



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

CHARLES BRUNO DA SILVA DUARTE, Cap Av

Implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas *Night Vision Goggles* (NVG) utilizando a Função de Transferência de Modulação (MTF – *Modulation Transfer Function*) na Força Aérea Brasileira (FAB).

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

CHARLES BRUNO DA SILVA DUARTE, Cap Av

Implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas *Night Vision Goggles* (NVG) utilizando a Função de Transferência de Modulação (MTF – *Modulation Transfer Function*) na Força Aérea Brasileira (FAB).

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea
Orientador: Márcio Henrique Teixeira de Souza, Ten Cel Av

Rio de Janeiro

2024

CHARLES BRUNO DA SILVA DUARTE, Cap Av

Implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas *Night Vision Goggles* (NVG) utilizando a Função de Transferência de Modulação (MTF – *Modulation Transfer Function*) na Força Aérea Brasileira (FAB).

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Márcio Henrique **Teixeira** de Souza, Ten Cel Av
EAOAR

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Farm
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

Desde o primeiro voo de uma aeronave da Força Aérea Brasileira (FAB) equipada com sistemas *Night Vision Goggles* (NVG), iniciou-se um processo de desenvolvimento de doutrina sobre o uso desses dispositivos. Entretanto, a análise da utilização dos NVG na FAB evidenciou lacunas na compreensão e utilização desses equipamentos. A falta de compreensão dos esquadrões operacionais sobre o comportamento dos sistemas em diferentes condições do cenário, destaca a urgência de preencher essas lacunas para reforçar a capacidade operacional das missões aéreas da FAB. Nesse contexto, defende-se como tese que a implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas NVG utilizando a MTF na FAB possibilita uma melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas. Para sustentar essa tese, argumenta-se que a compreensão do comportamento dos sistemas NVG utilizados pela FAB após a caracterização proporciona uma visão noturna mais precisa e confiável para os pilotos e operadores. Além disso, argumenta-se também que a compreensão das características das imagens geradas pelos sistemas NVG da FAB reduz os riscos de acidentes durante as operações noturnas. Essa iniciativa não apenas reforçará o compromisso da FAB com a modernização contínua de suas operações, mas também desempenhará um papel crucial na garantia da segurança e eficácia das missões realizadas, contribuindo, assim, para a prontidão operacional dos Meios de Força Aérea. Além disso, representa uma significativa evolução, elevando a FAB a um patamar operacional inédito na utilização dos NVG, assegurando que ela esteja preparada para enfrentar os desafios operacionais presentes e futuros.

Palavras-chave: NVG. Metodologia de Caracterização. Capacidade Operacional. MTF.

1 INTRODUÇÃO

Desde o marco histórico em 12 de novembro de 2002, quando uma tripulação da aviação de asas rotativas realizou o primeiro voo operacional de uma aeronave da FAB utilizando um sistema NVG, a bordo de um helicóptero UH-1H do 5º/8º GAV (Grupo de Aviação), deu-se início a um processo de desenvolvimento de doutrina sobre o uso deste tipo de equipamento na FAB (Brasil, 2009).

Esse evento pioneiro representou não apenas um avanço técnico, mas também marcou o início de uma trajetória de estudos e implantação de novas práticas na aviação militar brasileira, evidenciando o compromisso da FAB com a modernização e aprimoramento contínuo de suas operações aéreas.

Ao utilizar uma abordagem metodológica baseada na MTF em um sistema NVG específico, como evidenciado nos estudos de Santos (2017), Silva (2018) e Silva (2021), que investigaram as características de sensores eletro-ópticos utilizando a MTF, é possível identificar a degradação nas imagens geradas pelo sistema, uma vez que ele também é do tipo eletro-óptico.

A utilização da MTF como metodologia para caracterizar NVG permite avaliar a capacidade desses sistemas em discernir detalhes finos em meio a grandes contrastes na cena. Essa abordagem possibilita a avaliação contínua do desempenho e das capacidades dos NVG ao longo do tempo (Boreman, 2001).

Além disso, é reconhecido que certas cores tendem a confundir-se quando visualizadas por meio de determinado sistema NVG, o que pode facilitar camuflagens, como as de aeronaves e instalações, enquanto outras cores se destacam, podendo auxiliar na detecção de obstáculos ou na identificação de alvos (Kooi; Toet, 2005).

No entanto, os esquadrões operacionais não possuem esse conhecimento sobre os NVG que utilizam, devido à falta de caracterização precisa e objetiva desses sistemas por meio de uma metodologia adequada para avaliação de suas capacidades.

Portanto, a falta de uma metodologia de caracterização para avaliar as capacidades e o uso eficaz dos NVG é uma lacuna significativa. Dessa forma, torna-se imperativo implantar uma metodologia para caracterizar esses sistemas, não apenas para preencher essa lacuna identificada, mas também para reforçar a capacidade operacional e a segurança das missões aéreas conduzidas pela FAB.

Assim, defende-se como tese que a implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas NVG utilizando a MTF na FAB possibilita uma melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas.

Para sustentar essa tese, argumenta-se que a compreensão do comportamento dos sistemas NVG utilizados pela FAB após a caracterização proporciona uma visão noturna mais precisa e confiável para os pilotos e operadores. Além disso, argumenta-se também que a compreensão das características das imagens geradas pelos sistemas NVG da FAB reduz os riscos de acidentes durante as operações noturnas.

2 DESENVOLVIMENTO

Uma compreensão mais aprofundada das capacidades e uma utilização mais eficaz dos NVG têm o potencial de aprimorar significativamente a doutrina da FAB relacionada a esses sistemas, conforme delineado na Doutrina Básica da instituição.

Essa doutrina, representada pela DCA (Diretriz do Comando da Aeronáutica) 1-1, Volume I, destaca a Tecnologia como uma das características do poder aeroespacial, buscando aplicar os conhecimentos advindos da pesquisa científica para melhorar os sistemas. Quando aplicado aos NVG, esse atributo tem um impacto direto em diversas tarefas e ações da FAB, como mencionado no Volume II do mesmo documento.

Em conformidade com as diretrizes da DCA 1-1 e em acordo com a visão de Rivamonte (1990), que enfatizou a importância de avaliar quantitativamente o desempenho dos sistemas NVG, é essencial evitar métodos suscetíveis à subjetividade e que dependam de avaliações imprecisas por parte dos indivíduos. Fatores como nível de treinamento, estresse psicológico e viés de decisão podem distorcer os resultados, comprometendo sua validade.

Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade de implantar uma metodologia para a caracterização dos sistemas NVG, utilizando uma métrica objetiva como a MTF, em consonância com as diretrizes de doutrina da FAB. Isso é explicado mais detalhadamente nos argumentos a seguir.

2.1 Comportamento dos NVGs após caracterização: Visão noturna precisa e confiável

Os NVG surgiram na década de 1940, na Alemanha, durante a Segunda Guerra Mundial. Naquela época, esses equipamentos eram consideravelmente rudimentares tanto em termos tecnológicos quanto operacionais, sendo classificados como equipamentos de Geração 0. Com o avanço das tecnologias, os sistemas NVG passaram por um processo de evolução gradual, resultando nos dispositivos conhecidos como equipamentos de Geração 3 na década de 1980, os quais são utilizados atualmente pela FAB (Brasil, 2009).

Embora existam registros na literatura sobre NVG de Geração 3+ e Geração 4, como enfatizado por Haque e Muntjir (2017), este trabalho se limitará aos equipamentos NVG até a Geração 3, conforme os dispositivos em posse da FAB.

Os sistemas NVG amplificam a luz que incide em seu tubo milhares de vezes. Essa amplificação varia de acordo com o comprimento de onda da luz, ou seja, a taxa de amplificação varia conforme a cor da luz incidente, adaptando-se aos limites da faixa de cores visíveis ao olho humano. A imagem fornecida pelo NVG é monocromática, exibindo tons de verde. Os sistemas de Geração 3 demonstram uma sensibilidade particular à luz na faixa espectral do vermelho, enquanto é relativamente insensível à luz na faixa espectral do azul e do verde (Kooi; Toet, 2005).

Como os NVG amplificam a luz presente no ambiente, a quantidade de luz disponível durante um voo noturno é essencial para definir a qualidade das imagens formadas pelo equipamento. Desde uma noite de lua cheia, que oferece uma maior disponibilidade de luz, até uma noite sem lua (noite com somente a luz das estrelas), que proporciona a menor disponibilidade de luz, a qualidade da imagem formada sofre variações significativas que interferem na identificação de alvos pelos tripulantes do voo (Marasco; Task, 2003).

Além disso, considerando que o nível de contraste dos objetos em um ambiente específico depende das cores presentes, entre outros fatores, e reconhecendo que os NVG reagem de maneira distinta dependendo da cor dos objetos em cena, compreender o comportamento desses sistemas diante dos diversos contrastes disponíveis e das diferentes condições de luminância, desde a lua cheia até a luz das estrelas em uma noite sem lua, durante o voo noturno torna-se crucial (Rabin, 1996;

Marasco; Task, 2003). Isso permite que pilotos e operadores possam discernir com precisão e confiança os objetos durante suas operações.

Uma metodologia de caracterização destinada a avaliar o desempenho dos NVG em relação a alvos coloridos e em diferentes condições de iluminação é uma abordagem que permite analisar a degradação da imagem gerada, além de fornecer entendimentos importantes sobre a compreensão do comportamento dos NVG após serem caracterizados, por meio de uma métrica objetiva para analisar a qualidade da imagem fornecida (Silva, 2021; Task; Pinkus, 2007). Essa abordagem contribui diretamente para uma visão noturna mais precisa e confiável para pilotos e operadores. Portanto, a implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas NVG utilizando a MTF na FAB é fundamental para a melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas.

2.2 Características das imagens dos NVGs e redução dos riscos de acidentes

O advento dos sistemas NVG revolucionou a concepção doutrinária, permitindo o emprego a qualquer hora do dia ou da noite. Isso resultou em um aumento significativo no apoio, na surpresa e na capacidade de sobrevivência das tripulações em cenários de combate (Brasil, 2009).

Voar à noite e em baixas altitudes tornou-se uma necessidade fundamental para permitir que os meios aeroespaciais executem uma variedade de ações e tarefas conforme estabelecido nos fundamentos doutrinários da FAB (Brasil, 2020b). Portanto, a utilização segura dos NVG, baseada no conhecimento das características das imagens geradas por eles, é essencial para garantir o cumprimento bem-sucedido dessas missões, reduzindo os riscos de acidentes.

Na escuridão, a identificação de objetos depende do tamanho, forma e contraste. Objetos maiores são mais fáceis de distinguir à noite do que os menores. Quanto à forma, silhuetas e arquitetura dos objetos são relevantes, já que detalhes são difíceis de discernir com pouca luz. O grau de contraste varia conforme a iluminação, cores, superfícies e plano de fundo (Brasil, 2009). Os sistemas NVGs amplificam a luz ambiente, permitindo a visualização mesmo em condições de iluminação escassa para os olhos humanos. No entanto, como na visão humana, a qualidade das imagens depende da luminância, contraste e capacidade de resolução do NVG utilizado (Rabin, 1996).

Através de uma metodologia de caracterização precisa e objetiva, é viável observar e quantificar a degradação nas imagens fornecidas pelos NVG à medida que as condições de luminância no ambiente diminuem, fornecendo um entendimento mais profundo das características dessas imagens (Silva, 2021; Marasco; Task, 2003). No entanto, é crucial destacar que essa degradação ocorre de maneira distinta conforme as transições de cores presentes no cenário. Algumas dessas transições podem não ser discernidas mesmo em noites com a melhor condição de luminância possível, como em uma noite de lua cheia. Este resultado é especialmente relevante, pois evidencia que certas cores podem se confundir ao utilizar um sistema NVG específico, o que tem um impacto direto na segurança, contribuindo para a redução de riscos de acidentes durante voos em ambientes de contraste de cores em diversas situações (Kooi; Toet, 2005).

Da mesma forma, há transições de cores que são mais facilmente distinguidas por determinado NVG mesmo em condições de luminância de uma noite sem lua, que oferece a menor disponibilidade de luz (Kooi; Toet, 2005). Essas distinções têm um papel crucial na visualização de obstáculos durante o voo noturno com o uso do sistema NVG, o que não só aumenta a consciência situacional, mas também contribui diretamente para a segurança durante a missão, resultando em uma redução significativa dos riscos de acidentes.

Assim, a utilização de uma metodologia de caracterização capaz de identificar a degradação nas imagens fornecidas pelos NVG, de acordo com as condições de luminância e conforme as cores presentes no cenário, possibilita uma compreensão das características das imagens geradas pelos sistemas NVG da FAB, diminuindo os riscos de acidentes durante operações noturnas. Logo, a implantação de uma Metodologia de Caracterização de Sistemas NVG utilizando a MTF na FAB é de grande valia para uma melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas.

3 CONCLUSÃO

Com base na análise realizada sobre a utilização dos NVG, foram identificadas lacunas significativas na compreensão e no uso eficaz desses sistemas, destacadas pela falta de conhecimentos importantes sobre eles pelos esquadrões operacionais da FAB. Diante disso, defendeu-se como tese que a implantação de uma Metodologia

de Caracterização de Sistemas NVG utilizando a MTF possibilita uma melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas, ressaltando a importância de uma abordagem metodológica objetiva e precisa para missões aéreas conduzidas pela FAB.

Ao argumentar que a compreensão do comportamento dos sistemas NVG utilizados na FAB, após a caracterização, proporciona uma visão noturna mais precisa e confiável para os pilotos e operadores, ressaltou-se que o desempenho dos NVG em relação a alvos coloridos e em diferentes condições de iluminação pode ser caracterizado em relação à degradação da imagem gerada. Isso fornece entendimentos importantes sobre o comportamento dos NVG, por meio de uma métrica objetiva para avaliar a qualidade da imagem fornecida.

Além disso, ao argumentar que a compreensão das características das imagens geradas pelos sistemas NVG da FAB reduz os riscos de acidentes durante as operações noturnas, destacou-se que as imagens formadas pelos NVG variam de maneira distinta conforme as transições de cores presentes no cenário, o que pode facilitar ou dificultar a visualização de alvos. Isso ressaltou que a complexidade no discernimento de determinadas transições tem um impacto direto na segurança durante os voos.

Assim, recomenda-se fortemente que a FAB implante uma metodologia para caracterizar seus sistemas NVG, alinhando-se com as diretrizes de doutrina da instituição e garantindo uma melhoria na capacidade operacional durante operações noturnas.

A implantação dessa medida reforçará o compromisso da FAB com a modernização e o aprimoramento contínuo das operações aéreas, garantindo a segurança e eficácia das missões em ambientes de baixa luminosidade. Este alinhamento é essencial ao Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027, que destaca a importância de soluções científico-tecnológicas e inovadoras para ampliar a prontidão operacional do Meios de Força Aérea voltados para o emprego.

Portanto, é crucial que a FAB priorize o desenvolvimento e a implementação de estratégias para aprimorar o uso dos NVG, assegurando sua excelência operacional e preparação para desafios presentes e futuros. Isso representa uma evolução significativa, elevando a FAB a um novo patamar na utilização de sistemas NVG e garantindo sua prontidão operacional.

REFERÊNCIAS

- BOREMAN, Glenn D. **Modulation transfer function in optical and electro-optical systems**. Bellingham, Washington: SPIE press, 2001.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Operações Aéreas. Segunda Força Aérea. **MCA 55-40: Manual de Voo com Óculos de Visão Noturna (NVG – Night Vision Goggles)** da Aviação de Asas Rotativas. Brasília, DF: COMAER, 2009.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. DCA 1-1: Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume I. Brasília, DF: COMAER, 2020a.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. DCA 1-1: Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume II. Brasília, DF: COMAER, 2020b.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria Nº 2.102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PCA 11-47). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 222, f. 14766, 20 de dez. 2018. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=3240&tipoMidia=0>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- HAQUE, Mohd Junedul; MUNTJIR, Mohd. Night vision technology: an overview. **International Journal of Computer Applications**, v. 167, n. 13, p. 8887-37, 2017.
- KOOI, Frank L.; TOET, Alexander. What's crucial in night vision goggle simulation? In: **Enhanced and Synthetic Vision 2005**. SPIE, 2005. p. 37-46.
- MARASCO, Peter L.; TASK, H. Lee. The impact of target luminance and radiance on night vision device visual performance testing. In: **Helmet-and Head-Mounted Displays VIII: Technologies and Applications**. SPIE, 2003. p. 174-183.
- RABIN, Jeff C. **Image Contrast and Visual Acuity Through Night Vision Goggles**. ARMY AEROMEDICAL RESEARCH LAB FORT RUCKER AL, 1996.
- RIVAMONTE, Lorenzo A. Resolution and signal-to-noise measurement of US Army night- vision goggles. In: **Helmet-Mounted Displays II**. SPIE, 1990. p. 206-215.
- SANTOS, Hélio Maciel Kiyohara dos. **Utilização do método slanted edge para caracterização e avaliação da MTF de sistemas eletro-ópticos aeroembarcados**. 2017. 108f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- SILVA, Hingrid Spirlandeli Nunes da. **Análise de emissividade no infravermelho médio de revestimentos de uso aeronáutico para obtenção da modulation transfer function de sensores eletro-ópticos utilizando o método slanted edge**. 2021. 87f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Física e Matemática Aplicadas – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.

SILVA, Raphael Efísio da. **Desempenho em Alcance e Caracterização de Sistemas Eletro- Ópticos Termais**. 2018. 112f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais, Área de Física e Matemática Aplicadas – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

TASK, H. Lee; PINKUS, Alan R. Theoretical and applied aspects of night vision goggle resolution and visual acuity assessment. In: **Head-and Helmet-Mounted Displays XII: Design and Applications**. SPIE, 2007. p. 183-193.