XXII SITRAER 2025
Simpósio de Transporte Aéreo

Mobilidade aérea no ambiente offshore: Lições aprendidas com o uso de Aeronave Remotamente Pilotada em Plataformas Petrolíferas de Sergipe

Thyago Silva Hermeto[1], Paulo Tadeu Soares [1], Bruno Santos Sampaio[1], Fabiano Prata Souza[1], Bruno Moreira Silva[1], Manoel Ribeiro Coelho Neto[2], Mauro Hassan Tanure[2], Laécio Correia Rebouças, Claudia Elaine Aguilera Pereira dos Santos[2], Jonã Santos Vieira[2], Veruska Mazza Rodrigues Dias[3],
1.PETROBRAS
2. Speedbird Aero
3. Speedbird Aero / Universidade da Beira do Interior

*** Corresponding author e-mail address**: thyago.hermeto@petrobras.com.br, paulo.tadeu.prestserv@petrobras.com.br, brunosampaio@petrobras.com.br, fabianoprata@petrobras.com.br, bmoreiras@petrobras.com.br, manoel.coelho@speedbird.aero, , mauro.tanure@speedbird.aero, jona.maia@speedbird.aero, laecio.correia@speedbird.aero, claudia.elaina@speedbird.aero, veruska.dias@ubi.pt

PAPER ID: SIT1232699

RESUMO

A região das plataformas de óleo e gás no estado brasileiro de Sergipe é composta por 25 unidades, das quais apenas uma dispõe de helideque. Dessa forma, o transporte de pessoas e cargas é realizado predominantemente por meio de embarcações, havendo o potencial de melhoria nos tempos de atendimento do transporte de pequenas cargas por meio de aeronaves remotamente pilotadas (RPA). Este artigo apresenta as lições aprendidas da prova de conceito (PoC) conduzida pela Petrobras, em parceria com a empresa Speedbird Aero, para avaliar a viabilidade do emprego uso de RPA no transporte de pequenas cargas em ambiente offshore, em um cluster de 12 plataformas nas imediações da plataforma de PCM09 e o porto de TMIB. Os resultados indicaram redução de até 36% no tempo de atendimento logístico, além da viabilidade de operação remota via centro de comando em São Paulo e do uso de guincho para entrega em unidades sem helideque. A análise de risco foi conduzida por meio da metodologia Bowtie, permitindo a identificação de ameaças, barreiras e consequências associadas ao desvio de trajetória da aeronave. As lições aprendidas destacam aspectos críticos como interferência eletromagnética, enlace de dados por meio de link C2, sinalização horizontal, integração com o espaço aéreo e procedimentos de segurança. Os aprendizados extraídos da PoC possuem aplicabilidade direta em projetos voltados à mobilidade aérea urbana, evidenciando que a RPA é uma solução logística segura e adaptável aos desafios operacionais contemporâneos.

Keywords: Bowtie, Bacia de Sergipe, Teste de Offshore Carga com RPA, Lições Aprendidas.

ACKNOWLEGDEMENTS

Agradecimento às gerências envolvidas no projeto da Petrobras e da Speedbird, pelo suporte técnico do projeto. Agradecemos às Autoridades afetas ao tema – ANAC, DECEA e ANATEL – pelos esclarecimentos dos aspectos técnico-operacionais, possibilitando a realizando da Prova de Conceito.

GENERATIVE AI USAGE STATEMENT

Os autores declaram que o uso de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa se restringiu às atividades de suporte técnico, sem comprometer a originalidade, a análise e as conclusões apresentadas no trabalho. Todas as informações obtidas por meio desses recursos foram cuidadosamente avaliadas e integradas ao estudo, garantindo rigor metodológico e integridade acadêmica. A Ferramenta Google foi utilizada para pesquisa automatizada, aprimorando a busca por referências relacionadas aos tópicos de estudo, e a Ferramenta "Microsoft Copilot 365" foi utilizada para revisão do texto.

PÚBLICA
PÚBLICA

PAPER ID: SIT1232699

MOBILIDADE AÉREA NO AMBIENTE OFFSHORE: LIÇÕES APRENDIDAS COM O USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA EM PLATAFORMAS PETROLÍFERAS DE SERGIPE

1 INTRODUÇÃO

A indústria mundial de óleo e gás investe no desenvolvimento de pesquisa e melhoria contínua de seus processos, em busca da redução dos custos e aumento da segurança operacional. Dentre as tecnologias inovadoras, vislumbrou-se o emprego de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), com peso máximo de decolagem de 25 kg, para o transporte de cargas na região *offshore*. Em relação aos desafios para viabilização dos serviços, destacam-se: a harmonização no uso do espaço aéreo com aeronaves tripuladas; questões regulatórias, em especial a restrição para realização de voos com limite máximo de 12 milhas náuticas da costa brasileira; e aspectos técnico operacionais, tais como comunicação e controle (link C2), e lógicas de segurança para diversos cenários de falha e contingência.

Considerando os desafios elencados, a PETROBRAS desenvolveu a prova de conceito (*Proof of Concept* - PoC) no Estado Brasileiro de Sergipe, mais especificamente o cluster de plataformas petrolíferas operadas pela Petrobras, composta por 25 unidades, onde apenas uma das plataformas dispõe de helideque (PCM09). A PoC foi realizada em parceria com a empresa brasileira especializada em logística de RPA Speedbird Aero, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização de RPA em missões além da linha de visada visual (*Beyond Visual Line of Sight* - BVLOS), para o transporte de pequenas cargas em 2 (dois) percursos pré-definidos: (1) entre a plataforma Camorim (PCM09) e o Terminal Marítimo Inácio Barbosa (TMIB) e, (2) entre a PCM09 e 12 outras plataformas no seu entorno. A Figura 1 apresenta a região de interesse da PoC.

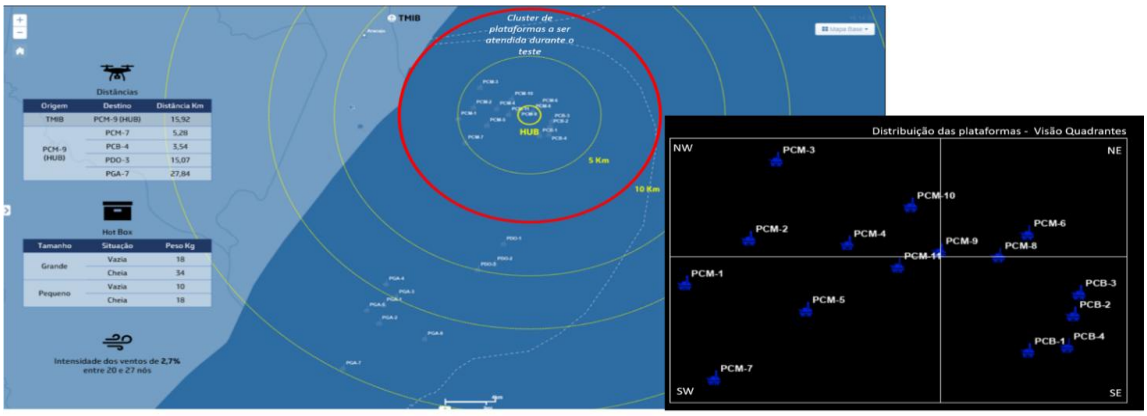


Figure 1: Cluster de plataformas da Bacia de Sergipe-Alagoas consideradas no teste. Fonte: Petrobras.

No que tange aos resultados operacionais em relação ao transporte de carga entre a plataforma de PCM09 e as demais unidades circunvizinhas, por meio de 27 missões logísticas, o emprego da RPA tem a redução de aproximadamente 36% no tempo de atendimento (com desvio padrão de 8,7%). Para o porto do TMIB houve uma redução mais expressiva, de aproximadamente 49% do tempo.

Após a aplicação da prova de conceito, foi possível avaliar, com base nos registros realizados, as principais lições aprendidas que deverão ser estudadas com maior profundidade em estudos futuros, para viabilizar, de forma eficiente, o ingresso da tecnologia no ambiente offshore no horizonte de curto prazo.

Desta forma, o presente artigo apresenta, através da metodologia de análise orientada pelo *Project Management Institute* - PMI (2021), as lições aprendidas após a aplicação do PoC. Nesse ínterim, foi realizada a seguinte estruturação: a seção 2 contempla a revisão da literatura sobre a

metodologia de lições aprendidas aplicada, a seção 3 descreve a metodologia *bowtie* e o detalhamento das variáveis de controle. A seção 4 apresenta os resultados e análises e, a seção 5 dispõe das conclusões e discussões sobre o potencial de aplicação em projetos futuros voltados à mobilidade aérea urbana e logística remota.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Literatura sobre RPA

Trindade et al. (2022) destaca que as RPA têm se consolidado como ferramentas logísticas versáteis, especialmente em setores como mineração, agronegócio e, mais recentemente, em operações marítimas e offshore. Pimenta et al. (2022) reforça que a recente pandemia do Covid 19 acelerou a adoção de RPA como alternativa logística, destacando sua aplicabilidade em ambientes de difícil acesso e sua capacidade de operar com menor risco humano.

Asadzadeh, Oliveira e Souza Filho (2022) destacam seis áreas principais de aplicação no uso de RPA para o setor de óleo e gás: detecção de derramamentos de óleo em ambientes offshore, monitoramento de vazamentos e dutos terrestres, sensoriamento de emissões gasosas, inspeção remota de instalações, mapeamento geológico e topográfico, e monitoramento ambiental. A versatilidade das RPA, aliada à miniaturização de sensores ópticos, térmicos, hiperespectrais e de gases, permite a coleta de dados em alta resolução com maior segurança, menor custo e maior agilidade, superando as limitações de plataformas convencionais, que utilizam satélites e aeronaves tripuladas.

A PETROBRAS (2024) está buscando alternativas para o emprego de RPA para o transporte de carga inclusive por meio de aeronave cujo peso máximo de decolagem seja superior a 150kg em missões de longa distância (180km por trecho). O teste verificou o potencial de transporte cargas de até 50 kg, coletando dados para o compartilhamento do espaço com outras aeronaves; definindo melhores rotas, altitudes, procedimentos de subida e descida. Esse tipo de tecnologia também tem o potencial de reduzir emissões de gases de efeito estufa no transporte de cargas leves. O referido teste foi realizado em parceria com o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), empresa prestadora do serviço de tráfego aéreo nacional - NAV Brasil, Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, as empresas aéreas OMNI Taxi Aéreo (brasileira) e *Nordic Unmanned Group* (norueguesa),

2.2 Literatura sobre Lições Aprendidas

Boin (2008) revela importantes lições metodológicas para projetos dos ônibus espaciais Challenger (1986) e Columbia (2003), sob a gestão da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A análise mostra que, embora a NASA tenha adotado diversas recomendações técnicas após o desastre do Challenger, falhou em promover mudanças estruturais profundas em sua cultura organizacional e concepção de risco, o que contribuiu para a repetição de falhas no caso do Columbia. A principal lição metodológica extraída é a distinção entre aprendizado de ciclo simples (*single-loop*) — correções pontuais sem alterar pressupostos fundamentais — e aprendizado de ciclo duplo (*double-loop*) — revisão crítica de paradigmas e estruturas organizacionais. O presente artigo não aborda aspectos de lições aprendidas de cunho de melhoria organizacional, apenas o viés técnico.

O aprendizado single-loop refere-se à correção de erros sem questionar os pressupostos fundamentais que levaram ao erro; no caso da NASA, isso se traduziu em: (a) redesenho técnico dos componentes defeituosos (como os *O-rings* do Challenger), (b) criação de novos departamentos e comitês de segurança e (c) reforço de procedimentos já existentes.

O aprendizado *double-loop* transcende as questões técnicas, envolvendo a revisão dos valores, normas e pressupostos que sustentam as decisões e práticas organizacionais. Segundo o Boin, no caso da NASA, isso significaria: (a) questionar a filosofia de risco que prioriza o voo como principal forma de validação, (b) rever a estrutura de tomada de decisão e comunicação entre engenheiros e gestores e (c) reformular a cultura organizacional que valoriza o sucesso técnico acima da prudência.

Posto isso, infere-se que buscar lições aprendidas vai muito além de registrar erros e acertos, visto ser um processo que proporciona gerir conhecimento e melhoria contínua. A Metodologia do PMI - *Project Management Institute (2021*) indica passos estruturais para o processo de Lições aprendidas, apresentados aqui de forma resumida: (1) Planejar quando e como os registros serão feitos, (2) Coleta de dados com responsáveis definidos, (3) Análise por tema e (4) Documentar de forma preferencialmente padronizada. Após a aplicação dos 5 passos, as Lições devem ser compartilhadas e incorporadas.

O teste com emprego da RPA para o transporte de carga de Sergipe não possui o mesmo viés experimental do que os testes realizados pela NASA, tendo em vista que a aeronave utilizada já havia realizado diversos testes e serviços no Brasil e no exterior. O teste teve por gênese 4 objetivos: (1) demonstrar capacidade de operação através de CCO (Centro de Comando de Operações) com o objetivo de eliminar a necessidade do piloto RPA estar na plataforma; (2) identificar possibilidades de utilização de variante da RPA com guincho para realizar entregas em plataformas sem área de pouso; (3) demonstrar a capacidade de rápida coordenação com a plataforma para cenários de emergência que envolvam a atuação da Aeronave Aeromédico e (4) manter a qualidade e segurança no transporte de carga, em especial no transporte de refeições entre as plataformas. Com base nos passos orientados pelo PMI (2021), os objetivos dos testes representam os temas para a futura análise das lições aprendidas.

Os processos de aviação na PETROBRAS estão estabelecidos em padrões corporativos, em consonâncias com referências internacionais, em especial no cabedal de boas práticas da *International Association of Oil and Gas Producers* (IOGP). Para o escopo do teste, a PETROBRAS aplicou uma análise de risco operacional, disposta por meio da metodologia *bowtie*.

O método *bowtie* é considerado uma evolução gráfica do modelo do "queijo suíço" de James Reason (1990), ao integrar causas, barreiras e consequências em um único diagrama centrado no evento principal. Diferente do modelo original, que representa defesas falhas em camadas, o *bowtie* permite uma análise mais operacional e visual dos riscos. Estudos como Alizadeh et al. (2015) e diretrizes da UK CAA destacam sua aplicabilidade prática, especialmente na aviação, por facilitar o aprendizado organizacional e a gestão proativa da segurança.

A análise de risco operacional PETROBRAS para o emprego RPA em suas instalações foi desenvolvido para avaliar o comportamento das ameaças que poderiam desencadear na mudança da trajetória pretendida em uma missão da aeronave. De acordo com a metodologia *bowtie*, o aspecto da normalidade para a missão é a "operação com RPA" e seu risco correlacionado é "o desvio da trajetória pretendida".

O referido risco poderá ocorrer em detrimento das seguintes oito ameaças: (a) condições ambientais adversas, (b) aeronavegabilidade não regulada, (c) fauna, (d) restrições operacionais da RPA ou do espaço aéreo, (e) habilitação de operador não condicionada por modelo de RPA classe 3, (f) proximidade de outras aeronaves em voo, (g) interferência ilícita e (h) falibilidade humana. As três consequências correlacionadas com o risco em pauta são: colisão em voo contra aeronave tripulada, colisão no solo contra instalação crítica e colisão no solo contra pessoa.

Dentre as oito ameaças, a pesquisa não endereçou os aspectos relacionados a fauna, tendo em vista que a área de atuação não tem histórico de problemas com fauna; habilitação de operador não condicionada por modelo da RPA classe 3, tendo em vista que a empresa contratada era a responsável pela operação com autorização concedida pelas autoridades nacionais e interferência ilícita. Com base nos passos orientados pelo PMI (2021), as ameaças representam os dados a serem coletados e registrados para a futura análise das lições aprendidas.

3 METODOLOGIA BOWTIE E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE

Após a identificação das cinco ameaças dispostas no *bowtie* (seção 2), a equipe técnica multidisciplinar composta por engenheiros, pilotos, mecânicos e especialistas de gestão do risco, efetuaram o planejamento das missões. A equipe técnica da empresa Speedbird foi composta por 3 (três) profissionais, e o corpo técnico responsável pelo Centro de Controle Operacional se encontrava na cidade de Franca em São Paulo.

A elaboração da tabela de voo foi realizada e posteriormente realizou-se a Análise Preliminar de Risco, ferramenta de gestão PETROBRAS, tendo como base a Avaliação de Risco Operacional, em atendimento aos regulamentos da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por meio do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) nº94 e a Instrução Suplementar (IS) nº 94-003.

Foram identificados 4 cenários de risco: perda de aeronavegabilidade causado por perda de sinal rádio enlace entre piloto em comando e aeronave, perda de aeronavegabilidade causado por alteração climática, colisão com obstáculos no entorno de helideque e contato inadvertido com a RPA. A mitigação dos riscos foi contemplada pelas seguintes recomendações:

i. Antes de cada voo, consultar as informações meteorológicas por meio de aplicativos disponível, banco de dados da aeronáutica e por meio de anemômetro portátil;
ii. Antes de cada voo, consultar o posicionamento do guindaste da plataforma;
iii. Realizar o mapeamento da infraestrutura necessária para o pouso em cada uma das unidades marítimas de interesse. O referido reconhecimento será realizado por meio da aeronave, com registro fotográfico, para identificar eventuais obstáculos;
iv. Realizar a sinalização horizontal adequada e isolamento da área para pouso e decolagem;
v. Realizar briefing inicial para as equipes técnicas no teste (plataformas e porto TMIB);
vi. Efetuar coordenações com equipe de gestão do helicóptero de resgate aeromédico.

As recomendações 2 e 3 foram materializadas conforme disposto nas Figuras 2 e 3.

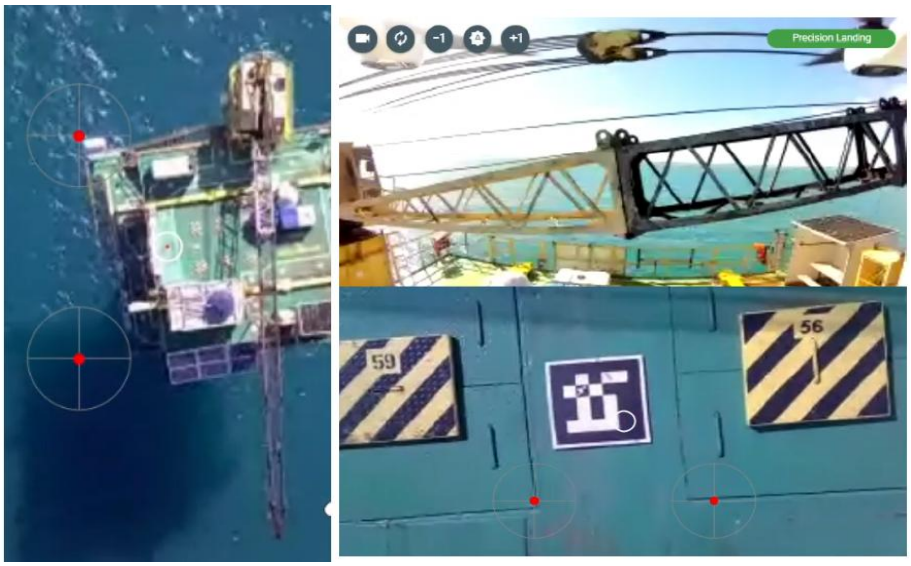


Figura 2. Tela do piloto de RPA em comando na fase de aproximação da plataforma PCB-03. Fonte: Petrobras.

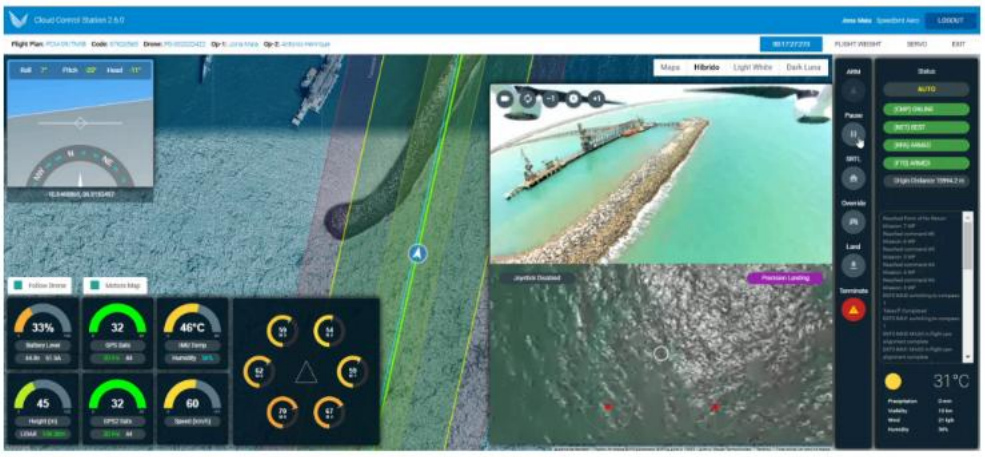


Figura 3. Tela do piloto de RPA em comando durante a missão PCM09 – porto TMIB. Fonte: Petrobras.

A Figura 2 apresenta a sinalização horizontal utilizada como balizamento de posicionamento de pouso, intitulada ArUco, O ArUco é um padrão fiducial 2D codificado em binário, projetado para ser rapidamente localizado por sistemas de visão computacional. Os padrões dos marcadores ArUco são definidos por um dicionário binário no OpenCV, e as diversas funções da biblioteca retornam IDs de padrões e informações de pose de imagens digitalizadas (Garrido et al, 2014).

Concluídas as análises supramencionadas, a equipe técnica realizou os voos previstos para posterior preenchimento da análise das cinco ameaças selecionadas e descritas na seção 2, sendo constatado que algumas barreiras de segurança não foram atendidas durante a realização das missões, conforme apresentado na Figura 4.

Através do passos orientados pelo PMI (2021) os processos anteriores e durante o voo, com base nas cinco ameaças selecionadas, foram registradas e documentadas.

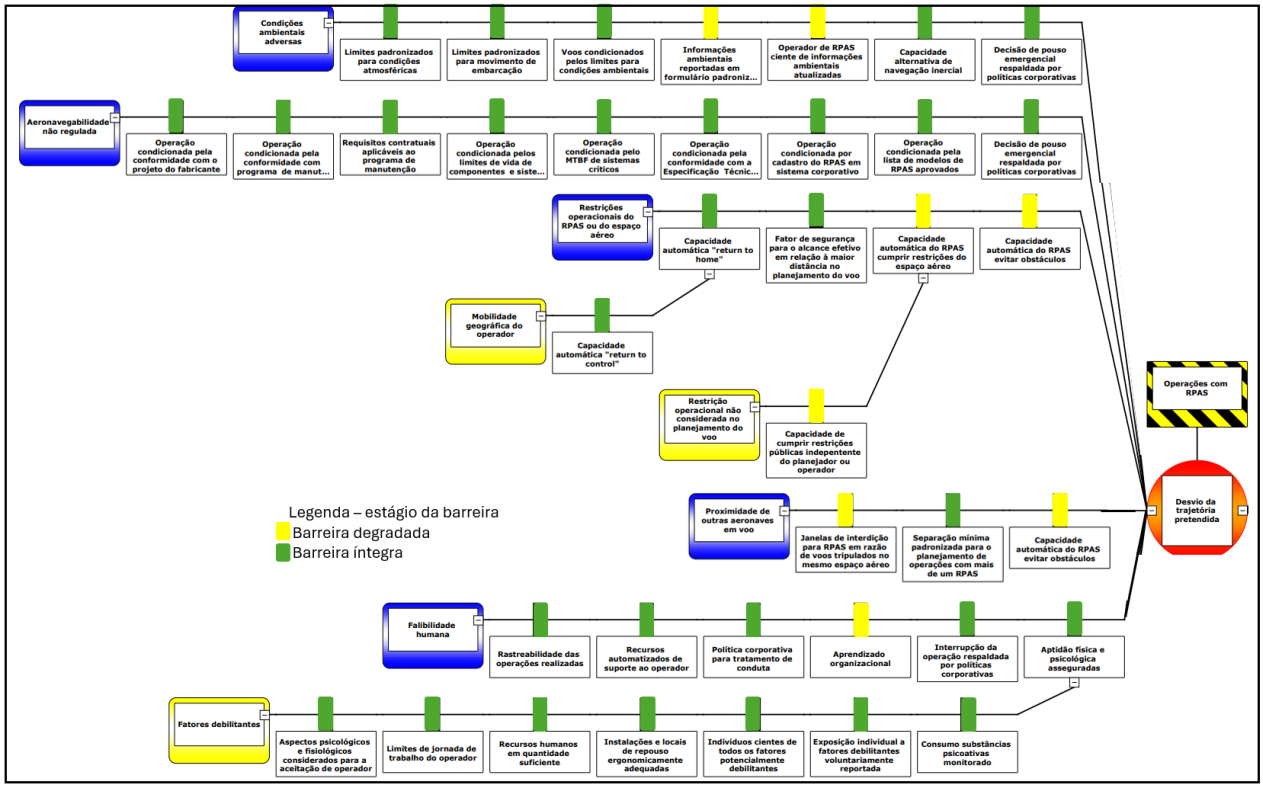


Figura 4. Análise de risco bowtie realizado após o encerramento as missões operacionais. Fonte: Petrobras.

Considerando o ineditismo do escopo em pauta, o resultado demonstrou que a robustez da análise de risco bowtie para operações com RPA no ambiente de óleo e gás e, que os pontos de atenção identificados apresentam baixa complexidade, tendo em vista não haver a necessidade de

melhorias no que tange a requisitos de aeronavegabilidade da RPA, mas sim na melhoria de processos e procedimentos nas operações da empresa aérea e das plataformas. A seção 4 apresenta as discussões técnicas em relação a fragilidade das barreiras degradadas (barreiras em amarelo).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Embora as plataformas dotadas de heliponto necessitem estar equipadas com o sensor anemômetro, a somente plataforma de PCM09 era dotada desta informação. Nesse sentido, as barreiras "Informações ambientais reportadas em formulário padronizado" e "Operador de RPAS cientes das informações ambientais atualizadas" não foram atendidas incialmente.

Considerando que a RPA é mais sensível às alterações de medições eólicas, foi possível registrar a realização de decolagens com ventos de 16 nós constantes e acima de 22 nós de rajadas de ventos, sem quaisquer danos ou perda de posição e direção. Como medida mitigadora ao processo, as operações em algumas plataformas foram realizada com o auxílio de um anemômetro portátil para a realização da medição do vento de maneira instantânea. Em outras operações, adotou-se o procedimento de descida para pouso com velocidade reduzida, com o monitoramento das condições eólicas locais, porém com a parametrização do dispositivo "*return to home*" ativado, de forma a mitigar eventuais alterações que comprometessem a operação. Em função das condições atmosféricas locais, a manobra não foi realizada.

Com relação ao formulário padronizado, recomendou-se a adoção do procedimento, por meio de contato bilateral telefônico entre a localidade do piloto em comando e as plataformas de destino, com os intervalos de 30 minutos e 5 minutos de antecedência à decolagem, visando o aumento da consciência situacional da pilotagem. Futuramente, recomenda-se o cadastro das informações meteoceanográficas em um aplicativo ou ferramenta de suporte à decisão mais robusta, tendo em vista que a meteorologia desempenha um papel crucial nas operações offshore, visto que esta influencia diretamente na segurança, eficiência e economia dessas atividades. Condições meteorológicas adversas, como ventos fortes, ondas altas e tempestades, podem causar atrasos, interrupções e até acidentes em plataformas e navios offshore.

Outro ponto relevante, correlacionado com as Análise de Risco e Preparação do Local de Operação: foi constatado a importância de se implementar uma inspeção (*site survey*) antes da mobilização, para garantir que o local de pouso/decolagem esteja seguro para o início das operações.

Com relação a barreira "capacidade automática da RPA cumprir as restrições do espaço aéreo", verificou-se que, diferentemente dos aeródromos terrestres (aeroportos e helipontos onshore), as plataformas não estão cadastradas nas plataformas georreferenciadas utilizadas pelos fabricantes das RPA, a exemplo a base de cadastro utilizada pelo fabricante DJI. A referida plataforma somente autoriza a realização de voos na zona de proteção dos aeródromos terrestres mediante uma coordenação preliminar e parametrização no sistema de navegação aérea da RPA. Considerando que as plataformas constantes do escopo são fixas, as partes vislumbraram a possibilidade de determinação de uma *no-fly zone* a ser parametrizada no sistema de navegação da aeronave.

Verificou-se a oportunidade de parametrização, primeiramente manualmente, das informações das áreas industriais da PETROBRAS no software de gerenciamento da RPA, de maneira a estabelecer as devidas restrições necessárias para a harmonização do uso do espaço aéreo, em atendimento aos regramentos do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA.

Ainda sobre esse tema, verificou-se a necessidade de melhoria na integração das informações com outros players, tendo em vista que a empresa responsável pela operacionalização do espaço aéreo (NAV Brasil) e pelo aeroporto de Aracaju (INFRAERO) não estavam cientes dos detalhes técnicos dispostos no NOTAM (*notice do airman*) às vésperas do início dos testes.

Com relação a barreira "janela de interdição para RPA em razão de voos tripulados no mesmo espaço aéreo", verificou-se que durante o teste houve o acionamento real de transporte aeromédico por helicóptero. A equipe de operações da RPA tomou conhecimento por meio da plataforma.

Considerando que a premissa do projeto, conforme NOTAM (*notice do airman*), estabelecia as que as missões com RPA seriam realizadas espaço aéreo segregado sem outras operações de aeronaves tripuladas, verificou-se a necessidade de melhoria na coordenação operacional junto a equipe gestora pelas atividades de resgate de enfermos por meio de helicóptero. Verificou-se que a colaboração entre diferentes players, como a Infraero e a empresa aérea, e a integração com o controle de tráfego aéreo são pontos de fundamentais para garantir a segurança e a fluidez das operações.

O evento do acionamento da decolagem foi identificado pela equipe técnica na plataforma, que efetuou a avaliação sobre o melhor ponto para realização do pouso da RPA, e em função da proximidade da plataforma PCM09, o pouso foi realizado e a infraestrutura de suporte para as operações foram retiradas: antenas de enlace de dados Starlink e o ArUco para realização do pouso

Com relação a barreira que versa sobre a "capacidade automática da RPA evitar obstáculos", embora a RPA apresente a funcionalidade disponível, verificou-se que o contexto operacional empregado no teste dispõe de obstáculos distintos em relação ao ambiente urbano, em especial a quantidade de superfícies e equipamentos metálicos. Verificou-se que essa característica é uma barreira tecnológica, afetando por vezes a leitura dos sensores de proximidade, sendo necessário a observação visual dos pilotos para a identificação e livramento dos obstáculos. Tal condição foi observada com atenção pela equipe, podendo limitar a realização de voos durante o período noturno, tendo em vista a redução da percepção visual dos pilotos.

Com relação ao aprendizado operacional, embora as operações com RPA classe 3 já ocorram na PETROBRAS desde as autorizações concedidas pelas Autoridade Aeronáuticas – DECEA e ANAC – verificou-se que a força de trabalho que utiliza as RPA não as identifica como aeronaves, em especial no que tange as implicações legais caso ocorram incidentes ou acidentes. Tal fato é evidenciado pela necessidade de sinalização horizontal para as operações de RPA, visando segregação das operações da plataforma em relação as operações da RPA e considerando que as áreas operacionais industriais continuarão sendo povoadas por profissionais com pouco ou nenhum conhecimento da aviação, recomenda-se o uso de sinalização horizontal na área de pouso/decolagem da aeronave. A referida sinalização deve ser compatível com a zona de segurança de pouso da aeronave e/ou eventual degradação de sistemas de navegação que permita a continuidade das operações com segurança. A proposta é criar zonas de segurança na plataforma tipo alvo (verde, amarela e vermelha) para delimitar as áreas de operação do RPA para majorar a segurança. A referida medida tem o potencial de garantir que a área ao redor do RPA esteja livre de obstáculos e que todos os envolvidos na operação saibam onde estão as áreas de risco.

Durante o teste, foram realizadas entrevistas informais junto a força de trabalho, sendo constatada a necessidade de treinamento regular junto aos profissionais da plataforma, visando conscientizar a cultura de aviação. A rotatividade dos funcionários nas plataformas é um fator crítico. Estruturar e implementar um treinamento contínuo para que o pessoal da plataforma esteja sempre familiarizado com a operação da aeronave ajudará a minimizar erros e garantir maior eficiência e segurança nas entregas. O ambiente das operações das plataformas traz consigo semelhanças em relação à doutrina de aviação, em especial na realização dos briefings operacionais e emprego dos checklist para guiar o roteiro operacional.

Adicionalmente, como oportunidade de melhoria, considerando os aspectos de navegação e interferência eletromagnética, identificou-se barreira junto a ameaça de aeronavegabilidade não regulada – operação condicionada pelo ambiente operacional offshore. Durante os testes de operação de RPAS classe 3 modelo DLV-2, doravante DLV-2, foi observada a influência da interferência magnética decorrente da proximidade com grandes estruturas metálicas e elementos de alta potência elétrica, como os guindastes existentes em Plataformas. Embora a área de testes esteja livre de outras fontes de interferência, a presença de uma massa metálica concentrada foi identificada como um fator determinante para a distorção nas bússolas.

A qualidade das leituras dos magnetômetros do DLV-2 variou conforme a posição do guindaste, especialmente quando este estava em operação ativa. Apesar de não ser possível afirmar precisamente

que esta interferência magnética seja o único fator responsável por essas alterações, as análises indicaram que sua proximidade pode ter impactado nos sensores. Não foram observados, porém, impactos na leitura dos módulos de GPS.

Diante desse cenário, foi proposto a implementação de uma parametrização de software que defina as zonas de voo seguras, de forma a garantir que a aeronave evite áreas de risco, o que assegura maior estabilidade e precisão durante as operações. Ainda, foi proposto também, a utilização de tecnologia *Moving Baseline*, conhecida como GPS-for-YAW, nas operações que contemplem voos nas proximidades das plataformas.

Além da maior robustez em ambientes adversos, o uso do GPS-for-YAW traz benefícios diretos à segurança operacional e à autonomia do sistema. Ao eliminar a necessidade de calibrações frequentes de bússola e reduzir o tempo de estabilização da aeronave após a decolagem, o sistema contribui para operações mais fluidas, reduz a carga de trabalho do piloto remoto e aumenta a previsibilidade do comportamento do RPA em missões críticas. Outro ponto relevante é que a implementação dessa tecnologia pode ser feita sem modificações físicas na aeronave, uma vez que os modelos DLV-2 já contam com hardware compatível. Isso favorece a agilidade na submissão de alterações ao projeto junto à autoridade reguladora, tornando sua adoção prática e viável no curto prazo para cenários operacionais offshore.

Outro relevante aprendizado operacional, verificou-se que as versões mais recentes do DLV-2 foram projetadas com um sistema de braços dobráveis que representa um avanço significativo em termos de praticidade logística e operacional. Diferentemente da variante utilizada durante a PoC – que exigia a desmontagem manual dos braços para o transporte – o novo design permite que a aeronave seja preparada para transporte ou armazenamento em poucos segundos, sem a necessidade de ferramentas ou desmontagem de componentes estruturais. Esse recurso reduz drasticamente o tempo de preparação da missão, simplifica os procedimentos de manutenção e minimiza o risco de danos por montagem incorreta.

Além disso, as dimensões compactas do DLV-2 com os braços recolhidos (cerca de 805 mm de diâmetro e menos de 670 mm de altura) permitem que a aeronave seja armazenada em volumes menores, otimizando o uso do espaço em contêineres, embarcações ou veículos terrestres. Isso é especialmente relevante para operações offshore, onde o espaço disponível em plataformas é limitado. A modularidade mantida entre as variantes também assegura compatibilidade com os sistemas existentes (guincho, sensores e *payloads*), tornando a nova versão ainda mais atrativa para operações rotineiras, tanto em ambientes embarcados quanto em bases em terra.

No dia 03/12/24, enquanto a equipe Speedbird realizava os preparativos entre voos do DLV-2, foi comunicado, no sistema de som da plataforma, que o aeromédico estava sendo acionado. Em 3 minutos e 40 segundos, todo o equipamento relacionado à operação RPA já havia sido retirado e o helideque já estava liberado para receber o helicóptero em situação de resgate e emergência.

De forma resumida, a Tabela 1 apresenta como dados de entrada a descrição dos temas para coleta de dados com base nos objetivos da PoC. Os dados coletados têm origem nos riscos analisados com o suporte da metodologia do bowtie. Após a execução do teste de PoC foi possível obter 10 (dez) pontos de melhoria que serão objeto de retroalimentação e desdobramento em estudos futuros.

Tabela 1 - Lições Aprendidas com base nos Objetivos Primários do PoC.

Objetivos Primários da PoC	**Riscos Analisados**	**Lições Aprendidas**
Temas para Análise das Lições Aprendidas	**Coleta de Dados para Análise das Lições Aprendidas**	**Documentadas e Compartilhadas**
A. Demonstrar capacidade de operação através de CCO remoto. B. Identificar possibilidades de utilização de variante da RPA com guincho. C. Demonstrar a capacidade de rápida coordenação com a plataforma para cenários de emergência D. Manter a qualidade e segurança no transporte de carga	1. Condições ambientais adversas. 2. Aeronavegabilidade não regulada. 3. Restrições operacionais da RPA ou do espaço aéreo. 4. Proximidade de outras aeronaves em voo. 5. Falibilidade humana.	1. Uso do anemômetro portátil para a realização da medição do vento de maneira instantânea. Em outras operações, adotou-se o procedimento de descida para pouso com velocidade reduzida. 2. Cadastrar informações meteoceanográficas em um aplicativo ou ferramenta de suporte à decisão mais robusta. 3. Inspecionar e registrar (*site survey*) antes da mobilização. 4. Determinar de uma *no-fly zone* a ser parametrizada no sistema de navegação da aeronave. 5. Prover melhoria na integração das informações com outros players. 6. Melhorar a coordenação operacional junto a equipe gestora pelas atividades de resgate de enfermos por meio de helicóptero. 7. Sinalizar horizontalmente e segregar as operações de RPA, das operações da plataforma. 8. Treinar regularmente os profissionais da plataforma. 9. Utilizar a tecnologia *Moving Baseline para questões magnéticas.* 10. Considerar versões mais recentes do DLV-2;

Fonte: elaboração dos autores

5 CONCLUSÃO

A prova de conceito conduzida pela Petrobras, em parceria com a Speedbird Aero, demonstrou de forma robusta a viabilidade técnica e operacional do uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para transporte de cargas em ambiente offshore. Os resultados obtidos, especialmente a redução de até 36% no tempo de atendimento logístico, evidenciam o potencial transformador da tecnologia para operações em áreas remotas e de difícil acesso. A análise de risco operacional, estruturada pela metodologia Bowtie, permitiu identificar ameaças críticas como condições ambientais adversas, proximidade de outras aeronaves e falibilidade humana, além de destacar barreiras de segurança degradadas que exigem aprimoramento.

A seção de resultados e análises revelou aprendizados relevantes, como a necessidade de integração meteorológica mais precisa, inspeções prévias ao local de operação (site survey), sinalização horizontal adequada e coordenação com aeronaves tripuladas em cenários de emergência. A limitação tecnológica dos sensores de proximidade em ambientes metálicos e a ausência de cadastro georreferenciado das plataformas offshore também foram identificadas como pontos de atenção. A adoção de soluções como zonas de voo seguras, GPS-for-YAW e sistemas de braços dobráveis para RPA representa avanços significativos em termos de segurança e logística.

Esses aprendizados operacionais transcendem o ambiente offshore, sendo aderentes na discussão em curso sobre a viabilidade do uso de RPA no contexto urbano e em cidades inteligentes. A necessidade de sinalização horizontal, treinamento contínuo da força de trabalho e integração com sistemas de controle de tráfego aéreo são igualmente aplicáveis em ambientes urbanos densos. A metodologia Bowtie mostrou-se eficaz para mapear riscos e promover o aprendizado técnico, sendo uma ferramenta estratégica para apoiar a expansão segura e eficiente da mobilidade aérea urbana.

Ainda, a aplicação sistemática de lições aprendidas representa um instrumento estratégico para a melhoria contínua e a gestão do conhecimento organizacional. Ao identificar, registrar e compartilhar experiências adquiridas durante a execução de projetos ou operações, é possível reduzir a reincidência de erros, replicar boas práticas e otimizar processos futuros, o que reforça a busca contínua pela segurança. Esse mecanismo fortalece a tomada de decisão baseada em evidências,

promove maior maturidade e agilidade organizacional, além de contribuir diretamente para o aumento da eficiência, da eficácia e da efetividade das iniciativas. Além disso, ao integrar as lições aprendidas aos ciclos de planejamento e execução, as organizações desenvolvem uma cultura de aprendizado que favorece a inovação e a resiliência frente a desafios operacionais.

Por fim, os resultados obtidos não apenas validam o uso de RPA em operações logísticas remotas, como também oferecem subsídios concretos para sua aplicação em projetos futuros voltados à mobilidade aérea urbana, contribuindo para o avanço das cidades inteligentes e da logística remota.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANAC. RBAC nº94 – Emenda 3 (2023) Requisitos Gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil.

ANAC. IS nº 94-003 – Emenda A (2017) Procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas.

Alizadeh, S.S., P. Moshashaei, P. (2015) The Bowtie method in safety management system: A literature review. Scientific Journal of Review (2015) 4(9) 133-138 - doi: 10.14196/sjr.v4i9.193

ArUco Markers: https://fab.cba.mit.edu/classes/865.21/people/zach/arucomarkers.html

Asadzadeh, S., Oliveira, W.J.d. and Souza Filho, C.R.d. (2022) Uav-based Remote Sensing for the Petroleum Industry and Environmental Monitoring: State-of-the-Art and Perspectives. Journal of Petroleum Science and Engineering, 208, Article ID: 109633. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109633

Boin A. 2008 “Learning from Crisis: NASA and the Challenger Disaster” Governing after Crisis - The Politics of Investigation, Accountability and Learning, pp. 232-254, online ISBN: 9780511756122

De Ruijter, A., Guldenmund, F. (2016) The bowtie method: A review - Safety Science- volume 88, pp 211-218, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.001

IOGP 696 (2023) Remotely Piloted Aircraft Systems, Version 01.

Garrido S.J., Munoz, R.S., Cuevas, F. J. M., Jimenez, M.J.M. 2014. "Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion". Pattern Recogn. 47, 6 (June 2014), 2280-2292. DOI=10.1016/j.patcog.2014.01.005

Trindade, R. M.; Silva, A. C.; Pereira, J. L. (2022). Aplicações de RPA na logística de operações offshore: uma revisão sistemática. Revista Brasileira de Engenharia de Produção, v. 22, n. 1, p. 45–60.

Pimenta, F. A.; Oliveira, M. S.; Costa, R. M. (2022) A logística com RPA em tempos de pandemia: desafios e oportunidades. Revista Gestão & Tecnologia, v. 22, n. 3, p. 89–105.

PETROBRAS (2024) – “Petrobras realiza voo pioneiro no Brasil com aeronave remotamente pilotada -”https://agencia.petrobras.com.br/w/negocio/petrobras-realiza-voo-pioneiro-no-brasil-com-aeronave-remotamente-pilotada?p_l_back_url=%2Fresultado-da-busca%3Fq%3Ddrone%26classTypeId%3D10628772%26sort%3DcreateDate-&p_l_back_url_title=Busca

Project Management Institute (2021). Guia PMBOK. 7ª edição. Project Management InstituTe.

Relatório Técnico da Prova de Conceito - Speedbird - PETROBRAS AJU (2024)

Reason, J., (1990). Human Error. Cambridge University Press

UKCAA (2025) - *Where did bowtie come from? How this risk assessment model developed* https://www.caa.co.uk/safety-initiatives/working-with-industry/bowtie/about-bowtie/where-did-bowtie-come-from