

ANÁLISE HIERÁRQUICA NO AMBIENTE R PARA ESCOLHA DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NO APOIO À SELEÇÃO DE LOCAIS DE INSTALAÇÃO DE UNIDADES CELULARES DE INTENDÊNCIA NA FAB

Lorena Peres Barcellos¹

João Paulo Martins dos Santos²

Rafael Freitas de Lima³

Luciane Ferreira Alcoforado⁴

Resumo

Este trabalho apresenta a aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP), com abordagem de julgamento holístico, como instrumento de apoio à decisão no processo de escolha de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a definição de locais de instalação de Unidades Celulares de Intendência (UCI) na Força Aérea Brasileira (FAB). O estudo concentrou-se na primeira etapa do AHP: a definição e priorização dos critérios decisórios, realizada com a participação de especialistas do Grupamento de Apoio Logístico de Campanha (GALC). Foram definidos cinco critérios: segurança, acessibilidade, tipo e condição do terreno, disponibilidade de água e esgoto, e presença de rede elétrica. A consolidação dos dados foi feita no ambiente R, por meio do pacote AHPWR, resultando em matrizes de comparação paritária com razão de consistência inferior a 0,1. A metodologia demonstrou-se eficaz para sistematizar o julgamento dos especialistas e priorizar os critérios com base na experiência operacional, configurando-se como etapa fundamental para a avaliação futura das alternativas. O estudo reforça a viabilidade de métodos multicritério e do uso do AHPWR no apoio à tomada de decisão logística militar. **Palavras-chave:** Aeronaves Remotamente Pilotadas, Planejamento Logístico, FAB, AHP, AHPWR.

Abstract

This paper presents the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP), using a holistic judgment approach, as a decision support tool for selecting Remotely Piloted Aircraft (RPA) to assist in the definition of suitable locations for the installation of Cellular Logistics Units (CLU) in the Brazilian Air Force (FAB). The study focused on the first stage of the AHP: the definition and prioritization of decision criteria, conducted with the participation of specialists from the Logistics Support Group for Field Operations (GALC). Five criteria were defined: security, accessibility, terrain type and condition, availability of water and sewage, and access

¹Academia da Força Aérea (AFA), barcelloslorenaa@gmail.com

²Academia da Força Aérea (AFA), jp2@alumni.usp.br

³Instituto de Estudos Avançados (IEAv), rafaelrfl.sjc@gmail.com

⁴Academia da Força Aérea (AFA), lucianealcoforado@id.uff.br

to an electrical network. The data were processed in the R environment using the AHPWR package, resulting in pairwise comparison matrices with consistency ratios below 0.1. The methodology proved effective in systematizing expert judgment and prioritizing the criteria based on operational experience, establishing a solid foundation for the future evaluation of alternatives. The study reinforces the feasibility of multicriteria methods and the use of AHPWR to support military logistics decision-making. **Keywords:** Remotely Piloted Aircraft, Logistics Planning, FAB, AHP, AHPWR.

Introdução

O planejamento logístico da Força Aérea Brasileira (FAB) em cenários de difícil acesso exige decisões rápidas e eficazes. As Unidades Celulares de Intendência (UCI), segundo o Ministério da Defesa (2020), são estruturas móveis e temporárias que garantem apoio logístico em operações, e sua instalação depende de critérios como acessibilidade, segurança e disponibilidade de recursos, conforme ressaltado por Gomes e Pizzolato (2009). Tradicionalmente, a escolha do local é feita por inspeções *in loco*, método que enfrenta desafios como deslocamento em terrenos de risco e exposição das equipes (Da Silva, 2006; Barcelos *et al.*, 2017). Nesse contexto, o sensoriamento remoto, especialmente com o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), tem se destacado por sua eficácia em fornecer dados em tempo real (Cezne; Jumbert; Sandvik, 2016; Da Silva Nascimento; Denadai, 2023). A adoção de técnicas estatísticas como a Análise Hierárquica de Processos (AHP), proposta por Saaty (2008), permite tratar múltiplos critérios simultaneamente, sendo amplamente utilizada em logística e defesa (Gomes e Gomes, 2019; Vaidya e Kumar, 2006). Este estudo propõe o uso da abordagem holística do AHP, segundo Godoi (2014), que simplifica os julgamentos e reduz inconsistências, em conjunto com o ambiente estatístico R, por meio do pacote AHPWR (Alcoforado *et al.*, 2024).

Objetivos

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a aplicabilidade das ARPs na identificação de locais estratégicos para instalação de Unidades Celulares de Intendência (UCI) da FAB, utilizando o método AHP com julgamento holístico. Como objetivos específicos, buscou-se, primeiramente, definir os principais critérios logísticos para a escolha dos locais, para posteriormente comparar o desempenho das ARPs atualmente utilizadas quanto a esses critérios e validar o uso do método AHP na estruturação do processo decisório. A definição dos critérios é, portanto, o assunto do presente pôster.

Material e Método

A metodologia a ser aplicada seguiu uma abordagem quali-quantitativa, estruturada por meio do método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), com aplicação do julgamento holístico proposto por Godoi (2014). Foram utilizados critérios definidos a partir de questionários aplicados a especialistas do Grupamento de Apoio de Logística de Campanha (GALC). Esses critérios incluem segurança, acessibilidade, tipo e condição do terreno, disponibilidade de água e esgoto, e rede elétrica. A construção das matrizes de comparação paritária, cálculo de pesos relativos e verificação da consistência foi realizada por meio do software *RStudio*, utilizando o pacote *AHPWR*, desenvolvido para facilitar a aplicação prática do método AHP em linguagem R (Alcoforado *et al.*, 2024). O uso dessa ferramenta estatística garantiu maior rigor metodológico e automatização das análises, permitindo explorar diferentes cenários de priorização multicritério com consistência e transparência.

Resultados e Discussão

A estrutura hierárquica foi composta por um objetivo, cinco critérios e três alternativas como demonstrado na Figura 1.

A definição dos critérios foi realizada com a participação de 4 especialistas do Grupamento de Apoio Logístico de Campanha (GALC), que responderam a um questionário digital. Esses especialistas, com vasta experiência operacional em missões logísticas, atribuíram os critérios necessários para a seleção de locais para a instalação de Unidades Celulares de Intendência (UCI). A metodologia de atribuição de pesos seguiu o método de julgamento holístico: considere que os pesos dos critérios $A_1, A_2 \dots A_n$ são, respectivamente, $w_1 < w_2 \dots w_n$, então os elementos da matriz de julgamento paritária são $a_{ij} = w_i \sim w_j + 1$, $w_i > w_j$ e $a_{ij} = 1/(w_j \sim w_i + 1)$, $< w_j$. Os pormenores podem ser encontrados em Godoi (2014).

Os cinco critérios foram definidos como:

- Critério 1 - Segurança do local: A segurança do local é um fator determinante, pois locais instáveis ou com risco de ameaças externas podem comprometer não apenas a operação da UCI, mas também a integridade dos militares envolvidos.
- Critério 2 - Acessibilidade do terreno: O acesso ao local é essencial para garantir a chegada de suprimentos e deslocamento de militares. Esse critério avalia a existência de vias terrestres pavimentadas ou não, disponibilidade de acesso por meios aéreos e fluviais e a possibilidade de uso de transporte alternativo em situações adversas.

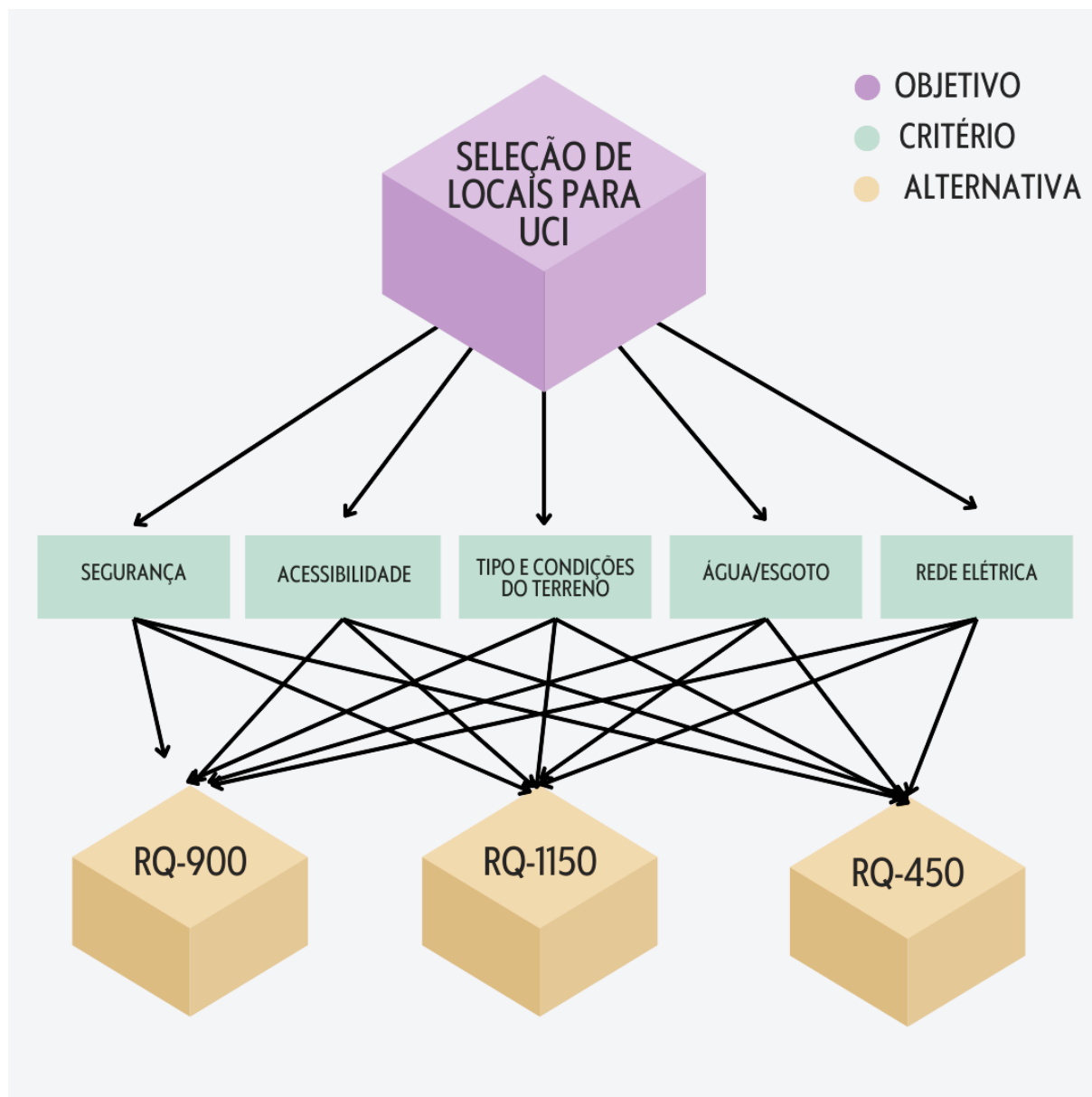


Figura 1: Árvore Hierárquica
Fonte: AUTORES, 2025

	Segurança	Acessibilidade	Tipo e Condições	Água/Esgoto	Rede Elétrica	CR
<i>weights</i>	5.00	5.00	5.67	4.33	4.33	–
Segurança	1.00	1.00	0.60	1.67	1.67	–
Acessibilidade	1.00	1.00	0.60	1.67	1.67	–
Tipo e Condições	1.67	1.67	1.00	2.33	2.33	–
Água/Esgoto	0.60	0.60	0.43	1.00	1.00	–
Rede Elétrica	0.60	0.60	0.43	1.00	1.00	–
priority	0.21	0.21	0.32	0.13	0.13	0

Figura 2: Priorização dos critérios

Fonte: elaboração própria no RStudio utilizando o Pacote AHPWR (Alcoforado, 2024)

- Critério 3 - Tipo e condições do terreno: A composição do solo, a topografia da área e a presença de obstáculos naturais, como vegetação densa ou terrenos alagadiços, impactam diretamente a instalação e funcionamento da UCI. Locais com baixa estabilidade geotécnica podem comprometer a estrutura das instalações.
- Critério 4 - Disponibilidade de água e esgoto: O acesso a recursos hídricos é fundamental para garantir abastecimento de água potável e saneamento adequado. Além disso, esse critério avalia a existência de infraestrutura para esgotamento sanitário, reduzindo impactos ambientais e garantindo condições adequadas de higiene.
- Critério 5 - Rede elétrica: A presença de infraestrutura elétrica facilita a instalação da UCI, mas, na ausência dessa infraestrutura, é necessário avaliar a viabilidade do uso de fontes alternativas, como geradores a diesel e painéis solares.

A priorização dos critérios foi realizada por meio do método de julgamento holístico. Para isso, foi aplicado um formulário, via Google Forms, a Oficiais Intendentes da Força Aérea Brasileira, que atribuíram pesos relativos à importância de cada critério. Cada especialista indicou o grau de relevância de cada critério utilizando uma escala de 1 a 9, conforme a escala fundamental de Saaty (2008). Os pesos fornecidos pelos especialistas foram consolidados através da média aritmética simples desses valores. Como resultado, os seguintes pesos foram obtidos: Critério 1 = 5,000000, Critério 2 = 5,000000, Critério 3 = 5,666667, Critério 4 = 4,333333 e Critério 5 = 4,333333.

Após a definição dos pesos relativos, o *software* RStudio, com o auxílio do pacote AHPWR, foi utilizado para gerar a matriz de julgamentos paritários dos critérios, seguindo a abordagem do julgamento holístico. Essa matriz reflete a comparação da importância dos quatro critérios entre si, conforme avaliado pelos especialistas, e está representada na Figura 2.

O processo seguinte envolveu a verificação da consistência da matriz construída, por meio do cálculo da Razão de Consistência (CR). O valor obtido foi inferior ao limite de 10%, ele comprova que os julgamentos realizados pelos especialistas foram consistentes, garantindo a confiabilidade da priorização dos critérios.

Em relação às alternativas avaliadas, as aeronaves RQ-900, RQ-1150 e RQ-450 foram selecionadas para análise com base na sua disponibilidade atual na FAB, o que evitaria a alteração dos processos operacionais já em curso. Essas aeronaves são opções comumente empregadas pela Força em missões de sensoriamento remoto e reconhecimento, o que as torna adequadas para o estudo (Motta, 2023).

Conclusão

A etapa inicial da aplicação do método AHP, realizada neste estudo, permitiu a definição e a priorização de critérios essenciais à seleção de locais para instalação de UCI da FAB. Esses critérios foram definidos com base na experiência prática de oficiais do GALC e refletem as reais necessidades enfrentadas em campo, como segurança, acessibilidade, tipo de terreno, disponibilidade de água e esgoto, e rede elétrica. A priorização revelou o critério “tipo e condições do terreno” como o mais relevante, seguido por segurança e acessibilidade, reforçando a lógica operacional aplicada nas decisões logísticas da FAB.

A metodologia adotada exige a participação de dois grupos de especialistas: um responsável pela definição e priorização dos critérios, e outro pela avaliação das alternativas em relação a esses critérios. Neste trabalho, foi concluída a primeira etapa do processo decisório, com a estruturação da hierarquia e a consolidação da matriz de comparação entre os critérios, validada pela razão de consistência inferior a 0,1.

As aeronaves selecionadas para apoiar a decisão sobre os locais de instalação das UCIs foram as opções disponíveis atualmente na FAB: RQ-900, RQ-1150 e RQ-450. Essas aeronaves, já utilizadas pela FAB em missões de sensoriamento remoto, foram escolhidas por sua capacidade operacional comprovada, garantindo que o estudo se concentrasse em soluções viáveis e disponíveis. Como próximos passos, será realizada a avaliação das alternativas por especialistas do 1º/12º GAV, com base nos critérios priorizados, concluindo o segundo estágio da aplicação do AHP. A consolidação dos dados permitirá a obtenção dos pesos globais das alternativas, possibilitando a identificação da aeronave mais adequada para apoiar a decisão logística na seleção de locais de instalação de UCIs.

Referências

ALCOFORADO, Luciane Ferreira. **Aplicação do método AHP com R**. In: ALCOFORADO, Luciane Ferreira *et al.* *Aplicações em R: encurtando distâncias nas ciências*. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2024. cap. 6. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9786587023397>. Acesso em: 04 abr. 2025.

BARCELOS, Anna Carolina. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramentos de campo: aplicabilidades e viabilidades**. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20639>. Acesso em: 10 abr 2025.

CEZNE, E.; JUMBERT, M. G.; SANDVIK, K. B. Drones como veículos para a ação humanitária: perspectivas, oportunidades e desafios. *Conjuntura Austral*, [S. l.], v. 7, n. 33-34, p. 45-60, 2016. DOI: 10.22456/2178-8839.60267. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ConjunturaAustral/article/view/60267>. Acesso em: 10 abr. 2025.

DA SILVA, Luiz Amedeo Iozzi. **A estrutura de apoio logístico da Força Aérea Brasileira em relação à doutrina de Comando combinado**. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aeroespaciais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2006.

DA SILVA NASCIMENTO, Ana Juvelina; DENADAI, Marcelo Scantamburlo. Sensoriamento remoto com o uso do drone. **Tekhne e Logos**. v.14, n.2, p. 10-17, 2023. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/834/505>. Acesso em: 10 abr 2025.

GODOI, Wagner da Costa. Método de Construção das Matrizes de Julgamento Paritários no AHP - Método do julgamento holístico. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 03: p.474- 493, 2014 D.O.I: 10.3895/S1808-04482014000300001.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e métodos para a tomada de decisão**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, Kesia Guedes Arraes. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. 2010. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. DOI: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.14984>. Acesso em: 10 abr 2025.

MINISTÉRIO DA DEFESA. DCA 1-1: Doutrina Básica da FAB. Brasília, 2020.

MOTTA, Murilo. **Olhos da Pátria: o emprego de aeronaves remotamente pilotadas pela Força Aérea Brasileira**. 2023.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v.1, n.1, p. 83-98, 2008. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590. Acesso em: 10 abr 2025.

VAIDYA, Omkarprasad S.; KUMAR, Sushil. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>. Acesso em: 10 abr 2025.

Apêndice

```
library(AHPWR); library(kableExtra); require(magrittr); require(kableExtra)
goal = "Seleção de Localidade"
```

```
criterios = c("Segurança", "Acessibilidade", "Tipo Condições", "Água/Esgoto", "Rede Elétrica")
alternatives = c("RQ-450", "RQ-900", "RQ-1150")
names = c(goal, criterios, alternatives)
p=flow_chart(names, c=5, a=3)
p+ggplot2::labs(title = "Árvore de Hierarquia com três níveis", x=, y=)+ggplot2::theme_void()
x=c("Segurança", "Acessibilidade ", "Tipo Condições", "Água/Esgoto ", "Rede Elétrica")
y = c(5.000000, 5.000000, 5.666667, 4.333333, 4.333333)
m1 = matrix_ahp(x,y)
names(y) = x; table=tabela_holistica(pesos=y)
colnames(table) <- c( "Segurança", "Acessibilidade", "Tipo Condições", "Água/Esgoto", "Rede Elétrica", "CR", )
# Criar a tabela com kableExtra
knitr::kable(as.data.frame(table), align = 'c', digits = 2) %>%

row_spec(1, italic = TRUE, background = 'gray') %>%
row_spec(2:5, color = 'black', background = 'yellow') %>%
row_spec(6, underline = TRUE, color = 'black', background = 'gray', bold = TRUE) %>%
column_spec(6, background = 'gray') %>%
kable_styling(bootstrap_options = c("striped", "hover", "condensed"),
full_width = FALSE)
```