplo: utilização de rotas de táxi selecionadas, seleção de pistas de táxi de estacionamento compatíveis com a aeronave, etc.). Isto é viável em razão da existência de uma série de fatores adversos que não são necessariamente considerados em condições operacionais de um aeródromo específico.

A avaliação do risco total deve ser composta pelos seguintes fatores:

- O risco de saída lateral; e
- A exposição ao risco de colisão.

O documento apresenta as seguintes conclusões quanto ao risco de saída lateral de aeronave em pista de táxi:

- 1) O risco de saída lateral de pista de aeronave é maior quando o aeródromo apresenta baixas condições de atrito superficial e ocorrências de ventos fortes laterais, bem como onde a velocidade de taxiamento é relativamente alta, especialmente em trechos de curvas.
- 2) A exposição ao risco de colisão aumenta à medida que a aeronave afasta-se da pista e aproxima-se do pátio devido ao aumento na quantidade/densidade de objetos (fixos e móveis), ao aumento da complexidade do layout e à diminuição dos afastamentos requeridos.
- 3) Os auxílios visuais e as condições superficiais de atrito da pista são considerados essenciais para um elevado nível de acurácia nas operações de taxiamento de aeronaves.
- 4) Em trechos retos de pistas de táxi de aeródromos com condições favoráveis de operação, pode ser aceitável a redução das áreas de segurança de pista, considerada com base em um Estudo Aeronáutico.
- 5) Em curvas de pistas de táxi, a análise deve ser mais detalhada, considerando o deslocamento natural da aeronave para a porção interna da curva.

### **2.7.2 Modelo de Análise de Risco do ACRP - Report 3 (2008)**

O estudo do ACRP Report 3, patrocinado pelo FAA (Federal Aviation Administration), desenvolveu um modelo quantitativo e qualitativo de análise de risco de eventos de aeronaves tocando a pista antes da cabeceira em operações de pouso (*undershoot*) ou ultrapassando o final da pista em operações de pouso ou decolagem (*overrun*).

Foram considerados na avaliação de riscos fatores que contribuem para tais eventos, como condições meteorológicas, condições da superfície da pista, presença de obstáculos e dimensões da Área de Segurança de Fim de Pista (RESA) existente.

Com base em informações obtidas a partir de relatórios de acidentes e incidentes de *overrun* e *undershoot*, foram desenvolvidos modelos de risco, que consideram fatores operacionais, para avaliar a probabilidade, a localização e as possíveis consequências destes acidentes ocorrerem em uma pista sujeita a condições específicas de tráfego e operação.

Os fatores operacionais frequentemente detectados em eventos de *overrun* em operações de pouso (LDOR), *overrun* em operações de decolagem (TOOR) e *undershoot* em operações de pouso (LDUS) foram os seguintes:

- Falha em sistema da aeronave;
- Chuva;
- Baixa visibilidade;
- Vento de cauda;
- Vento de través;
- Rajada de vento;
- Planejamento inadequado do voo;
- Superfície molhada da pista;
- Superfície da pista contaminada (borracha, gelo);
- Longa aterrissagem; e
- Aproximação em alta velocidade.

O estudo apresentou graficamente a porcentagem de incidentes e acidentes de *overrun* e *undershoot* relacionados com tais anomalias, conforme apresentado nas figuras 2.3, 2.4 e 2.5.

Uma das principais melhorias oferecidas por esta modelagem de frequência de acidentes é o uso de dados em operações normais de voo (NOD), ou seja, operações sem ocorrência de acidentes ou incidentes, de modo que a razão de risco possa ser gerada e a importância dos fatores de risco quantificada.

Para tanto, deve ser tomada uma amostra representativa das operações de pouso e decolagem realizadas na pista de pouso e decolagem analisada, preferencialmente cobrindo um período de no mínimo um ano de operações. Pode não ser necessário, porém, obter dados de cada mês

deste período, sendo suficiente considerar uma amostra compreendendo pelo menos quatro meses de operações, que caracterize o ano inteiro (por exemplo: janeiro, abril, julho e outubro).

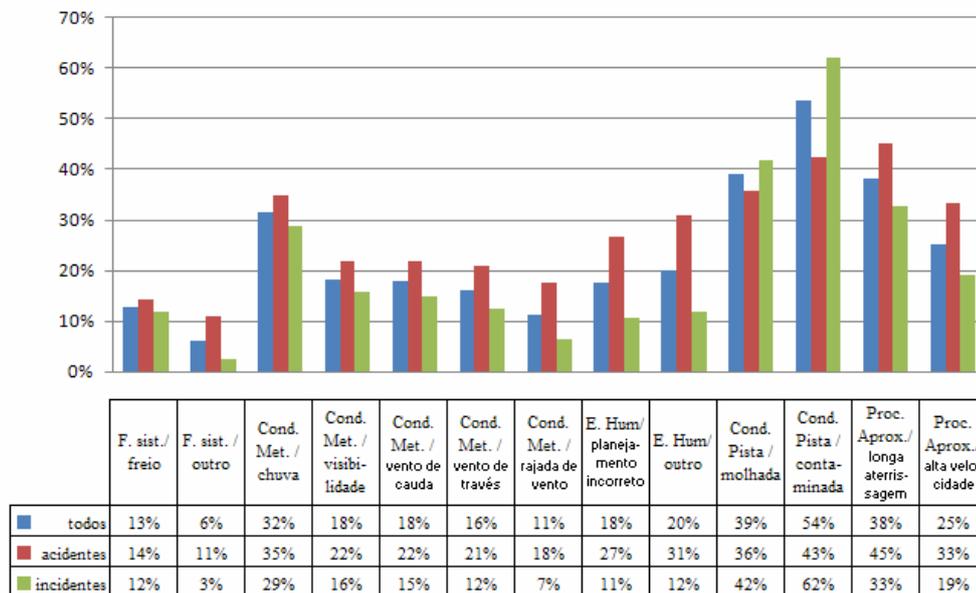
Outra melhoria é a utilização de técnicas de normalização para converter distâncias de *overrun* e *undershoot* a um aeroporto padrão (quanto a temperatura, altitude, inclinação, tipo terreno, distância disponível de pouso/decolagem e performance de aeronave), tornando possível comparar dados para diferentes condições de operação, criando assim um conjunto maior de informações relevantes.

Com base em dados históricos de incidentes, o estudo desenvolveu três modelos de análise: modelo de probabilidade de acidentes; modelo de localização de acidente e modelo de conseqüências.

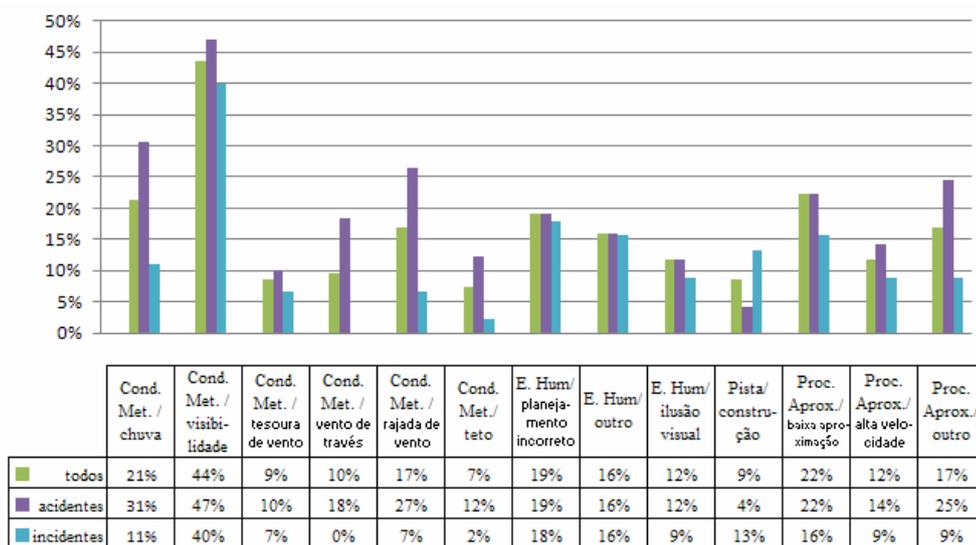
A determinação da probabilidade de ocorrer um incidente de *overrun* e *undershoot* considera os fatores adversos presentes nos aeródromos, através da utilização de variáveis independentes definidas de acordo com teto, condições de visibilidade, vento de través, chuva, neve, gelo, tipo de aeronave (tamanho/peso), temperatura, terreno, tipo de aeroporto (hub) e tipo de voo (internacional/doméstico), conforme visto na equação 2.1.

$$P(LDOR) = 1/(1 + e^{-b}) \quad (2.1)$$

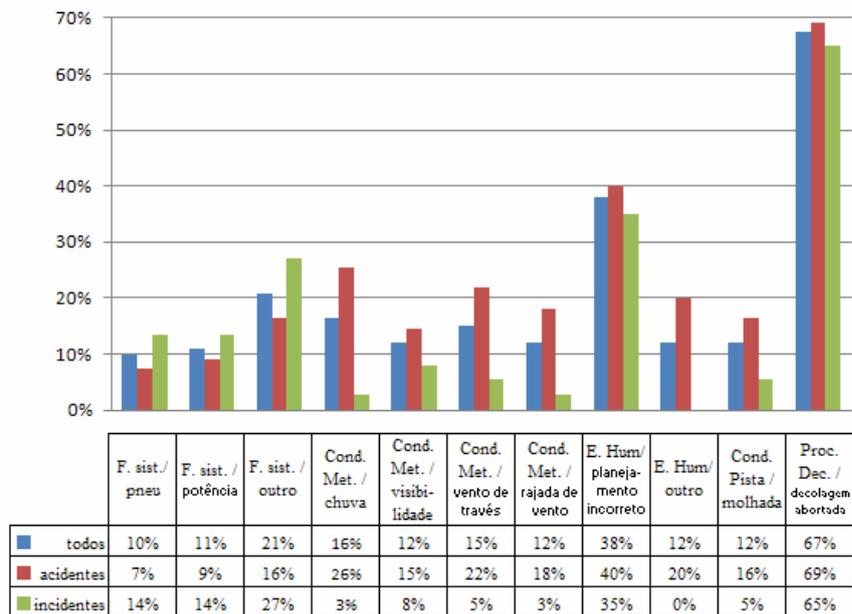
Sendo que o valor de “b” é determinado de acordo com as variáveis relacionadas com os fatores contribuintes presentes no aeródromo, conforme tabela 2.4.



**Figura 2.3 - Anomalias mais frequentes em incidentes de *overrun* em operações de pouso (ACRP Report 3, 2008)**



**Figura 2.4 - Anomalias mais frequentes em incidentes de *undershoot* em operações de pouso (ACRP Report 3, 2008)**



**Figura 2.5 - Anomalias mais frequentes em incidentes de *overrun* em operações de decolagem (ACRP Report 3, 2008)**

**Tabela 2.4 - Determinação da variável "b" de acordo com o modelo do ACRP Report 3**

<b>Tipo de incidente</b>	<b>Variável "b"</b>
<p><i>Overrun em operação de pouso</i></p>	$b = -15,456 + 0,551(\text{aeronave pesada}) - 2,113(\text{aeronave commuter}) - 1,064(\text{aeronave média}) - 0,876(\text{aeronave pequena}) + 0,445(\text{aeronave turbo hélice}) - 0,857(\text{Origem/Destino Internacional}) + 1,832(\text{Nível do Teto} < 1000 \text{ pés}) + 1,639(\text{Nível do Teto } 1001 - 2500 \text{ pés}) + 2,428(\text{Visibilidade} < 2SM) + 1,186(\text{Visibilidade } 2 - 4SM) + 1,741(\text{Visibilidade } 4 - 6SM) + 0,322(\text{Visibilidade } 6 - 8SM) - 0,532(\text{Vento través } 2 - 5 \text{ knots}) + 1,566(\text{Vento través } 5 - 12 \text{ knots}) + 1,518(\text{Vento través } > 12 \text{ knots}) + 0,986(\text{Tempestade elétrica}) + 1,926(\text{Condições de gelo}) + 1,499(\text{Neve}) - 1,009(\text{Temperatura} < 5C) - 0,631(\text{Temperatura } 5 - 15C) + 0,265(\text{Temperatura} > 25C) + 1,006(\text{aeródromo não-hub}) + 0,924(\text{Terreno significativa})$
<p><i>Overrun em operação de decolagem</i></p>	$b = -16,6515 + 0,721(\text{aeronave pesada}) - 0,619(\text{aeronave commuter}) - 0,009(\text{aeronave média}) + 1,669(\text{aeronave pequena}) + 1,336(\text{Classe de utilização } 1) + 1,052(\text{Classe de utilização } 2) + 1,225(\text{Nível do Teto} < 1000 \text{ pés}) + 1,497(\text{Nível do Teto } 1001 - 2500 \text{ pés}) + 0,201(\text{Visibilidade} < 2SM) - 1,941(\text{Visibilidade } 2 - 4SM) - 0,366(\text{Visibilidade } 4 - 6SM) + 0,317(\text{Visibilidade } 6 - 8SM) + 1,660(\text{nevoeiro}) - 0,292(\text{Vento través } 2 - 5 \text{ knots}) + 1,598(\text{Vento través } 5 - 12 \text{ knots}) + 1,781(\text{Vento através } > 12 \text{ knots}) - 0,536(\text{Temperatura} < 5C) - 0,507(\text{Temperatura } 5 - 15C) + 0,502(\text{Temperatura} > 25C) + 1,805(\text{Condições de gelo}) + 2,567(\text{Neve})$
<p><i>Undershoot</i></p>	$b = -14,9642 + 0,036(\text{aeronave pesada}) - 1,699(\text{aeronave commuter}) - 0,427(\text{aeronave média}) + 1,760(\text{aeronave pequena}) + 0,288(\text{Classe de utilização } 1) + 0,908(\text{Classe de utilização } 2) - 1,042(\text{Origem/Destino Internacional}) + 0,199(\text{Nível do Teto} < 1000 \text{ pés}) + 1,463(\text{Nível do Teto } 1001 - 2500 \text{ pés}) + 2,074(\text{Visibilidade} < 2SM) + 0,069(\text{Visibilidade } 2 - 4SM) - 0,185(\text{Visibilidade } 4 - 6SM) - 0,295(\text{Visibilidade } 6 - 8SM) + 1,830(\text{nevoeiro}) - 1,705(\text{Chuva}) - 0,505(\text{Temperatura} < 5C) - 0,874(\text{Temperatura } 5 - 15C) - 0,446(\text{Temperatura} > 25C) + 2,815(\text{Condições de gelo}) + 2,412(\text{Neve})$

Com relação ao eixo longitudinal da pista, a probabilidade de localização de incidentes através de dados normalizados é calculada pelas funções 2.2, 2.3 e 2.4 apresentadas a seguir, sendo considerado o valor de x em pés.

$$P(d > x)_{\text{overrun em pouso}} = \exp(-0,004692 x^{0,824513}) \quad (2.2)$$

$$P(d > x)_{\text{overrun em decolagem}} = \exp(-0,003364 x^{0,807138}) \quad (2.3)$$

$$P(d > x)_{\text{undershoot}} = \exp(-0,022078 x^{0,585959}) \quad (2.4)$$

Através de dados brutos, ou seja, dados não-normalizados, a probabilidade de localização de incidentes com relação ao eixo longitudinal da pista é determinada utilizando as equações 2.5, 2.6 e 2.7, sendo considerado o valor de x em pés.

$$P(d > x)_{\text{overrun em pouso}} = \exp(-0,003871 x^{0,955175}) \quad (2.5)$$

$$P(d > x)_{\text{overrun em decolagem}} = \exp(-0,001033 x^{1,065025}) \quad (2.6)$$

$$P(d > x)_{\text{undershoot}} = \exp(-0,024445 x^{0,643232}) \quad (2.7)$$

Quanto ao eixo transversal da pista, a probabilidade de localização de incidentes é determinada através das funções 2.8, 2.9 e 2.10 (dados normalizados) e 2.11, 2.12 e 2.13 (dados não-normalizados), sendo o valor de y em pés.

$$P(d > y)_{\text{overrun em pouso}} = \exp(-0,243692 y^{0,388726}) \quad (2.8)$$

$$P(d > y)_{\text{overrun em decolagem}} = \exp(-0,181046 y^{0,406544}) \quad (2.9)$$

$$P(d > y)_{\text{undershoot}} = \exp(-0,19539 y^{0,433399}) \quad (2.10)$$

$$P(d > y)_{\text{overrun em pouso}} = \exp(-0,20174 y^{0,489009}) \quad (2.11)$$

$$P(d > y)_{\text{overrun em decolagem}} = \exp(-0,182098 y^{0,448346}) \quad (2.12)$$

$$P(d > y)_{undershoot} = \exp(-0,409268 y^{0.351851}) \quad (2.13)$$

A probabilidade da ocorrência de um incidente a uma certa distância da cabeceira é determinada, assim, através da multiplicação da probabilidade de ocorrer um incidente e da probabilidade de localização do incidente, conforme demonstrado abaixo pelas equações 2.14 e 2.15.

$$P(\text{incidente} > x) = P(\text{incidente}) \times P(d > x) \quad (2.14)$$

$$P(\text{incidente} > y) = P(\text{incidente}) \times P(d > y) \quad (2.15)$$

O modelo de consequências apresentado pelo ACRP consiste de uma avaliação qualitativa da gravidade de um incidente, com base no modelo de localização e nas características existentes da pista, considerando dimensões das áreas de segurança, peso da aeronave, tipo, localização e tamanho de obstáculos, bem como a topografia do terreno circundante.

Basicamente, estima-se a probabilidade de uma aeronave em alta velocidade (com energia elevada) atingir um obstáculo, resultando, assim, em graves consequências.

O estudo do ACRP desenvolveu, ainda, um software que auxilia na avaliação dos riscos associados com incidentes de *overrun* e *undershoot*. A entrada de dados inclui informações referentes ao aeroporto, ao nível desejável de segurança, às características da faixa de pista / RESA (incluindo dimensões e tipo de terreno) e aos dados históricos de operações. A saída de dados inclui a frequência de distribuição de riscos para cada tipo de acidente e a porcentagem de voos sujeita a um risco acima do desejável.

Foram obtidas as seguintes conclusões a partir deste estudo:

- 1) Os fatores contribuintes para eventos do tipo *undershoot* e *overrun* mais identificados em operações de pouso estão relacionados com condição meteorológica, condição da pista, erro humano e procedimento de aproximação por instrumentos.

- 2) Os fatores detectados com maior frequência em eventos do tipo *overrun* em operações de pouso foram pistas contaminadas e molhadas. Em alguns casos, estas anomalias ocorreram em combinação (por exemplo, uma pista molhada contaminada com borracha). Para pistas contaminadas, o gelo foi o contaminante predominante nos acidentes e incidentes avaliados. Três fatores adicionais com alta incidência em eventos de *overrun* em pouso foram: longas aterrissagens, alta velocidade durante a aproximação e presença de chuva.
- 3) As anomalias com maiores incidências, para eventos do tipo *undershoot*, foram baixa visibilidade e chuva. As ocorrências de rajadas de vento apresentam também alta incidência nestes tipos de acidentes, seguido de falha no procedimento de aproximação.
- 4) O principal fator contribuinte para eventos de *overrun* em operações de decolagem foi falha no procedimento de decolagem. Neste caso as anomalias mais frequentes foram: interrupção de operação de decolagem em alta velocidade e planejamento incorreto da operação (como: sobrepeso de aeronave, pouca distância disponível de decolagem, e distribuição incorreta de carga da aeronave).

**Tabela 2.5 - Tabela de referência para a determinação da variável "b" (ACRP Report 3, 2008)**

Classe de Equipamento	Grandes jatos de MTOW 41k – 255k lb (B737, A 320 etc.)
Aeronave Pesada	Aeronaves pesadas com MTOW > 255 lb
Aeronave “Commuter “	Grandes aeronaves “commuter” com MTOW 41k – 255k lb (pequenos RJs, ATR42, etc.)
Aeronaves Médias	Aeronaves médias com MTOW 12,5k – 41k lb (Embraer 120, Learjet 35, etc.)
Aeronaves Pequenas	Aeronaves pequenas com MTOW < 12,5k (Cessna, Caravan, etc.)
Classe de Utilização	C = Comercial
Classe de Utilização 1	F = Cargueira
Classe de Utilização 2	GA = Aviação Geral
Origem/Destino Internacional	Origem/Destino Internacional (sim/não) – Ref.: Doméstico
Nível do Teto	Ref.: > 2500 pés
Nível do Teto < 1000 pés	< 1000 pés
Nível do Teto 1001 - 2500pés	1001 - 2500pés
Visibilidade	Ref.: 8 – 10 SM
Visibilidade < 2 SM	< 2 SM
Visibilidade 2 – 4 SM	2 – 4 SM
Visibilidade 4 – 6 SM	4 – 6 SM
Visibilidade 6 – 8 SM	6 – 8 SM
Vento de Través	Ref.: < 2knots
Vento de Través 2 – 5 knots	2 – 5 knots
Vento de Través 5 – 12 knots	5 – 12 knots
Vento de Través > 12 knots	> 12 knots
Tempestade Elétrica	Tempestade Elétrica (sim/não) – Ref.: não
Condições de Gelo	Condições de Gelo (sim/não) – Ref.: não
Neve	Neve (sim/não) – Ref.: não
Temperatura do ar	Ref.: 15 – 25 ° C
Temperatura < 5 ° C	< 5 ° C
Temperatura 5 - 15° C	5 - 15° C
Temperatura > 25 ° C	> 25 ° C
Aeroporto não-hub	Aeroporto não-hub (sim/não) – Ref.: aeroporto hub
Terreno Significante	Terreno Significante (sim/não) – Ref.: não
Notas:	
Ref.: Indica a categoria de referência contra a qual as taxas existentes devem ser interpretadas	
Aeroporto não-hub: aeroporto com menos de 0,05% do embarque anual de passageiros	
Terreno significativo: terreno dentro do plano de vista do aeroporto que excede 4.000 pés acima da elevação do aeroporto, ou se o terreno dentro de um raio de 6,0 milhas náuticas do Ponto de Referência do aeroporto sobe a pelo menos 2000 pés acima da elevação aeroporto	

### 2.7.3 Modelo de Análise de Risco de Rddowes Et Al.

Neste estudo, patrocinado pela autoridade de aviação civil da Noruega, foram desenvolvidos modelos quantitativos de análise de risco que contemplam as seguintes situações de perigo:

- Saída de pista com parada da aeronave após o término da pista de pouso (*overrun*)
- Toque da aeronave antes da cabeceira, em operações de pouso (*undershoot*)
- Saída lateral da aeronave durante operações de pouso e decolagem (*veer-off*)
- Desvio lateral durante o taxiamento da aeronave
- Desvio da aeronave, lateralmente ou abaixo, em relação à trajetória de voo prevista

Os modelos de risco foram desenvolvidos principalmente por referência a dados empíricos provenientes de medições durante operações ou de análise de histórico de incidente/acidente.

São apresentados a seguir os modelos referentes a incidentes em solo em procedimentos de pouso ou decolagem, ou seja, os modelos de *overrun*, de *undershoot* e de *veer-off*.

#### 2.7.3.1 Modelo de Análise de Risco de Overrun

Foi desenvolvido um modelo de risco genérico baseado no seguinte:

- Na frequência de ocorrência de incidentes de *overrun*;
- Em uma função de probabilidade de distribuição acumulada, que descreve a distância percorrida em caso de ocorrência de um evento de *overrun*;
- Na gravidade das consequências do incidente, sendo presumido que qualquer aeronave que atinja distâncias além da RESA pode potencialmente estar em colisão com um obstáculo, sofrendo consequências catastróficas (perda total de fuselagem e/ou mortes).

As seguintes taxas de incidentes de *overrun* foram identificadas neste estudo, para os diferentes tipos de operação:

- *Overrun* em decolagem: 0,33 por milhão de movimentos;
- *Overrun* em aproximação precisão: 0,6 por milhão de movimentos;
- *Overrun* em aproximação não-precisão/visual: 4,68 por milhão de movimentos.

Verificou-se, ainda, que a provável distância percorrida por uma aeronave para além do final da pista, em caso de um evento de *overrun*, pode ser representada por uma função de probabilidade de distribuição acumulada, descrevendo a fração de incidentes (N) que atingem uma determinada distância (x):  $N(x) = \exp(-ax^n)$  (onde a e n são constantes).

Combinando tal função com as taxas de incidentes identificadas acima, estimou-se a frequência com que ocorrem eventos de *overrun* que ultrapassam uma determinada distância “x”:

$$P(\text{overrun} > x) \text{ para aproximação precisão} = 0,6 \times 10^{-6} \exp(-0,0081 x)$$

(2.16)

$$P(\text{overrun} > x) \text{ para aproximação não-precisão/visual} = 4,68 \times 10^{-6} \exp(-0,0081 x)$$

(2.17)

$$P(\text{overrun} > x) \text{ para decolagem} = 0,33 \times 10^{-6} \exp(-0,0058 x)$$

(2.18)

O risco residual para os três tipos de operação mencionados acima (decolagem, aproximação precisão e aproximação não-precisão/visual) foi calculado, para os comprimentos de faixa de pista e RESA especificados no Anexo 14 da OACI, estando apresentados na Tabela 2.6.

**Tabela 2.6 - Risco residual de *overrun* (por milhão de movimentos) associado com especificações do Anexo 14 da OACI (Eddowes et al., 2001)**

Código da pista	Σ compr. faixa de pista e RESA (m)		Decolagem		Aprox. precisão		Aprox. não-precisão/visual	
	Padrão	Recom.	Padrão	Recom.	Padrão	Recom.	Padrão	Recom.
1 não instrumento	30	150	0,277	0,138	-	-	3,670	1,389
2 não instrumento	60	180	0,233	0,166	-	-	2,879	1,089
1/2 instrumento	150	180	0,138	0,166	0,178	0,140	1,389	1,089
3/4	150	300	0,138	0,058	0,178	0,053	1,389	0,412

**O risco residual identificado refere-se à média de movimentos com excesso de pista disponível. Quando não houver excesso de pista disponível, em operações de pouso e decolagem, os riscos serão quase dez vezes maiores que estes apresentados na tabela.**

A Tabela 2.7 apresenta um resumo do risco residual para diferentes comprimentos de faixa de pista e RESA.

Da mesma forma, o modelo determinou o comprimento de faixa de pista e RESA necessário para cumprir um nível de segurança de  $10^{-7}$  por movimento, sendo verificados os seguintes valores:

- Para operação de decolagem: 206 m;
- Para operação de decolagem sem excesso pista: 603 m;
- Para operação de aproximação precisão: 221 m;
- Para operação de aproximação precisão sem excesso de pista: 505 m;
- Para operação de aproximação não-precisão/visual: 475 m.

Dada a natureza exponencial da função de distribuição, observa-se que o benefício de segurança prestado por qualquer incremento no comprimento de faixa de pista e RESA reduz progressivamente com o aumento desta distância. Esta proporção é apresentada na tabela 2.8

(em conjunto com os resultados obtidos a partir da análise de *undershoot* descrita no item seguinte).

Da Tabela 2.8, verifica-se que cerca de 90% dos incidentes estão contidos nos primeiros 300 m após a cabeceira, que representa a prática recomendada no anexo 14 da OACI para pistas com código de referência 3 e 4, e que uma pequena porcentagem (5% ou menos) atingem distâncias maiores que 500 m. Isto evidencia a diminuição do benefício da segurança associado com o aumento do comprimento da faixa de pista/RESA. Cerca de 90% dos incidentes seriam contidos dentro de um comprimento de segurança de 300 m, aumentando para cerca de 95 a 98%, caso o comprimento fosse de 500m.

**Tabela 2.7 - Risco residual de *overrun* (por milhão de movimentos) associado com diferentes comprimentos de faixa de pista/RESA (Eddowes et al., 2001)**

Distância	Overrun		
	Decolagem	Aproximação Precisão	Aproximação Não- precisão/visual
0	0,330	0,600	4,680
10	0,311	0,553	4,316
20	0,294	0,510	3,980
30	0,277	0,471	3,670
40	0,262	0,434	3,385
50	0,247	0,400	3,121
60	0,233	0,369	2,879
70	0,220	0,340	2,655
80	0,207	0,314	2,448
90	0,196	0,289	2,258
100	0,185	0,267	2,082
110	0,174	0,246	1,920
120	0,165	0,227	1,771
130	0,155	0,209	1,633
140	0,147	0,193	1,506
150	0,138	0,178	1,389
160	0,130	0,164	1,281
170	0,123	0,151	1,181
180	0,116	0,140	1,089
190	0,110	0,129	1,004
200	0,103	0,119	0,926
210	0,098	0,110	0,854
220	0,092	0,101	0,788
230	0,087	0,093	0,726
240	0,082	0,086	0,670
250	0,077	0,079	0,618
260	0,073	0,073	0,570
270	0,069	0,067	0,525
280	0,065	0,062	0,484
290	0,061	0,057	0,447
300	0,058	0,053	0,412
310	0,055	0,049	0,380
320	0,052	0,045	0,350
330	0,049	0,041	0,323
340	0,046	0,038	0,298
350	0,043	0,035	0,275
360	0,041	0,032	0,253
370	0,039	0,030	0,234
380	0,036	0,028	0,216
390	0,034	0,025	0,199
400	0,032	0,023	0,183
410	0,031	0,022	0,169
420	0,029	0,020	0,156
430	0,027	0,018	0,144
440	0,026	0,017	0,133
450	0,024	0,016	0,122

**Tabela 2.8 - Proporção de incidentes contidos dentro de uma determinada distância de faixa de pista/RESA (Eddowes et al.)**

Distância (m)	Fração de eventos de <i>overrun</i> em decolagem contidos	Fração de eventos de <i>overrun</i> em pouso contidos	Fração de eventos de <i>undershoot</i> contidos
0	0	0	0
50	0,252	0,333	0,543
100	0,439	0,555	0,693
150	0,582	0,703	0,777
200	0,688	0,802	0,831
250	0,767	0,868	0,869
300	0,824	0,912	0,896
350	0,870	0,941	0,916
400	0,903	0,961	0,932
450	0,927	0,974	0,944
500	0,945	0,983	0,953

Os principais resultados deste modelo foram:

- 1) Existe uma clara distinção entre o risco de *overrun* em operações de pouso e em operações de decolagem, tanto em termos de probabilidade de ocorrer um incidente quanto com relação à provável distância percorrida para fora do final da pista. Este tipo de incidente é menos provável em operações de decolagem do que em operações de pouso, mas eventos de *overrun* em decolagem normalmente atingem distâncias maiores além da pista;
- 2) Não há distinção aparente entre o risco de *overrun* em pistas com código de referência 1 e 2 e o risco em pistas com código 3 e 4 que justifique, com base em risco, uma diferença nos requisitos de projeto referentes à RESA e ao comprimento da faixa de pista, o que ocorre atualmente pelo Anexo 14 da OACI. Para alcançar um determinado nível de segurança seria necessária a mesma regra para todos os códigos de pista;
- 3) Para eventos de *overrun* em pouso, a taxa de incidentes parece variar significativamente de acordo com a disponibilidade ou a ausência de auxílios a aproximação precisão. Aproximações não-precisão/visual apresentam uma taxa de *overrun* cerca de oito vezes maior que em aproximações precisão. Não existe, portanto, uma justificativa baseada em risco para uma menor exigência no comprimento de faixa de pista e RESA em pistas

não-instrumento em comparação com pistas instrumento, tal como ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI;

- 4) Dada a dependência do risco residual sobre os parâmetros operacionais, que diferem significativamente entre aeródromos, pode não ser prático definir requisitos de projeto para atender a um mesmo nível de segurança em todos os casos. Especificamente, as questões a serem abordadas são a crítica dependência do risco de *overrun* sobre o "excesso" de pista disponível e a disponibilidade de auxílios à aproximação precisão. As estatísticas de incidentes sobre a qual a base de referência de nível de segurança de  $10^{-7}$  por movimento é derivada são dominadas por movimentos em grandes aeródromos onde auxílios a aproximação precisão estão normalmente disponíveis e onde há, muitas vezes, "excesso" do comprimento de pista. Este nível de segurança não pode ser facilmente alcançado por uma maior RESA em pequenos aeródromos onde auxílios à aproximação precisão são escassos e há pouco ou nenhum "excesso" de pista em movimentos típicos;
- 5) Uma questão fundamental na avaliação da exigência de RESA é o benefício de segurança que qualquer dado incremento no comprimento da RESA proporciona. Este benefício de segurança diminui significativamente a grandes distâncias a partir do final da pista, colocando um limite prático sobre o comprimento da RESA em torno da atual recomendação para pistas de códigos 3 e 4;
- 6) A taxa média de eventos de *overrun* é dominada pelos movimentos onde há um "excesso" significativo de pista além do mínimo requerido pela aeronave;
- 7) A probabilidade de *overrun* varia consideravelmente de acordo com a quantidade de pista disponível além do que é requerido pela aeronave. No caso de incidentes em pouso onde a distância de pouso requerida (LDR) é igual à distância de pouso disponível (LDA), a probabilidade de *overrun* é estimada em pelo menos dez vezes a taxa média histórica. Para incidentes em decolagem em que a distância requerida de aceleração e parada (ASDR) é igual à distância disponível de aceleração e parada (ASDA), a probabilidade de *overrun* é ligeiramente inferior a dez vezes a taxa média;

- 8) O potencial de dependência entre a distância atingida pela aeronave em um evento de *overrun* e o tipo de aeronave (turbo-hélice/jato, tamanho da aeronave) foi analisado, porém não pode ser identificada clara dependência;
- 9) Outros fatores operacionais foram identificados como determinantes ao risco de *overrun*, mas estes não puderam ser facilmente integrados em um modelo de risco quantitativo. No entanto, é instrutivo considerar os fatores contribuintes identificados no estudo para incidentes de *overrun*, estando apresentados a seguir:
- a) De 32 incidentes em decolagem registrados, em 17 casos é expressamente declarada a ocorrência de decolagem abortada e em vários outros casos existem indícios desse fator. Uma variedade de fatores contribuintes para a decolagem abortada foram identificados, incluindo falhas de motor (4 casos), falhas de trem de pouso (5 casos), pássaros (2 casos), falsos avisos (2 casos) e falha do piloto (2 casos). O uso incorreto da pista foi identificado como causa em 3 casos de incidentes. Falhas ou configuração incorreta de controle de superfícies foram identificadas em vários casos e em um caso é identificado erro de cálculo do peso da aeronave. Em 3 casos, a pista molhada foi identificada como contribuinte para o *overrun* e em 2 casos problemas de frenagem foram identificados.
- b) Uma ampla variedade de fatores que contribuem para o *overrun* em pouso são identificados e, em muitos casos, são identificados múltiplos fatores. Fatores identificados incluem os seguintes: Longo pouso; Excesso de velocidade; Falha na aproximação; Vento de cauda; Vento de través adverso; Pista molhada ou com gelo; Falha do sistema de freio; Falha em sistemas gerais; Falha de planejamento da operação; Pouca visibilidade.
- c) Em 93 registros de incidentes em operações de pouso são identificados 38 acontecimentos em que pista molhada ou pista com gelo foram fatores contributivos, mas em apenas 9 dos casos são esses os únicos fatores identificados. Pouso longo, falha na aproximação e excesso de velocidade (ou uma combinação desses fatores) são identificados como fatores relevantes, em 46 casos. Falhas em aeronaves foram

identificadas em 21 incidentes, incluindo 16 casos de defeito do sistema de freio, 1 caso de falha do trem de pouso e 4 casos de falha mais geral do sistema da aeronave (falta de alimentação de combustível, falha do sistema elétrico). Seleção incorreta da pista foi identificada em 6 casos.

- d) No caso de *overrun* em operações de decolagem e pouso, puderam ser identificados um número limitado de fatores que podem ser considerados falhas ou erros mais grosseiros (por exemplo, a seleção incorreta de pista) que não pode ser tão facilmente evitados pelas características físicas do aeródromo. Estes incidentes tendem a ser associados com aeronaves que percorrem longas distâncias a partir do final da pista.

#### 2.7.3.2 Modelo de Análise de Risco de *Undershoot*

O estudo desenvolveu um modelo quantitativo de risco que inclui:

- A probabilidade de ocorrência de um acidente de *undershoot* em operação de pouso;
- A provável distância que a aeronave toca o solo antes da cabeceira da pista quando ocorrer um evento de *undershoot*.

Observou-se que a taxa média de *undershoot* é de 0,25 por milhão de movimentos, sendo que a probabilidade de ocorrer um incidente de *undershoot* é, em média, ligeiramente inferior que um incidente de *overrun*, bem como é cerca de quatro vezes menos provável que um evento de *overrun* em pouso.

Foi verificada uma correlação significativa da taxa de *undershoot* com a disponibilidade ou a ausência de auxílios à aproximação precisão, sendo cerca de seis vezes mais provável em movimentos onde há ausência de auxílios a aproximação precisão. Nesta base, os resultados das taxas de *undershoot* foram os seguintes:

- Taxa de *undershoot* para aproximação precisão: 0,17 por milhão de movimentos;
- Taxa de *undershoot* para aproximação não-precisão/visual: 1,08 por milhão de movimentos.

Verificou-se, ainda, que a localização de um evento de *undershoot* pode ser representada por uma função de probabilidade de distribuição acumulada, descrevendo a fração de incidentes em que a aeronave toca o solo a uma determinada distância a partir da cabeceira:  $N(x) = \exp(-a x^n)$ .

Combinando tal função com as taxas de incidentes identificadas acima, estimou-se a frequência com que ocorrem eventos de *undershoot*:

$$P(\textit{undershoot} > x) \text{ para aproximação precisão} = 0,17 \times 10^{-6} \exp(-0,0769 x^{0,593})$$

(2.19)

$$P(\textit{undershoot} > x) \text{ para aproximação não-precisão/visual} = 1,08 \times 10^{-6} \exp(-0,0769 x^{0,593})$$

(2.20)

O risco residual para os dois tipos de operação (aproximação precisão e aproximação não-precisão/visual) foi calculado, para diferentes comprimentos de faixa de pista e RESA especificados no Anexo 14, estando apresentados na Tabela 2.9.

A Tabela 2.10 apresenta um resumo do risco residual para diferentes comprimentos de faixa de pista e RESA.

Da mesma forma, o modelo determinou o comprimento de faixa de pista e RESA necessário para atingir um determinado nível de segurança de  $10^{-7}$  por movimento:

- Para operação de aproximação precisão: 24 m;
- Para operação de aproximação não-precisão/visual: 330 m.

Dada a natureza exponencial da função de distribuição, observa-se que o benefício de segurança prestado por qualquer incremento no comprimento de faixa de pista e RESA reduz progressivamente com o aumento desta distância. Esta proporção é apresentada na tabela 2.8 (em conjunto com os resultados obtidos a partir da análise de *overrun* descrita no item anterior).

Pode ser visto que, da mesma maneira que em eventos de *overrun*, a grande maioria dos incidentes (90%) está contida dentro dos primeiros 300 m antes da cabeceira.

**Tabela 2.9 - Risco residual de *undershoot* (por milhão de movimentos) associado com os comprimentos de segurança especificados pelo Anexo 14 da OACI (Eddowes et al., 2001)**

Código da pista	Σ compr. faixa de pista e RESA (m)		Aprox. precisão		Aprox. não-precisão/visual	
	Padrão	Recom.	Padrão	Recom.	Padrão	Recom.
1 não instrumento	30	150	-	-	0,606	0,241
2 não instrumento	60	180	-	-	0,451	0,203
1/2 instrumento	150	180	0,038	0,320	0,241 *	0,203
3/4	150	300	0,038	0,018	0,241 *	0,112

**\* valor revisado devido a engano na tabela apresentada por Eddowes et al.**

As principais conclusões da análise foram as seguintes:

- 1) Não existe uma aparente distinção entre o risco de *undershoot* em pistas com código de referência 1 e 2 e o risco em pistas com código 3 e 4, que justifique, com base em risco, uma diferença nos requisitos de projeto referentes ao comprimento de faixa de pista e RESA, o que ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI;
- 2) Não foi identificada justificativa baseada em risco para uma menor exigência no comprimento de faixa de pista e RESA em pistas não instrumento em comparação com pistas instrumento, tal como ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI. O risco em pistas não instrumento é identificado como maior do que em pistas instrumento precisão, justificando, quando muito, uma maior exigência no caso de pistas não-instrumento;
- 3) Dada a dependência do risco residual sobre os parâmetros operacionais, especificamente a disponibilidade ou a ausência de auxílios à aproximação precisão, pode não ser prático definir requisitos de projeto visando cumprir a um mesmo nível de segurança em todos os casos;
- 4) A diminuição do benefício de segurança a grandes distâncias a partir do final da pista é uma questão fundamental na avaliação da exigência de RESA e coloca um limite prático

sobre o comprimento da RESA, em torno da recomendação atual para pistas códigos 3 e 4;

- 5) Não foi identificada clara dependência entre o risco de *undershoot* e o tamanho ou tipo da aeronave (jato / turboélice);
- 6) Foi verificada uma menor taxa de incidentes e um rápido declínio na função de probabilidade de distribuição acumulada em eventos de *undershoot* comparado com eventos de *overrun*, sendo, portanto, constatado que eventos de *undershoot* representam um risco menor do que eventos de *overrun*. Desta forma, o comprimento necessário de RESA para satisfazer um determinado nível de segurança em relação a eventos de *undershoot* é normalmente inferior do que em relação a eventos de *overrun*.

**Tabela 2.10 - Risco Residual de *undershoot* (por milhão de movimentos) associado com diferentes comprimentos de faixa de pista/RESA**

Distância	<i>Undershoot</i>	
	Aproximação Precisão	Aproximação Não- precisão/visual
0	0,170	1,080
10	0,126	0,799
20	0,108	0,686
30	0,095	0,606
40	0,086	0,544
50	0,078	0,494
60	0,071	0,452
70	0,065	0,416
80	0,060	0,384
90	0,056	0,356
100	0,052	0,332
110	0,049	0,310
120	0,046	0,290
130	0,043	0,272
140	0,040	0,256
150	0,038	0,241
160	0,036	0,227
170	0,034	0,214
180	0,032	0,203
190	0,030	0,192
200	0,029	0,182
210	0,027	0,173
220	0,026	0,164
230	0,025	0,156
240	0,023	0,149
250	0,022	0,142
260	0,021	0,135
270	0,020	0,129
280	0,019	0,123
290	0,018	0,117
300	0,018	0,112
310	0,017	0,107
320	0,016	0,103
330	0,016	0,098
340	0,015	0,094
350	0,014	0,090
360	0,014	0,087
370	0,013	0,083
380	0,013	0,080
390	0,012	0,077
400	0,012	0,074
410	0,011	0,071
420	0,011	0,068
430	0,010	0,065
440	0,010	0,063
450	0,009	0,061

### 2.7.3.3 Modelo de Análise de Risco de *Veer-Off*

Tal como os modelos de análise de risco de *overrun* e *undershoot* descritos anteriormente, a abordagem da análise de risco de *veer-off* baseou-se na estimativa da probabilidade de um evento de *veer-off* ocorrer e da sua provável extensão de desvio com relação ao eixo da pista. Neste caso, no entanto, torna-se necessário considerar a largura da aeronave, ou seja, sua envergadura, e a largura do trem de pouso principal.

O estudo apresenta as seguintes taxas médias de eventos de *veer-off*, em função do número de incidentes identificados:

- *veer-off* para operações de decolagem: 0,19 por milhão de movimentos;
- *veer-off* para operações de pouso: 0,56 por milhão de movimentos.

Foi constatado que eventos de *veer-off* em operações de pouso são significativamente mais frequentes (cerca de sete vezes mais frequentes) em movimentos onde não são disponibilizados auxílios à aproximação precisão, sendo obtidas as seguintes taxas:

- *veer-off* para aproximações precisão: 0,364 por milhão de movimentos;
- *veer-off* para aproximações não-precisão/visual: 2,58 por milhão de movimentos.

Verificou-se, ainda, que a distância de desvio lateral a partir do eixo da pista pode ser representada por uma função de probabilidade de distribuição acumulada do tipo,  $N(x) = \exp(-ax^n)$ , sendo que o desvio identificado pelo modelo refere-se ao ponto médio da aeronave, e a aeronave é assumida como alinhada com o eixo principal da pista, devendo ser considerada esta simplificação ao aplicar o modelo e interpretar os resultados.

Combinando tal função com as taxas de incidentes identificadas acima, é possível estimar a frequência com que ocorrem eventos de *veer-off*.

$$P(\text{veer-off} > x) \text{ para aproximação precisão} = 3,46 \times 10^{-7} \exp(-0,0236 x)$$

(2.21)

$$P(\text{veer-off} > x) \text{ para aproximação não-precisão /visual} = 2,58 \times 10^{-6} \exp(-0,0236 x)$$

(2.22)

$$P(\text{veer-off} > x) \text{ para decolagem} = 1,9 \times 10^{-7} \exp(-0,0158 x)$$

(2.23)

A Tabela 2.11 apresenta um resumo do risco residual para diferentes dimensões de faixa de pista.

As conclusões gerais do modelo de análise de risco de *veer-off* foram as seguintes:

- 1) Eventos de *veer-off* são mais freqüentes em operações de pouso do que em operações de decolagem e os desvios laterais são, em média, maiores em operações de decolagem do que em operações de pouso;
- 2) Eventos de *veer-off* em operações de pouso são significativamente mais freqüentes (cerca de sete vezes mais frequentes) em operações onde não são disponibilizados auxílios à aproximação precisão;
- 3) Os dados disponíveis para incidentes de menor escala são limitados e, conseqüentemente, o resultado do modelo é menos confiável nestes casos;
- 4) Não foi identificada clara dependência entre a distância do desvio lateral e o tipo de aeronave;
- 5) Não foi identificada justificativa baseada em risco para a variação da largura da faixa de pista de acordo com o número do código de referência da pista, tal como ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI;

- 6) Dada a dependência do risco residual sobre os parâmetros operacionais, especificamente a disponibilidade ou a ausência de auxílios à aproximação precisão, pode não ser prático definir requisitos de projeto que atendam a um único nível de segurança em todos os casos.

**Tabela 2.11 - Risco residual de *veer-off* associado com diferentes dimensões de faixa de pista (Eddowes et al.)**

Distância	<i>Veer-off</i>		
	Decolagem	Aproximação Precisão	Aproximação Não- precisão/visual
30	$1,18 \times 10^{-7}$	$1,79 \times 10^{-7}$	$1,27 \times 10^{-6}$
40	$1,01 \times 10^{-7}$	$1,42 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-6}$
50	$8,62 \times 10^{-8}$	$1,12 \times 10^{-7}$	$7,92 \times 10^{-7}$
60	$7,36 \times 10^{-8}$	$8,83 \times 10^{-8}$	$6,25 \times 10^{-7}$
70	$6,29 \times 10^{-8}$	$6,98 \times 10^{-8}$	$4,94 \times 10^{-7}$
80	$5,37 \times 10^{-8}$	$5,51 \times 10^{-8}$	$3,90 \times 10^{-7}$
90	$4,58 \times 10^{-8}$	$4,35 \times 10^{-8}$	$3,08 \times 10^{-7}$
100	$3,91 \times 10^{-8}$	$3,44 \times 10^{-8}$	$2,43 \times 10^{-7}$
110	$3,34 \times 10^{-8}$	$2,71 \times 10^{-8}$	$1,92 \times 10^{-7}$
120	$2,85 \times 10^{-8}$	$2,14 \times 10^{-8}$	$1,52 \times 10^{-7}$
130	$2,44 \times 10^{-8}$	$1,69 \times 10^{-8}$	$1,20 \times 10^{-7}$
140	$2,08 \times 10^{-8}$	$1,34 \times 10^{-8}$	$9,46 \times 10^{-8}$
150	$1,78 \times 10^{-8}$	$1,06 \times 10^{-8}$	$7,47 \times 10^{-8}$
160	$1,52 \times 10^{-8}$	$8,34 \times 10^{-9}$	$5,90 \times 10^{-8}$
170	$1,29 \times 10^{-8}$	$6,59 \times 10^{-9}$	$4,66 \times 10^{-8}$
180	$1,11 \times 10^{-8}$	$5,20 \times 10^{-9}$	$3,68 \times 10^{-8}$
190	$9,44 \times 10^{-9}$	$4,11 \times 10^{-9}$	$2,91 \times 10^{-8}$
200	$8,06 \times 10^{-9}$	$3,25 \times 10^{-9}$	$2,30 \times 10^{-8}$

## 2.8 CONCLUSÃO

A regulamentação brasileira que estabelece os critérios de projeto de aeródromos, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC nº 154 e Portaria 1.141/GM5, de 08/12/1987, baseia-se nas normas e práticas recomendadas preconizadas pela OACI em seu Anexo 14, que têm como principal objetivo fornecer um instrumento para a realização de projetos de aeródromos que assegurem as operações de aeronaves.

A OACI e a ANAC aceitam que aeródromos existentes apresentem afastamentos menores que os especificados no Anexo 14, caso um Estudo Aeronáutico indique que tal afastamento não afeta a segurança operacional nem a regularidade das operações das aeronaves.

Portanto, um Estudo Aeronáutico pode ser elaborado para avaliar o impacto de não-conformidades em um aeródromo em relação aos padrões estabelecidos em regulamentação, analisando os riscos associados, implicações operacionais e custos associados às suas correções, bem como estabelecendo soluções alternativas que mantenham o nível de segurança operacional dentro de limites aceitáveis.

Desta forma, uma das etapas que compõe um Estudo Aeronáutico é a análise quantitativa ou qualitativa do risco associado à não-conformidade, que envolve a estimativa do nível de risco existente, calculado a partir das possibilidades de perigo elencadas numa fase preliminar, e a comparação desse nível com critérios previamente estabelecidos, com a finalidade de verificar se o risco é aceitável.

Foi apresentado neste capítulo um resumo de alguns estudos sobre análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso e decolagem, sendo verificados fatores contribuintes para a ocorrência de tais eventos, como: tipo de operação (decolagem, aproximação visual/não-precisão; aproximação precisão); condições meteorológicas (chuva, vento través, vento de cauda, baixa visibilidade, entre outros); condições do pavimento; erro humano.

Apesar de afirmar a relação entre a presença de fatores adversos e a probabilidade de ocorrência de incidentes em aeródromos, o modelo de quantificação do risco apresentado por Eddowes et al. não considera em suas equações tais variáveis.

O modelo do ACRP Report 3, no entanto, considera tais fatores adversos na determinação da probabilidade de ocorrência de incidentes de *overrun* e *undershoot*, através da utilização de variáveis independentes definidas de acordo com a presença de chuva, neve ou gelo, com as condições de teto, visibilidade, temperatura e vento de través, bem como conforme o tipo de terreno, de aeroporto (hub), de voo (internacional/doméstico) e de aeronave (tamanho/peso máximo de decolagem).

Ao contrário do modelo do ACRP Report 3, que considera o tipo de aeronave na determinação da probabilidade de incidentes de *overrun* e *undershoot*, de acordo com o estudo de Eddowes et al. não há clara dependência entre a ocorrência de incidentes de *overrun*, *undershoot* e *veer-off* e o tipo de aeronave, não havendo justificativa baseada em risco para a variação das áreas de segurança de pista com o seu número de código de referência, tal como ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI.

O estudo de Eddowes et al. não identificou, ainda, justificativa baseada em risco para uma menor exigência nas áreas de segurança (faixa de pista e RESA) em pistas não instrumento em comparação com pistas instrumento, tal como ocorre atualmente no Anexo 14 da OACI, sendo identificado o risco em pistas não instrumento como maior do que em pistas instrumento precisão, justificando, quando muito, uma maior exigência no caso de pistas não-instrumento.

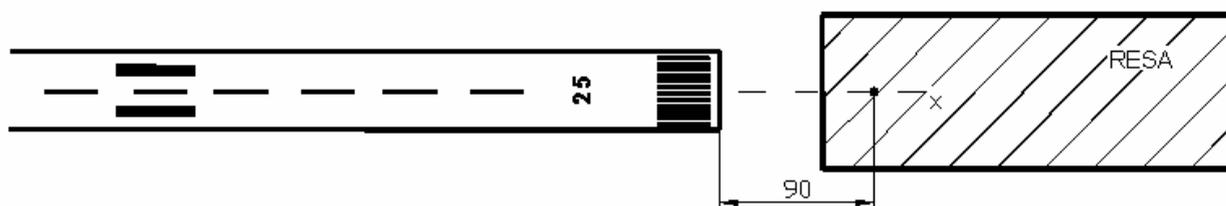
O estudo do ACRP Report 3, entretanto, não considera o tipo de aproximação da aeronave (instrumento precisão/não-precisão e visual) no cálculo da probabilidade de incidentes de *overrun* e *undershoot*.

### 3 COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS DE ANÁLISE DE RISCO DO ACRP REPORT 3 E DE EDDOWES ET AL.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será calculada a probabilidade de ocorrer um incidente em um aeródromo hipotético, em condições específicas de operação, através da utilização dos modelos de análise do ACRP Report 3 e de Eddowes et al., apresentados no capítulo 2 deste trabalho, com o propósito de se fazer uma comparação entre os resultados obtidos em cada metodologia.

Considera-se que o aeródromo hipotético apresenta um obstáculo não-frangível localizado na Área de Segurança de Fim de Pista (RESA), a 90 metros da cabeceira 25, conforme ilustrado na figura 3.1. A seguir serão analisadas as probabilidades de uma aeronave, operando em três condições distintas (cenários 1, 2 e 3), atingir tal obstáculo em operações de pouso e decolagem.



**Figura 3.1 - Obstáculo localizado na RESA de um aeródromo hipotético**

#### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS

O cenário 1 considera operações de pouso e decolagem, em ambas as cabeceiras da pista, com a presença de diversos fatores adversos, como teto, visibilidade e vento de través, estando tais parâmetros operacionais apresentados na tabela 3.1, bem como considera que as aproximações, em ambas as cabeceiras, são realizadas através do auxílio de instrumentos não-precisão.

O cenário 2 contempla operações de pouso e decolagem, em ambas as cabeceiras da pista, sem a presença de fatores adversos, estando os parâmetros operacionais apresentados na tabela 3.2, bem como considera que as aproximações, em ambas as cabeceiras, são realizadas através do auxílio de instrumentos não-precisão.

Para o cenário 3 são consideradas operações de pouso e decolagem, em ambas as cabeceiras da pista, sem a presença de fatores adversos, estando os parâmetros operacionais apresentados na tabela 3.2, bem como considera que as aproximações, em ambas as cabeceiras, são realizadas através do auxílio de instrumentos precisão.

**Tabela 3.1 - Características consideradas para operações de pouso e decolagem em ambas as cabeceiras do aeródromo hipotético, referentes ao cenário 1 (ACRP Report 3)**

Parâmetros	Valores	Nota
Aeronave	B738	Boeing 737-800
Classe do equipamento	N	Grande Jato
Classe de Utilização	C	Comercial
Tipo de equipamento	J	Jato
Direção do Vento	340	
Velocidade do Vento knots	13	
Teto pés	500	
Visibilidade SM	1.0	
Temperatura C	30	
Nevoeiro	1	Nevoeiro presente
Gelo	0	Não há gelo
Tempestade Elétrica	0	Não há tempestade elétrica
Precipitação congelada	0	Não há precipitação congelada
Neve	0	Não há neve
Vento de Través knots	13	Calculado
Chuva	0	Não há chuva
Origem/Destino Internacional	0	Doméstico
Terreno Significante	0	Terreno não significativo

**Tabela 3.2 - Características consideradas para operações de pouso e decolagem em ambas as cabeceiras do aeródromo hipotético, referentes aos cenários 2 e 3**

Parâmetros	Valores	Nota
Aeronave	B738	Boeing 737-800
Classe do equipamento	N	Grande Jato
Classe de Utilização	C	Comercial
Tipo de equipamento	J	Jato
Direção do Vento	340	
Velocidade do Vento knots	13	
Teto pés	2600	
Visibilidade SM	10.0	
Temperatura C	20	
Nevoeiro	0	Ausência de Nevoeiro
Gelo	0	Não há gelo
Tempestade Elétrica	0	Não há tempestade elétrica
Precipitação congelada	0	Não há precipitação congelada
Neve	0	Não há neve
Vento de Través knots	1	Calculado
Chuva	0	Não há chuva
Origem/Destino Internacional	0	Doméstico
Terreno Significante	0	Terreno não significante

### 3.3 ANÁLISE

Para avaliação da probabilidade de uma aeronave, operando de acordo com os parâmetros apresentados acima, atingir o obstáculo localizado na RESA do aeródromo hipotético, deve-se avaliar a probabilidade de um evento de *overrun* em decolagens e pousos pela cabeceira 07, bem como eventos de *undershoot* em pousos pela cabeceira 25.

### 3.3.1 Modelo de Eddowes Et Al.

#### 3.3.1.1 Cenários 1 e 2

Como o modelo de Eddowes et al. não considera os fatores adversos presentes no aeródromo, como visibilidade, vento e teto, os resultados para os cenários 1 e 2 são idênticos, estando descritos abaixo.

Através da utilização das equações 2.17, 2.18 e 2.20, considerando o valor de “x” como sendo de 90 metros, são obtidos os valores referentes à probabilidade de ocorrer um evento de *overrun* em procedimentos de pouso não-precisão e decolagem pela cabeceira 07, bem como um evento de *undershoot* em procedimento de pouso não-precisão pela cabeceira 25, a fim de obter a probabilidade de uma aeronave, sob tais condições de operação, atingir o obstáculo contido na área da RESA.

**Tabela 3.3 - Probabilidade de *overrun* e *undershoot* para operações de pouso e decolagem para os cenários 1 e 2, calculado a partir do modelo de Eddowes et al.**

Cabeceira	Probabilidade de <i>overrun</i> atingir 90m		Probabilidade de <i>undershoot</i> a 90m
	Não-precisão $P(LDOR>90)=4,68,10^{-6}exp(-0,0081x)$	Decolagem $P(TOOR>90)=0,33,10^{-6}exp(-0,0058x)$	Não-precisão $P(LDUS>90)= 1,08,10^{-6}exp(-0,0769 x^{0,593})$
07	$2,258 \times 10^{-6}$	$0,196 \times 10^{-6}$	-
25	-	-	$0,356 \times 10^{-6}$

#### 3.3.1.2 Cenário 3

Através da utilização das equações 2.16, 2.18 e 2.19, considerando o valor de “x” como sendo de 90 metros, são obtidos os valores referentes à probabilidade de ocorrer um evento de *overrun* em procedimentos de pouso precisão e decolagem pela cabeceira 07, bem como um evento de *undershoot* em procedimento de pouso precisão pela cabeceira 25, a fim de obter a probabilidade de uma aeronave, sob tais condições de operação, atingir o obstáculo contido na área da RESA.

**Tabela 3.4 - Probabilidade de *overrun* e *undershoot* em operações de pouso e decolagem para o cenário 3, calculado a partir do modelo de Eddowes et al.**

Cabeceira	Probabilidade de <i>overrun</i> atingir 90m		Probabilidade de <i>undershoot</i> a 90m
	Precisão $P(LDOR>90)=0,6 \times 10^{-6} \exp(-0,0081x)$	Decolagem $P(TOOR>90)=0,33 \times 10^{-6} \exp(-0,0058x)$	Precisão $P(LDUS>90)=0,17 \times 10^{-6} \exp(-0,0769x^{0,593})$
07	$0,289 \times 10^{-6}$	$0,196 \times 10^{-6}$	-
25	-	-	$0,056 \times 10^{-6}$

### 3.3.2 Modelo do ACRP Report 3

Como o modelo do ACRP Report 3 considera os fatores adversos presentes nas operações de pouso e decolagem, como visibilidade, vento e teto, os resultados para os cenários 1 e 2 estão apresentados separadamente, sendo os resultados para o cenário 3 idênticos a aqueles obtidos para o cenário 2, pois tal modelo não considera o tipo de aproximação realizada pela aeronave (aproximação precisão / aproximação não-precisão).

#### 3.3.2.1 Cenário 1

O modelo de análise de risco apresentado pelo ACRP Report 3 utiliza variáveis independentes definidas de acordo com os fatores contribuintes a incidentes, identificados na tabela 3.1, sendo determinado, assim, o valor da variável “b”, conforme demonstrado na tabela 3.5, para eventos de *overrun* e *undershoot* de acordo com o tipo de operação.

**Tabela 3.5 - Cálculo da variável "b" para o cenário 1**

Tipo de incidente	Variável “b”
<i>Overrun</i> em operação de pouso	$b = -15,456 + 0,551(0) - 2,113(0) - 1,064(0) - 0,876(0) + 0,445(0) - 0,857(0) + 1,832(1) + 1,639(0) + 2,428(1) + 1,186(0) + 1,741(0) + 0,322(0) - 0,532(0) + 1,566(0) + 1,518(1) + 0,986(0) + 1,926(0) + 1,499(0) - 1,009(0) - 0,631(0) + 0,265(1) + 1,006(0) + 0,924(0) = -9,413$
<i>Overrun</i> em operação de decolagem	$b = -16,6515 + 0,721(0) - 0,619(0) - 0,009(0) + 1,669(0) + 1,336(0) + 1,052(0) + 1,225(1) + 1,497(0) + 0,201(1) - 1,941(0) - 0,366(0) + 0,317(0) + 1,660(1) - 0,292(0) + 1,598(0) + 1,781(1) - 0,536(0) - 0,507(0) + 0,502(1) + 1,805(0) + 2,567(0) = -11,282$
<i>Undershoot</i>	$b = -14,9642 + 0,036(0) - 1,699(0) - 0,427(0) + 1,760(0) + 0,288(0) + 0,908(0) - 1,042(0) + 0,199(1) + 1,463(0) + 2,074(1) + 0,069(0) - 0,185(0) - 0,295(0) + 1,830(1) - 1,705(0) - 0,505(0) - 0,874(0) - 0,446(1) + 2,815(0) + 2,412(0) = -11,307$

Através da variável “b”, determinada para incidentes de *overrun* em pouso e decolagem e para incidentes de *undershoot*, é possível determinar, para a condição específica de operação apresentada na tabela 3.1, a probabilidade de ocorrer um incidente (tabela 3.6), a probabilidade de localização de incidente (tabela 3.7), e a probabilidade de uma aeronave atingir o obstáculo a 90 metros da cabeceira em eventos de *overrun* e *undershoot* (tabela 3.8).

**Tabela 3.6 – Probabilidade de ocorrer um evento de *overrun* e *undershoot* para o cenário 1, a partir do modelo do ACRP Report 3**

Cabeceira	Probabilidade de <i>overrun</i>		Probabilidade de <i>undershoot</i> $P_{(LDUS)} = 1/(1 + e^{-b})$
	Pouso $P_{(LDOR)} = 1/(1 + e^{-b})$	Decolagem $P_{(TOOR)} = 1/(1 + e^{-b})$	
07	$8,165 \times 10^{-5}$	$1,260 \times 10^{-5}$	-
25	-	-	$1,229 \times 10^{-5}$

**Tabela 3.7 - Cálculo da probabilidade de localização, a partir do modelo do ACRP Report 3**

Cabeceira	Probabilidade de localização *		
	<i>Overrun</i> em pouso $P(d > 90) = \exp(-0,004692 x^{0,824513})$	<i>Overrun</i> em decolagem $P(d > 90) = \exp(-0,003364 x^{0,807138})$	<i>Undershoot</i> $P(d > 90) = \exp(-0,022078 x^{0,585959})$
07	60 %	72 %	-
25	-	-	54 %

\* valor de x em pés

**Tabela 3.8 - Probabilidade de aeronave alcançar 90 m da cabeceira para o cenário 1, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3**

Cabeceira	Probabilidade de incidente		
	<i>Overrun</i> em pouso $P_{(LDOR)} \times P_{(d > 90)}$	<i>Overrun</i> em decolagem $P_{(TOOR)} \times P_{(d > 90)}$	<i>Undershoot</i> $P_{(LDUS)} \times P_{(d > 90)}$
07	$4,899 \times 10^{-5}$	$0,907 \times 10^{-5}$	-
25	-	-	$0,664 \times 10^{-5}$

### 3.3.2.2 Cenários 2 e 3

As tabelas abaixo apresentam os resultados referentes à probabilidade de incidentes calculada pelo modelo do ACRP Report 3, para a condição específica de operação apresentada na tabela 3.2 (cenários 2 e 3).

**Tabela 3.9 – Valores de "b" para os cenários 2 e 3**

Tipo de incidente	Variável "b"
<i>Overrun</i> em operação de pouso	$b = -15,456 + 0,551(0) - 2,113(0) - 1,064(0) - 0,876(0) + 0,445(0) - 0,857(0) + 1,832(0) + 1,639(0) + 2,428(0) + 1,186(0) + 1,741(0) + 0,322(0) - 0,532(0) + 1,566(0) + 1,518(0) + 0,986(0) + 1,926(0) + 1,499(0) - 1,009(0) - 0,631(0) + 0,265(0) + 1,006(0) + 0,924(0) = -15,456$
<i>Overrun</i> em operação de decolagem	$b = -16,6515 + 0,721(0) - 0,619(0) - 0,009(0) + 1,669(0) + 1,336(0) + 1,052(0) + 1,225(0) + 1,497(0) + 0,201(0) - 1,941(0) - 0,366(0) + 0,317(0) + 1,660(0) - 0,292(0) + 1,598(0) + 1,781(0) - 0,536(0) - 0,507(0) + 0,502(0) + 1,805(0) + 2,567(0) = -16,6515$
<i>Undershoot</i>	$b = -14,9642 + 0,036(0) - 1,699(0) - 0,427(0) + 1,760(0) + 0,288(0) + 0,908(0) - 1,042(0) + 0,199(0) + 1,463(0) + 2,074(0) + 0,069(0) - 0,185(0) - 0,295(0) + 1,830(0) - 1,705(0) - 0,505(0) - 0,874(0) - 0,446(0) + 2,815(0) + 2,412(0) = -14,9642$

**Tabela 3.10 – Probabilidade de ocorrer um evento de *overrun* e *undershoot* para os cenários 2 e 3, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3**

Cabeceira	Probabilidade de <i>overrun</i>		Probabilidade de <i>undershoot</i> $P_{(LDUS)} = 1/(1 + e^{-b})$
	Pouso $P_{(LDOR)} = 1/(1 + e^{-b})$	Decolagem $P_{(TOOR)} = 1/(1 + e^{-b})$	
07	$1,939 \times 10^{-7}$	$0,587 \times 10^{-7}$	-
25	-	-	$3,171 \times 10^{-7}$

Tendo em vista que o cálculo da probabilidade de localização depende somente da distância do obstáculo com relação à cabeceira, tais valores para os cenários 2 e 3 são os mesmos apresentados para o cenário 1 (Tabela 3.7). Desta forma, a probabilidade de uma aeronave atingir 90 metros da cabeceira em eventos de *overrun* e *undershoot* é apresentada na tabela 3.11.

**Tabela 3.11 - Probabilidade de aeronave alcançar 90 m da cabeceira para os cenários 2 e 3, calculado a partir do modelo do ACRP Report 3**

Cabeceira	Probabilidade de incidente		
	<i>Overrun em pouso</i> $P(LDOR) \times P(d > 90)$	<i>Overrun em decolagem</i> $P(TOOR) \times P(d > 90)$	<i>Undershoot</i> $P(LDUS) \times P(d > 90)$
07	$1,163 \times 10^{-7}$	$0,423 \times 10^{-7}$	-
25	-	-	$1,712 \times 10^{-7}$

### 3.4 CONCLUSÃO

A tabela 3.12 apresenta o resumo dos resultados obtidos pelos modelos de Eddowes et al. e do ACRP Report 3 para os três cenários distintos.

**Tabela 3.12 - Resumo dos resultados obtidos pelos modelos de Eddowes et al. e do ACRP Report 3, para os cenários 1, 2 e 3**

Cenário	Eddowes et al.			ACRP Report 3		
	LDOR	TOOR	LDUS	LDOR	TOOR	LDUS
1	$2,258 \times 10^{-6}$	$0,196 \times 10^{-6}$	$0,356 \times 10^{-6}$	$48,99 \times 10^{-6}$	$9,07 \times 10^{-6}$	$6,64 \times 10^{-6}$
2	$2,258 \times 10^{-6}$	$0,196 \times 10^{-6}$	$0,356 \times 10^{-6}$	$0,116 \times 10^{-6}$	$0,042 \times 10^{-6}$	$0,171 \times 10^{-6}$
3	$0,289 \times 10^{-6}$	$0,196 \times 10^{-6}$	$0,056 \times 10^{-6}$	$0,116 \times 10^{-6}$	$0,042 \times 10^{-6}$	$0,171 \times 10^{-6}$

**Tabela 3.13 – Relação entre os resultados obtidos pelo modelo do ACRP Report 3 e de Eddowes et al.**

Cenário	Relação ACRP Report 3/Eddowes et al.		
	LDOR	TOOR	LDUS
1	21,7	46,3	18,6
2	0,05	0,21	0,48
3	0,4	0,21	3,1

**Tabela 3.14 – Relação entre os resultados obtidos para os diferentes cenários de operação**

Relação entre cenários	Eddowes et al.			ACRP Report 3		
	LDOR	TOOR	LDUS	LDOR	TOOR	LDUS
½	1	1	1	422	216	38,8
1/3	7,8	1	6,4	422	216	38,8
2/3	7,8	1	6,4	1	1	1

Para o exemplo proposto neste capítulo, verifica-se que a probabilidade de incidente determinada através do modelo do ACRP Report 3 varia significativamente ao considerar a presença dos fatores adversos no aeródromo, como condições de teto, visibilidade, vento e temperatura, além de chuva e nevoeiro. Tais variações atingem cerca de 400 vezes em incidentes de overrun em pousos, cerca de 200 vezes em incidentes de *overrun* em decolagens e cerca de 40 vezes em incidentes de *undershoot*.

Se os parâmetros operacionais relativos ao cenário 1 apresentassem além dos fatores considerados no exemplo proposto, mencionados na tabela 3.1, ainda outros fatores agravantes, como peso e classe de utilização da aeronave (cargueira, aviação geral), a variação dos resultados determinados pelo modelo do ACRP Report 3 seria ainda maior.

Verifica-se, ainda, que os resultados determinados através do modelo de Eddowes et al. variam cerca de 7 vezes conforme o tipo de aproximação em procedimentos de pouso (não-precisão / precisão).

Comparando-se os resultados obtidos pelos dois modelos de cálculo, ou seja ACRP Report 3 e Eddowes et al., foram verificadas também diferenças significativas, sendo para o cenário 1 de operação, uma variação de cerca de 46 vezes para incidentes de *overrun* em decolagens. Para o cenário 2, a variação máxima foi para eventos de *overrun* em pousos, apresentando uma variação de 20 vezes (1 / 0,05) entre os resultados de Eddowes e do ACRP Report 3. Com relação ao cenário 3, a variação máxima foi de cerca de 5 vezes (1 / 0,21), em incidentes de *overrun* em decolagem, conforme tabela 3.13.

Verifica-se, portanto, que os resultados que mais se aproximaram, ao se comparar os dois modelos de cálculo de probabilidade de incidente, foram aqueles obtidos para o cenário 3, ou seja, sem a presença de fatores operacionais adversos e considerando aproximações por instrumento precisão.

Além disso, verifica-se que, para os três cenários de operação, o tipo de incidente com menor variabilidade nos resultados, comparando-se os dois modelos de cálculo, foi incidente do tipo *undershoot*.

## **4 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS MODELOS APRESENTADOS EM AERÓDROMOS BRASILEIROS**

### **4.1 INTRODUÇÃO**

Tendo em vista que os modelos de análise de risco de Eddowes et al. e do ACRP Report 3 se baseiam em dados estatísticos colhidos de aeródromos estrangeiros, torna-se necessária a análise das considerações presentes em tais modelos, a fim de verificar a aplicabilidade em aeródromos nacionais.

### **4.2 QUANTIFICAÇÃO DO RISCO - MODELO DE EDDOWES ET AL.**

O modelo de Eddowes et al. utilizou dados históricos de incidentes e acidentes em aeródromos europeus e americanos para a determinação das suas equações de verificação de probabilidade de incidentes. Logo, a base de dados utilizada no referido modelo contempla incidentes em aeródromos com presença de neve ou gelo, fenômenos que não estão presentes em aeródromos do Brasil.

Além disso, o modelo destaca a importância de serem considerados certos fatores que contribuem para a ocorrência de incidentes, como condições meteorológicas (vento de cauda, vento través, visibilidade e chuva) e condições de atrito do pavimento, na determinação da probabilidade de incidente em um aeródromo, apesar de não considerar tais fatores em seu modelo quantitativo de análise de risco.

O referido modelo considera apenas que o risco de ocorrência de incidentes em um aeródromo varia em operações de pouso, de acordo com o tipo de aproximação realizada pela aeronave (precisão, não precisão e visual).

Verifica-se, assim, que o modelo apresenta um erro embutido significativo, devido à base de dados utilizada e aos fatores contribuintes não considerados, presumindo-se que seja menos adequado para utilização em aeródromos brasileiros.

### **4.3 QUANTIFICAÇÃO DO RISCO - MODELO DO ACRP REPORT 3**

A base de dados utilizada pelo modelo do ACRP Report 3 baseia-se no histórico de incidentes e acidentes ocorridos em aeródromos de várias partes do mundo, como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, França e Austrália, contemplando, portanto, fenômenos, como gelo e neve, não presentes em aeródromos brasileiros.

No entanto, a probabilidade de incidente determinada através do modelo do ACRP Report 3 considera os fatores presentes no aeródromo avaliado que contribuem para a ocorrência de incidentes, através da utilização de variáveis independentes definidas de acordo com: condições de teto, visibilidade, vento de través, chuva, neve, gelo, tipo de aeronave (tamanho e peso máximo de decolagem), temperatura, terreno, tipo de aeroporto (hub) e tipo de voo (internacional/doméstico).

Tais variáveis são, pois, quantificadas de acordo com as características de uma amostra das operações realizadas no aeródromo avaliado, considerando tipo de aeronave e condições meteorológicas, sendo possível desconsiderar fenômenos como neve e gelo, por exemplo, bem como qualquer outro fenômeno não presente com frequência no aeródromo analisado.

Desta forma, tendo em vista sua maior amplitude, julga-se que tal modelo de análise de risco seja mais aplicável para aeródromos brasileiros.

A utilização deste modelo em aeródromos brasileiros necessita, preliminarmente, de uma pesquisa das informações requeridas, relativas aos voos típicos no aeródromo (através de dados dos planos de voo) e as suas condições meteorológicas (através de dados de estações meteorológicas), relacionando tais informações, a fim de obter a amostra representativa das operações de pouso e decolagem realizadas no aeródromo analisado.

### **4.4 NÍVEL ACEITÁVEL DE SEGURANÇA**

O nível de risco das operações de um aeródromo varia de acordo com a probabilidade de ocorrer um incidente, e com as possíveis consequências, caso um incidente ocorra.

Portanto, quando são detectadas em um aeródromo não-conformidades referentes às suas áreas de segurança, como por exemplo presença de obstáculos não-frangíveis ou terreno irregular, pode-se assumir que caso ocorra um incidente do tipo *overrun*, *undershoot* ou *veer-off*, suas consequências podem vir a ser mais graves e, portanto o risco é mais elevado.

Sendo assim, o nível aceitável de segurança de uma determinada operação em um aeródromo deve ser estabelecido de acordo com a gravidade das consequências de um possível incidente, podendo ser utilizadas as tabelas apresentadas por Eddowes et al. (tabela 2.1) e pelo ACRP Report 3 (tabela 2.2) para classificá-la.

Neste sentido, considera-se que um incidente de *overrun* em um aeródromo que apresente um obstáculo não-frangível de porte significativo em sua RESA, tenha como possíveis consequências múltiplas fatalidades, e, desta forma, deva ser considerado como um incidente com consequências catastróficas.

Para uma avaliação mais criteriosa, pode ser utilizado o modelo de consequências apresentado no ACRP Report 3 para avaliação qualitativa da gravidade de um incidente, com base na sua localização e nas características da pista (considerando dimensões das áreas de segurança, peso da aeronave, tipo, localização e tamanho de obstáculos e topografia do terreno circundante), estimando a probabilidade de uma aeronave em alta velocidade atingir um obstáculo, resultando, desta forma, em graves consequências.

Através de uma análise deste tipo, ou seja, através da classificação da gravidade das consequências de um possível incidente, é estabelecido o nível aceitável de segurança das operações de pouso e decolagem quanto a incidentes de *overrun*, *undershoot* e *veer-off* no aeródromo avaliado, através da utilização da matriz de risco apresentada por Eddowes et al. (Figura 2.1) e pelo ACRP Report 3 (Figura 2.2).

Verifica-se que a matriz de risco apresentada pelo ACRP Report 3 é mais conservadora que a matriz apresentada no estudo de Eddowes et al., pois no primeiro é estabelecido o valor de  $10^{-9}$  para a probabilidade máxima de ocorrer um incidente com consequências catastróficas, enquanto que o segundo estabelece, para o mesmo caso, o valor de  $10^{-7}$ .

**Tabela 4.1 - Nível aceitável de segurança recomendados para incidentes de *overrun*, *undershoot* e *veer-off***

Consequência	Nível aceitável de segurança	
	Eddowes et al.	ACRP Report 3
Catastrófica	$10^{-7}$	$10^{-9}$
Alta/Perigosa	$10^{-5}$	$10^{-7}$

Cabe ressaltar ainda que para a definição do nível aceitável de segurança operacional é necessário considerar além do nível de risco envolvido, medido em termos de gravidade e probabilidade, outros fatores como custo/benefício das melhorias para o sistema e expectativas dos usuários com relação à segurança.

Como exemplo, pode-se mencionar aeroportos em regiões com presença constante de neve e gelo. Se for adotado um nível de segurança neste tipo de aeroporto equivalente ao nível de segurança utilizado em aeroportos com condições meteorológicas moderadas, a operação poderia se tornar inviável.

Portanto o risco, o custo/benefício das melhorias e as expectativas dos usuários de cada aeroporto são diferentes e, conseqüentemente, o nível de proteção também é variado.

#### **4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi verificado que o modelo de Eddowes et al. apresenta um erro embutido significativo, devido à base de dados utilizada e aos fatores contribuintes não considerados na metodologia, presumindo-se que seja menos adequado para utilização em aeródromos brasileiros.

Por outro lado, verificou-se que o modelo do ACRP Report 3 utiliza dados históricos de incidentes ocorridos em aeródromos com diferentes características operacionais, contudo tal modelo permite que seja considerada a presença ou ausência de fatores contribuintes a

incidentes, de forma a ajustar os resultados para a situação específica do aeródromo em análise.

Portanto, presume-se que seja possível estimar de maneira razoável o nível de segurança operacional das operações em um aeródromo do Brasil, através do modelo de análise de risco apresentado pelo ACRP Report 3.

Ademais, verificou-se que os modelos de análise de risco de Eddowes et al. e do ACRP Report 3 não consideram em suas fórmulas as condições de atrito do pavimento da pista de pouso e decolagem. No entanto, é notório que tais condições podem contribuir para a ocorrência de hidroplanagem ou perda de tração inaceitável da aeronave, resultando em frenagem deficiente, com possibilidade de perda de controle de direção pelo piloto.

Portanto, o desempenho de frenagem nas pistas de pouso e decolagem de aeroportos, particularmente quando molhadas, torna-se um item cada vez mais crítico para a segurança das operações.

Presume-se, desta forma, que a probabilidade de incidente calculada pelos referidos modelos considera que as condições de atrito do pavimento da pista de pouso e decolagem atendem aos requisitos mínimos de segurança, que em aeródromos nacionais são estabelecidos pela Instrução de Aviação Civil (IAC) 4302 - “Requisitos de resistência à derrapagem para pistas de pouso e decolagem” e pela Resolução 88 de 11/05/2009, da Agência Nacional de Aviação Civil.

Deve-se considerar, ainda, que o pavimento está livre de qualquer elemento (como borracha, gelo ou neve) que reduza o atrito entre os pneus e a sua superfície. Portanto, aeródromos que apresentem maiores riscos de incidentes de *overrun*, *undershoot* e *veer-off* devem aumentar suas ações contra tais elementos, através de constante manutenção.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como principal objetivo a verificação da aplicabilidade de modelos de análise de risco em aeródromos brasileiros.

Foi realizado no capítulo 3 um comparativo entre os modelos de Eddowes et al. e do ACRP Report 3, sendo verificada uma variação significativa entre os resultados obtidos através das duas metodologias, principalmente para o cenário 1 de operação, que considera a presença de fatores adversos.

Constatou-se ainda que os resultados obtidos pelo ACRP Report 3 variaram significativamente conforme os cenários operacionais adotados, ou seja, considerando a presença ou ausência de fatores adversos nas operações.

Além disso, foi verificado que o modelo de Eddowes et al. apresenta um erro embutido significativo, presumindo-se que seja menos adequado para utilização em aeródromos brasileiros.

No entanto entende-se que é possível estimar de maneira eficiente o nível de segurança das operações em aeródromos brasileiros através do modelo de análise de risco apresentado pelo ACRP Report 3, que considera os parâmetros operacionais frequentemente observados no aeródromo a ser avaliado.

Desta forma, conclui-se que a hipótese apresentada no início deste trabalho deva ser rejeitada, pois julga-se que o modelo do ACRP Report 3 possa ser aplicado para análise da probabilidade de incidentes em solo durante operações de pouso e decolagem em aeródromos brasileiros.

Este estudo verificou, ainda, que os modelos de análise de risco apresentados não consideram em suas fórmulas as condições de atrito do pavimento da pista de pouso e decolagem, sendo, no entanto, notório que tais condições podem contribuir para a ocorrência de incidentes, devendo, portanto, serem observadas na elaboração de um Estudo Aeronáutico.

É essencial continuar pesquisas nesta área, para que se consiga obter mais dados para um melhor entendimento do assunto. São sugeridos os seguintes tópicos:

- Elaboração de modelo de análise de risco de incidentes de *veer-off* que considere fatores operacionais contribuintes a incidentes, como condições meteorológicas e condições do pavimento, de forma similar ao modelo do ACRP Report 3;
- Elaboração de modelo de análise de risco que considere a relação entre a distância de pouso disponível (LDA) e a distância de pouso requerida (LDR), bem como a relação entre a distância disponível de aceleração e parada (ASDA) e a distância requerida de aceleração e parada (ASDR); e
- Elaboração de modelo de análise de risco que considere EMAS (*Engineered Materials Arresting System*).

## GLOSSÁRIO

A seguir são apresentadas definições de termos empregados neste trabalho:

- Aeródromo: Área definida sobre a terra ou água destinada à chegada, partida e movimentação de aeronaves.
- Aeroporto: Todo aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio a aeronaves e ao embarque e desembarque de pessoas e cargas.
- Área de Segurança de Fim de Pista (Runway End Safety Área - RESA): Área simétrica ao longo do prolongamento do eixo da pista de pouso e decolagem e adjacente ao fim da faixa de pista, utilizada primordialmente para reduzir o risco de danos a aeronaves que realizem o toque antes de alcançar a cabeceira (*Undershoot*) ou que ultrapassem acidentalmente o fim da pista de pouso e decolagem (*Overrun*).
- Código de Referência do Aeródromo: Código alfanumérico determinado para o aeródromo para fins de planejamento, com base nas características físicas e operacionais da aeronave crítica para ele estabelecida.
- Faixa de Pista: Área definida no aeródromo, que inclui a pista de pouso e as zonas de parada, se disponíveis, destinada a proteger a aeronave durante as operações de pouso e decolagem e a reduzir o risco de danos à aeronave, em caso desta sair dos limites da pista.
- Faixa Preparada: Porção de uma faixa de pista de pouso e decolagem nivelada e construída com capacidade de suporte adequada de forma a minimizar os riscos no caso de uma aeronave sair acidentalmente da pista.
- *Overrun*: Saída de pista com parada da aeronave após o término da pista, em operação de pouso ou decolagem.
- Pista de Pouso e Decolagem: Área retangular, definida em um aeródromo em terra, preparada para pousos e decolagens de aeronaves.
- Pista de Táxi: Trajetória definida em um aeródromo em terra, estabelecida para táxi de aeronaves e com a função de oferecer uma ligação entre as partes do aeródromo, incluindo:

- Pista de Táxi de Acesso ao Estacionamento de Aeronaves: Parcela de um pátio de aeronaves designada como uma pista de táxi e com o propósito único de oferecer acesso às posições de estacionamento de aeronaves.
- Pista de Táxi de Pátio: Parcela de um sistema de pistas de táxi localizada em um pátio de aeronaves com a função de oferecer uma circulação completa de táxi através do pátio de aeronaves.
- Pista de Aproximação de Não-Precisão: Pista para operação por instrumento provida de auxílios visuais e não-visuais à navegação, que fornecem, no mínimo, orientação direcional adequada para a aproximação direta.
- Pista de Aproximação de Precisão, Categoria I: Pista para operação por instrumento provida de ILS e/ou MLS e auxílios visuais para operações com uma altitude de decisão (ponto crítico) não inferior a 60 m (200 ft) e com visibilidade não inferior a 800 m ou alcance visual de pista não inferior a 550 m.
- Pista de Aproximação de Precisão, Categoria II: Pista para operação por instrumento provida de ILS e/ou MLS e auxílios visuais para operações com uma altitude de decisão (ponto crítico) inferior a 60 m (200 ft) mas não inferior a 30 m (100 ft) e alcance visual de pista não inferior a 350 m.
- Pista de Aproximação de Precisão, Categoria III: Pista para operação por instrumento provida de ILS e/ou MLS para a superfície e ao longo da superfície da pista e:
  - A – prevista para operações com altitude de decisão não inferior a 30 m (100 ft), ou sem altitude de decisão, e com um alcance visual de pista não inferior a 200 m.
  - B – prevista para operações com altitude de decisão inferior a 15 m (50 ft), ou sem altitude de decisão, e com um alcance visual de pista inferior a 200 m, mas não inferior a 50 m.
  - C – prevista para operações sem altitude de decisão e sem limitações de alcance visual de pista.

- Pista para Operação Visual: Pista de pouso e decolagem para a operação de aeronaves utilizando procedimentos de aproximação visual.
- Posição de Estacionamento de Aeronave: Área designada em um pátio de aeronaves com o propósito de ser utilizada para estacionar uma aeronave.
- Sinalização Horizontal: Informação aeronáutica, que compõe os auxílios visuais à navegação aérea, por meio de pintura na pista de pouso e decolagem, na pista de táxi, no pátio de aeronaves ou em outra área do aeródromo, destinada a orientar ou prestar informações aos pilotos de aeronaves e motoristas que trafegam nas vias de serviços.
- Sinalização Luminosa: Informação aeronáutica que compõe os auxílios visuais à navegação aérea composta por todas as luzes de pista de pouso e decolagem, de pista de táxi e de pátio de aeronaves.
- Sinalização Vertical: Informação aeronáutica que compõe os auxílios visuais à navegação aérea composta por placas ou painéis destinados a fornecer mensagens.
- Superfícies Limitadoras de Obstáculos: Superfícies que definem um volume de espaço aéreo no aeródromo e ao seu redor, que deve ser mantido livre de obstáculos, de modo a permitir que as operações das aeronaves sejam conduzidas de forma segura, evitando a interdição ou restrições às operações do aeródromo.
- *Undershoot*: Toque da aeronave, em operação de pouso, antes da cabeceira.
- Vento de Través: Componente de vento de superfície em ângulos retos ao eixo da pista.
- *Veer-off*: Saída lateral da aeronave durante operação de pouso ou decolagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 154, Projeto de Aeródromos. Brasil: ANAC, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Resolução 88 de 11/05/2009, Revoga o item 3.1 do capítulo 3 da IAC 4302-0501, estabelece parâmetros em testes de calibração e de monitoramento de atrito em pistas de pouso e decolagem e dá outras providências. Brasil: ANAC, 2009.

BELLINI, L. Redução de Riscos Operacionais nos Pátios dos Aeroportos Brasileiros. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, 2008.

BIENIEK, J., MIGUEL, R. Reestruturação do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Universidade de Brasília, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, 2001.

BRASILIANO, Antônio Celso. Análise de risco corporativo. Local: Sicurezza, 2006.

COMANDO DA AERONÁUTICA (COMAER). Portaria 1.141/GM5, de 09/12/1987, Dispõe sobre Zonas de Proteção e aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento do Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências. Rio de Janeiro: COMAER, 1987.

COSTA, D. Certificação Operacional de Aeroportos – Notas de aula do Curso de Formação para Especialistas em Regulação de Aviação Civil da ANAC. Brasília: NCE/UFRJ, 2007.

DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL (DAC/COMAER). Instrução de Aviação Civil - IAC 154-1001, Termo de Referência para Estudo Aeronáutico. Rio de Janeiro: DAC, 2004.

DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL (DAC/COMAER). Instrução de Aviação Civil - IAC 4302-0501, Requisitos de resistência à derrapagem para pistas de pouso e decolagem. Rio de Janeiro: DAC, 2001.

EDDOWES, M., HANCOX, J., MACINNES, A. Final Report on the Risk Analysis in Support of Aerodrome Design Rules, Report AEAT/RAIR/RD02325/R/002, desenvolvido para a NORWEGIAN CIVIL AVIATION AUTHORITY. AEA Technology, 2001.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). AC 150/5200-37, Introduction to Safety Management Systems (SMS) for Airport Operators. EUA: 2007.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). DOC 9859-AN/474, Safety Management Manual, 2ª edição, Canadá: OACI, 2009.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). DOC 9157-AN/901, Manual de Projeto de Aeródromos - Parte 2 - Taxiways, Aprons and Holding Bays. Canadá: OACI, 2005.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). Cir 301 -AN/174, New Larger Aeroplanes - Infringement of the Obstacle Free Zone: Operational Measures and Aeronautical Study. Canadá: OACI, 2005.

PENHA, G. Análise de Risco de Ocorrência de Atos Ilícitos em Aeroportos Brasileiros. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, 2008.

SOUZA, Evandro Abreu. O Treinamento Industrial e a Gerência de Riscos - Uma proposta de instrução programada. 1995. 114f. Tese de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). *Airport Cooperative Research Program (ACRP) Report 3, Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Areas*. EUA: TRB, 2008.