

## **SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM: ESTUDO DE CASO DA CAMADA POROSA DE ATRITO NO AEROPORTO DE CONGONHAS**

Kaique Ribeiro Cavalcante<sup>1</sup>  
Tiago Antonio Bádue<sup>1</sup>  
Cristina das Graças Fassina<sup>2</sup>  
Universidade São Francisco  
[tbadue@gmail.com](mailto:tbadue@gmail.com)

<sup>1</sup>Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>2</sup>Professora Orientadora, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

**Resumo.** A correta pavimentação e drenagem das águas pluviais em pistas de pouso e decolagem representam importantes elementos de segurança para evitar a derrapagem de aeronaves (hidroplanagem ou aquaplanagem) e prevenindo acidentes. Com base em relatórios de investigação de acidentes aeronáuticos envolvendo aviões em aeroportos brasileiros, como Congonhas, destacou-se a necessidade de recuperação e desenvolvimento do pavimento das pistas e dos sistemas de drenagem. Fatores como ausência de sulcos, textura da estrada, textura geral e coeficiente de atrito são fundamentais para a segurança de pousos e decolagens, bem como a importância de se observar as regras da aviação e a responsabilidade dos operadores aeroportuários na manutenção da infraestrutura das pistas. Além disso, o uso de revestimentos permeáveis, como o Concreto Asfáltico Poroso (CPA), é uma solução promissora para melhorar a drenagem e reduzir o risco de aquaplanagem nas pistas dos aeroportos. Buscou-se realizar também uma análise da capacidade de drenagem da pavimentação do Aeroporto de Congonhas, que integra ao sistema de drenagem a utilização da Camada Porosa de Atrito.

**Palavras-chave:** asfalto poroso, drenagem, hidroplanagem, pavimentação aeroportuária.

### **Introdução**

Pavimentação aeroportuária e pneus aeronáuticos são dois itens de grande importância dentro da prevenção contra a ocorrência de derrapagem em pista, sendo necessário o contato adequado entre eles para um bom controle direcional e frenagem. Assim, se torna cada vez mais importante o desenvolvimento de novas tecnologias de rodagem à medida que a velocidade operacional das aeronaves e a capacidade de carga, também evoluem. Uma das principais funções que um bom concreto asfáltico deve possuir é a capacidade de drenagem, colaborando de maneira eficaz a expulsar o líquido contaminante, no caso as águas pluviais, de maneira garantir a secagem da superfície o mais rapidamente possível, permitindo uma frenagem segura.

Ao longo do tempo tem se buscado conciliar um sistema cada vez mais abrangente de drenagem para pistas aeroportuárias que vise combinar várias tecnologias entre os elementos envolvidos, como pavimentos permeáveis, drenagem capilar e drenagem a vácuo. Isso visa garantir a segurança de pilotos e tripulantes, prevenindo acidentes por aquaplanagem ao contato do trem de pouso da aeronave com a pavimentação.

A sociedade como um todo tende a ser beneficiada, já que sistemas assim têm como fim a segurança, indo além da utilização em pistas de pousos e decolagens, atingindo também vias de rodagem rodoviária, minimizando riscos relacionados à aquaplanagem. A responsabilidade

pela implementação e manutenção contínua é constantemente compartilhada entre equipes de engenharia comprometidas com a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais.

O sistema de drenagem é implementado em pistas aeroportuárias regionais e nacionais que enfrentam chuvas intensas. A escolha de locais estratégicos visa a otimização dos benefícios e a eficácia do sistema, contribuindo para a segurança das operações de aviação.

### *Objetivo*

Assim, este trabalho buscou conduzir pesquisas sobre drenagem superficial, sistemas de pavimentação, e a coleta das água escoadas, tomando por objetivo analisar a capacidade de drenagem da atual pavimentação do Aeroporto de Congonhas, que implementou recentemente nova tecnologia de pavimentação conhecida como Camada Porosa de Atrito.

A pesquisa é crucial para colaborar com a confirmação da segurança esperada diante destas novas técnicas de drenagem, favorecendo diretamente tripulantes e operadores da indústria aeronáutica, reduzindo significativamente os riscos associados à aquaplanagem (ou hidroplanagem) durante as operações aéreas. Além disso, o projeto está em conformidade com as normas e diretrizes da aviação, estabelecidas pelas autoridades competentes.

O sistema de drenagem pesquisado abrange uma série de técnicas, incluindo a instalação de calhas que coletam a água da chuva e a direcionam para fora do aeroporto. A combinação de pavimentos permeáveis e drenantes, com canais de coleta devidamente dimensionados, visam a garantia de um sistema eficiente de gerenciamento de águas pluviais.

### *Histórico de acidentes com hidroplanagem como fator contribuinte*

De acordo com o relatório do CENIPA (2008) o acidente ocorrido em 16 de julho de 2007 com a aeronave PT-MFK, modelo ATR-42-300, operada pela Pantanal Linhas Aéreas S/A, teve como fator contribuinte a hidroplanagem causada pela formação de lâmina d'água na pista 17R/35L do Aeroporto de Congonhas (SBSP) na cidade de São Paulo - SP.

Ao aproximar para pouso no referido aeroporto as condições meteorológicas apontavam chuva leve, mas tendo a tripulação sido comunicada pelo controle local a realizar o procedimento de espera enquanto estava sendo efetuada a avaliação de lâmina d'água sobre a pista. Autorizado o pouso, após o toque a aeronave hidroplanou e saiu da pista. Não houve vítimas, apenas danos substanciais ao avião ao colidir com uma caixa de inspeção na lateral da pista.

À época do acidente, a pista deste aeroporto já era alvo de muita discussão a respeito da segurança operacional contra acidentes envolvendo a ocorrência de hidroplanagem. Vários problemas eram apontados por profissionais que ali operavam, inclusive sobre a falta de *groovings*, ranhuras que auxiliam no escoamento da água e evitam sua estagnação sobre a pista. Dessa forma, eram empregadas medidas paliativas que tentavam colaborar ineficazmente com a segurança. O próprio relatório reconhece que “na verdade, a medição da lâmina d'água, mais do que efetivamente garantir um nível aceitável de segurança, servia para atestar que não havia segurança aceitável” (CENIPA, 2008, p. 44).

O relatório atentou também para a diferenciação da ocorrência de três tipos de hidroplanagem. Uma delas é a dinâmica total em que “ocorre quando os pneus do avião se deslocam sobre um filme ou camada de água, em vez de se deslocarem em contacto físico direto com a superfície da pista.” (CENIPA, 2008, p. 31). Outra ocorrência é a hidroplanagem viscosa que “ocorre quando a superfície da pista é muito lisa e se encontra lubrificada pela umidade” (CENIPA, 2008, p. 32). Já a terceira possibilidade é a de destruição da borracha:

A hidroplanagem com destruição da borracha dos pneus é uma derivação da hidroplanagem viscosa e ocorre quando a fricção entre um pneu que entrou em deslizamento (bloqueado) e a superfície da pista gera calor suficiente para transformar a umidade em vapor d'água. O vapor provoca o derretimento da borracha, produzindo pressão sob o pneu e separando-o parcialmente da superfície da pista. (*ibid.*)

Dentre outros acidentes apontados, destacou-se o ocorrido em 22 de março do ano anterior com o Boeing 737-400 da BRA Linhas Aéreas S/A causado por hidroplanagem, derrapando sobre a pista e parando próximo a uma ribanceira, mas que felizmente não gerou vítimas. Mesmo em um aeroporto com o grau de importância e movimento, como o de Congonhas, por anos as condições operacionais de pavimentação e drenagem da pista foram negligenciadas, culminando em acidentes de destaque nacional.

No dia seguinte ao acidente com a aeronave operada pela Pantanal, outro acidente na mesma pista chocou o mundo. O JJ3054 da TAM.

Conforme aponta o CENIPA (2009), no dia 17 de julho de 2007 a aeronave da TAM Linhas Aéreas S/A se acidentou no aeroporto de Congonhas, São Paulo – SP, durante o pouso ao derrapar e sofrer uma excursão da pista, atingindo um edifício comercial e ceifando a vida de 199 pessoas, das quais 12 delas passavam ou trabalhavam no local atingido.

O icônico acidente que figurou em jornais do mundo chamou a atenção para as condições meteorológicas e da pavimentação da pista em função do acidente com efeitos parecidos ocorrido no dia anterior e pelo histórico já alarmante.

O relatório final aponta que esse histórico da operação na localidade com chuva já apresentou um fator importante na investigação por ter gerado na tripulação do voo um cenário de ansiedade e preocupação com a ocorrência de hidroplanagem. Embora os gravadores de dados da aeronave não indiquem evidências de derrapagem sobre a pista, além do desvio de consciência situacional causado na tripulação, a condição precária de drenagem na pista, bem como a falta de *grooving*, contribuíram para que, entre outros aspectos operacionais, a desaceleração da aeronave tivesse sido prejudicada consumando no acidente.

Outro fato levantado foi de que a pista principal havia acabado de passar por uma obra de recapeamento e dessa forma teria de aguardar a cura do asfalto para receber a marcação do *grooving*. Também não se encontrou evidências de que a mesma havia sido liberada formalmente pela ANAC a operar.

A falta de organização operacional diante da pressão pela utilização da pista principal do aeroporto mais movimentado do país, levou o administrador aeroportuário a assumir o risco de liberar a operação desta, mesmo com a pavimentação inacabada e sem autorização da autoridade competente, gerando apreensão por parte dos pilotos e, conseqüentemente, acidentes e até mesmo culminando em vítimas fatais.

Controvérsias e discussões geraram muitas polêmicas no período das investigações a respeito da responsabilidade do operador, mas conforme constatado “de qualquer maneira, ainda que se considere aquele entendimento como tecnicamente correto, parece que ele foge do espírito da instrução, que nitidamente quer tratar de mudanças que tenham impacto na operação das aeronaves. (CENIPA, 2009, p. 91)”.

No entanto não só o Aeroporto de Congonhas foi cenário de ocorrência de hidroplanagem, mas em outras localidades também, conforme aponta o relatório do CENIPA (2013) resultado da investigação acerca da ocorrência com a aeronave PR-PSK, modelo EMB 145, operada pela Passaredo Linhas Aéreas, no aeroporto de Uberlândia – MG, no dia 15 de novembro de 2011, tendo sido classificado como Incidente grave, em que não houve vítimas nem danos substanciais à aeronave ou facilidades.

A ocorrência de um pouso longo efetuado pela aeronave ao derrapar sob condições evidenciadas por hidroplanagem, geraram uma excursão de pista por excesso de altura e

velocidade no pouso somado à presença de lâmina d'água no pavimento em função das condições meteorológicas no momento em questão.

Os estudos de perícia na investigação, encontraram marcas nos pneus características de hidroplanagem vapor, o que, somado a uma hidroplanagem dinâmica concomitante, contribuíram para que a distância necessária para a parada total da aeronave fosse de 2630 metros, diante dos 1950 metros totais disponíveis no aeroporto de Uberlândia.

Embora outros fatores envolvidos, como excesso na velocidade de aproximação, a falta de auxílio visual luminoso de rampa, deficiência de coordenação de cabine, entre outros, tenham contribuído para a ocorrência, o fator pista molhada agravou a situação. Considerou-se que o pouso deveria ter sido planejado considerando uma lâmina d'água de 4 milímetros, 1 milímetro superior ao limite para que ocorra a hidroplanagem dinâmica.

Em ocorrências como esta, vários fatores estão envolvidos, no entanto, cada vez mais pode-se evidenciar que as melhorias em pavimentação voltadas a eliminar a formação de lâmina d'água na pista, poderiam contribuir consideravelmente a mitigar novos acidentes.

De acordo com Kássia e Heber (2019), deve-se evitar o acúmulo de água nas Pistas de Pouso e Decolagem (PPDs), a fim de prevenir os riscos da hidroplanagem, onde a aeronave perde o contato com a pista devido à presença de substâncias entre o pneu e o pavimento. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) estabelece medidas para mitigar o acúmulo de água nas PPDs. A textura do pavimento influencia diretamente tanto a drenagem quanto a aderência entre pneu e pavimento. O estudo por eles conduzidos explora a relação entre a macrotextura da superfície do pavimento e o escoamento das águas pluviais, especialmente em condições de pista molhada. A macrotextura é subdividida em microtextura e macrotextura, sendo a primeira responsável por romper a camada de água entre o pneu e o pavimento molhado, enquanto a macrotextura afeta a drenagem da água superficial.

### *Importância da macrotextura e do fator de atrito em pistas de pouso e decolagem*

Para medição da macrotextura, o método tradicional é volumétrico, porém, as técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) têm sido empregadas para uma avaliação mais eficaz e menos suscetível à interferência do operador. O estudo realizado por Kássia e Heber (2019) propõe a captura de imagens saturadas de pavimentos coloridos por meio de smartphones e a posterior análise dessas imagens por meio de softwares Matlab e QGIS. A classificação da capacidade de drenagem do pavimento foi realizada seguindo as recomendações da ANAC.

Os resultados esperados já incluem correlações robustas entre os métodos convencionais e a avaliação da macrotextura por meio de PDI. Além disso, procurou-se desenvolver abordagens mais eficientes para avaliar a drenagem superficial do pavimento, contribuindo para aprimorar a manutenção e a segurança em aeródromos aliado a uma economia na mão de obra de funcionários.

De acordo com uma pesquisa realizada por Inon e Heber (2013) analisou-se entre os anos de 2011 e 2012 a relação entre a macrotextura e o fator de atrito da PPD do Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza, Ceará, Brasil, fator este crítico para a segurança de pousos e decolagens, especialmente em condições meteorológicas difíceis, como chuva.

Macrotextura refere-se à estrutura superficial visível das listras e desempenha um papel importante na drenagem das águas pluviais e ajuda a manter a tração entre os pneus da aeronave e a superfície da pista. Se a macrotextura for insuficiente, o risco de aquaplanagem e derrapagem durante a aterrissagem e decolagem é maior. O coeficiente de atrito é uma medida importante da capacidade de aderência da superfície, permitindo que uma aeronave acelere e desacelere com segurança. Valores mais elevados de coeficiente de atrito significam melhor

aderência e distâncias de travagem mais curtas. O coeficiente de atrito também é crítico para evitar deslizamentos.

Os testes conduzidos por Inon e Heber (2013) mediram tanto a macrotextura quanto o coeficiente de atrito em diferentes momentos e locais da pista. Os resultados mostraram que a correlação entre macrotextura e coeficiente de atrito variou ao longo do tempo. Os meses anteriores ao projeto de revitalização rodoviária apresentaram uma correlação mais forte, indicando que a manutenção adequada destes elementos é essencial. Porém, os resultados obtidos após a reforma da pista não apresentaram correlação tão forte, o que se deve às alterações no tipo de revestimento utilizado na obra.

Evidenciou-se assim a importância da macrotextura e do fator de atrito na operação aeroportuária e enfatiza a necessidade de manutenção regular desses fatores para garantir a segurança das aeronaves durante o pouso e a decolagem, especialmente em condições adversas do tempo (INON e HEBER, 2013).

Diante da manutenção das PPDs, o regulamento RBAC 156 da ANAC (2012) estabelece um norte de como promovê-la na área de operação aeroportuária e como deve ser conduzida de forma segura. Assim, fazendo uso da autoridade outorgada competente no assunto e das normas ABNT, fica estabelecido como o operador deve se atentar não só ao modo construtivo da infraestrutura, como o *modus operandi* de sua manutenção, tendo em vista a importância de um bom funcionamento do pavimento em conjunto com o sistema de drenagem.

Segundo a ANAC (2012), a manutenção da infraestrutura aeroportuária e dos auxílios à operação das aeronaves em solo depende de um programa eficiente baseado na regulamentação na qual o operador do aeródromo deve seguir rigorosamente afim de atingir níveis aceitáveis de segurança operacional.

Ao considerar a infraestrutura da área pavimentada, engloba-se tanto a porção que se refere à pista de pouso decolagem, como as de táxi e estacionamento de aeronaves, bem como de circulação de veículos e pessoas, sendo a pista de pouso e decolagem a que demanda maior cuidado em função da necessidade de se manter adequado contato entre a aeronave e o pavimento, buscando o controle da lâmina d'água sobre a mesma em situações de precipitação e acúmulo de água, uma vez que deve ser garantida a segurança das aeronaves quanto a resistência à derrapagem, controle direcional e sua integridade.

Dessa forma, o pavimento exerce uma funcionalidade crucial nesse processo que é de sustentar integralmente a carga da aeronave sem que ocorra prejuízo do equipamento, bem como auxiliando na medida adequada à aceleração ou desaceleração da mesma, considerando situações adversas de chuva, em que deve garantir seu escoamento superficial de forma a não permitir a formação de lamina d'água maior que 3mm, situação de risco em que de acordo com o regulamento citado a pista passa a ser considerada contaminada.

Se a profundidade média de água exceder 3mm (três milímetros) numa região de 150m de comprimento pela largura da pista, o operador de aeródromo deve providenciar ações corretivas na referida região, a fim de garantir que a pista tenha drenagem suficiente para não acumular água acima do valor de 3mm. (ANAC, 2012, p. 53)

Assim também a drenagem deve ter início da sua funcionalidade já no pavimento da pista, conduzindo a vazão das águas pluviais com vistas à segurança da operação aérea, bem como evitar atrair animais ao gradil e canaletas, o que poderia por outro lado, causar também prejuízo à segurança.

Vale ressaltar a responsabilidade do operador do aeródromo em garantir a correta manutenção destas áreas. “O operador de aeródromo deve manter a pista de pouso e decolagem em condições operacionais visando: à resistência à derrapagem; ao controle direcional das aeronaves; e à integridade dos equipamentos aeronáutico” (ANAC, 2012, p. 52). As

consequências por operar em desacordo com as normas e regulamentos podem ser traduzidas até mesmo como fatores contribuintes em resultados catastróficos.

Em estudo realizado por Araújo e Moizinho (2017) no Aeroporto Internacional Boa Vista, localizado no estado de Roraima, Brasil, utilizou-se o teste de corante de areia, técnica amplamente utilizada para medir textura macroscópica. Segundo eles, a textura geral refere-se à rugosidade da superfície da pista, que desempenha um papel vital na prevenção da aquaplanagem e no fornecimento de tração adequada para aeronaves em condições climáticas adversas. A avaliação da estrutura geral é crítica porque o desgaste dos pneus e os níveis de ruído da aeronave podem ser afetados pelas características da superfície da pista.

Os resultados da pesquisa mostram que a estrutura geral da pista do Aeroporto de Boa Vista é dividida principalmente em duas categorias: “aberta” e “muito aberta”. Isto significa que a superfície da pista é suficientemente rugosa para garantir um bom coeficiente de atrito, reduzindo o risco de escorregamento. Embora a estrutura geral fosse adequada no maior trecho, algumas seções podem exigir manutenção e recapeamento para evitar a infiltração d’água para as camadas inferiores, mostrando que quanto mais aberta a mistura, além de contribuir com a rugosidade, permite também a percolação da água.

Destaca-se então a importância de avaliar e manter a estrutura geral de uma pista aeroportuária, uma vez que esta desempenha um papel vital na segurança das operações de voo, especialmente em condições meteorológicas adversas. A manutenção adequada da estrutura geral é fundamental para garantir pousos e decolagens seguras de aeronaves, reduzir o risco de acidentes de aquaplanagem e garantir a durabilidade dos pneus das aeronaves.

De acordo com Palma e Prado (2011) é necessário ressaltar a importância de monitorar a formação de uma camada de água nas pistas dos aeroportos para evitar a flutuação das aeronaves, estando atento às regulamentações nacionais e internacionais, bem como estando atento às técnicas e métodos de medição.

Além disso, outras medidas podem ser implementadas para minimizar a ocorrência de deslizamentos por água, como a manutenção adequada dos taludes do pavimento, retirada de pneus, sulcos transversais e utilização de pavimento asfáltico. Elas visam melhorar a drenagem e prevenir a aquaplanagem, o que contribui para a segurança operacional dos aeroportos.

Santos, Silva Júnior e Alves (2016) apontam os graves impactos ambientais causados pelo desenvolvimento de cidades e centros urbanos, principalmente quando se trata do escoamento insuficiente das águas pluviais. A impermeabilização do solo com pavimentação tem causado frequentes problemas de alagamento em áreas urbanas, rodovias, bem como em pistas aeroportuárias .

Com a intenção de sanar estes problemas, surge a proposta da utilização de novos pavimentos permeáveis como solução eficaz, com foco principal no concreto asfáltico poroso. Esses tipos de pavimentos permitem que a água da chuva penetre no solo, reduzindo bastante o escoamento superficial e minimizando as inundações e riscos de hidroplanagem em pistas.

Este revestimento asfáltico difere-se dos pavimentos asfálticos tradicionais pela sua capacidade de drenagem. É particularmente adequado para áreas de baixo tráfego, como estacionamentos e onde é esperada a penetração de água. Tem como suas principais vantagens a redução do risco de aquaplanagem, melhor aderência e contato dos pneus do veículo em piso molhado, menos salpicos de água na passagem de veículos, melhor visibilidade e segurança na estrada, sendo uma alternativa promissora para a mitigação de enchentes urbanas, oferecendo uma solução que combina infraestrutura rodoviária com gestão sustentável de águas pluviais. Entretanto, a sua implementação requer uma avaliação cuidadosa das condições locais e dos requisitos específicos do projeto, uma vez que nem sempre é adequada em todas as situações e pode resultar em custos adicionais, ou sendo ineficiente e até colocando o tráfego do local em risco.

No entanto, a utilização do asfalto poroso também traz desafios, o principal seria em relação aos custos iniciais de instalação, que são visivelmente mais elevados do que os pavimentos convencionais. Além disso, requer manutenção regular para garantir que funcione de forma eficaz, incluindo a remoção de sedimentos e detritos e borracha dos pneus que podem obstruir os poros evitando uma drenagem eficiente.

Dessa forma, o revestimento asfáltico poroso passou a ser uma solução eficiente, como aponta Cava (2020), para evitar a ocorrência da hidroplanagem e que vem sendo implementada nos aeroportos.

### *Revestimento por Camada Porosa de Atrito (CPA)*

Conhecido por Camada Porosa de Atrito (CPA), este revestimento é capaz de promover ao mesmo tempo armazenagem e drenagem das águas pluviais que escoam sobre a superfície de rodagem. No ano de 2020 uma obra realizada na pista principal do Aeroporto de Congonhas implementou a substituição do revestimento asfáltico convencional pelo CPA, dada a necessidade de se obter melhores resultados neste aeroporto que, como já citado, apresenta uma operação crítica diante da contaminação por água na pista (CAVA, 2020).

De acordo com Silveira, Padula e Rocha (2022) a introdução ao uso da CPA teve início na década de 1930 nos Estados Unidos, se espalhando pelo resto do mundo de maneira muito lenta e gradativa em função das dificuldades apresentadas de custo de implementação, baixa durabilidade e manutenção. Até a década de 1960 não se tem registro do início da aplicação do revestimento em nenhuma outra localidade, vindo a ser utilizado na Europa a partir de então, seguindo nos anos vindouros do seu emprego na China, Japão e chegando na década de 90 ao Brasil. Esta retomada se deu muito em função das melhorias desenvolvidas ao uso da CPA junto a aditivos que melhoravam suas propriedades de resistência mecânica e funcional.

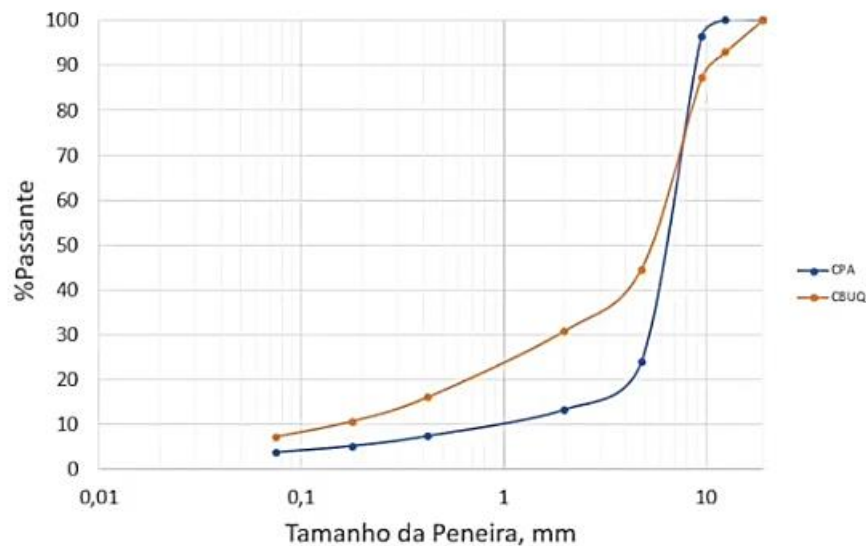
A aplicação da CPA passou a ser largamente aceita nas rodovias do Japão em que “até o ano de 2010, 65% da malha rodoviária japonesa contava com esse tipo de revestimento” (SHIMENO *et al.*, 2010 *apud.* SILVEIRA, PADUALA e ROCHA, 2022) incorporado ao uso do polímero estilene-butadieno-estileno, conhecido como SBS e posteriormente por talpaksuper, ou TPS, de acordo com Zhang *at al.* (2020) *apud.* Silveira (2022).

A camada convencional utilizada em aeroportos, geralmente se apresenta como o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), sendo uma opção de pavimento flexível com a presença em grande parte de agregados miúdos, o que o torna um concreto bastante denso e consequentemente podendo ser considerado como impermeável, com seu índice de vazios próximo de 4%. Dessa forma favorece o acúmulo de água superficial, principalmente aonde houver irregularidade.



**Figura 1** – Trecho em CPA seguido de trecho em CBUQ após período chuvoso (Fonte: DRESCH, 2016 adaptado por SILVEIRA, PADULA e ROCHA, 2022)

Já o CPA tem como objetivo ser uma camada mais funcional que estrutural, no sentido de promover armazenagem de parte da água enquanto a mesma é conduzida para drenagem, por meio de elevada porosidade do concreto asfáltico, utilizando de forma intencional em sua composição uma má graduação com maior presença de agregados graúdos e menos agregados miúdos, em relação ao CBUQ, gerando assim uma mistura aberta (com elevado índice de vazios em relação a outras misturas de concreto asfáltico).



**Figura 2** – Gráfico de distribuição granulométrica do CPA e CBUQ (Fonte: CAVA, 2020).

Silveira, Padula e Rocha (2022) apresenta as principais características da CPA no Brasil seguem as exigências da DNER-ES 386, que o mantém dentro de uma padronização com graduação de agregados graúdo e miúdo, material de enchimento e baixo teor CAP, de forma a apresentar índice de vazios entre 18% e 25%, podendo se adicionado ligante asfáltico modificado por polímero SBS. A macrot textura deve ter valores entre 1,0 mm e 2,04 mm, segundo Specht *et al.*, (2007), Alves *et al.*, (2018), Gurjão (2020) e Fontenelle (2019) *apud*. Silveira, Padula e Rocha(2022). Já a permeabilidade verificada por Dresch (2016) *apud*. Silveira, Padula e Rocha(2022) pode variar entre  $2,18 \times 10^{-3}$  m/s e  $9,17 \times 10^{-3}$  m/s. As variações das características ocorrerão dentro da variação das faixas de CPA previstas em norma.

A norma separa o CPA em cinco faixas (I, II, III, IV e V) quanto a sua granulometria e teor de ligante asfáltico entre 4,0% e 6,0% para todas as faixas. A norma recomenda para as faixas I e II espessura da camada de 3,0 cm, e para as faixas III, IV e V, espessuras de até 4,0cm. O índice de vazios deve variar entre 18 e 25%, o desgaste à abrasão Los Angeles deve ser no máximo 25% e a resistência à tração por compressão diametral à 25°C ser de no mínimo 5,5 kgf/cm<sup>2</sup>. (SILVEIRA, PADULA e ROCHA, 2022)

Pesquisas e experiências práticas, de acordo com Silveira, Padula e Rocha (2022), mostram que o CPA pode ser uma solução eficaz para problemas comuns nas rodovias brasileiras e aeroportos, como a aquaplanagem ou hidroplanagem, evitando consideravelmente a ocorrência de acidentes. Contudo, uma implementação mais ampla requer uma análise cuidadosa dos custos, das condições locais e dos benefícios de segurança que oferece. Em resumo, CPA se destaca como uma alternativa inovadora para pavimentos rodoviários no Brasil, destacando sua capacidade de drenagem e seus benefícios em termos de segurança viária. No entanto, também são destacados os problemas financeiros e de manutenção

associados à sua implementação além de em alguns não haver uma mão de obra qualificada o suficiente para uma execução com toda a qualidade e garantia que o pavimento pode entregar.

Cava (2020) aponta ainda que por ser uma camada funcional mal graduada deve ser aplicada em pistas de rodagem como revestimento sobre outra camada densa, que normalmente utiliza-se o CBUQ, de forma que a água percole pelo CPA e ao encontrar a camada impermeável abaixo seja então drenada por gravidade às laterais em função da inclinação longitudinal e assim conduzida aos canais de dreno. Procedendo dessa forma, a água não irá percolar diretamente às camadas inferiores estruturais, o que poderia causar danos e rápida deterioração das mesmas, reduzindo a capacidade de suporte das elevadas cargas operacionais.

O CPA visa assim aumentar a aderência do pneu da aeronave com o pavimento, elevando a capacidade de frenagem controlada e, conseqüentemente, a segurança operacional. Porém, por ser intencionalmente de granulometria mal graduada tende a apresentar fissuras precoces e acúmulo de sujidades nos poros, o que demanda maior manutenção preventiva.

Diante da proposta que o revestimento em questão apresenta, se mostra uma ótima opção de emprego em locais de elevados índices pluviométricos, afim de colaborar com a segurança operacional evitando a ocorrência de acidentes por hidroplanagem e excursão de pista. Para isso é necessário estabelecer estudos e planejamento aonde se pretenda implementá-lo, buscando relacionar a real necessidade diante dos custos de instalação e manutenção recorrente.

Conforme aponta Barbosa (2020), com a reforma da PPD do Aeroporto de Congonhas a preocupação em tornar o escoamento da água mais ágil se mostrou possível graças à combinação de uma pavimentação em camadas de revestimento de CBUQ e outra superficial de CPA.

No entanto a drenagem das águas pluviais deve ter uma continuidade compreendendo que o tratamento global de sua condução deve integrar um sistema que colete esta água nas margens da pista e as conduza para longe da mesma, de forma a não saturar o solo no entorno, o que prejudicaria todo o trabalho otimizado pela pavimentação adequada.

### *Drenagem de pistas de pouso e decolagem*

Uma das formas de drenagens utilizadas em pavimentações aeroportuárias é a de canalização subsuperficial, que capta a água infiltrada no solo por meio de tubos perfurados específicos de drenagem enterrados às margens da pista que então a conduzem rapidamente para sua destinação de esgotamento (BARBOSA, 2020).

Os tubos perfurados de drenagem subsuperficial adequados para este tipo de fim em obras aeroportos e rodovias devem seguir as especificações DNIT 093/2006-EM e DNIT 094/2014-EM para tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) e poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), respectivamente, que permitem uma alta resistência às cargas de tráfego e ao mesmo tempo escoamento longitudinal ótimo devido à sua baixa rugosidade, o que permite uma melhor vazão (BARBOSA, 2020).

Aliando a tecnologia adequada tanto para escoamento superficial do pavimento, como da drenagem lateral do entorno da PPD, o sistema funciona de maneira otimizada, possibilitando os melhores resultados de drenagem e condução das águas pluviais.

A drenagem de pistas de aeroportos também pode contar com um sistema lateral linear de coleta d'água por meio de canaletas fechadas com grelhas de alta resistência e até mesmo com tecnologia empregadas especificamente para acelerar a vazão da água, possibilitando inclusive a diminuição do dimensionamento da calha em relação ao uso de grelhas convencionais.

A ULMA Architectural Solutions (2020), empresa basca que oferece soluções de drenagem em diversos segmentos, possui algumas linhas que podem ser empregadas em

aeroportos, sendo especificamente as linhas CIVIL-F e KOMPAQDRAIN as mais indicadas para este fim.

Estas linhas possibilitam suportar a classe de carga F900 que suporta até 900Kn, considerada para uso em condição de elevado tráfego. Além de possibilitar o escoamento transversal pendente contíguo de 2,5%.

A linha CIVIL-F é feita em concreto/betão polímero tipo ULMA, podendo apresentar uma seção hidráulica de até 2490cm<sup>2</sup> e vazão de referência de 280,5l/s com o canal do tipo F400. Já na linha KOMPAQDRAIN a seção hidráulica de 1118cm<sup>2</sup> consegue trabalhar de maneira otimizada com a tecnologia MAXFLOW e uma área de captação de 480cm<sup>2</sup>/ml.



**Figura 3** – Representação da tecnologia de drenagem Max Flow (Fonte: ULMA, 2020).

A tecnologia Max Flow da ULMA possui um alargamento progressivo da entrada da água em superfície de baixa rugosidade, fazendo com que ela seja orientada em velocidade para o duto e assim trabalhando com maior eficiência em seções hidráulicas menores.

O design curvo original dos orifícios de entrada, somado a sua superfície antideslizante e direcionadora da água, conseguem o novo efeito Max Flow®, aumentando a velocidade da água e a capacidade de drenagem. Além disso, o alargamento progressivo dos orifícios, favorece a passagem dos resíduos. Por isso KOMPAQDRAIN® pode drenar o mesmo volume de água com um canal de seção inferior ao de um sistema tradicional. (ULMA, 2020)

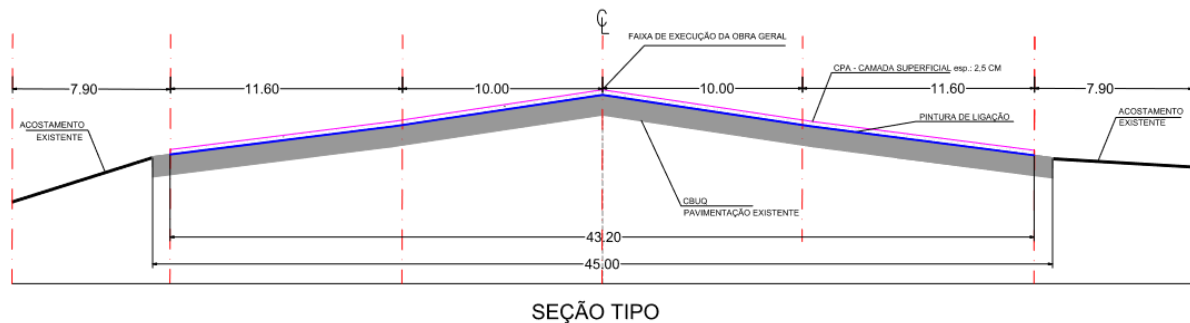
As inovações tecnológicas na área de drenagem promovem uma contribuição para que todo o sistema trabalhe em capacidade otimizada, fazendo com que todo o benefício de um revestimento asfáltico funcional drenante seja capaz de ser melhor aproveitado em conjunto com uma boa canalização e orientação da água, não permitindo seu retorno para o pavimento.

## Materiais e Métodos

Este trabalho busca analisar as capacidades de drenagem da CPA a partir da atual pavimentação do Aeroporto de Congonhas, bem como estabelecer uma breve análise dos custos em relação à instalação do CBUQ com base nos valores apresentados pela empresa vencedora da licitação da obra em questão. Para se atingir o objetivo foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema, obtendo-se os dados de licitação nº 080 LALI-1 SBSP 2020 por meio do site da INFRAERO.

Para a análise das capacidades de drenagem do CPA aplicado na pista principal 17R/35L do Aeroporto de Congonhas, utilizou-se os dados de projeto divulgados pela INFRAERO (abril 2020) no projeto de Recuperação e Regularização Geométrica da referida pista, bem como no documento de Especificação Técnica (ETE), adotado a partir deles como característica do CPA instalado a espessura ( $t_{CPA}$ ) de 25mm, coeficiente de atrito ( $n_{CPA}$ ) de 0,65 em equipamento  $u$

meter, índice de vazios ( $e_{CPA}$ ) entre 20% e 25%, sendo que para fins de cálculo neste artigo adotou-se a média, 22,5%, declividade transversal ( $i_{trans.}$ ) de 1,5%, declividade longitudinal média ( $i_{long.}$ ) do trecho principal em 1,12%, lagura da faixa de (Lc) CPA de 43,20 metros por 1.674,26 metros de comprimento (Dc), totalizando 1.808,20 metros cúbicos de camada asfáltica porosa ( $V_{CPA}$ ). O coeficiente de escoamento superficial ( $C_{CPA}$ ) adotado foi de 0,60 conforme o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006) e condutividade hidráulica ( $K_{CPA}$ ) de  $5,675 \times 10^{-3}$  m/s, sendo a média considerada do levantamento anteriormente citado neste artigo. O projeto prevê também uma camada de 50mm de CBUQ abaixo do CPA, para essa camada adotou-se o coeficiente de escoamento superficial ( $C_{CBUQ}$ ) de 0,90 (DNIT, 2006).



**Figura 4** – Corte transversal detalhamento do projeto elaborado para licitação da aplicação de Camada Porosa de Atrito no Aeroporto de Congonhas (Fonte: INFRAERO, 2020).

Para os dados de chuva utilizou-se a equação de chuvas intensas para a cidade de São Paulo (DAEE, 2018 p.206) conforme a seguinte equação:

$$i_{t,T} = 32,77x(t + 20)^{-0,8780} + 16,10x(t + 30)^{-0,9306} x[-0,4692 - 0,8474x \ln \ln (T/T-1)]$$

Em que:  $i$  = intensidade da chuva, duração  $t$  e período de retorno  $T$  (mm/min)  
 $T$  = período de retorno em anos  
 $t$  = duração da chuva em minutos

Segundo o DNIT (2006) a chuva considerada para dimensionamento do pavimento deve ser considerada no período de uma hora ( $t=60$  minutos) em um período de retorno de um ano ( $T=1$ ), no entanto de acordo com a equação de chuvas intensas que será utilizada, se aplica no mínimo  $T=2$ , caso contrário é impossível calcular a equação em  $(T/T-1)$ . Aplicando então essas condições considerou-se uma chuva com intensidade ( $I$ ) de 39,6mm/h ou 0,011mm/s.

Assim se procedeu de forma a considerar um volume de chuva acumulado em uma hora multiplicando a altura máxima da chuva pela área do trecho de 1 metro de pista.

Calculou-se então para o mesmo trecho a capacidade de escoamento do pavimento no mesmo período, obtendo a vazão superficial pelo método racional, conforme Leão e Dias (2014) e a vazão da água percolada pela camada drenante pela Lei de Darcy conforme previsto pelo DNIT (2006), considerando a distância de menor curso d'água, sendo a seção transversal da pista.

Pela somatória das vazões se obteve-se a vazão total, que somada à capacidade de armazenamento de água da CPA, possibilitou identificar o volume total de água pluviais que o pavimento é capaz de lidar no período de uma hora para cada trecho de 1 metro de pista. O volume de armazenamento da nesta camada se obteve a partir do seu volume total no trecho de 1 metro de pista multiplicado pelo índice de vazios.

Para a equação do método racional se empregou a seguinte fórmula:

$$Q_s = C \times I \times A$$

Em que:  $Q_s$  = vazão máxima de escoamento superficial em  $m^3/s$   
 $C$  = coeficiente de escoamento superficial  
 $I$  = intensidade média máxima de precipitação em  $m/s$   
 $A$  = área de contribuição em  $m^2$

Para a equação da Lei de Darcy se empregou a seguinte fórmula:

$$Q_p = K \times i \times A$$

Em que:  $Q_p$  = vazão em  $m^3/s$   
 $K$  = coeficiente de condutividade hidráulica ( $m/s$ )  
 $i$  = gradiente hidráulico ( $m/m$ )  
 $A$  = área de influência normal à direção do fluxo ( $m^2$ )

Da posse dos dados obtidos estabeleceu-se relação entre o volume precipitado com a capacidade de drenagem da CPA no período de uma hora para o trecho em questão.

Na sequência, para fins de comparação com uma suposta camada de CBUQ desprovida de revestimento poroso, calculou-se sua capacidade de vazão superficial, desprezando sua capacidade de absorção de água devido a alta impermeabilidade do mesmo.

Então procurou-se a partir dos resultados obtidos estabelecer discussão acerca da capacidade drenante do CPA e seus benefícios funcionais em comparação ao CBUQ.

Ao longo da pesquisa bibliográfica também notou-se a escassez de dados em caráter científico acerca dos custos de implementação da CPA no cenário econômico brasileiro.

Dessa forma, à luz das informações coletadas através do site da INFRAERO (2020), no tocante aos custos de execução da obra realizada no Aeroporto de Congonhas, obteve-se dados importantes do processo licitatório que enriquecem o acervo bibliográfico, aqui razidos no intuito de contribuir com a comunidade acadêmica.

De acordo com a Ordem de Serviço e Termo de Contrato da INFRAERO (2020) que reconhece o Consórcio CPA, grupo formado pelas empresas Conserva de Estradas LTDA e Via Magna Infraestrutura LTDA, como empresa vencedora da licitação e contratada para a execução da obra pelo montante ajustado total de R\$11.500.000,00.

As obras incluem além da execução da CPA e do CBUQ, o serviço de fresagem nas cabeceiras, iluminação de balizamento das pistas, pintura de sinalização, entre outros serviços. Os itens e respectivos valores discriminados estão disponíveis na Planilha de Serviços e Preços – PSP, através da Proposta Ajustada apresentada pela Via Magna Infraestrutura e Conserva de Estradas (2020).



ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL REAL (R\$)	ÍNDICE REAJUSTE
<b>1.0</b>	<b>SERVIÇOS PRELIMINARES DE CANTEIRO</b>				<b>R\$ 705.544,44</b>	
01.01.001	Mobilização de máquinas e equipamentos	cj	1,00	R\$ 42.279,10	R\$ 42.279,10	1 03
01.02.001	Desmobilização de máquinas e equipamentos	cj	1,00	R\$ 42.279,10	R\$ 42.279,10	1 03
01.03.001	Instalação do canteiro de obra inclusive instalações provisórias de água, esgoto e energia elétrica e placa de obra	cj	1,00	R\$ 25.296,82	R\$ 25.296,82	1 03
01.03.002	Desmontagem do Canteiro de Obras	cj	1,00	R\$ 917,60	R\$ 917,60	1 03
01.04.001	Operação e Manutenção do Canteiro	cj	1,00	R\$ 192.548,63	R\$ 192.548,63	1 03
01.05.001	Administração Local	cj	1,00	R\$ 394.006,47	R\$ 394.006,47	1 02
01.06.001	Execução de Plano de Controle Ambiental de Obras - PCAO	cj	1,00	R\$ 8.316,72	R\$ 8.316,72	1 02
<b>2.0</b>	<b>PISTA DE POUSO E DECOLAGENS 17R/35L</b>				<b>R\$ 10.750.094,49</b>	
02.01.001	Levantamento Topográfico Primitivo, através de metodologia de laser scanner	m²	114.112,49	R\$ 0,81	R\$ 92.431,12	1 01
02.01.002	Levantamento Topográfico após Pavimentação, através de metodologia de laser scanner	m²	114.112,49	R\$ 0,81	R\$ 92.431,12	1 01
02.01.003	Projetos Executivos	cj	1,00	R\$ 157.144,67	R\$ 157.144,67	1 01
02.01.004	Aprovação dos Materiais e traço do CBUQ	cj	1,00	R\$ 5.651,26	R\$ 5.651,26	1 05 (42%) + 1 06 (58%) *1
02.01.005	Aprovação dos Materiais e traço da CPA	cj	1,00	R\$ 5.328,53	R\$ 5.328,53	1 05 (42%) + 1 06 (58%) *1
02.01.006	Trechos experimentais do CBUQ	m³	30,00	R\$ 926,32	R\$ 27.789,60	1 05 (42%) + 1 06 (58%) *1
02.01.007	Trechos experimentais da CPA	m³	37,50	R\$ 1.754,77	R\$ 65.803,88	1 05 (42%) + 1 06 (58%) *1

**Figura 5** – Tabela extraída do documento de proposta ajusta apresentado pela empresa vencedora da licitação (Fonte: VIA MAGNA INFRAESTRUTURA; CONSERVA DE ESTRADAS, 2020).

De acordo com a planilha, somente pela execução de 1808,20m³ de uma camada de CPA com polímero na espessura de 2,5cm o custo total foi de R\$3.172.975,11, sendo o custo unitário no valor de R\$1.754,77 por m³. Já para a execução da pavimentação por CBUQ com polímero na espessura de aproximadamente 5cm, volume de 4.396,01m³, o custo foi de R\$4.072.111,98, com um custo unitário de R\$926,32 por m³.

Assim estabeleceu-se relação entre os custos unitários e total em função de suas respectivas volumetrias tanto para o CBUQ, como para o CPA, possibilitando a comparação de custos de acordo com a necessidade executiva de cada uma.

## Resultados e Discussão

Diante da metodologia proposta e de posse dos dados apresentados seguiu-se ao cálculo inicial do volume chuva para o trecho de um metro da pista principal, gerado durante o período de uma hora em função da chuva conhecida pelo cálculo realizado de chuvas intensas, obtendo o resultado de 39,60mm/h para o tempo de retorno T=2anos, 60 minutos de duração, e conseqüentemente uma altura de 39,60mm.

$$V_{chuva} = 0,0396m \times 43,20m \times 1,00m$$

$$V_{chuva} = 1,71072m^3 \text{ ou } 1.710,72l$$

Com o volume conhecido de 1,71072m³ de água gerado pela chuva no período de uma hora seguiu-se para o cálculo da capacidade de volume que a Camada Porosa de Atrito consegue lidar no mesmo período. Assim calculou-se as vazões superficial ( $Q_s$ ), de percolação transversal ( $Q_P \text{ transversal}$ ) por segundo, para o mesmo trecho, aferindo os seguintes resultados.

$$Q_s = 0,60 \times \frac{(39,6\text{mm} \div 3600 \text{ segundos})}{1000} \times 43,20\text{m}^2$$

$$Q_s = 2,85 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s} \text{ ou } 0,28512\text{l/s}$$

$$Q_{P \text{ transversal}} = 5,675 \times 10^{-3}\text{m/s} \times 0,015\text{m/m} \times (1,0\text{m} \times 0,025\text{m})$$

$$Q_{P \text{ transversal}} = 2,128125 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s} \text{ ou } 0,002128125\text{l/s}$$

De posse destes valores obteve-se a vazão total a partir do somatório dos respectivos resultados, adaptando pelo unidade volumétrica horária.

$$Q_{Total \text{ CPA}} = \left( 2,8512 \times \frac{10^{-4}\text{m}^3}{\text{s}} + 2,128125 \times \frac{10^{-6}\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times 3600$$

$$Q_{Total \text{ CPA}} = 1,03409325\text{m}^3/\text{h} \text{ ou } 1.034,09\text{l/h}$$

Ainda se faz necessário considerar o volume da capacidade de armazenamento do próprio CPA, que tem por principal característica e funcionalidade a porosidade elevada, justamente no sentido de colaborar com a drenagem.

$$V_{CPA} = 43,20\text{m} \times 1,00\text{m} \times 0,025\text{m} \times 22,5\%$$

$$V_{CPA} = 0,243\text{m}^3 \text{ ou } 243\text{l}$$

Dessa forma pôde-se chegar ao conhecimento de que, a partir dos dados de projeto e premissas usados neste artigo, ao longo de uma hora a Camada Porosa de Atrito aplicada na pista principal do Aeroporto de Congonhas deve conseguir lidar com aproximadamente  $1,277090325\text{m}^3/\text{s}$  ou  $1.277,09\text{l/s}$ , para um trecho de 1,00 metro da pista principal, o que corresponde a aproximadamente 74,65% do volume gerado pela chuva de projeto em uma hora no mesmo trecho, com um volume residual excedente de  $0,433629675\text{m}^3$ , não devendo atingir volume necessário para gerar lâmina d'água igual ou superior a 3mm no trecho.

Se comparado a uma camada de pavimentação padrão de asfalto de baixa permeabilidade como o CBUQ, poderia-se calcular a vazão a partir apenas do escoamento superficial pelo método racional, assim obtendo os seguintes resultados.

$$Q_{CBUQ} = 0,90 \times \frac{(39,6\text{mm} \div 3600 \text{ segundos})}{1000} \times 43,20\text{m}$$

$$Q_s = 4,2768 \times \frac{10^{-4}\text{m}^3}{\text{s}} \text{ ou } 0,42768\text{l/s}$$

Assim para averiguar o volume gerado em uma hora, procedeu-se da seguinte maneira.

$$V_{CBUQ} = 4,2768 \times \frac{10^{-4}\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600$$

$$V_{CBUQ} = 1,53965\text{m}^3 \text{ ou } 1.539,65\text{l}$$

Pôde-se notar que o CBUQ gerou uma capacidade para lidar com o volume de água no mesmo trecho maior que a CPA, diferenciando em 262,56 litros de vantagem em relação a este, em função de possuir um maior coeficiente de escoamento superficial (0,90), uma vez que a

camada porosa, por possuir granulometria aberta, tem uma superfície mais rugosa com a macrotextura mais desenvolvida. Dessa forma o asfalto impermeável escoaria a água com maior facilidade que a camada porosa projetada para este caso. No entanto deve-se atentar para que a vantagem do CPA consiste especificamente em sua funcionalidade de manter a superfície com aspecto seco enquanto abaixo do seu limite de saturação, conservando um elevado coeficiente de atrito característico do pavimento, assim colaborando para melhor controlabilidade, aceleração e frenagem da aeronave durante pousos e decolagens, o que pode não ocorrer em situações marginais com volumes pluviométricos muito elevados, sendo necessário um estudo pré-projeto que viabilize sua instalação de acordo com a localidade. Uma camada porosa mais espessa, com aceitação do índice de vazios mais próximo do limite máximo e com inclinação transversal mais acentuada dentro dos limites aceitáveis poderiam colaborar com uma drenagem mais eficiente.

Próximo ao término das pesquisas deste artigo tomou-se conhecimento que uma aeronave executiva de pequeno porte teria derrapado durante o pouso no Aeroporto de Congonhas, no dia 3 de novembro de 2023, segundo Martins (2023) em situação de chuva, não gerando vítimas nem danos à aeronave. Em função da tempestividade dos fatos e pela carência de informações não foi possível estabelecer maiores relações entre o incidente e a possibilidade da ocorrência de hidroplanagem. Apenas o que pôde-se trazer à luz desta pesquisa é que próximo ao momento do evento em questão a estação meteorológica número 527 – Córrego Água Espreada, localizada na região do aeroporto, chegou a registrar a altura de chuva de 7,8mm (DAEE, 2023).



**Figura 6** – Aeronave executiva após derrapagem em situação de chuva no Aeroporto de Congonhas em 03 de Novembro de 2023 (Fonte: MARTINS, 2023).

Diante do exposto, ainda que realizada minuciosa pesquisa e verificação da capacidade do pavimento em questão por modelos e cálculos, se faz necessário realizar testes e análises laboratoriais das amostras do mesmo para a validação dos resultados aqui obtidos.

Já em relação à análise de custos entre o CPA e o CBUQ, quando considerado o preço de cada um, fornecido pela Planilha de Serviços e Preços – PSP, constante na Proposta Ajustada elaborada pela Via Magna Infraestrutura e Conserva de Estradas (2020), notaram-se os seguinte valores:

**Tabela 1** - Custos unitários.

Custo Unitário (R\$/m <sup>3</sup> )	
CPA	R\$1.754,77
CBUQ	R\$: 926,32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando uma primeira análise, o CBUQ se torna atrativo já que possui um valor aproximadamente 50% mais barato que a camada porosa, entretanto quando olhamos para o valor de execução total da pista do Aeroporto de São Paulo/Congonhas (CGH) – Deputado Freitas Nobre, têm-se os seguintes valores

**Tabela 2 - Custos totais.**

<b>Custo Total (R\$)</b>	
CPA	R\$3.172.975,11
CBUQ	R\$4.072.111,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando então o custo total da aplicação de ambas as pavimentações obtêm-se um valor final menor. Isso é devido ao CPA poder ser executado com uma camada mais fina, no caso deste serviço, todo o trecho da pista fora executado com uma espessura de apenas 2,50cm (0,025m). Sendo assim o CPA neste caso se mostrou uma solução mais tecnológica e relativamente econômica se considerada isoladamente. É importante ressaltar que esses valores são específicos para as camadas de revestimentos asfálticos e não incluem outros custos associados à execução, como mão de obra, equipamentos, acabamento e outros. Portanto, ao tomar uma decisão sobre qual material usar, é crucial considerar todos os aspectos do projeto, incluindo os custos indiretos.

Além disso, a escolha entre a pavimentação a ser empregada pode depender de outros fatores, como a durabilidade, manutenção, a resistência ao desgaste, a capacidade de drenagem, o tráfego esperado na pista e as condições climáticas da região. Cada um desses materiais tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a decisão final deve ser baseada em um estudo abrangente das necessidades específicas do projeto. Para tomar a decisão correta é importante realizar uma análise global que leve em consideração todos esses fatores. Desta maneira o pavimento asfáltico misto, onde CPA e CBUQ são usados em diferentes áreas com base em suas vantagens, pode ser uma opção viável para otimizar custos e desempenho.

## **Conclusões**

Pôde-se assim concluir que o desenvolvimento de projetos de sistemas de drenagem em aeroportos que integram pavimentos funcionais com novas tecnologias de drenagem, podem contribuir largamente para a segurança de de voo nas fases críticas de pouso e decolagem.

Também evidenciou-se a necessidade da atualização da norma de 1999 do DNER que prevê a utilização de polímeros com fins de melhora da resistência mecânica e funcional do pavimento poroso, ampliando o uso além do SBS para polímeros como o TPS, à exemplo de outros países que obtiveram resultados satisfatórios com a evolução da tecnologia.

Após a pesquisa bibliográfica disponível, cálculos e análises sobre o emprego na CPA em aeroportos, tomando por referência a sua aplicação no Aeroporto de Congonhas, foi possível identificar alguns pontos positivos e outros negativos acerca da sua utilização, conduzindo à conclusão de que sua utilização pode ser adequada, e até mesmo recomendada, desde que diante da constatação da necessidade do seu aspecto funcional em estudos e análise pré-projeto.

Atenta-se para o correto dimensionamento da espessura da camada, de maneira que a funcionalidade porosa do CPA seja conservada em relação à demanda da chuva local, identificada pela equação de chuvas intensas da localidade, conciliando ao mesmo tempo com a capacidade de carga reduzida oferecida por ela, fator limitante para elevadas espessuras. Possivelmente uma maior espessura da camada porosa no Aeroporto de Congonhas poderia ter contribuído para sua melhor funcionalidade, mas neste estudo não foi possível acessar

informações suficientes que apontem que a carga solicitada tenha sido fator limitante para projeto.

Quanto aos custos verificou-se uma possível viabilidade do CPA que pode chegar a ser mais econômico que o CBUQ se considerado o valor total isoladamente, dependendo da espessura aplicada. É importante lembrar que para PPDs existe a necessidade de uma camada asfáltica padrão de alta resistência para que a camada porosa seja então aplicada sobre a outra, o que pode elevar os custos. Outros custos devem ser também considerados tanto na execução como ao longo da utilização da pista, como desemborramento e manutenção de forma a conservar sua funcionalidade.

Em suma, chegou-se à resposta de que, aliada a um bom sistema de drenagem, a Camada Porosa de Atrito disponível atualmente para utilização nos aeroportos brasileiros pode ser interessante para uso em aeroportos específicos, como o Aeroporto de Congonhas, devido à sua funcionalidade drenante que contribui para a segurança de voo, desde que corretamente dimensionado em projeto, executado conforme as normas, exista comprometimento do operador em realizar a correta manutenção do mesmo e mediante profundo estudo do custo benefício específico para cada pista.

### **Referências Bibliográficas**

ANAC. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº156 - Segurança Operacional Em Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência** – Subparte E, 2012. P. 49-60 Disponível em: <https://www.anac.gov.br/participacao-social/consultas-publicas/audiencias/2012/04/7-rbac-156-anexo-i-o-resoluthoo.pdf> Acesso em: 16 Ago. 2023.

ARAÚJO, Vitória Santos; MOIZINHO, Joel Carlos. **Avaliação da Macrot textura da Pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional de Boa Vista-RR Atlas Brasil Cantanhede**, 2017. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/4723>. Acesso em: 21 Set. 2023.

BARBOSA, Osvaldo. **AEROPORTOS E AERÓDROMOS - DRENAGEM**, 2020. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/aeropostos-e-aer%C3%B3dromos-drenagem-osvaldo-barbosa> Acesso em: 23 Out. 2023.

CAVA, Felipe. **PAVIMENTOS DRENANTES – CONHEÇA A CAMADA POROSA DE ATRITO**, 2020. Disponível em: [https://youtu.be/AJ-BJVvYHrY?si=m1dFKye\\_gG1YMTIR](https://youtu.be/AJ-BJVvYHrY?si=m1dFKye_gG1YMTIR) Acesso em: 23 Out. 2023.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **RELATÓRIO FINAL A-Nº005/CENIPA/2008**, 2008. Disponível em: [https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/PT\\_MFK\\_16\\_07\\_2007.pdf](https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/PT_MFK_16_07_2007.pdf) Acesso em: 23 Ago. 2023.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **IG - Nº 018/CENIPA/2013**, 2013. Disponível em: [https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pr\\_psk\\_15\\_11\\_11.pdf](https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pr_psk_15_11_11.pdf) Acesso em: 04 Set. 2023.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **RELATÓRIO FINAL A – Nº 67/CENIPA/2009**, 2009. Disponível em:

[https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pr\\_mbk\\_17\\_07\\_2007.pdf](https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pr_mbk_17_07_2007.pdf)  
Acesso em: 04 Set. 2023.

DAEE. **Gráfico Interativo de Chuva**, 527 – Córrego Águas Espriada – Montante Piscinão, 03 Maio 2023. Disponível em: <http://sibh.daee.sp.gov.br/chuva>. Acesso em: 04 Maio 2023.

DAEE. **Precipitações Intensas no Estado de São Paulo**, p. 206, 2018. Disponível em: <file:///D:/Users/Tiago/Desktop/Bkp%2022/Cursos/Engenharia%20Civil%20-%20USF/9%C2%BA%20Semestre/Funda%C3%A7%C3%B5es/Precipita%C3%A7%C3%B5es%20intensas%20no%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo%20Revisada%202019.pdf>. Acesso em: 30 Out. 2023.

DECEA. **Carta de Obstáculo de Aeródromo**: AD 2 SBSP A, 2023. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/?i=aerodromos&codigo=SBSP>. Acesso em: 31 Out. 2023.

DNER. **DNER-ES 386/99 - Pavimentação - Pré-misturado a Quente Com Asfalto Polímero - Camada Porosa De Atrito**, 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dner-es386-99.pdf>. Acesso em: 25 Out. 2023.

DNIT. **Manual De Drenagem de Rodovias**: Publicação IPR – 724, 2006. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724\\_manual\\_drenagem\\_rodovias.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf). Acesso em: 25 Out. 2023.

INFRAERO. **Recuperação e Regularização Geométrica da PPD 17R/35L**, 2020. Disponível em: [https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_SBSP\\_2020\\_LI/Anexo\\_XVIII\\_ET\\_ProjPav1.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_SBSP_2020_LI/Anexo_XVIII_ET_ProjPav1.pdf). Acesso em: 27 Out. 2023

INFRAERO. **Especificação Técnica Específica – ETE Recuperação Do Revestimento Asfáltico da PPD 17R/35L**, 2020. Disponível em: [https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_SBSP\\_2020\\_LI/Anexo\\_XVIII\\_ET\\_ETE.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_SBSP_2020_LI/Anexo_XVIII_ET_ETE.pdf). Acesso em: 25 Out. 2023

INFRAERO. **Termo de Contrato Nº 0155-EG/2020/0024**, 2020. Disponível em: [https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_SBSP\\_2020\\_LI/TC%20N%ba%200155-EG-2020-0024%20-%20PARTE%201.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_SBSP_2020_LI/TC%20N%ba%200155-EG-2020-0024%20-%20PARTE%201.pdf). Acesso em: 27 Out. 2023

INFRAERO. **Ordem de Serviço Nº 035/DOEG/2020**, 2020. Disponível em: [https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_SBSP\\_2020\\_LI/Ordem%20de%20Servi%20E7o%20-%20Cons%20F3rcio%20CPA.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_SBSP_2020_LI/Ordem%20de%20Servi%20E7o%20-%20Cons%20F3rcio%20CPA.pdf). Acesso em: 27 Out. 2023

INFRAERO. **Ordem de Serviço Nº 035/DOEG/2020**, 2020. Disponível em: [https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_SBSP\\_2020\\_LI/Ordem%20de%20Servi%20E7o%20-%20Cons%20F3rcio%20CPA.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_SBSP_2020_LI/Ordem%20de%20Servi%20E7o%20-%20Cons%20F3rcio%20CPA.pdf). Acesso em: 27 Out. 2023

INON, Claudio Farias Bezerra Filho; HEBER, Francisco Lacerda de Oliveira. **ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A MACROTEXTURA E O COEFICIENTE DE ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**, 2013.

Disponível em:

[https://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/55\\_AC.pdf](https://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/55_AC.pdf). Acesso em: 09 Set. 2023.

KÁSSIA, Ana Lopes Gonçalves; HEBER, Francisco Lacerda de Oliveira. **AValiação DA DRENAGEM SUPERFICIAL EM PISTA DE POUSO E DECOLAGEM POR MEIO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM (PDI)**, 2019. Disponível em:

[https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Aeroportos%20e%20Ferias%20I/3\\_68\\_RT.pdf](https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Aeroportos%20e%20Ferias%20I/3_68_RT.pdf). Acesso em: 23 Ago. 2023.

LEÃO, Jardel Egg Carvalho; DIAS, Thalita Cardoso. **Estudo de Concreto Asfáltico Drenante: Camada Porosa de Atrito (CPA)**, 2014. Disponível em:

[https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/infrageo/ESTUDO%20DE%20CONCRETO%20ASFALTICO%20DRENANTE%20CAMADA%20POROSA%20DE%20ATRITO%20\(CPA\).pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/infrageo/ESTUDO%20DE%20CONCRETO%20ASFALTICO%20DRENANTE%20CAMADA%20POROSA%20DE%20ATRITO%20(CPA).pdf). Acesso em: 23 Out. 2023.

MARTINS, Carlos. **Jato executivo derrapa no Aeroporto de Congonhas e fecha a pista em meio à tempestade desta sexta**, 03 Nov. 2023. Disponível em: <https://aeroin.net/jato-derrapa-no-aeroporto-de-congonhas-em-meio-a-forte-tempestade/>. Acesso em: 04 Nov. 2023.

PALMA, Giovano; PRADO, Lucius de Albuquerque. **CONSIDERAÇÕES SOBRE A FORMAÇÃO DE LÂMINA D'ÁGUA EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM DE AEROPORTOS**, 2011.

Disponível em: <http://conexasipaer.com.br/index.php/sipaer/article/viewFile/120/153>  
Acesso em: 12 Set. 2023.

SANTOS, Gabriel Nunes; SILVA JÚNIOR, Ramiro Moreira; ALVES, Sidney Rodrigues. **CONCRETO POROSO ASFÁLTICO: ESCOAMENTO DAS ÁGUAS NO MEIO URBANO**, 2018. Disponível em:

<https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/concreto-poroso-asfaltico-escoamento-das-aguas-no-meio-urbano.pdf>. Acesso em: 17 Set. 2023.

SILVEIRA, L. F. C.; PADULA, F. R. G.; ROCHA, V. B. P. **ESTADO DA ARTE E ANÁLISES QUANTO À APLICAÇÃO DE CPA (CAMADA POROSA DE ATRITO) COMO REVESTIMENTO DRENANTE PARA RODOVIAS NO BRASIL**, 2022.

Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13877>. Acesso em: 25 Out. 2023.

ULMA ARCHITECTURAL SOLUTIONS. **Dossiê Técnico – Sistemas Para Drenagem**, 2020. Disponível em: <https://www.ulmaarchitectural.com/pt-br/canais-de-drenagem/documentacao>. Acesso em: 23 Out. 2023.

VIA MAGNA INFRAESTRUTURA; CONSERVA DE ESTRADAS. **Proposta Ajustada: Planilha de Serviços e Preços – PSP**, 2020. Disponível em:

[https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos\\_licitacao/2020/CSAT/080\\_LALI-1\\_S BSP\\_2020\\_LI/Prop\\_Ajustada\\_ConsorcioCPA.pdf](https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/CSAT/080_LALI-1_S BSP_2020_LI/Prop_Ajustada_ConsorcioCPA.pdf). Acesso em: 25 Out. 2023.