

Aeroportos

1. Objetivos do curso

O planejamento, o projeto e a implantação de um aeroporto envolvem, normalmente, uma gama de especialidades, de engenharia e de outras áreas, bastante grande. Assim é que temos, por exemplo, a participação:

- de **sociólogos e economistas**, para as previsões de demanda e verificação de desapropriações que eventualmente se façam necessárias;
- de **especialistas e engenheiros aeronáuticos**, para identificar as futuras aeronaves que operarão naquele aeroporto, para transformar as previsões gerais de demanda, normalmente medidas em passageiros e toneladas de carga anuais, em quantificações de demanda específicas de dimensionamento (como, por exemplo, passageiros e movimentos de aeronaves em horas-pico), para identificar e quantificar as necessidades operacionais dos aviões envolvidos, bem como para assessorar e trabalhar em conjunto com outros profissionais, contribuindo com experiência em assuntos aeronáuticos;
- de **arquitetos**, para estabelecer os conceitos arquitetônicos e os planos gerais de áreas do aeroporto, bem como para os projetos civis ;
- de **engenheiros civis**, para, muitas vezes em conjunto com os arquitetos e a partir dos conceitos e planos gerais, elaborar os projetos de edificações, bem como outros específicos, como os de terraplenagem;
- de **engenheiros mecânicos**, para os projetos de equipamentos especializados para atendimento de aeronaves e para o atendimento de passageiros e cargas;
- de **engenheiros elétricos e eletrônicos**, para os projetos de iluminação, de sistemas de comunicação, de sistemas de rádio e de rádio-auxílios;
- de **engenheiros químicos**, que, por exemplo, identifiquem e especifiquem as tintas que serão utilizadas para pintura de pistas e pátios, etc.
-

Este curso tem o objetivo de dar ao engenheiro civil um entendimento mínimo das peculiaridades de um tal projeto, principalmente do ponto de vista de sua especificidade maior, que é a operação de aviões. Pretende-se, assim, dar um conhecimento básico dos conceitos aeronáuticos associados a um projeto aeroportuário, para que um engenheiro civil possa, com eles, participar ativamente das discussões que uma equipe multidisciplinar como a indicada acima terá ao abordar o desenvolvimento de um aeroporto.

Resumidamente, um aeroporto é formado, essencialmente, por edificações (e.g., terminais de passageiros e cargas), áreas de estacionamento e de manutenção de aviões, e de pistas. Ao longo de sua formação, um estudante de engenharia aprenderá, em termos gerais, a projetá-las, uma vez que uma pista não deixa de ser uma estrada de

dimensões avantajadas, e que terminais, de passageiros ou cargas, são tipos de edificações. O que será visto aqui são suas especificidades.

2. Uma viagem aérea e os aeroportos

Um aeroporto pode ser visto como um nó de uma rede de transportes, em que os arcos são as ligações, aéreas ou não. De fato, um aeroporto é, em sua essência, um **ponto de transferência entre modos de transporte**, um deles sendo o aéreo, e o outro, na maioria das vezes mas não só, o rodoviário.

Quando se faz uma viagem aérea, não se embarca, diretamente, em um avião. Vai-se, normalmente de carro, táxi ou ônibus, do **origem inicial** (por exemplo, uma casa ou escritório) ao **aeroporto de origem**, de onde se embarca em um avião, após alguns procedimentos, como, por exemplo, aceitação de bilhete e despacho de bagagem. Ao se chegar ao **aeroporto de destino**, pode haver procedimentos (por exemplo, retirada de bagagem) e, de lá, normalmente por táxi ou ônibus, toma-se um táxi para atingir o **destino final**. Assim, uma viagem aérea não compreende apenas o vôo, mas:

- dois percursos terrestres,
- duas transferências (nos aeroportos),
- um percurso aéreo.

Os percursos terrestres são normalmente realizados por via rodoviária, mas podem ainda ocorrer por via ferroviária, ou até mesmo hidroviária. Nestes dois últimos casos, podem ainda envolver outros percursos rodoviários; é o caso quando, por exemplo, o terminal ferroviário fica na área do aeroporto, mas não diretamente ligado ao terminal aeroportuário, exigindo um deslocamento por ônibus.

Assim sendo, o que se pode fazer para melhorar o sistema de transporte, quando uma está envolvida uma viagem aérea? Supondo que se queira reduzir o tempo de viagem, temos que reduzir o tempo total de viagem. Isto significa reduzir o tempo nos percursos terrestres, nas transferências e também no percurso aéreo, além, obviamente, de tornar confortáveis (o que pode significar algo mais do que redução dos tempos envolvidos), os deslocamentos e procedimentos. Para isto, em termos gerais:

- fazer aeroportos mais próximos dos centros geradores de tráfego, ou, ainda, se isto não for diretamente possível – porque aeroportos incomodam pelo ruído neles gerado pelos aviões – fazer que seu acesso seja rápido (vias ou transporte exclusivos);
- fazer aeroportos onde seja possível fazer procedimentos de forma rápida, ou, se isto não for diretamente possível em função de exigências de antecipação de chegada ao aeroporto (por exemplo, para levar em conta imprevistos de trânsito), fazer com que sejam confortáveis;
- fazer com que a viagem aérea seja rápida e confortável; como os aviões, em termos práticos, já voam no limite de velocidades subsônicas, o que se pode fazer é tornar a

viagem aérea mais confortável (o que vai contra as viagens baratas, que exigem mais assentos em um avião, e com poucos serviços a bordo).

Considerando experiências atuais em viagens aéreas – aeroportos muitas vezes distantes das cidades, com trânsito ruim no acesso a eles, aeroportos cheios e com pouco conforto, vôos lotados e com pouco para comer e beber a bordo, e, muitas vezes, pouco para ver – o planejamento aeroportuário apresenta, para dizer o mínimo, alguns desafios muito interessantes.

Uma coisa é certa: um **aeroporto é um ponto de transferência** entre modos distintos de transporte, um deles sendo o aéreo..Assim sendo, encarado desta forma que representa sua essência, seu planejamento e projeto daí decorrem. Um aeroporto **pode ser, também**, o primeiro cartão de visitas de um país a que um visitante tem acesso, na medida em que normalmente é o primeiro ponto de contato de um turista com o país que visita. Um aeroporto **pode ser, também**, um *show room* da tecnologia que um país detém (como ocorre na França, com a empresa Aéroport de Paris, que projetou e opera aeroportos). Mas, em primeiro lugar, um **aeroporto é um ponto de transferência** entre modos distintos de transporte (um deles sendo, geralmente, o aéreo).

3. O aeroporto como sistema

Os sub-sistemas de um aeroporto, sua caracterização e seu dimensionamento

Pode-se considerar a divisão de um aeroporto em duas partes, em função das transferências que ali ocorrem, e onde os veículos que nele circulam são de dois tipos: aéreo e terrestres. Assim, um aeroporto possui um **lado aéreo**, onde circulam aviões, e um **lado terrestre**, onde se movem veículos terrestres (geralmente, mas não só, carros e ônibus). E há um elemento – o terminal de passageiros (e/ou de cargas) – que se situa entre os lados aéreo e terrestre, nele circulando passageiros (e/ou cargas).

Um aeroporto pode ser visto como um sistema, composto por subsistemas distintos. De fato, um aeroporto – este ponto de transferência – tem uma função geral única: permitir que passageiros e cargas passem de um modo de transporte para outro. No entanto, para que esta mudança ocorra, estas entidades – passageiros e cargas – passam por etapas (ou processos) com características bastante diferenciadas entre si: por exemplo, dentro do terminal aeroportuário circulam passageiros, mas fora dele circulam aviões de um lado e, de uma forma geral, carros de outro. Assim, podemos considerar que **um sistema aeroportuário é composto por subsistemas distintos**, com uma homogeneidade interna, e caracterizados de formas distintas, exigindo, assim, análises diferenciadas.

- sub-sistema de acesso/egresso e de vias internas
 - caracterizado pela quantidade de faixas de circulação em cada via, e também pelos comprimentos das vias (notando que estes comprimentos são algo que não depende do volume de tráfego, mas apenas da distância

- do aeroporto em relação à malha viária da região, e da configuração interna do aeroporto)
 - dimensionado em função de fluxo de veículos na hora pico (quanto maior o fluxo de veículos, maior a quantidade de faixas de circulação necessárias) e das distâncias existentes entre o sistema viário local e as diversas áreas do aeroporto
 - **capacidade: medida em veículos circulando por hora**
- sub-sistema de estacionamento de veículos (terrestres)
 - caracterizado por área
 - dimensionado em função do número de veículos estacionados simultaneamente (que, pro sua vez, é função do custo de estacionamento, de outros modos de transporte públicos disponíveis para os passageiros,, etc.)
 - **capacidade: medida em veículor parados simultâneamente**
- sub-sistema terminal de passageiros
 - caracterizado por área
 - dimensionado em função do número de pessoas (pax + acomp + func) na hora pico e do nível de conforto medido em pessoas/m²
 - **capacidade: medida em pessoas (passageiros, acompanhantes e funcionários)por hora**
- sub-sistema de pátio (estacionamento de aeronaves)
 - caracterizado por área
 - dimensionado em função do número de aeronaves paradas e dos tipos de aeronaves (dimensão dessas aeronaves)
 - **capacidade: medida em aviões parados simultâneamente**
- sub-sistema de caminhos de circulação (“taxiways”)
 - caracterizado por pela **quantidade e arranjo das entradas/saídas de pista**, e também pelo comprimento desses caminhos de circulação
 - dimensionado em função do número de movimentos (aterragens + decolagens) na hora pico → quanto maior esse número, maior será a necessidade de entradas e de saídas de pista, que permitirão reduzir o tempo de ocupação de pista e, portanto, aumentar o fluxo possível
 - **capacidade: medida em movimentos por hora**
- sub-sistema de pistas
 - **capacidade: medida em movimentos por hora**
 - quantidade
 - caracterizado pelo número de pistas
 - dimensionado em função do número de movimentos na hora pico (quanto maior, maior será a quantidade de pistas) e dos ventos no local (velocidade e direção), uma vez que, apesar de uma eventual baixa demanda de movimentos na hora-pico, a dispersão dos ventos pode exigir mais de uma pista por razões de segurança
 - comprimento
 - caracterizado em metros

- dimensionado em função dos tipos de aeronaves (há aeronaves que operam em pistas curtas, e outras que exigem pistas longas), de seus pesos (quanto mais pesada uma aeronave, maior a pista necessária), fatores ambientais (meteorológicos) e de segurança
- orientação
 - caracterizado pela orientação da(s) pista(s)
 - dimensionado em função dos ventos (velocidade e direção) de forma a minimizar ventos de través (perpendiculares à pista) e da topografia (obstáculos no alinhamento de uma pista podem inviabilizar sua operação)
- pavimento
 - caracterizado em centímetros/polegadas
 - dimensionado em função da carga no solo (peso dos aviões + tipo de trem de pouso), da frequência de uso e da resistência do solo

4. Padronização no transporte aéreo

Carros têm dimensões distintas, mas normalmente não há vagas de estacionamento diferenciadas entre as de carros pequenos e as de carros grandes (na realidade, hoje, as montadoras automobilísticas buscam padrões globais que lhes permitam obter economias de escala, isto resultando em formas de carros distintas, mas relativamente padronizados).

Da mesma forma, trens têm bitolas diferentes, mas padronizadas, e não são muitas as alternativas normalmente disponíveis. Na realidade, quanto maior a padronização, maior a flexibilidade de uso de equipamentos, e, conseqüentemente, maior a eficiência no uso do material rodante.

No caso do transporte aquaviário, esta padronização de veículos pode ser menor no transporte marítimo (havendo, no entanto, dimensões máximas que permitam a navios operar nos canais de Suez e Panamá, os chamados do tipo Suezmax ou Panamax), mas ainda assim se faz notar no transporte fluvial, principalmente onde se faz necessário o uso de eclusas.

No transporte aéreo, a padronização não se faz notar tanto nos aviões, cujas dimensões diferem significativamente, mas, principalmente, na infraestrutura usada. E esta busca de padronização tem duas raízes – a **segurança**, e a **economia** –, que se derivam de duas características importantes do transporte aéreo: sua velocidade e alcance.

De fato, um avião decola de país, e, minutos após, pode estar sobrevoando um outro país, onde se fala uma língua diferente, e onde as leis e regulamentos podem ser distintos. Se, no Brasil, aceitamos que um avião, por exemplo, de Angola venha para nosso país, sobrevoando nossas cidades, operando em nossos aeroportos e transportando brasileiros, temos que ter certeza de que esta operação ocorra dentro de

normas e padrões de segurança que aceitamos. Isto refere-se, entre muitas outras coisas, à habilitação dos tripulantes e do avião, incluindo sua manutenção. Se há um acidente que envolva um avião brasileiro, por exemplo, como ocorreu na Costa do Marfim, nós temos que ter certeza de que os procedimentos de emergência (busca no mar, neste caso) adotados pelas autoridades deste país são reconhecidos por nossas autoridades como sendo eficazes (ou “bons”). E estes exemplos envolvem não só aspectos de segurança como econômicos. Vejamos como.

Nas décadas de 1920-1930, a companhia francesa Aéropostale iniciou serviços de correio aéreo da Europa para a América do Sul, em especial para o Brasil, para a Argentina e para o Chile. Os vôos saíam de Paris, passavam por Dakar, atravessavam o Oceano por navio ou, posteriormente, por avião, corriam a costa brasileira de Recife até o Sul, passavam por Buenos Aires, e chegavam até Santiago. Era o chamado Correio Sul, tão bem retratado nos livros de Saint-Exupéry (e.g., “Correio Sul”, “Terra de Homens” e “Vôo Noturno”). Para fazer isto, a empresa demarcava as rotas, indicando os aeroportos (na época, “campos de pouso”) e outros auxílios, incluindo a elaboração de cartas de navegação específicas (baseadas nos mapas e cartas existentes, grandemente calcados em rodovias e ferrovias). Investia, assim, ela mesmo na infraestrutura necessária. O mesmo ocorreu quando as empresas norte-americanas iniciaram suas operações para as Américas Central e do Sul (NYRBA, PANAM). A PANAM, que absorveu a NYRBA (New York-Rio-Buenos Aires), foi, talvez, a empresa que mais se tenha destacado no desenvolvimento de aspectos técnicos do transporte aéreo, tendo sido ela mesmo responsável pela introdução e adoção de uma série de novidades, incluindo as primeiras compras (“launch customer”) de vários tipos de aviões, o último dos quais foi o Boeing 747.

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945) envolveu ações militares em várias partes do mundo (ao contrário da primeira, que foi essencialmente uma guerra na Europa). E estas ações contaram com um apoio significativo de aviões, tanto para bombardeios (em que o objetivo era transportar uma carga – bombas – no maior alcance possível), como para o transporte de pessoas e materiais. A quantidade de aviões produzida durante esta guerra foi imensa, tanto os de combate (caças e bombardeiros) quanto os de transporte. Ao final dela, os aliados, e principalmente os Estados Unidos (o maior fabricante de aviões, distante das áreas de conflito), quando sua vitória era questão de tempo, verificaram que haveria uma grande quantidade de aviões que se prestariam para o transporte civil de passageiros e de carga assim que deixassem de ser usado no esforço de guerra. Havia necessidade, assim, de organizar o grande aumento de transporte aéreo que certamente ocorreria, envolvendo muitos países. Se apenas as empresas arcassem com a infraestrutura, o transporte aéreo, que era, e é, estratégico para o desenvolvimento de regiões e nações, poderia ter seu crescimento comprometido. Este transporte passou, desta forma, a representar um interesse de estado.

Assim, no ano de 1944, em Chicago, 56 países reuniram-se para uma conferência de aviação, tendo dela resultado a Carta da Convenção de Aviação Civil Internacional (ou Convenção de Chicago), em que foram estabelecidos os princípios que guiarão o seu desenvolvimento e atuação. Seu órgão operacional foi, e é, a OACI/ICAO – Organização de Aviação Civil Internacional/International Civil Aviation Organization, criada neste mesmo ano, e cuja sede passou a ser Montreal, no Canadá.

Hoje, a OACI/ICAO possui 189 países-membro (*contracting states*), havendo 30 países representados em seu conselho (o Brasil dele faz parte desde a criação da OACI/ICAO),

que é o principal órgão executivo da OACI/ICAO. As decisões tomadas pelo conselho são submetidas à apreciação da Assembléia.

O objetivo da OACI/ICAO é o de **assegurar padronizações técnicas** que resultem em **segurança e economia**, nesta ordem. Inicialmente, buscou-se também uma padronização de aspectos econômicos, que regulasse o transporte internacional de passageiros e cargas, mas em face da diversidade de posições, resultante das diferenças econômicas em que envolvendo os países participantes, muito pouco foi feito sobre isto.

A Carta da Convenção é um documento com poucas páginas, de forma que **toda a padronização técnica está nos anexos a esta carta**. Estes anexos, em um total de 18, referem-se, cada um, aos aspectos específicos indicados a seguir:

- | | | |
|------------------|---|--|
| Anexo I | - | Habilitação de pessoal
<i>padronização na formação e habilitação de pessoal técnico (e.g. pilotos)</i> |
| Anexo II | - | Regras do ar
<i>regras a serem seguidas por todos, igualmente no mundo inteiro</i> |
| Anexo III | - | Meteorologia
<i>padrões para levantar e disseminar dados meteorológicos (e.g., ventos)</i> |
| Anexo IV | - | Cartas aeronáuticas
<i>cada país faz as cartas de sua região, em um padrão mundial</i> |
| Anexo V | - | Unidades de medida em telecomunicações
<i>padronizações que asseguram segurança e economia</i> |
| Anexo VI | - | Operação de aeronaves
<i>padronizações que asseguram segurança e economia</i> |
| Anexo VII | - | Nacionalidade e marcas de registro de aeronaves
<i>padronizações para identificação de aeronaves</i> |
| Anexo VIII | - | Homologação de aeronaves (aeronavegabilidade)
<i>requisitos de aeronavegabilidade que garantam segurança</i> |
| Anexo IX | - | Facilitação
<i>requisitos de atendimento de aeronaves, passageiros e carga que facilitem e agilizem as operações e atendam segurança</i> |
| Anexo X | - | Telecomunicações aeronáuticas
<i>padronizações que asseguram segurança e economia</i> |
| Anexo XI | - | Serviços de tráfego aéreo
<i>padronizações que asseguram segurança e economia</i> |
| Anexo XII | - | Busca e salvamento
<i>padronizações que assegurem procedimentos eficazes e econômicos</i> |
| Anexo XIII | - | Inquérito de acidentes aeronáuticos
<i>padronizações que assegurem procedimentos eficazes e econômicos, e a participação de todos os interessados</i> |
| Anexo XIV | - | Aeródromos
<i>padronizações que assegurem segurança e economia</i> |
| Anexo XV | - | Serviços de informações aeronáuticas
<i>padronizações que assegurem procedimentos eficazes e econômicos</i> |
| Anexo XVI | - | Proteção Ambiental – <i>Environmental Protection</i>
<i>padronizações que assegurem procedimentos eficazes e econômicos</i> |
| Anexo XVII | - | Segurança – <i>Safety</i>
<i>padronizações que assegurem procedimentos eficazes e econômicos</i> |
| Anexo XVIII | - | Materiais perigosos – <i>Dangerous Good</i>
<i>o que pode, e como pode, ser transportado internacionalmente, de forma segura</i> |
| Anexo XIX | - | Gerenciamento de segurança – <i>Safety Management</i>
<i>o que pode, e como pode, ser transportado internacionalmente, de forma segura</i> |

As decisões sobre os aspectos técnicos podem ser unânimes ou não. Se unânimes, tais decisões são colocadas sob a forma de **padrões (standards)** nos anexos; caso contrário, são colocadas como **procedimentos recomendados (recommended procedures)**. Assim, toda a regulamentação técnica constante dos anexos da OACI/ICAO existe na forma de **padrões e recomendações – SARPS (standards and recommended procedures)**, os primeiros tendo força de lei nos países-membro (a não ser que formalmente explicitadas em contrário pelos governos deste países).

Ver www.icao.int .

5. A determinação do comprimento de pista

A pista de um aeroporto representou, no passado, seu principal, não apenas em termos de dimensão, mas também de custo. A pista era o elemento que mais demandava atenção, seja na determinação de seu comprimento e de sua espessura, seja em sua orientação magnética - de forma a levar em consideração os ventos existentes em um dado local -, seja na determinação de suas demais características, como seus greides e áreas de segurança. De fato, nas duas décadas que se seguiram ao final da II Guerra Mundial, o planejamento e o projeto aeroportuários foi conduzido, em grande parte, por engenheiros oriundos de projeto de estradas.

Na medida que o transporte aéreo deixou de ser elitista, tornando-se quase um transporte de massa para distâncias médias e grandes (o que ocorre, por exemplo, nos Estados Unidos), os aeroportos modificaram-se de forma a atender a uma demanda com características distintas da anterior. De fato, ampliou-se a capacidade no espaço aéreo, permitindo um maior fluxo de aviões, o que implicou, por sua vez, em um maior aproveitamento das pistas medido em movimentos por hora. Assim foi necessário ampliar o terminal de passageiros, que passou a ter um papel mais importante entre os diversos subsistemas de um aeroporto.

No entanto, em termos de custo e de dimensionamento de um aeroporto, ainda que a pista tenha deixado de ser o elemento principal, passando a dividir este papel com outros subsistemas, ela ainda é um elemento importante. Há aeroportos em que a extensão da pista pode custar muito caro, como é o caso do aeroporto do Funchal (ilha da Madeira, Portugal), ou de outros aeroportos em que a pista deve ser estendida sobre o mar, a custos muito elevados. Assim, a determinação do comprimento de pista exige um rigor para que, uma vez atendidos os requisitos de segurança, possa-se ter um custo baixo. Ou seja, como em tantos outros aspectos de dimensionamento de transportes, e de aviação em particular, seja feito um equilíbrio entre segurança e economia, sempre priorizando a primeira.

Em termos gerais, o comprimento de pista de um aeroporto é função de:

- características dos aviões que lá irão operar, sejam eles já existentes ou em projeto;
- aspectos meteorológicos e de *greide* da pista, que serão denominados, em termos gerais, de aspectos ambientais (ambiente meteorológico e físico);

- peso deste aviões, uma vez que, quanto mais pesados (mais passageiros e carga e mais longa e etapa que voarão, ou seja, quanto mais combustível), maior será a pista necessária;
- aspectos de segurança, que sempre farão com que sejam consideradas margens que aumentem a segurança das operações de aterragem e de decolagem.

Características aerodinâmicas dos aviões

Uma das características mais importantes de um avião é a que se refere à sua asa, ou, mais especificamente, ao perfil de sua asa. Aviões projetados para vôos longos têm perfis de asa delgados, que permitem vôos velozes e com baixo consumo de combustível, mas que também exigem pistas maiores, uma vez que seu coeficiente de sustentação é baixo. Por outro lado, aviões que demandam pequenos comprimentos de pista para operar não voam em altas velocidades e/ou não podem voar etapas muito longas. Ou seja, em função da missão para a qual cada avião foi projetado, ele tem seus requisitos específicos de necessidade de pista, sumarizados acima.

Quando se planeja um aeroporto, deve-se selecionar um avião para dimensionamento de pista, lembrando sempre que pode haver um outro avião crítico para dimensionamento de posições de estacionamento, um outro para dimensionamento de espessura de pavimento, etc. Esta escolha deve ser feita, obviamente, entre os aviões que operarão neste aeroporto, mas também considerando sua frequência de uso, e, de uma forma não tão facilmente quantificável, a importância de certo tipo de avião para aquele aeroporto.

Aspectos ambientais na determinação do comprimento de pista

Consideram-se aspectos ambientais não apenas os meteorológicos, mas também os relativos à altitude da pista (que afeta a densidade do ar) e ao *greide* da pista.

Assim, um avião com um dado peso de decolagem – ou de aterragem – necessita de um maior comprimento de pista para esta operação se a **densidade do ar** diminuir, ou seja, se a **temperatura** aumentar e/ou se a pressão barométrica cair (ou seja, se a **altitude da pista** aumentar).

Aviões sempre operam com **vento** de proa. Isto por razões de segurança, uma vez que um vento de proa fará com que a pista necessária para que o avião saia do chão seja menor do que se o vento for nulo. De forma inversa, será necessária uma pista maior se o vento for de cauda (em relação a, por exemplo, um vento nulo). Em termos de planejamento, considera-se a posição conservativa de vento nulo.

Da mesma forma, se o **greide** da pista aumentar (ou seja, se a pista, ao invés de ser totalmente horizontal, for uma pista ascendente). O raciocínio inverso aplica-se as condições apontadas forem invertidas.

Como referência, pode-se considerar os seguintes valores:

- para cada aumento (redução) de 1° C, aumenta-se (reduz-se) o comprimento da pista de 1%;

- para cada 300 m de aumento (redução) de altitude de pista, aumenta-se (reduz-se) o comprimento da pista de 7%;
- para cada variação de 1% de greide, varia-se o comprimento da pista de 10%;

Por outro lado, para um dado comprimento de pista, uma redução de densidade do ar (causada por aumento de temperatura e/ou um aumento de altitude) implicam um peso de decolagem menor, o mesmo ocorrendo se aumentarmos o *greide* da pista. Esta dupla abordagem – para um dado peso um dado avião necessita de um determinado comprimento de pista, ou em uma dada pista um avião só poderá decolar com um determinado peso – identifica, respectivamente, o planeamento aeroportuário ou a operação de um avião em um aeroporto.

Pesos característicos de um avião

Os aviões têm pesos característicos, que são:

- **peso básico operacional** = avião vazio + tripulantes + bagagem dos tripulantes + comissaria (tudo o que é colocado a bordo para servir e atender os passageiros, i.e., comidas, bebidas, jornais, vídeos, papel higiênico, sabonetes, *kits*, etc.)
- **carga paga** = passageiros + bagagens + carga propriamente dita
- **peso zero combustível** = peso básico operacional + carga paga
- **combustível total** = combustível da etapa + reservas (10% do combustível da etapa + combustível para alternativa + combustível de espera sobre a alternativa)
- **peso de decolagem** = peso zero combustível + combustível total
- **peso de aterragem** = peso de decolagem – combustível gasto

Estes pesos têm **limites**, que podem ser **estruturais** (de projeto, definidos pelo fabricante e homologados pelas autoridades certificadoras) ou **operacionais** (que resultam de situações operacionais reais, como o comprimento e o *greide* da pista a ser usada, e de certas características ambientais, como a direção e a intensidade dos ventos, a temperatura e a pressão atmosféricas).

Os limites operacionais são o peso máximo de decolagem (PMD) e o peso máximo de aterragem (PMA), e os estruturais são os pesos máximos estruturais de decolagem (PMED) e de aterragem (PMEA), e o peso máximo zero combustível (PMZC).

PD =< PMD =< PMED

PA =< PMA =< PME A

PZC =< PMZC

O peso básico operacional (PBO) é considerado fixo, mas, na realidade, depende da **configuração do avião**. Ou seja, depende do **número e do tipo (classes) de assentos** que a empresa coloque no avião, da **quantidade de galleys** (“cozinhas”, ou o local onde são armazenadas, aquecidas ou esfriadas as comidas/bebidas a serem servidas) e do **número de lavatórios/banheiros**. O peso básico operacional (PBO) depende também das **características do serviço de bordo** (quantidade e tipo de refeições, tipos e quantidades de bebidas, quantidade de material de entretenimento a ser distribuído e/ou usado a bordo), e da quantidade de tripulantes. A **quantidade de tripulantes técnicos (pilotos) e comerciais (comissários)** depende da duração do voo (vãos mais longos podem exigir mais tripulantes, de forma a que alguns possam descansar durante o próprio voo), e/ou do próprio serviço de bordo, uma vez que mais tripulantes comerciais (comissários) podem melhorar o serviço oferecido. Mas, uma vez escolhido a configuração interna de um dado tipo de avião, e o tipo de serviço, pode-se considerar que o PBO é constante durante a operação do avião.

Notar que, para um dado peso básico operacional, o peso máximo de carga paga é obtido com base no peso máximo zero combustível. Ou seja,

$$\begin{aligned} \text{se } PBO + CP &= PZC, & \text{e se } PBO &= \text{constante,} \\ \rightarrow \text{ então } CP_{\text{max}} &\text{ ocorre quando } PZC &= PMZC \end{aligned}$$

Ou seja, **o PMZC limita a carga paga máxima**.

Gráfico de carga paga x alcance

O comprimento de pista que um avião necessita para decolar ou aterrizar, ou seja, para operar, depende de seu peso no início daquela operação. E este peso – de decolagem ou de aterragem, cujos limites foram indicados acima – é função não apenas do tipo de avião, mas de seus pesos de carga paga e de combustível, uma vez que o peso básico operacional pode ser considerado fixo, como já visto. Quanto mais passageiros e carga colocar-se em um avião, mais será seu peso de decolagem (e de aterragem), e também quanto mais longa for a viagem – ou seja, a etapa – a voar, maior será a quantidade de combustível, e, conseqüentemente, maior seu peso de decolagem.

Para obter o peso de decolagem de um avião, em termos de planejamento, usa-se seu **gráfico de carga paga x alcance**. Este tipo de gráfico normalmente está disponível para aviões comerciais, em um manual denominado “Airplane Characteristics – Airport Planning”. Notar que a determinação precisa, em operações reais, do comprimento de pista – ou, para dada uma pista em determinadas condições ambientais, do peso máximo de decolagem – para um dado avião é feita com o Manual de Voo (“Flight Manual”), aprovado pelas autoridade competente quando da homologação deste avião.

Este gráfico é obtido da seguinte forma, considerando-se os pesos no início da etapa, ou seja, no início da decolagem:

Ponto 1 – avião parado no início da pista com seu peso básico de decolagem + carga paga máxima, e sem combustível → o alcance é nulo, e a carga paga, a máxima.

Trecho A – avião recebe cada vez mais combustível, aumentando seu peso de decolagem, e aumentando, progressivamente, seu alcance; a carga paga permanece a máxima, limitada pelo peso máximo zero combustível.

Ponto 2 – peso total do avião atinge o peso máximo estrutural de decolagem, estando a carga paga, neste ponto, também limitada pelo peso máximo zero combustível.

Trecho B – avião aumenta seu alcance pelo aumento do peso de combustível a bordo, o que ocorre através da troca de peso de carga paga pelo de combustível, uma vez que, ao longo deste trecho, o peso do avião está limitado pelo peso máximo estrutural de decolagem; ou seja, o peso de decolagem é igual ao seu peso máximo estrutural, e constante ao longo do trecho.

Ponto 3 – avião atinge a capacidade máxima de combustível em seus tanques, ao mesmo tempo em que o seu peso é igual ao peso máximo estrutural de decolagem.

Trecho C – ao longo deste trecho, reduz-se a carga paga, fazendo com que o avião, mais leve, possa voar mais longe apenas pela redução total de seu peso (menor peso → menor arrasto → menor potência → menor consumo → maior alcance); neste trecho, o peso de decolagem é progressivamente reduzido pela redução de carga paga.

Ponto 4 – representa o alcance máximo do avião, com carga paga nula; é o chamado “ferry range”, a distância máxima que o avião pode voar.

Se houver pista suficiente, o avião poderá decolar com seu peso máximo estrutural de decolagem. No entanto, se houver uma limitação de pista e/ou de condições ambientais que implique que o peso máximo de decolagem seja inferior ao seu máximo estrutural, ao atingir este ponto intermediário no trecho A (ponto x), haverá um novo limite máximo de peso de decolagem, que fará com que o gráfico de carga paga x alcance tenha um novo trecho B₁, praticamente paralelo ao trecho B. O resultado é que, em função de eventuais limitações de pesos de decolagem inferiores ao peso máximo estrutural de decolagem, surgem trechos B₂, B₃, B₄, ..., que são “curvas de iso-PD”.

Assim, o gráfico de carga paga x alcance relaciona não apenas estas duas variáveis, mas também o **peso de decolagem**, que representa a **terceira dimensão deste gráfico**. E esta terceira dimensão é importante, pois é a partir de um peso de decolagem, obtido de um par (carga paga, alcance) que obtém o comprimento de pista necessário para que o avião decole com aquele peso de decolagem. Este gráfico complementar relaciona comprimento de pista e peso de decolagem, tendo como variável, por exemplo, a altitude da pista.

A obtenção do comprimento de pista necessário exige o uso de dois gráficos: carga paga x alcance (que permite obter o peso de decolagem) e peso de decolagem x pista necessária (em função da altitude da pista). No entanto, se definirmos uma carga paga padrão (fixa), o comprimento de pista necessário passa a ser função apenas da etapa a ser voada. Esta carga paga padrão pode ser escolhida entre várias: máxima estrutural, máxima volumétrica, só passageiros e suas bagagens, etc.

Em resumo, o gráfico de carga paga x alcance:

- tem uma **forma** característica (três segmentos de reta)
- tem três **limitantes** (além das de carga paga e alcance nulos, é claro!):
 - trecho (superior) limitado pelo peso máximo zero combustível, que equivale à carga paga máxima
 - trecho (médio) limitado pelo peso máximo estrutural de decolagem
 - trecho (inferior) limitado pelo combustível máximo
- suas **características básicas** são suas retas/curvas de peso de decolagem constante
- relaciona **tres variáveis** (dimensões): carga paga, alcance e peso de decolagem, sendo que o peso de decolagem representa a terceira dimensão deste gráfico
- sua terceira dimensão permite **determinar o peso de decolagem** necessário para voar um determinada etapa (alcance) – com uma determinada carga paga
- com o peso de decolagem, obtém-se, a partir de um **outro gráfico (forma)** que relaciona peso de decolagem x comprimento de pista, a pista necessária

Aspectos de segurança na determinação do comprimento de pista

Se o comprimento de pista que um avião requer para aterrar for exatamente aquele necessário para um piloto de prova operar, certamente o coeficiente de segurança usado, neste caso, é nulo. Assim, há sempre que se considerar comprimentos adicionais de pista além dos mínimos obtidos em testes. Para tanto, consideram-se quatro situações:

- **decolagem normal**, que ocorre quando todos os motores de um avião funcionam normalmente em sua decolagem;
- **decolagem em pane**, que ocorre quando, a partir de um certo ponto após o início da decolagem, um dos motores do avião deixa de funcionar, mas ele mesmo assim continua sua aceleração para decolar (diz-se que "ele perdeu um motor");
- **decolagem abortada**, quando a partir de um certo ponto após o início da decolagem, um dos motores do avião deixa de funcionar, e ele interrompe sua decolagem e freia;
- aterragem
-

Em toda decolagem, há uma velocidade crítica ou de decisão, denominada V_1 , que é a máxima velocidade com que o avião pode abortar (interromper) sua decolagem e ainda assim parar sem acidentes, ou é a mínima velocidade com que ele pode decidir continuar a decolagem se, naquele instante, ele perde um motor. Ou seja, a V_1 – que corresponde ao "certo ponto" mencionado no parágrafo acima – é a velocidade abaixo da qual a perda de um motor implica necessariamente abortar a decolagem, e acima da qual a perda de um motor implica obrigatoriamente continuar a decolagem.

Na **decolagem normal**, considera-se que o avião sai da pista em um ponto distante D_{ss} (distância de saída do solo) do início de sua decolagem, e que ele atinge uma altura pré-determinada (no caso, 35' ou cerca de 10 m), a uma distância D_{35} do início da decolagem.

A cada um destas duas distâncias acrescenta-se 15% com margem de segurança, e considera-se uma segunda margem de segurança, que é considerar que a pista necessária corresponde a $1,15 D_{ss}$ acrescida de $(1,15 D_{35} - 1,15 D_{ss})/2$. Chamemos este comprimento de **A**.

No caso de **decolagem em pane**, o avião acelera com todos seus motores até a V_1 , e, a partir daí continua sua decolagem, mas acelerando com um motor a menos. As distâncias consideradas são essencialmente as mesmas (não em valor, uma vez que a distância de saída do solo agora será maior do que a anterior, em face da menor aceleração), só que agora não se considera a margem de 15%; o comprimento resultante é **B**. No entanto, a segunda margem de segurança está no fato de que a pista necessária para decolagem – normal ou em pane – é sempre:

$$\max (\mathbf{A}, \mathbf{B})$$

Ou seja, considera-se que, em toda e qualquer decolagem, há 100% de probabilidade de haver uma pane. Como isto é algo muito raro de ocorrer, a segunda margem de segurança é o fato de que sempre se considera que ele vai acontecer.

No caso de **decolagem abortada**, é como se fora decolagem em pane, só que, ao invés do avião continuar a decolagem, ela a aborta. Ou seja, ele acelera até a V_1 e freia a partir dela.

Na **aterragem**, considera-se que o avião sobrevoa a cabeceira (início da) pista a 50' de altura, toca no chão e freia até parar. À distância assim obtida acrescenta-se apenas um margem de segurança, mas ela é grande: **67%**. No caso de pista molhada, acrescenta-se 15% ao valor anteriormente obtido.

Comprimentos característicos de pista (ICAO, Anexo 14)

Uma vez determinado o comprimento de uma pista, há a necessidade de serem estabelecidos os quatro comprimentos característicos de pista, definidos pela ICAO/OACI em seu Anexo 14. São eles:

TORA (*take off run available*): pista propriamente dita

TODA (*take off distance available*): TORA + *clearway*

ASDA (*accelerate-stop distance available*): TORA + *stopway*

LDA (*landing distance available*): TORA – cabeceira deslocada

clearway: área livre de obstáculos após a pista, usada para ganhar altura imediatamente após a decolagem (pode ser água, como no Santos Dumont, apenas um espaço livre, como em Congonhas, ou mesmo uma área descampada, como em Guarulhos)

stopway: área após a pista para eventual frenagem de aviões que abortem a decolagem; tem que permitir a rolagem de um avião, mas como isto é raro, pode ser um pavimento menos resistente (e mais barato) do que o de uma pista

cabeceira deslocada: deslocamento do início da pista para aterragens em relação ao para decolagens, permitindo (a) aproximações mais altas, por causa de obstáculos ou (b) que aviões aterrando tenham uma área de sobrevôo imediatamente antes da pista com melhores condições aerológicas (menos vento e turbulências)

6. Controle de Tráfego Aéreo

O controle de tráfego aéreo é visto, aqui, apenas do ponto de vista de como ele afeta a capacidade do sistema de pista(s) de um aeroporto.

O controle de tráfego, seja ele aéreo ou rodoviário, tem o objetivo de, em primeiro lugar, garantir um nível mínimo de segurança do sistema de transporte, e, em segundo lugar, e, portanto, respeitando este nível mínimo de segurança, maximizar o fluxo de veículos. De fato, quando observamos o fluxo de veículos em uma via, verifica-se que as condições de segurança aumentam com a redução de velocidade dos veículos e com o aumento da separação entre eles. Por outro lado, estas mesmas condições implicam uma redução do fluxo de veículos nesta via. Ou seja, segurança e fluxo representam objetivos contraditórios: quanto maior as condições de segurança, menor o fluxo, e vice-versa.

No caso de rodovias, estabelece-se um padrão mínimo de segurança representado, em termos objetivos, por uma velocidade máxima de circulação, deixando-se a separação entre veículos como fator subjetivo de segurança, a ser determinado pelo motorista. Há, em algumas rodovias (e.g., Airton Sena), indicações de qual é a separação recomendada entre veículos (círculos pintados na via de circulação, e separados por uma certa distância). No entanto, esta separação provavelmente que a distância apontada está associada à velocidade máxima de circulação (120 km/h na rodovia mencionada).

Rodovias podem, para efeitos gerais e dentro deste contexto de análise de segurança, ser consideradas como uma reta, e, portanto, unidimensionais. Além disto, em caso de visibilidade reduzida, simplesmente reduz-se a velocidade para valores subjetivamente considerados seguros, como ocorre com a separação entre veículos. No transporte aéreo, no entanto, há mais de uma dimensão a ser considerada, assim como o problema de visibilidade é distinto do rodoviário.

Em condições normais de visibilidade

De fato, aviões têm limites mínimos de velocidade de voo, abaixo dos quais simplesmente não voam: perdem a sustentação (“estolam”, no jargão), deixando de voar.

Regras de tráfego aéreo que afetam a capacidade de pistas

- Duas aeronaves não podem ocupar uma pista simultaneamente

Quanto maior o tempo de ocupação de pista, menor a capacidade. Isto explica a maior capacidade de pistas que tenham acessos à ela em suas extremidades (para aviões decolando), e várias saídas de pista para serem usadas por aviões aterrando, incluindo saídas rápidas, uma vez que tais recursos permitem um menor tempo de ocupação de pista.

- Aterragens têm prioridade sobre decolagens
Como aterragens normalmente ocupam uma pista por mais tempo que decolagens, a capacidade de uma única pista tende a reduzir-se quando aumenta a quantidade de aterragens em relação à de decolagens.

- Separação mínima de aeronaves no ar

Quanto maior a distância entre aeronaves no ar, menor a capacidade, uma vez que o tempo médio entre movimentos aumenta.

Superfícies de limitação de obstáculos – ICAO

A maior incidência de acidentes com aviões ocorre nas proximidades de aeroportos, ou nos próprios aeroportos (na realidade, em suas pistas). Isto ocorre porque, nestas áreas, os aviões estão em velocidades reduzidas, e, portanto, mais próximos da velocidade de perda, em que eles deixam de voar (ou velocidade de estol), o que implica maiores probabilidades de acidentes. Além disto, obviamente, os aviões estão mais próximos do solo.

Como ainda nas proximidades de aeroportos – e, portanto, do solo – os aviões fazem manobras, tanto as de aproximação para aterragem ou como as de início de subida após a decolagem, deve-se evitar a existência de obstáculos físicos nestas áreas que possam afetar, ou mesmo comprometer, a segurança dos aviões nestas manobras. Além disto, pode haver alterações não previstas nas manobras dos aviões decorrentes de acidentes, como, por exemplo, sair da pista na aterragem ou realizar um decolagem em pane.

No que se refere a obstáculos, a proteção das áreas próximas a um aeroporto é feita através de superfícies imaginárias, referenciadas em relação à(s) pista(s) deste aeroporto. Assim, se estas superfícies forem “perfuradas” por obstáculos, a operação de aeronaves neste aeroporto pode ser afetada.

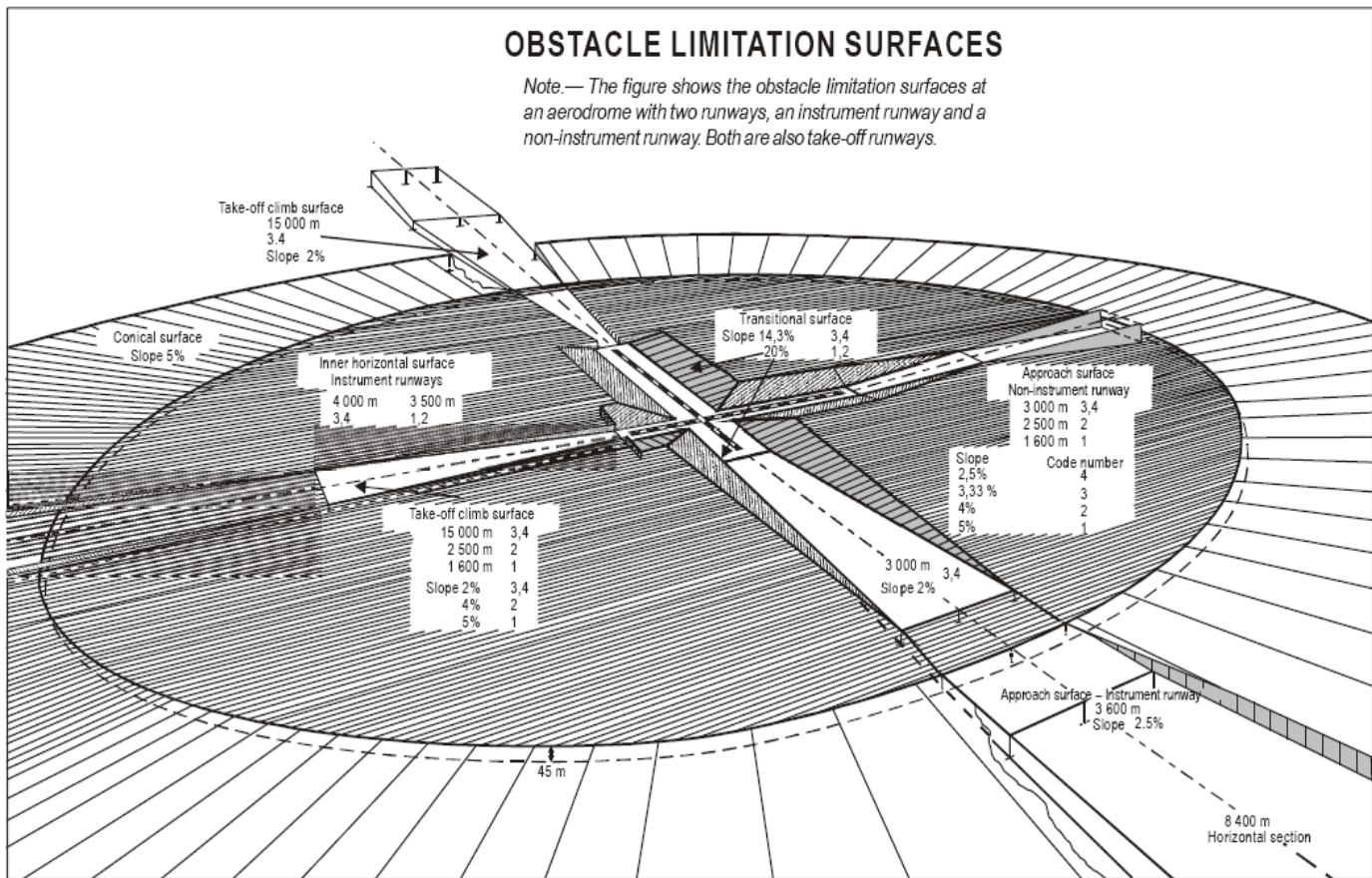
A OACI/ICAO dedica o capítulo 4 do volume I (Operações e Projeto de Aeródromos) de seu Anexo 14 (Aeródromos) à restrição e remoção de obstáculos. Na introdução deste capítulo (nota 1) lê-se que “os objetivos das especificações deste capítulo são **definir que o espaço aéreo à volta de aeródromos deve ser mantido livre de obstáculos** de forma a permitir que as operações esperadas, e também as decorrentes de incidentes, dos aviões nos aeródromos sejam seguras, e de forma a **prevenir que os aeródromos tornem-se não utilizáveis pelo crescimento de obstáculos à sua volta**. Isto se obtém estabelecendo uma série de superfícies de limitação de obstáculos, que definem os limites até o qual objetos podem chegar dentro do espaço aéreo”.

Assim, são dois os objetivos das superfícies de limitações de obstáculos, no sentido de identificar obstáculos que possam comprometer a segurança das operações aéreas:

- identificar, quando da localização de um novo aeroporto, obstáculos existentes
- não permitir, no caso de aeroportos já existentes, que surjam novos obstáculos

O Anexo 14 estabelece as seguintes superfícies de limitação de obstáculos – SLO (em inglês, *obstacle limitation surfaces*), sendo as mais importantes as que estão em negrito, e que estão descritas a seguir:

- **faixa de pista**
- **superfície de subida após decolagem.**
- **superfície de aproximação**
- superfície interna de aproximação
- **superfície de transição,**
- superfície interna de transição,
- superfície *balked landing*,
- **superfície horizontal interna**
- superfície cônica,
- superfície horizontal externa,



Faixa de pista

A faixa de pista não é caracterizada como uma superfície de limitação de obstáculo pela OACI, talvez pelo fato de ser a única que é real (não imaginária). No entanto, ela representa, efetivamente, uma área onde não pode haver obstáculos, e, mais ainda, é a partir dela que estão referenciadas várias superfícies de limitação de obstáculos.

A faixa de pista, que inclui a pista e eventuais *stopways*, tem por fim:

- reduzir o risco de danos a aviões que saiam da pista,
- proteger aviões que a sobrevoem, em operações de aterragem ou decolagem, o que ocorre lateralmente à pista, se os aviões perdem a proa nestas operações.

Seu comprimento estende-se até 60 m além do final da cada extremidade da pista (ou de seu stopway), e sua largura é de até 300 m para pistas com ILS, ou de até 150 m para pistas de operação exclusivamente visual (sem nenhum tipo de auxílio rádio para aterragem).

Superfície de aproximação

Protege, contra obstáculos, aviões que estejam em aproximação final para aterragem.

É representada por uma rampa com cerca de 2% de inclinação (greide), de forma trapezoidal, cuja base menor é representada pela faixa de pista, e com um comprimento de cerca de 12 km.

Superfície de subida após a decolagem

Protege, contra obstáculos, aviões que acabaram de decolar, e que estão nos procedimentos de início de subida.

É representada por uma rampa com cerca de 2% de inclinação (greide), de forma trapezoidal, cuja base menor é representada pela faixa de pista, e com um comprimento de cerca de 12 km.

Superfície de transição ou lateral

Protege, contra obstáculos, aviões que perderam a proa ao decolar.

Esta superfície une a parte lateral da faixa de pista à superfície horizontal interna (cota de 45 m sobre a pista), com uma inclinação de 14,3% (1:7).

Superfície horizontal interna

Protege, contra obstáculos, aviões no circuito de tráfego, que representa as manobras que aviões, em operações visuais, executam em aproximação para aterragem, ou após a decolagem.

É representada por um círculo de 4km de raio, a 45 m de altura sobre a pista.

O circuito de tráfego é uma manobra para aviões em operação visual (em VFR). Portanto, a superfície horizontal interna, pode ser parcialmente perfurada por obstáculos; no entanto, se ela for significativamente perfurada (caso de aeroportos em encostas, em que

todo um hemisfério do aeroporto possui obstáculos), este aeroporto não poderá ter operações em IFR, mas apenas em VFR (visuais)