

**INTERPRETAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO E A TOMADA DE DECISÃO:
UMA DISCUSSÃO ACERCA DO CONHECIMENTO ADQUIRIDO SOBRE
METEOROLOGIA NOS CURSOS DE FORMAÇÃO DE
PILOTO COMERCIAL NO BRASIL**

**Beatriz Miranda Ferber¹
Tammyse Araújo da Silva²**

RESUMO

O radar meteorológico de aeronaves é um equipamento de segurança operacional, haja vista sua utilização como ferramenta de auxílio na tomada de decisão em caso de meteorologia adversa. Partindo dessa premissa, o estudo teve como objetivo verificar se há lacunas nos ensinamentos teórico e prático sobre meteorologia aeronáutica e radar meteorológico no contexto do curso de piloto comercial no Brasil. A metodologia adotada na pesquisa é de abordagem qualitativa-quantitativa e natureza básica, utilizando-se de procedimentos bibliográficos, documentais e de pesquisa de campo, concretizada por meio da aplicação de questionário a 105 pilotos comerciais. Entre os resultados, verificou-se que a maior parte dos profissionais pesquisados (79%) não passou por treinamento com radar meteorológico durante o curso de formação, tendo aprendido a utilizá-lo ao longo de sua experiência profissional. Os dados ainda apontaram que essa deficiência no treinamento interferiu na capacidade do piloto (já licenciado) em julgar as condições meteorológicas com o uso do radar, sentindo-se inseguro ou com receio de tomar decisões. Diante dessa realidade, verificaram-se lacunas, especialmente no módulo teórico, no que se refere ao ensino de operação do radar meteorológico, sendo que o normativo da Agência Nacional de Aviação Civil sobre formação sequer faz menção a esse conteúdo nessa fase da instrução. Já no ensino prático, a norma apenas sugere o exercício

¹ Graduanda em Ciências Aeronáuticas, Piloto Privado. E-mail: beatrizferber@gmail.com

² Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduada em Ciências Aeronáuticas pela Unisul. Professora da Escola Politécnica e de Artes no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC e pela Infraero. E-mail: tammyse@hotmail.com/
tammyse@pucgoias.edu.br

voltado para o radar. Para superar essa deficiência, recomenda-se à ANAC e às escolas de formação incorporar aos currículos teórico e prático conteúdos sobre detalhamento, operação e prática do radar.

Palavras-chave: Radar meteorológico; Tomada de decisão; Currículo; Formação; Piloto comercial.

INTERPRETATION OF WEATHER RADAR AND DECISION MAKING: A DISCUSSION ABOUT THE METEOROLOGICAL KNOWLEDGE ACQUIRED IN COMMERCIAL PILOT TRAINING COURSES IN BRAZIL

ABSTRACT

The aircraft weather radar is an operational safety equipment, considering its use as a tool in decision making in adverse weather conditions' situations. Based on this premise, the study aimed to verify if there are gaps in both theoretical and practical teaching about aeronautical meteorology and weather radar in the context of the commercial pilot courses in Brazil. The methodology adopted has a qualitative-quantitative approach and a basic nature, using bibliographic and documental procedures, as well as field research, accomplished through a questionnaire application to 105 commercial pilots. Among the results, it was found that the majority of the surveyed professionals (79%) did not go through training with weather radar during the training course, and that they have learned to use it during their professional experience. The data also pointed out that this deficiency in training interfered with the ability of the pilot (already licensed) to judge weather conditions based on the radar, feeling insecure to make decisions. Given this reality, it is concluded that there are gaps, especially in the theoretical module, regarding the teaching of weather radar operation, and that regulatory agency (ANAC) standard about the theme does not even mention this content at this stage of instruction. In the practical instruction, the standard only suggests the exercise focused on radar usage. To overcome this deficiency, it is suggested to ANAC and training schools to incorporate radar detailing, operation and practice contents in the theoretical and practical curriculums.

Keywords: *Weather Radar; Decision Making; Curriculum; Training; Commercial Pilot.*

1 INTRODUÇÃO

O ensino voltado à meteorologia aeronáutica direcionado à interpretação do radar meteorológico e à tomada de decisão, em condições adversas de tempo, em cursos preparatórios (teórico e prático) para pilotos comerciais que voam sob regras de voo por instrumentos (IFR) são discussões relevantes e atuais. Isto se deve ao fato de que estes são importantes elementos de competência destes futuros profissionais, além do fato de que a ANAC estabelece a necessidade de interpretar corretamente as condições de tempo, conhecimento este essencial para a tomada de decisão assertiva que leve à segurança das operações aéreas.

Diante dessa realidade, este estudo tem como objetivo verificar junto a pilotos comerciais brasileiros se os conhecimentos sobre meteorologia e sobre interpretação do radar meteorológico da aeronave, supostamente adquiridos durante os cursos de formação, são suficientes para a tomada de decisão adequada quando em voo sob condições de tempo adversas.

Utilizando-se do método indutivo, realizou-se uma pesquisa qualitativa-quantitativa, de natureza básica, com abordagem teórica, utilizando-se procedimentos bibliográficos e documentais, e pesquisa de campo com objetivo exploratório, a fim de alcançar o propósito do estudo (PRODANOV; FREITAS, 2013). Desta forma, buscou-se como fonte de pesquisa os autores Bidinotto e Cesarino; Costa e Silva; Rodeguero e Branco, entre outros, além de dados da ANAC, do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) e da Airbus.

Estruturalmente, o texto é sistematizado em quatro seções. A primeira contextualiza a importância do saber sobre meteorologia aeronáutica para pilotos e traça os caminhos para este ensino-aprendizado; discorre, ainda, sobre o radar meteorológico de bordo e a relevância de sua interpretação, além de apresentar o número de ocorrências aeronáuticas brasileiras ocasionadas por condições meteorológicas adversas. A segunda seção descreve os procedimentos

metodológicos. A terceira apresenta os resultados da pesquisa de campo. Por fim, as considerações finais são tecidas.

2 REVISÃO TEÓRICA

No decorrer de sua história, a aviação passou – e constantemente ainda passa – por inúmeras situações que resultaram em novos conhecimentos e adaptações. Quando o ser humano alçou voo nos rudimentares balões do passado – a exemplo dos idealizados pelos irmãos Montgolfier, em 1783, já existia a necessidade de conhecer os efeitos da atmosfera sobre esses artefatos voadores (BIZERRA, 2008). Todavia, antes mesmo dos balões dos irmãos franceses, a busca pelo conhecimento sobre as condições atmosféricas da Terra já se fazia presente há mais de dois milênios, a partir dos questionamentos do filósofo e polímata grego Aristóteles, e era progressivamente desenvolvida, em especial a partir dos séculos XVII e XVIII (CUNHA, 1997).

Os saberes sobre a meteorologia foram impulsionados com o advento de instrumentos capazes de realizar leituras dos parâmetros atmosféricos (temperatura, pressão, vento, umidade entre outros) (RIBEIRO, 2011). Estes resultaram nas radiossondas, nos satélites meteorológicos, nos radares e na previsão do tempo (OLIVEIRA; AMORIM; DEREZYNSKI, 2018).

Mais tarde, no período entre guerras (1918-1939), os radares meteorológicos também foram incorporados às aeronaves. Essa necessidade partiu da constatação de que o piloto de uma aeronave deve estar ciente das formações meteorológicas ao redor dos aeroportos e em rota, conhecimento este essencial para evitar tempestades, regiões de turbulência e de gelo e outras condições indesejadas, mediante desvios de rota que garantam a segurança da operação (BIDINOTTO; CESARINO, 2017).

Segundo Costa e Silva (2016), quando o radar é utilizado de maneira correta e eficiente, ele contribui expressivamente para a segurança da aeronave e, por consequência, para a prevenção de acidentes e incidentes aeronáuticos que têm por fatores contribuintes fenômenos meteorológicos. Nesta esteira, depreende-

se que as condições meteorológicas intervêm diretamente na navegação aérea e na segurança do voo, sendo necessário que os pilotos analisem, de forma assertiva, os dados exibidos no radar da aeronave (HONEYWELL AEROSPACE, 2016). Logo, fica evidente a importância de se aperfeiçoar os conhecimentos pertinentes à utilização do radar meteorológico por meio de treinamentos específicos, com o objetivo de mitigar ou evitar interpretações errôneas das informações disponibilizadas (COSTA; SILVA, 2016). Certamente, com o aprendizado eficaz é possível reduzir a quantidade de tomadas de decisões equivocadas sobre meteorologia em voo.

À vista disso, a ANAC, responsável por regulamentar as instruções teóricas e práticas no Brasil, contemplou na Instrução Suplementar nº 141-007 Revisão C – Programas de Instrução e Manual de Instruções e Procedimentos, aprovado em 16 de fevereiro de 2023, a previsão não obrigatória às escolas homologadas em estipular o ensino sobre radar meteorológico aos pilotos-alunos, conteúdo este destinado à formação de instrutores de voo (INVA), à categoria de voo por instrumento (IFR) e aos PC/IFR (ANAC, 2023a). É nesta etapa que os pilotos iniciam seus estudos sobre voos guiados por instrumentos que os capacitam para voar a aeronave sem estabelecer contato visual com o ambiente externo, o que, de efeito, possibilita a realização de voos com baixos tetos e visibilidade (BIANCHINI, 2020).

Essa previsão, em termos de conteúdo curricular, além de não ser compulsória, frisa-se, é bastante vaga, uma vez que a norma assim consigna no item 7.2.3, que versa sobre os elementos do curso prático de piloto comercial IFR aprovado pela ANAC: “[...] Tabela 7-10 Elementos de competência do PC (gerais); 19. Uso de automação e outros recursos. 19.9. **quando possível**: uso e operação de EFB, checklists eletrônicos, ACAS, TAWS, rádio altímetro e **radar meteorológico**” (ANAC, 2023a, p. 169, grifos nossos). Os mesmos termos são encontrados na “Tabela 7-25 Elementos de competência referentes ao IFR” (ANAC, 2023a, p. 209).

No entanto, as habilidades e competências a serem desenvolvidas pelo aluno para o voo IFR são mais profundas do que a simples interpretação de cores

do radar. Pesquisas da *Federal Aviation Administration* (FAA, 2010), assim como relatórios de acidentes aéreos disponibilizados pelo CENIPA (2023), revelam que é possível assimilar a complexidade das operações de voo por instrumentos e os riscos a que estão suscetíveis.

Um estudo da fabricante de aeronaves Airbus (MARCONNET; NORDEN; VIDAL, 2016), ao considerar a negligência por parte dos pilotos sobre o uso do radar meteorológico, identificou que a utilização deste equipamento só pode ser realizada de forma plena quando os tripulantes dominam a análise e a interpretação do que lhes é mostrado pelo radar. A pesquisa ainda enfatiza a importância da otimização da aplicabilidade do radar meteorológico em condições de tempo adversas.

A Airbus explica que a imagem de radar é apresentada na tela de navegação *Navigation Display (ND)* e que essa imagem é formada a partir do que é detectado pelo radar. As decisões tomadas com base nessas informações irão variar de acordo com a interpretação realizada pelos pilotos em voo, a partir da análise da imagem estampada no *ND*. Portanto, a experiência da tripulação e o seu conhecimento acerca das características do radar meteorológico orientarão o piloto na tomada de decisão (AIRBUS, 2007).

Há algumas décadas, estudos já apontavam que os índices de ocorrências aeronáuticas se tornariam inferiores caso houvesse mais uniformização operacional durante os treinamentos dos pilotos, reforçando suas habilidades na avaliação das ameaças e mitigação dos riscos iminentes. Este fato potencializa a importância da compreensão das informações dos radares e da maneira como funcionam, assim como do domínio dos conhecimentos meteorológicos básicos adquiridos no curso teórico de piloto privado e comercial (RODEGUERO; BRANCO, 2013).

2.1 O PROCESSO DE FORMAÇÃO DE PILOTO COMERCIAL NO BRASIL

No Brasil, os requisitos para a obtenção das licenças de pilotos de aeronaves são estabelecidos pela ANAC no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) de número 61 (ANAC, 2023b) e na Instrução Suplementar (IS) 141-

007 (ANAC, 2023a), que definiram as etapas desta profissão. Assim, a primeira etapa consiste na obtenção de licença de piloto privado. Esta licença é obtida após a conclusão de curso prático, que abrangem conteúdos específicos, tais como navegação aérea, meteorologia aeronáutica, aerodinâmica, entre outros. Na parte prática, o candidato deve ter um total de 35³ (trinta e cinco) ou 40 (quarenta) horas de instrução e voo solo (ANAC, 2023b). Cabe ressaltar que esta “habilitação permite voar apenas sob condições visuais e em aeronaves monomotoras, em aeronave própria, de terceiros ou por *hobby*, não sendo permitidas atividades remuneradas” (SIERRA BRAVO ESCOLA DE AVIAÇÃO, 2021, s.p.).

Para atuar no mercado de trabalho como profissional remunerado, o candidato precisa adquirir a licença de piloto comercial. Esta licença é concedida também após o cumprimento de etapas teórica e prática.

A fase teórica é compulsoriamente realizada em um Centro de Instrução de Aviação Civil (CIAC)⁴ e abrange diferentes conteúdos. A carga horária mínima requerida é de 390 horas para um curso presencial, todavia, a agência reguladora recomenda, para o melhor desenvolvimento das atividades, pelo menos 440 horas (ANAC, 2023a).

Vale pontuar, ainda, que a carga horária mínima requerida compreende conteúdos integrados de PC e IFR, visto que o curso teórico de piloto comercial, seja para avião ou helicóptero, deve ser oferecido de forma integrada ao curso teórico de voo por instrumentos, segundo a ANAC (2023a). A Tabela 1 apresenta as cargas horárias mínimas requeridas para o curso teórico de PC/IFR – Avião e os conteúdos ministrados.

³ Esse quantitativo deve ser cumprido em sua totalidade, durante a realização completa, ininterrupta e com aproveitamento de um curso de piloto privado de avião aprovado pela ANAC (ANAC, 2023b).

⁴ Existem 3 tipos de CIAC: Tipo 1: desenvolverá exclusivamente instrução teórica e prática para os cursos que não envolvam instrução em aeronaves em voo; e instrução teórica para todos os outros cursos; Tipo 2: desenvolverá exclusivamente instrução prática em voo, incluindo treinamento de solo complementar; e Tipo 3: desenvolverá instrução em ambas as modalidades previstas para os CIAC Tipo 1 e 2 (ANAC, 2023c).

Tabela 1 – Cargas horárias mínimas requeridas para o curso teórico de PC/IFR

Conteúdos PC/IFR – Avião	CH mínima requerida	CH sugerida pela ANAC
Regulamentação Aeronáutica	30	60
Conhecimentos Técnicos de Aeronaves	50	60
Performance de voo, planejamento e carregamento	60	60
Desempenho humano	15	30
Meteorologia	40	40
Navegação	100	100
Procedimentos Operacionais	10	20
Princípios do voo	25	40
Radiocomunicação	30	30
Total	360	440

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da ANAC, 2023a.

A fase prática de PC exige um total de 200 ou 150⁵ horas de voo que devem ser realizadas em um CIAC Tipo 2 ou 3 (ANAC, 2023c). Essas horas são distribuídas de modo que o piloto-aluno adquira habilidades diversas. A Tabela 2, a seguir, apresenta a distribuição das horas de voo mínimas exigidas para a concessão da licença de PC e os respectivos requisitos.

Quanto à concessão de habilitação de voo por instrumento, esta requer que o piloto em comando tenha 50 horas de voo de navegação, das quais no mínimo 10 tenham sido realizadas em aeronaves de categoria para a qual a habilitação é requerida. Além disso, outras 40 são de voo por instrumentos, das quais no máximo 20 podem ser realizadas em dispositivo de treinamento para simulação de voo qualificado e aprovado pela ANAC, sendo supervisionadas por um instrutor qualificado e habilitado (ANAC, 2023b).

⁵ se estas foram efetuadas, em sua totalidade, durante a realização completa, ininterrupta e com aproveitamento de um curso de piloto comercial de avião aprovado pela ANAC (ANAC, 2023b).

Tabela 2 – Requisitos de experiência para a concessão da licença de PC – Avião de acordo com a quantidade de horas

Número de horas	Experiência de voo
100 ou 70 ⁶	Como piloto em comando
20	De navegação como piloto em comando, cujo percurso seja, no mínimo, de 540 quilômetros e inclua aterrissagens completas em pelo menos dois aeródromos diferentes
10	De instrução de voo por instrumentos, das quais no máximo cinco podem ser realizadas em dispositivo de treinamento por voo simulado aprovado pela ANAC
5	De voo noturno, com pelo menos cinco decolagens e cinco aterrissagens como piloto em comando

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados da de ANAC, 2023b.

A formação prática inclui diversas atividades, como treinamento de voo básico e de emergência, navegação, voo por instrumentos, entre outras. Durante esse período, o aluno deve ser supervisionado por um instrutor de voo e passar por avaliações periódicas a fim de comprovar que atingiu os requisitos estabelecidos pelo regulamento (ANAC, 2023b).

Ao término do treinamento de PC, o instrutor deve declarar a competência do piloto para realizar, de forma segura, todas as manobras necessárias para ser aprovado no exame de proficiência, devendo ter condições de reconhecer e gerenciar ameaças e erros e determinar peso e balanceamento da aeronave, entre outras exigências. Além disso, o exame prático inclui habilidades do piloto para revelar bom julgamento e aptidão de pilotagem, executar todas as manobras com suavidade e precisão e manter controle da aeronave durante todo o tempo do voo, de modo que não ocorram dúvidas quanto ao êxito de algum procedimento ou manobra (ANAC, 2023b).

⁶ e estas foram efetuadas, em sua totalidade, durante a realização completa, ininterrupta e com aproveitamento de um curso de piloto comercial de avião aprovado pela ANAC (ANAC, 2023b).

2.2 ENSINO E APRENDIZAGEM SOBRE METEOROLOGIA AERONÁUTICA PARA A FORMAÇÃO DO PILOTO COMERCIAL BRASILEIRO

A Meteorologia é uma ciência que estuda os fenômenos atmosféricos. A Meteorologia Aeronáutica é uma subdivisão desta ciência e conhecê-la é de suma importância para a segurança do voo (SONNEMAKER, 2009). Para um aeronavegante, em especial, o conhecimento das condições meteorológicas é de vital importância. Com efeito, muitas profissões sofrem direta ou indiretamente a influência da meteorologia, entretanto, um piloto comercial tem que aprender e conviver com a opção de enfrentar ou evitar os perigos de um mau tempo (BIANCHINI, 2017).

Além de ser vital para a segurança das operações, a informação meteorológica contribui ainda para o conforto dos passageiros e facilitando o estabelecimento de rotas mais rápidas e econômicas de voos regulares (DECEA, 2023). No processo de formação de pilotos comerciais, como visto, o ensino e a aprendizagem se pautam na teoria e na prática, e os conhecimentos sobre meteorologia precisam compor o rol desses conteúdos (conforme Tabela 1). Desse modo, referente à meteorologia, os conteúdos exigidos na parte teórica dos treinamentos de Pilotos Comerciais e IFR, estão voltados para:

- j) Interpretação e aplicação das mensagens, cartas e previsões meteorológicas; uso e obtenção de informações meteorológicas previamente e durante o voo; altimetria.
- k) Meteorologia aeronáutica; climatologia de áreas relevantes no tocante aos efeitos que causam impactos na aviação; movimentos de sistemas de pressão, a estrutura das frentes, a origem e as características das condições de tempo significativas que afetem a condição de decolagem, voo em cruzeiro e pouso.
- l) Causas, reconhecimento e efeitos da formação de gelo na aeronave; procedimentos para a zona de penetração frontal; prevenção e evasão de condições meteorológicas adversas (ANAC, 2023a, p. 153).

No que pertine ao radar meteorológico, observa-se que neste conteúdo mínimo não há menção ao estudo dele. Já na parte prática da capacitação de pilotos deste mesmo segmento, segundo a ANAC (2023a), é mencionado, na IS 141-007 C, o treinamento, “quando possível”, sobre a utilização do radar meteorológico como exercício para o uso da automação e de outros recursos.

Verifica-se, também nesse caso, além da não obrigatoriedade, uma certa simplificação de conteúdo, o que leva à falta de clareza do que realmente o CIAC deve ou pode cobrar. Ademais, o RBAC 61 (ANAC, 2023b) sequer menciona o termo “radar meteorológico” entre os requisitos de conteúdo para piloto comercial e ou IFR. Do exposto, verifica-se pouca ênfase da agência reguladora para os conteúdos mínimos sobre meteorologia e radar, deixando essa decisão a critério do CIAC.

Por outro lado, a ANAC (2023a) é mais clara quanto aos aspectos cognitivos do treinamento de forma geral, ao, por exemplo recomendar diversidade de técnicas de ensino para que o aprendizado seja eficiente. Neste sentido, a agência reguladora destaca o uso de treinamento baseado em cenários, o que, segundo ela, se trata de uma valiosa ferramenta, entre outras, para o desenvolvimento da tabela de competências nos cursos de PC, IFR. Assim, enfatiza a ANAC:

Quando utilizados, os cenários devem apresentar situações e motivações realistas, de maneira a permitir o aluno referenciar o que aprendeu em situações futuras que venha a experimentar. Esse tipo de treinamento é particularmente apropriado para o desenvolvimento de competências envolvendo tomada de decisão, julgamento e aspectos da consciência situacional, ao mesmo tempo em que provê a integração desses elementos com aspectos técnicos, em especial limitações, e consequências técnicas de escolhas e decisões (ANAC, 2023a, p. 199).

Desse modo, os instrutores devem utilizar técnicas de ensino que possibilitem ao aluno aprender por meio da experimentação, da pesquisa e da solução de problemas. Essa abordagem requer que os instrutores incentivem a participação dos alunos e os desafiem a aplicar os conceitos aprendidos em situações práticas. É com a prática que os alunos se tornam capazes de aplicar os conhecimentos adquiridos nas tomadas de decisões seguras (ANAC, 2023a).

A esse respeito, pesquisas mostram que o aprendizado é mais efetivo quando o conhecimento teórico é aplicado na prática. De acordo com o estudo de McDermott *et al.*, (2014), a aplicação prática dos conhecimentos de sala de aula aumenta a retenção e a transferência do aprendizado para situações reais.

Assim, a instrução prática ajuda os alunos a identificar lacunas em seu conhecimento teórico prévio, e a corrigir eventuais erros, o que leva a uma maior

retenção de informações. Quando os alunos praticam repetidamente uma habilidade ou conceito, eles se tornam mais proficientes e seguros em sua capacidade de aplicar esse conhecimento (MCDERMOTT *et al.*, 2014).

2.3 CONHECENDO O RADAR METEOROLÓGICO

O radar meteorológico embarcado foi desenvolvido no período entre guerras. Seu surgimento advém dos radares utilizados para rastrear aeronaves inimigas em voo; porém, quando estas encontravam chuvas à frente, o radar apresentava ruídos. Esta deficiência levou à criação de um equipamento voltado exclusivamente para rastrear as condições meteorológicas em voo (BIELLI, 2018).

Com a evolução do radar meteorológico de bordo, foi possível embarcá-lo em diferentes categorias de aeronaves, uma vez que o seu funcionamento é similar entre os modelos de radar que, de modo resumido, se baseia em um receptor programado para captar retornos das ondas emitidas, informações essas mostradas no *display* da cabine de comando. As reflexões pesadas são mostradas em vermelho, as médias em amarelo e as leves em verde. A cor magenta também aparece no *display*, indicando precipitação ou turbulência intensa e severa (AERONAUTIC GUIDE, 2023).

O radar meteorológico aéreo é constituído, assim, basicamente de um transmissor, um receptor, uma antena, o *display* de exibição e de comandos disponíveis na cabine. O instrumento funciona com base no princípio do eco. O transmissor produz um sinal que é refletido por gotículas de água na atmosfera; os sinais refletidos são coletados pelo receptor e processados para dar exibição da meteorologia aos pilotos (MAAZ, 2022).

A maioria dos radares meteorológicos modernos possui telas coloridas, cujas cores variam de acordo com a quantidade de gotículas de água refletida na varredura. O método utilizado para verificar a intensidade das chuvas é expresso por meio da relação entre o volume e seu tempo de duração, sendo a precipitação indicada em milímetros por hora (mm/h) (GUITARRARA, 2018). As cores e seus significados são estabelecidos conforme Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Cores e seus significados no radar meteorológico de bordo

Cor	Significado	Retorno ⁷
Preto	Menos de 0,7 mm/h	Muito leve ou sem retornos
Verde	0,7 a 4 mm/h	Retornos leves
Amarelo	4 a 12 mm/h	Retornos médios
Vermelho	Maior que 12 -15 mm/h	Retornos fortes
Magenta	Maior que 50 mm/h	Precipitação severa

Fonte: elaborada pelas autoras a partir de dados de Maaz, 2022.

A Tabela 3 apresenta a classificação dos retornos do radar meteorológico com base nas cores preta, verde, amarela, vermelha e magenta, indicando, respectivamente, chuvas muito leves ou ausência de retorno, chuvas com baixa intensidade, chuvas moderadas, chuvas fortes e precipitação severa. Vermelha, por exemplo, indica uma chuva com intensidade maior que 12-15 mm/h, com retornos fortes no radar meteorológico. Tais informações são primordiais para auxiliar os profissionais da aviação na tomada de decisão, principalmente em situações de risco devido a condições climáticas adversas (MAZZ, 2022).

Essa coloração pode ser evidenciada pela Figura 1 a seguir. Na Figura 1 é possível visualizar como os dados são apresentados aos pilotos. Percebe-se que à direita da rota da aeronave foi detectada uma grande formação com movimentações intensas e precipitações intensas e severas.



⁷ O que é refletido e mensurado quando em contato com gotículas de água (MASNEN *et al.*, 2011).

Figura 1 – Cores apresentadas no radar meteorológico de bordo



Fonte: Banyan Air Service, 2017.

A antena do radar, geralmente localizada no *radome*⁸, direciona o feixe para realizar a varredura e inclina-se conforme o comando enviado pela cabine, onde são dispostas algumas opções de ajustes, entre elas, as dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Funções do painel de controle de um radar meteorológico de bordo

Comando	Significado
<i>TILT</i>	Representa o ângulo de inclinação em que a antena está posicionada; essa inclinação é a direção na qual as ondas emitidas pelo radar vão ser lançadas (a)
<i>GAIN</i>	Quando aumentado, o radar meteorológico é ajustado para que fique com a imagem mais clara e cores mais vivas. É de aplicação ideal apenas para estudar formações distantes (a).
<i>RANGE</i>	Este controle é utilizado para estabelecer o alcance longitudinal que será indicado na varredura (a), normalmente, dentro da faixa de 80 NM a partir da aeronave (b).

Fonte: elaborado pelas autoras a partir de dados de (a) Eismín, 2013; e de (b) Maaz, 2022.

⁸ Estrutura instalada nas aeronaves que são construídas com o objetivo de otimizar o desempenho do sistema de radar enquanto protegem o mesmo contra riscos ambientais (VEILLETTE, 2023).

Do exposto, constata-se que o radar meteorológico é um equipamento útil à segurança das operações aéreas na medida em que auxilia na tomada de decisão dos pilotos (MAZZ, 2022). Todavia, verificou-se ainda que seu estudo não é compulsório nos cursos teóricos de PC e, nos cursos práticos, a exigência para pontuar o tema é bastante vaga.

Considerando que todas as formas de reduzir riscos de ocorrências aéreas são válidas, o aprimoramento de conteúdos curriculares, inclusive os que fomentem o aprendizado sobre meteorologia aeronáutica e radar meteorológico, deve ser discutido. Assim, por meio do conhecimento é possível buscar maneiras para que o piloto tome decisões adequadas diante de condições de tempo adversas. Para isso, é preciso conhecer o real cenário de ocorrências aeronáuticas no Brasil relacionadas à meteorologia adversa com a finalidade de compreender o nível de interferência desses fatores na segurança das operações aéreas. Este assunto será discutido no subitem a seguir.

2.4 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE ACIDENTES AERONÁUTICOS NO BRASIL RELACIONADOS À METEOROLOGIA ADVERSA

Buscou-se junto ao Painel SIPAER⁹ levantar dados referentes às ocorrências aeronáuticas relacionadas à meteorologia. Assim, foram considerados apenas os registros que apresentavam condições meteorológicas adversas como um dos fatores contribuintes para a ocorrência.

Como resultado da busca, nos últimos dez anos no Brasil, “condições meteorológicas adversas” estão entre os 15 fatores contribuintes mais recorrentes em acidentes e incidentes aéreos registrados, representando 2,64% das ocorrências analisadas (informações extraídas em fevereiro de 2023). Por outro lado, considerando que as ocorrências aeronáuticas são ocasionadas por diversos fatores contribuintes, conforme os dados do Painel, a meteorologia adversa pode

⁹ Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. O Painel SIPAER é um recurso criado pelo CENIPA para disponibilizar os índices de ocorrências aeronáuticas no Brasil, considerando um intervalo de 10 anos. É um painel interativo que possibilita inserir diferentes formas de busca, considerando o segmento, fatores contribuintes, tipo de ocorrência e outros aspectos (CENIPA, 2023).

ainda estar conectada a outros fatores, tais como o julgamento de pilotagem, o processo decisório e a percepção e a atenção do piloto (CENIPA, 2023). Ainda de acordo com a mesma fonte, ao somar a quantidade de acidentes e incidentes aeronáuticos no Brasil envolvendo aviões causados por fenômenos meteorológicos em voo, entre 2012 e 2023, os números alcançam 77 registros (valores de fevereiro de 2023).

Destaca-se que, após as investigações dessas ocorrências, o CENIPA produz relatórios nos quais são emitidas importantes recomendações de segurança. Entre estas recomendações voltadas ao estudo da meteorologia, é possível enfatizar que a ANAC deve se assegurar de que os conhecimentos referentes aos fenômenos meteorológicos e suas implicações na condução segura dos voos são adequadamente transmitidos nos cursos aprovados por esta agência (CENIPA, 2023).

Considerando a recorrência de condições meteorológicas adversas como fator contribuinte em acidentes e incidentes aéreos no Brasil, bem como a importância do ensino-aprendizagem sobre fenômenos meteorológicos e suas implicações na condução segura dos voos, uma pesquisa de campo para avaliar a preparação dos pilotos comerciais brasileiros em formação se faz necessária. As próximas seções discorrerão sobre essa pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo apresenta uma abordagem de caráter qualitativo-quantitativo, realçando a observação, a opinião e a experiência dos participantes. Quanto à sua natureza, trata-se de uma pesquisa básica, com objetivos exploratórios, extraídos a partir de procedimentos documental, bibliográfico e de pesquisa de campo, aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa da PUC Goiás e apoiada quanto à sua divulgação pela Associação Brasileira de Pilotos da Aviação Civil (ABRAPAC), instituição coparticipante do estudo. Considera-se a importância da pesquisa de campo, assim enfatizada por Prodanov e Freitas (2013, p. 59):

[...] pesquisa de campo é aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema para o qual procuramos uma resposta, ou de uma hipótese, que queiramos comprovar, ou, ainda, descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles. Consiste na observação de fatos e fenômenos tal como ocorrem espontaneamente, na coleta de dados a eles referentes e no registro de variáveis que presumimos relevantes, para analisá-los.

A pesquisa de campo teve como participantes pilotos que tenham concluído o curso prático de piloto comercial (PC) de avião, em conjunto ou não com o IFR, que tenham tido contato ou não com a utilização de radares meteorológicos embarcados. Ela foi realizada em cinco fases: convite; aplicação de questionário e coleta de dados; seleção das informações coletadas; tratamento e quantificação dos dados; análise e discussão dos resultados.

Na fase 1, o convite para participação na pesquisa foi realizado de forma virtual e individual, com o apoio de meios digitais das pesquisadoras (*Instagram*, *LinkedIn* e *WhatsApp*) no período de 17 a 23 de abril de 2023. A ABRAPAC colaborou com o estudo compartilhando o *link* da pesquisa aos seus associados, via redes sociais e envio de *e-mails* (lista oculta de destinatários), sem divulgar quaisquer dados pessoais dos participantes às pesquisadoras ou quaisquer outras informações individuais ou coletivas de seus afiliados. Não houve, ainda, identificação do respondente nos questionários respondidos, tendo todos eles exarado suas respostas em anonimato. Desta maneira, assegurou-se o sigilo de suas identidades, assim como a privacidade e a confidencialidade de seus dados pessoais.

Na fase 2, permitiu-se ao participante acessar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) online e o questionário de 20 perguntas, sendo 19 de múltipla escolha e uma aberta, aplicado digitalmente e disponibilizado pela plataforma *Google Forms*¹⁰. Após a coleta das respostas, a fase 3 dedicou-se à análise e seleção dos dados aproveitados na pesquisa a partir dos critérios de inclusão e exclusão¹¹, de modo a alcançar o número válido de 105 participantes. Já

¹⁰ A Plataforma *Google Forms* já configura as respostas em termos de porcentagem. Todavia, tais valores foram confirmados com o uso do Programa BioEstat 5.3 que trata estatisticamente os dados, inclusive organizando-os em valores de porcentagem e extraindo as médias dos valores tabulados.

¹¹ Inclusão – Ser piloto: PC/IFR licenciado (tendo ou não realizado voos utilizando radar meteorológico); com mais de 18 anos de idade; que disponha de livre e esclarecido consentimento

na fase 4, os dados obtidos foram tratados e quantificados por técnicas estatísticas, objetivando resultados com margens de segurança. As variáveis estão relacionadas às respostas obtidas pelos PC-A (ou PC-A/IFR), dentro dos objetivos da pesquisa.

Em seguida, a fase 5 abordou os resultados, comparando-os e analisando-os quanto ao conhecimento acerca de meteorologia aplicado aos alunos de PC-A (ou PC-A/IFR) no Brasil, e verificou se existem lacunas no ensino-aprendizado praticado no setor.

4 RESULTADOS

Os resultados da pesquisa realizada com 105 participantes via questionário expressam a experiência e horas de voo; o aprendizado sobre meteorologia e radar; a utilização cotidiana do radar; o tempo de experiência para manuseio do radar; e a segurança das operações a partir do conhecimento sobre meteorologia. Os resultados estão ordenados em tabelas que apresentam o número da questão no formulário (coluna esquerda) e a pergunta com respectivo percentual representativo das respostas (coluna direita).

Vale ressaltar que, ao final do questionário, foram solicitadas aos participantes sugestões para a melhoria do aprendizado prático do radar meteorológico. As respostas foram analisadas no item 4.2 desta seção, bem como a análise dos dados.

4.1 MAPEAMENTO DO NÍVEL DE CONHECIMENTO EM METEOROLOGIA AERONÁUTICA E DO RADAR METEOROLÓGICO DE PILOTOS COMERCIAIS BRASILEIROS

A Tabela 4 a seguir refere-se à experiência dos pesquisados em termos de atuação profissional e horas de voo (questões 1 e 2). Mais da metade do grupo

em participar da pesquisa mediante aceite do TCLE, conforme Resolução CNS nº 466/12. Exclusão – Piloto que não tenha a licença Comercial/IFR; PC-Avião que não aceite participar de livre e esclarecido consentimento da pesquisa mediante aceite do TCLE, conforme Resolução CNS nº 466/12.

apresenta experiência considerável. Isto significa, em tese, que eles podem responder com propriedade sobre o conhecimento de meteorologia aeronáutica e de radar meteorológico de bordo.

Tabela 4 – Experiência como piloto e horas de voo

Há quanto tempo atua como piloto profissional (PC e PC/IFR)?				
1	Mais de 5 anos (68/64,8%)	Entre um 1 e dois 2 anos (23/21,9%)	Há 6 meses (11/10,5%)	Há 1 ano (3/2,9%)
	Quantas horas de voo possui?			
2	Mais de 800 horas (69/65,7%)	200 a 400 horas (22/21,0%)	400 a 600 horas (12/11,4%)	600 a 800 horas (2/1,9%)

Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

Já a Tabela 5, a seguir, mostra o nível de conhecimento dos participantes sobre meteorologia aeronáutica e sobre radar meteorológico de bordo adquirido nos cursos teórico e prático de PC (ou PC/IFR). Cabe anotar que, segundo os resultados, a maioria dos pilotos do grupo considera que os cursos ofereceram condições suficientes para avaliar a meteorologia (questões 3 e 4). De forma bastante expressiva, estes profissionais entendem, ainda, que para terem êxito na utilização do radar, é necessário ter um bom conhecimento sobre meteorologia (questão 8).

Por outro lado, quando o aprendizado sobre radar é perguntado, a maior parte dos pilotos investigados não teve esse treinamento e, os poucos que tiveram, em sua maioria o classifica entre satisfatório e razoável (questões 5 e 6).

Os dados também apontam que este deficiente aprendizado se refletiu no início da carreira de PC (quando receberam a licença), pois a maior parte dos pilotos pesquisados não apresentaram confiança, preparo e segurança para julgar adequadamente a meteorologia em voo e as informações do radar (questão 7).



Tabela 5 – Aprendizado teórico e prático sobre meteorologia e radar

3	No curso de formação (teórico) de PC (ou PC/IFR), como você avalia seu aprendizado sobre meteorologia aeronáutica para interpretar as condições de tempo na prática?			
	Razoável (37/35,2%)	Muito bom (36/34,3%)	Excelente (21/20,0%)	Ruim (11/10,5%)
4	No que tange à meteorologia aeronáutica para avaliar as condições do tempo (leitura de informes meteorológicos e escolha da melhor rota), como você qualifica seu curso prático de PC (ou PC/IFR)?			
	Muito bom, faço boas escolhas (41/39,0%)	Razoável (39/37,1%)	Excelente, domino totalmente este conteúdo (24/22,9%)	Ruim, ainda tenho dificuldade de avaliar a meteorologia da rota (1/1%)
5	Quando realizou seu curso prático de PC (ou PC/IFR), teve treinamento sobre o radar meteorológico?			
	Não (83/79,0%)		Sim (22/21,0%)	
6	Caso a sua resposta anterior tenha sido positiva, como classifica o conhecimento que recebeu para lidar com o uso de radares meteorológicos?			
	Não tive treinamento sobre radar meteorológico (76/72,4%)	Satisfatório, adquiri o conhecimento necessário e aprendi como operá-lo (10/9,5%)	Razoável, seu funcionamento e aplicabilidade foram ministrados, mas não o suficiente (8/7,6%)	Precário, quase não tive contato com esse conteúdo durante minha formação (6/5,7%)
7	Quando você recebeu licença de piloto comercial (ou PC/IFR), considerando o conhecimento adquirido em treinamento, se sentiu capaz de realizar um julgamento adequado em relação à meteorologia em voo e à utilização de radares meteorológicos?			
	Senti que precisaria de mais pratica com o equipamento para ter mais	Me senti preparado, mas com um certo receio (28/26,7%)	Me senti pouco preparado (25/23,8%)	Me senti muito confiante (17/16,2%)

	segurança (35/33,3%)		
8	O quão importante você considera o bom conhecimento acerca da meteorologia para aplicação prática nos radares meteorológicos em voo?		
	Muito importante (97/92,3%)	De importância considerável (7/6,7%)	Pouco importante (1/1,0%)

Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

A Tabela 6 exibe os dados sobre a frequência da utilização do radar. Expressivamente, os profissionais do grupo estudado voam em aeronaves dotadas de radar meteorológico (questão 9) e, em seus cotidianos, a maioria o utiliza independentemente das condições de tempo adversas (questão 10).

Tabela 6 – Frequência da utilização do radar meteorológico

9	A aeronave que você voa possui radar meteorológico?			
	Sim (87/82,9%)		Não (18/17,1%)	
10	Com qual frequência você utiliza o radar meteorológico?			
	Em todos os voos, independentemente de estar com condições meteorológicas adversas em rota (50/47,6%)	Em grande parte dos voos com degradação meteorológica em voo (28/26,7%)	Minha aeronave não tem radar meteorológico (16/15,2%)	Apenas voando sob condições meteorológicas adversas (11/10,5%)

Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

Quando perguntados sobre o período de experiência com radar meteorológico, Tabela 7, considerando desde o primeiro contato com o equipamento até a totalidade do tempo em que o opera, boa parte do grupo foi apresentada ao dispositivo com menos de 500 horas de voo (questão 11).

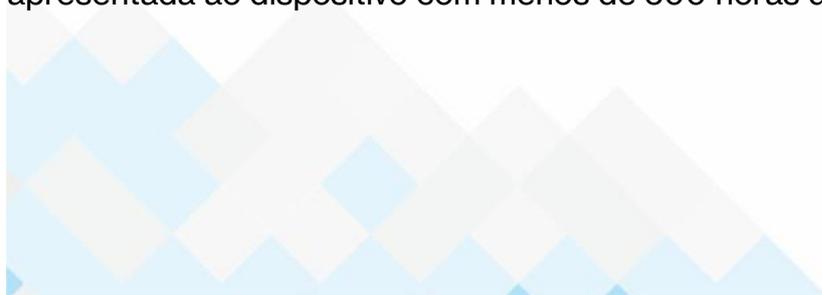


Tabela 7 – Período de experiência com radar meteorológico

11	Com quantas horas de voo você teve seu primeiro contato com operações que incluem radar meteorológico?				
	Menos de 500 horas (75/71,4%)	Ainda não tive contato com radar meteorológico (10/9,5%)	Mais de 900 horas (9/8,6%)	Entre 500 e 700 horas. (7/6,7%)	Entre 700 e 900 horas (4/3,8%)
12	Como aconteceu seu primeiro contato com o radar meteorológico?				
	Em voos para os quais fui contratado (empresa/freelance) (50/47,6%)	Durante os voos (treinamento prático) (22/21,0%)	Por meio de conteúdo lecionado durante a fase teórica de PC-A (ou PC/IFR) (15/14,3%)	Por meio de simuladores (10/9,5%)	Nunca utilizei um radar meteorológico (8/7,6%)
13	Há quanto tempo tem contato com operações envolvendo radar meteorológico?				
	3 anos ou mais (63/60,0%)	Menos de 1 ano (12/11,4%)	Não utilizo radar meteorológico (12/11,4%)	Há cerca de 1 ano e meio (10/9,5%)	Mais de 2 anos (8/7,6%)

Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

Esse primeiro contato, para quase a metade dos participantes, foi atuando no mercado (empresa/freelance) (questão 12). Os demais, à exceção dos que não utilizam radar (minoria), foram em cursos teóricos ou práticos. Vale acrescentar que a maior parte dos pesquisados utiliza o radar há três anos ou mais (questão 13). No que se refere às condições meteorológicas de voo, quanto às consequências ameaçadoras decorrentes de tomada de decisão inadequada, os participantes quase não passaram ou passaram poucas vezes por estas situações (questão 14). A maioria dos pilotos do grupo investigado, quando em voo duplo, recorre a *briefing* e *debriefing* nos casos de experiência desconfortável com atmosfera adversa. Isso significa que há uma discussão sobre o que poderia ter acontecido e como poderia ser evitada tal situação (questão 15). Ainda sobre condições meteorológicas adversas em rota, a minoria dos participantes realizou voo sozinho nestas situações e, entre este grupo, boa parte se sente segura

quanto às tomadas de decisões (questões 16 e 17). A Tabela 8 aponta esses resultados.

Tabela 8 – Avaliação das condições meteorológicas em voo e uso do radar

14	Passou por alguma situação em que se sentiu ameaçado por não ter tomado a decisão adequada se tratando de meteorologia?			
	Quase não passei por esse tipo de situação (48/45,7%)	Sim. Por poucas vezes (40/38,1%)	Nunca passei por este tipo de situação (15/14,3%)	Sim. Em números de vezes considerável (2/1,9%)
15	Em voo duplo, antes e após os voos em que você experimentou desconfortos causados pela atmosfera adversa, houve <i>briefing</i> e <i>debriefing</i> sobre o que poderia ter acontecido e o que poderia ser evitado?			
	Sim, algumas vezes (32/30,5%)	Sim, em todas as vezes (31/29,5%)	Poucas vezes (20/19,0%)	Quase nenhuma vez (15/14,3%) Voo sozinho (7/6,7%)
16	Você já realizou sozinho um voo em que enfrentou formações meteorológicas pesadas em sua rota?			
	Sim. Por poucas vezes (39/37,1%)	Nunca passei por este tipo de situação (30/28,6%)	Sim. Em números de vezes considerável (20/19,0%)	Quase não passei por esse tipo de situação (16/15,2%)
17	Caso a resposta anterior seja positiva, o quão seguro sentiu-se para tomar as devidas decisões para garantir a integridade do voo?			
	Totalmente seguro (47/44,8%)	Nunca voei sozinho em condições adversas de tempo (32/30,5%)	Um pouco inseguro (24/22,9%)	Muito inseguro (2/1,9%)
18	Sente-se seguro para voar solo com o atual conhecimento que você tem sobre radar meteorológico e quais as possíveis consequências podem vir ao adentrar uma formação?			
	Totalmente seguro (82/78,1%)	Um pouco inseguro (20/19,0%)	Muito inseguro (3/2,9%)	
19	Você consumiria um curso que trata de tomadas decisão em voo sob situações meteorológicas adversas?			
	Com certeza (70/66,7%)	Talvez (25/23,8%)	Não teria interesse em participar (10/9,5%)	

Fonte: elaborada pelas autoras, 2023.

A Tabela 8 também demonstra que no grupo analisado, caso esses pilotos voem sozinhos, em sua maioria se sentirão seguros com atual conhecimento sobre radar meteorológico e sobre as possíveis consequências que enfrentarão ao adentrar uma formação adversa (questão 18). Todavia, ainda que tenham conhecimento, estes pilotos consumiriam curso que melhorasse a tomada de decisão em situações meteorológicas adversas (questão 19).

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTA DE FAMILIARIZAÇÃO DO RADAR METEOROLÓGICO EMBARCADO EM AERONAVES

Com suporte na análise de resultados apresentados, entende-se que a aplicação do conteúdo a respeito da utilização e interpretação de radares meteorológicos nos cursos de piloto comercial (PC e/ou IFR), de forma geral, é insuficiente. Isso se deve em parte ao fato de que a normatização da agência reguladora – IS 141-007 (ANAC, 2023a) e RBAC 61 (ANAC, 2023b) –, quanto ao conteúdo curricular mínimo sobre meteorologia aeronáutica e radar meteorológico, seja vago e até inexistente, nos casos do curso teórico de PC/IFR.

O grupo estudado também reconheceu a importância do conhecimento sobre meteorologia para aplicá-lo ao uso correto do radar, assim como salientaram Marconnet, Norden e Vidal (2016). Neste sentido, os pilotos pesquisados indicaram que atualmente estão seguros para tomar decisões referentes à meteorologia adversa e à interpretação da imagem do radar, se voando sozinhos. Todavia, no início de suas carreiras, a falta desse conhecimento os levou à falta de confiança, preparo e segurança para o julgamento da meteorologia, considerando a dificuldade em interpretar as informações do radar de bordo. Por certo, essa condição pode estar novamente associada à deficiente normatização dos cursos homologados, conforme se verifica dos documentos da ANAC já mencionados. Reforça-se que a interpretação das informações do radar depende da experiência dos tripulantes e do conhecimento sobre o equipamento, segundo Airbus (2007).

Sabe-se ainda que o conhecimento sobre as condições meteorológicas da rota contribui para que os pilotos realizem desvios e evitem fenômenos

atmosféricos adversos, aumentando a segurança da operação (BIDINOTTO; CESARINO, 2017). O radar é o equipamento que leva o piloto a avaliar essas condições de tempo (HONEYWELL AEROSPACE, 2016). Neste aspecto, quando o grupo pesquisado indica a falta de capacidade para julgar as condições meteorológicas a partir do radar assim que terminam seu curso, este fator acende um alerta sobre a segurança dessas operações quando o piloto é recém-licenciado, uma vez que irá aprender a utilizar o radar voando.

Esse alerta fica mais evidente quando se verifica que, em âmbito nacional, as condições meteorológicas adversas ainda compõem o rol de fatores contribuintes de ocorrências aeronáuticas, sendo registradas em 77 casos entre 2012 e fevereiro de 2023, representando 2,64% do total de acidentes e incidentes aéreos no período (CENIPA, 2023).

Dito de outro modo, os resultados dos participantes apontaram para uma maioria que voa em aeronaves com radar meteorológico e, entre esses profissionais, quase a metade do grupo teve contato com o equipamento somente quando ingressou no mercado de trabalho. Isso reforça a necessidade de revisão dos conteúdos especificados pela ANAC (2023a; 2023b), já que esses profissionais, notadamente, irão voar em aeronaves cada vez mais equipadas com esse tipo de ferramenta, e essa interpretação é fundamental na realização de desvios para elevar a segurança das operações aéreas em rota, prevenindo, desse modo, ocorrências aeronáuticas (COSTA; SILVA, 2016).

É preciso, portanto, adotar formas de implementar e aprimorar os conteúdos sobre radar meteorológico com foco na tomada de decisão assertiva e isso pode ser alcançado por meio do reforço da prática do aprendizado e da relação teoria-prática. Essa relação positiva confere aumento de retenção dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, na medida em que os transfere para as situações reais, segundo a visão de McDermott *et al.* (2014).

A partir dos achados da pesquisa, e levando em consideração as sugestões do grupo participante, alguns entendimentos podem ser extraídos. O primeiro refere-se à incorporação de matérias na grade curricular dos cursos de piloto comercial com abordagem completa sobre o funcionamento, entendimento e manuseio de radares meteorológicos. Propõe-se que tais conteúdos salientem a

importância e a complexidade da operação refinada do equipamento, tratando de forma detalhada como deve ser conduzida a interação dos pilotos com o instrumento ao realizar os ajustes como *Tilt, Gain, Range*, além de aplicar o ensino da interpretação das informações projetadas, a fim de lapidar as varreduras.

Outro aspecto levantado considera a utilização e o desenvolvimento de *softwares* capazes de simular com precisão situações nas quais a meteorologia esteja degradada, em busca de refinar as habilidades do piloto em formação com aplicação simultânea do conteúdo teórico. Fica proposto também realçar, nos cursos de formação, os impactos das tomadas de decisões indevidas sobre o radar que tiveram como fator colaborativo condições meteorológicas adversas, levando à ocorrência de acidentes e incidentes aeronáuticos, a partir de estudos de caso desses episódios, difundindo o entendimento da sua relevância para segurança de voo.

Além da inclusão, por parte da ANAC, do embasamento teórico reforçado compulsório e de treinamento prático sobre o radar, tanto em simuladores como na instrução em voo real, propõe-se a inserção de missões práticas durante a realização das horas de PC em aeronaves equipadas com o radar. Espera-se com essa ação levar o aluno-piloto a dedicar-se ao manuseio e à operação do radar de modo a capacitá-lo para lidar na prática com situações similares, ampliando, assim, a consciência situacional diante das ocorrências reais, e, por consequência, elevar a segurança operacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo verificar possíveis lacunas na formação teórico-prática dos pilotos comerciais no Brasil em relação ao aprendizado sobre meteorologia aeronáutica e radar meteorológico de bordo. O estudo se justifica porque esse conhecimento interfere na tomada de decisão quando o piloto é levado a interpretar as imagens de radar, sobretudo em condições adversas de tempo, repercutindo, em parte, na segurança operacional.

Assim, o estudo enfatizou a importância de se conhecer as condições meteorológicas envolvidas em um voo (aeroportos e rota), ressaltando que para os desvios necessários quando em condições adversas de tempo o radar é o equipamento que promove a melhor avaliação dessa circunstância. Mas para operá-lo de forma eficiente, os pilotos precisam ter conhecimento sobre meteorologia e radar.

Entre os resultados, a maior parte dos pilotos do grupo investigado considera que os conteúdos sobre meteorologia dos cursos de PC são eficazes para a prática da profissão; entretanto, essa premissa não se aplica àqueles voltados ao radar. Neste sentido, a maioria dos participantes (79%) não teve treinamento com o equipamento, e, por esta razão, ao concluírem o curso de PC, não se sentiram seguros para utilizar o radar de forma eficiente e tomar decisões assertivas. Diante essa realidade, constata-se, por certo, uma lacuna no processo de formação de pilotos comerciais no que se refere ao radar, que se deve, em parte, à forma pouco clara e evidente de se cobrar o assunto “radar meteorológico” nos documentos normatizados da ANAC. Nos cursos teóricos, por exemplo, sequer há previsão de estudos sobre radar, ao passo que nos práticos a norma o menciona apenas no “exercício para o uso da automação e outros recursos”, descrito de forma vaga.

Os dados também demonstram que a maior parte dos pilotos pesquisados voa em aeronaves com radar e que o aprendizado sobre o equipamento se deu na prática, durante o trabalho na medida em que voavam. Isso reforça a necessidade de conhecer e saber operar o radar ainda durante os cursos de formação. Essa necessidade vem da notória importância do uso do radar para a segurança das operações, visto que condições meteorológicas adversas ainda fazem parte dos fatores contribuintes de ocorrências aeronáuticas, as quais no Brasil representam 2,64% dos casos entre 2012 e fevereiro de 2023.

Conclui-se, portanto, a partir dos resultados da pesquisa e das sugestões dos participantes, que nos cursos de piloto comercial os conteúdos sobre radar meteorológico e tomada de decisão correlata carecem de atualizações visando um treinamento mais prático, didático, técnico e especializado, instruindo os

futuros pilotos sobre o uso de cada função do radar e sobre como interagir com o equipamento.

Para pesquisas futuras, portanto, sugere-se a proposição de um currículo voltado às instituições de ensino que oferecem cursos de piloto comercial, considerando o radar meteorológico e a tomada de decisão relacionada a esse equipamento, visto que a agência reguladora propõe um currículo mínimo e não se opõe a agregar outros conteúdos relevantes para a formação profissional.

REFERÊNCIAS

AERONAUTICS GUIDE. **Aircraft weather radar**. 2017. Disponível em: <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/weather-radar.html>. Acesso em: 7 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Instrução Suplementar (IS), nº 141-007, revisão C**: programa de instrução e manual de instruções e procedimentos. 2023a. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-141-007c/@@display-file/arquivo_norma/IS%20141-007C.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 61 Emenda nº 14**. 2023b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-61>. Acesso em: 13 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC nº 141, Emenda nº 02**. 2023c. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-141>. Acesso em: 13 abr. 2023.

AIRBUS. **Flight operations briefing notes**: adverse weather operations – optimum use of the weather radar. 2007. Disponível em: https://www.smartcockpit.com/docs/Optimum_Use_Of_The_Weather_radar.pdf. Acesso em: 20 fev. 2023.

BANYAN AIR SERVICE. **Honeywell weather radar**. 14 mar. 2017. Disponível em: <https://www.banyanair.com/honeywell-weather-radar/>. Acesso em: 27 abr. 2023.

BIANCHINI, D. **Meteorologia para pilotos**. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

BIANCHINI, D. **Regulamentos de tráfego aéreo VFR e IFR**. 9. ed. São Paulo: Bianch Pilot Training, 2020.

BIDINOTTO, J. H.; CESARINO, Y. **Princípios de aviação e navegação**. 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5810599/mod_resource/content/0/5%20RADAR.pdf. Acesso em: 16 fev. 2023.

BIELLI, E. **Tecnologia e redução de acidente na aviação**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8375/1/Eduardo%20Noza%20Bielli.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

BIZERRA, E. A. **Santos Dumont e o desenvolvimento da dirigibilidade de balões**. 2008. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo/SP.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS (CENIPA). **Painel SIPAER**. 2023. Disponível em: https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SIPAER%2Fgia%2Fqvw%2Fpainel_sipaer.qvw&host=QVS%40cirros31-37&anonymous=true. Acesso em: 26 fev. 2023.

COSTA, M. V. da; SILVA, T. A. da. A importância do radar meteorológico de bordo na prevenção de acidentes aeronáuticos da aviação geral. **Revista Conexão SIPAER**, v. 7, n. 1, p. 72–81, 2016.

CUNHA, G. R. **Meteorologia: fatos & mitos**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 268p.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Meteorologia aeronáutica**. 2023. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=atividades&p=meteorologia-aeronautica>. Acesso em: 25 mar. 2023

EISMIN, Thomas K. **Aircraft: electricity & electronics**. 6 ed. McGraw-Hill Professional Publishing; 6th ed. 2013.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Weather-related aviation accident study 2003–2007**. 2010. Disponível em: <https://www.asias.faa.gov/i/studies/2003-2007weatherrelatedaviationaccidentstudy.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2023.

GUITARRARA, P. **Chuvas**. 2018. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/chuvas-precipitacoes.htm>. Acesso em: 16 abr. 2023.

HONEYWELL AEROSPACE. **Intuvue® RDR-4000 3D weather radar systems**. 2016. Disponível em: [R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 3, p. 151-180, jun-jul. 2023.](https://aerospace.honeywell.com.cn/content/dam/aero/zh-</p></div><div data-bbox=)

cn/documents/learn/products/weather-radar/white-papers/C61-1573-000-000-IntuvueRDR40003DWeatherRadarSystems-wp.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

MAAZ, A. M. **How pilots use weather radar to avoid storm cells**. 2022. Disponível em: <https://simpleflying.com/weather-radar-storm-cell-avoidance-guide/> Acesso em: 8 abr. 2023.

MANSEN, D. **Airborne weather radar**. 2010. Disponível em: https://aea.net/AvionicsNews/ANArchives/May11_AirborneRadar.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

MARCONNET, D.; NORDEN, C.; VIDAL, L. Optimum use of weather radar. **Airbus Magazine Safety First**, France, Paris, n. 22, July, p-01-23, 2016.

MCDERMOTT *et al.* Both multiple-choice and short-answer quizzes enhance later exam performance in middle and high school classes. **Journal of Experimental Psychology: Applied**, v. 20, n. 1, p. 3-21, 2014.

OLIVEIRA, F. P.; AMORIM, H. S.; DERECZYNSKI, C. P. Investigando a atmosfera com dados obtidos por radiossondas. **Revista Brasileira de Ensino em Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, e3503-1-8, 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. [recurso eletrônico]. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

RIBEIRO, T. S. G. **Voando mais alto – meteorologia**. 2011. Disponível em: <http://www.newtonbraga.org.br/uploads/outros/downloads/8/ae4aa10b58fd99622ee63d8c215a5637.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

RODEGUERO, M. A.; BRANCO, H. **Gerenciando o risco na aviação geral**. São Paulo: Editora Bianch, 2013.

SIERRA BRAVO ESCOLA DE AVIAÇÃO. **Piloto privado x piloto comercial: entenda a diferença**. 2021. Disponível em: <https://www.sierrabravo.com.br/noticia/piloto-privado-x-piloto-comercial-entenda-a-diferenca/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

VEILLETTE, P Ph.D. **Know your radome, an important structure, part 1**. 2023. Disponível em: <https://aviationweek.com/business-aviation/safety-ops-regulation/know-your-radome-important-structure-part-1>. Acesso em: 14 abr. 2023.