

ORIENTAÇÃO DE AERONAVE AGRÍCOLA POR DGPS COMPARADA COM SISTEMA CONVENCIONAL POR BANDEIRAS

José Paulo MOLIN¹

RESUMO

A aviação agrícola brasileira vem adotando o sistema de orientação por barra de luz ou DGPS numa marcha relativamente acelerada. Em função da ausência de informação a respeito da sua eficácia, desenvolveu-se uma metodologia para medir a precisão dos dois sistemas de orientação: bandeiras e DGPS. Realizou-se um ensaio em condições reais de campo utilizando, na mesma área, os dois sistemas de orientação. O sistema de DGPS apresentou valores de erro de percurso e erro acumulado do espaçamento entre passadas consistentemente menores.

PALAVRAS-CHAVE: aviação agrícola, orientação, DGPS.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DGPS AND FLAGGING AS GUIDING FOR AERIAL AGRICULTURAL APPLICATIONS

SUMMARY

The adoption of light bar or DGPS for guiding aerial applications in Brazil is growing relatively fast. As no information related to its accuracy is available, a methodology was developed to measure it and compare both systems in use: flags and DGPS. In a field test an aircraft flew the same area using each of the guiding systems. The DGPS system consistently proved to offer a better performance, with lower track error and swath width accumulated error.

KEYWORDS: aerial application, DGPS, guidance system.

INTRODUÇÃO

A aplicação aérea de insumos agrícolas e florestais é prática comum em nosso meio e a orientação dada ao piloto para manter as passadas paralelas tem sido feita por meio de equipe de terra com a utilização de bandeiras. Essa equipe necessita de

¹ Eng. Agrícola, PhD, Professor no Depto. de Eng. Rural, ESALQ/USP e Pesquisador do CNPq. Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (019)429-4165, e-mail: jpmolin@carpa.ciagri.usp.br

treinamento específico e a acurácia da orientação é função da sincronia do grupo de pessoas e da ação individual de cada um.

Assim como muitas outras áreas, a aviação agrícola, recentemente, se viu beneficiada pelo surgimento e disponibilização do GPS (Global Positioning System). O Sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos como um recurso bélico e estratégico e hoje tem inúmeras aplicações e dentre elas, várias já são encontradas na agricultura (MOLIN, 1998).

A utilização de GPS como guia em missões de vôo de aeronaves agrícolas é feita com a ajuda de uma barra de luz posicionada em algum lugar na frente do operador. Em muitos casos essa barra é posicionada internamente, no painel e em outros, fica posicionada do lado de fora da cabine. Essa barra de luz, controlada pelo receptor de GPS, é um conjunto de pequenas luzes (LEDs) que acendem na medida em que a aeronave se afasta do alinhamento pré determinado. Esse alinhamento é gerado pelo piloto na primeira passada e as demais serão sempre paralelas à primeira e afastadas da distância equivalente à largura de uma faixa de deposição, também definida pelo operador antes do início da tarefa.

O sinal de GPS exige correção diferencial ou DGPS. Essa correção, em algumas aplicações pode ser obtida em pós processamento. Esse não é o caso da aviação agrícola, em que a correção deve ser em tempo real e de boa qualidade. Existem vários métodos disponíveis para correção de sinal em tempo real (MOLIN, 1998). Para a aviação agrícola brasileira o método mais comum atualmente disponível é via satélite de comunicação geo-estacionário.

Tendo iniciado há quatro anos, estima-se que em 1998 existam no Brasil em torno de 100 aeronaves equipadas com DGPS e barra de luz, de um total em torno de 600 aviões. No exterior essa tecnologia teve grande aceitação inicial na exploração florestal, onde a utilização de bandeiras é bastante dificultada pelas árvores. Trabalhos têm sido propostos na tentativa de qualificar o sistema guia com DGPS e sua utilização como localizador no campo. TESKE *et al.* (1994) utilizaram equipamento de bordo para registrar as passadas paralelas, plotando-as com o auxílio de um GIS (Sistema de Informação Geográfica) para a análise de deposições e determinação de largura efetiva de faixas. MICKLE *et al.* (1996) apresentaram uma comparação de deposição modelada e medida de produtos líquidos em floresta, com aeronave guiada por DGPS. As passadas foram gravadas e utilizadas como referência para a alimentação do modelo.

Testes para avaliar a acurácia do posicionamento em relação a uma linha teórica de uma aeronave agrícola guiada por DGPS foram executados por VETTER(1996). Ele utilizou uma câmara de vídeo especial e depois, analisando as imagens, mediu a deriva entre a linha de deslocamento e o alinhamento teórico e obteve uma diferença média de 0,30 m entre a linha teórica e a posição real. Em 50% do tempo essa diferença se manteve abaixo de 0,43 m e em 90% do tempo, abaixo de 0,94 m. A máxima diferença esteve abaixo de 1,30 m nos 8,0 km de percurso do ensaio.

Uma análise técnica e econômica da utilização de DGPS como guia de aeronaves agrícolas foi apresentado por ARDILA (1996) para a cultura da banana na

Colômbia. O sistema utilizando DGPS apresentou uma diferença bastante significativa quando comparado com o sistema convencional de guia por bandeiras.

Em função da crescente demanda por serviços de aplicação aérea com aeronaves equipadas com DGPS e da popularização do equipamento no Brasil, existe a necessidade de uma melhor caracterização do seu desempenho. Esse trabalho teve como objetivos desenvolver uma metodologia para a medição de erros de percurso em passadas paralelas de aeronaves agrícolas e quantificar esse erro em duas condições distintas: aeronave guiada por bandeiras e guiada por GPS corrigido via satélite.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi executado em uma lavoura de cana-de-açúcar em fase final de crescimento, no município de Piracicaba, SP. Foi escolhida uma área retangular, de topografia plana, ao lado de uma pista de pouso. Foi utilizada uma aeronave agrícola Ipanema 201 A. A aeronave estava equipada com equipamento guia SATLOC AirStar, composto por uma fonte de potência, CPU com drive PCMCIA, receptor GPS de 10 canais, teclado, visor, barra de luz, software MapStar 3.8 e conectado a um receptor OmniStar para alimentação de sinal diferencial (DGPS) via satélite. Esse equipamento tem capacidade de gravar o percurso da aeronave, identificando separadamente faixas de pulverização e percursos de manobras e deslocamentos. Para tanto foi configurado para adquirir um dado de posição a cada segundo.

O operador, de 35 anos de idade e 12 anos (5000 h) de experiência em vôos, operava com DGPS há um ano e meio. O ensaio foi realizado no dia 15.01.98 e o plano de vôo foi estabelecido para que a aeronave pulverizasse a área, primeiramente guiada por bandeiras e após um pouso para renomear o arquivo de dados, voasse novamente sobre a mesma área, guiada por DGPS. O percurso adotado foi o 'back-to-back', ou seja, idas e voltas paralelas consecutivas (SATLOC, 1995).

A equipe de terra, devidamente treinada, era coordenada por um técnico. A área não foi previamente balizada. A largura das faixas, estipulada para a equipe de terra, foi de 17 m e essa mesma largura foi definida para o equipamento de DGPS. Foram dadas seis passadas paralelas, totalizando em torno de 5 mil metros de deslocamento, aplicando água.

Os arquivos foram gravados em cartão PCMCIA durante o vôo e depois transferidos para disquete. Foram então convertidos para True CAD para as medições de espaçamentos entre passadas, após terem sido geradas linhas perpendiculares auxiliares em intervalos eqüidistantes de 15 m. Sobre essas linhas foram feitas as medições com resolução de 0,1 m. Além desses, foram tabulados os valores de diluição da precisão - DOP (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1992) e idade do sinal diferencial para caracterizar a qualidade do sinal de DGPS. Os dados foram então analisados com base na distribuição de freqüência dos erros e erro acumulado ao longo das seis passadas.

RESULTADOS

Assume-se que o traçado gerado pelo equipamento de DGPS tem um erro intrínseco, porém aleatório e aproximadamente constante dentro de curtos períodos de tempo, como o da duração do ensaio. Prova disso são os valores do DOP (diluição da precisão) e da idade do sinal diferencial, apresentados na Figura 1, que mantiveram-se praticamente constantes ao longo dos ensaios. Valores de DOP como os obtidos, abaixo de 2,5 são considerados ideais para boa acurácia do sinal de GPS. Já a idade do sinal diferencial é considerada aceitável até 30 segundos.

Na Figura 2 são apresentadas as trajetórias de cada passada, referenciadas a uma linha de origem, mostrando o desvio ao longo do percurso, para os dois sistemas de orientação. A Figura 3 mostra os erros acumulados de espaçamentos entre as seis passadas ao longo dos percursos, demonstrando a inconsistência da orientação feita por bandeiras durante o ensaio. Aparentemente um dos operadores de bandeira foi responsável pelo acentuado acúmulo de erro a partir de uma das cabeceiras. O sistema de orientação por DGPS apresentou uma distribuição do erro acumulado bastante uniforme ao longo dos percursos. É importante observar que a largura das faixas estabelecida para as duas operações foi de 17 m. O acúmulo de erro, no caso da orientação por bandeiras, é totalmente dependente da medição feita pelo operador da bandeira em cada cabeceira da lavoura. Essa medição é feita por passos e o operador é treinado a compensar as angulações existentes nas cabeceiras quando o talhão não é perfeitamente regular, com cabeceiras não perpendiculares às faixas. No sistema guiado por DGPS o percurso de campo é sempre referenciado à primeira linha e com deslocamentos equidistantes, sem acúmulo de erro. A Tabela 1 apresenta a síntese dos dados de espaçamento médio entre faixas, desvio padrão do erro de alinhamento e o erro médio acumulado ao longo das seis passadas para os dois sistemas de orientação. Observa-se que o erro acumulado médio de seis passadas com orientação por bandeiras foi de 9,71 m a mais do que o necessário, o que significa que foi pulverizada uma área maior do que a prevista e com sobreposição menor que a necessária. No sistema de orientação com DGPS esse erro foi de 0,93 m, também a mais do que o previsto.

Na Figura 4 são apresentadas as probabilidades de desvio da aeronave em relação à linha teórica para o acumulado de todas as passadas. O sistema guiado por bandeiras apresentou erro de 2,9 m com probabilidade de 50% e de 4,4 m com probabilidade de 90%. No sistema guiado por DGPS esse erro foi de 0,5 m com probabilidade de 50% e 1,4 m com probabilidade de 90%. A Figura 5 mostra a distribuição de frequência desses erros em torno da linha desejada. Essa distribuição evidencia a assimetria dos erros gerados pelo sistema de orientação por bandeiras, além da maior dispersão desses erros se comparados com o sistema de orientação por DGPS.

De maneira geral o sistema de orientação por DGPS mostrou um desempenho muito favorável se comparado com o sistema de bandeiras, sob os aspectos técnicos avaliados. Embora os dados tenham se mostrado consistentes, é desejável que tal ensaio seja repetido em diferentes condições de topografia, culturas e áreas maiores, para uma análise mais ampla da metodologia e dos sistemas avaliados.

CONCLUSÃO

A metodologia proposta e testada mostrou-se adequada para a mensuração e análise de erro nos percursos de aeronave agrícola em operação de pulverização. O sistema de orientação por DGPS apresentou melhor desempenho na manutenção do alinhamento e propagação de erro na largura das faixas. Os erros entre passadas bem como os erros acumulados no sistema com orientação por DGPS foram consistentemente menores. O trabalho deve ser repetido com uma quantidade maior de dados em áreas maiores e em condições variadas de cultura e topografia.

AGRADECIMENTOS: A execução deste trabalho só foi possível com a colaboração direta das seguintes empresas, às quais agradece-se: Empresa Distribuidora de Aviões Brasileiros Ltda-EMBRASA, pelo agenciamento; Agroaéreo Triângulo, pela cedência da aeronave e piloto; Grupo COSAN, pela área e equipe de terra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARDILA, J. M. An appealing alternative: aerial guidance over Colombia's banana fields. *GPS World*, Eugene, suplemento 'Precision Farming', december, 1996. p.10-5.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J. *Global Positioning System - Theory and Practice*. New York, Springer-Verlag Wien, 1992. 326p.

MICKLE, R. E., PAYNE, N. J., CUNNINGHAM, J. C. *Comparison of modelled and measured deposit with efficacy*. St. Joseph: ASAE, 1996. 18p. (Paper 961060)

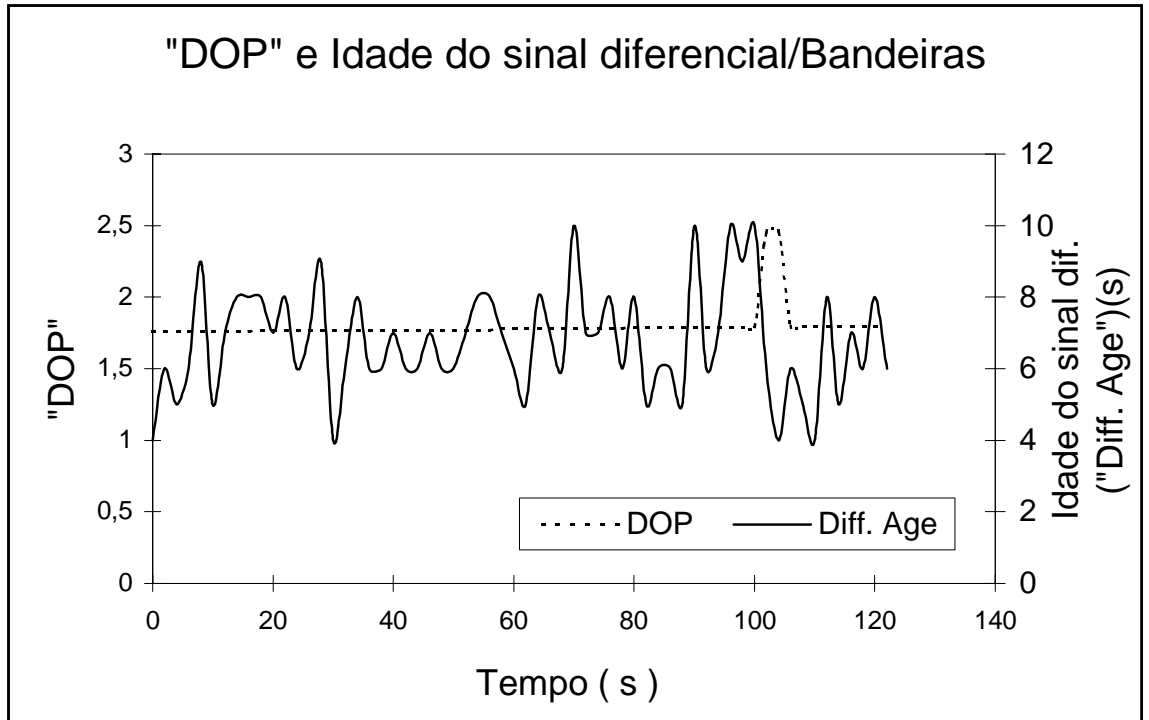
MOLIN, J.P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-32, mar. 1998.

SATLOC. *AirStar7 Operator's Manual*. SATLOC, INC. Tempe, 1995. 112p.

TESKE, M. E., BARRY, J. W., GHENT, J.H. *Aircraft deposition coverage over canopies*. St. Joseph: ASAE, 1994. 11p. (Paper 941033)

VETTER, A . A, Quantitative evaluation of DGPS guidance for aerial agricultural applications. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v.12, n.5, p.611-6. 1996.

(a)



(b)

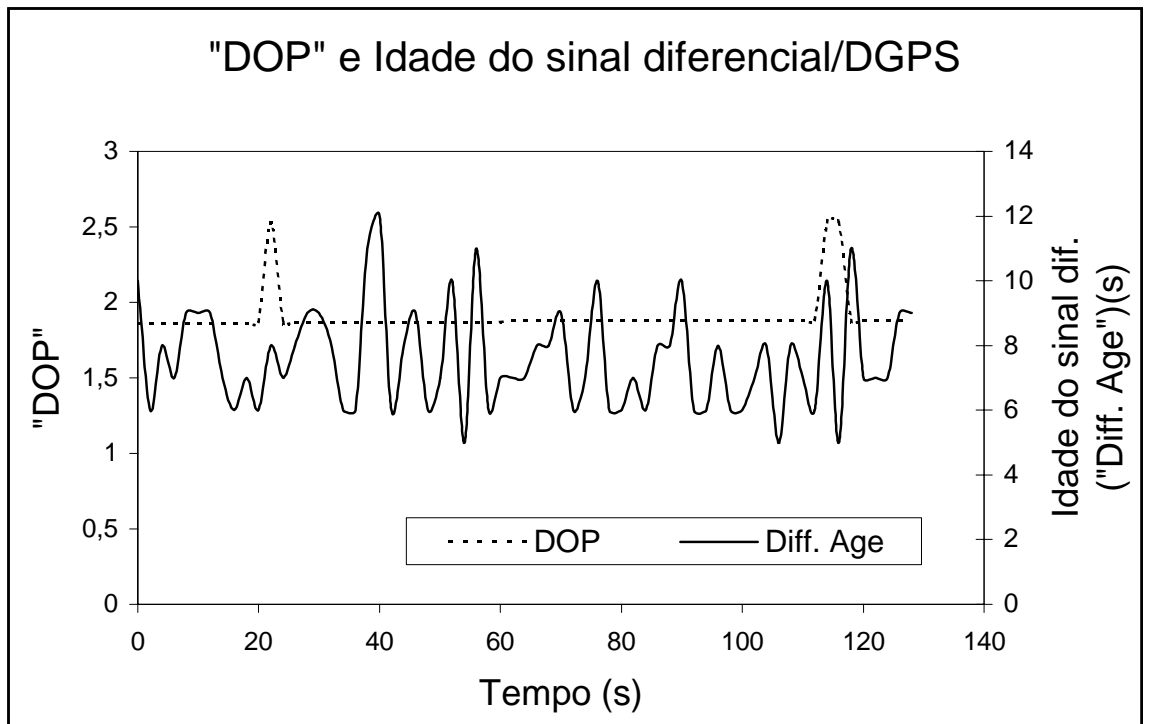
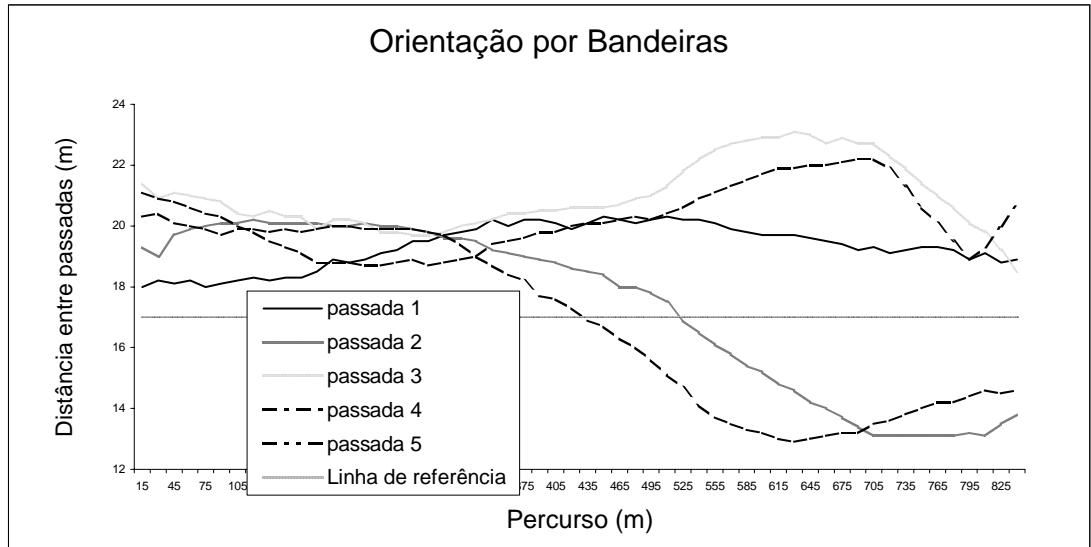


FIGURA 1. Qualidade do sinal de GPS (DOP) e idade do sinal diferencial (“Differential Age”) via satélite:(a) Percursos orientados por bandeiras; (b) percursos orientados por DGPS.

(a)



(b)

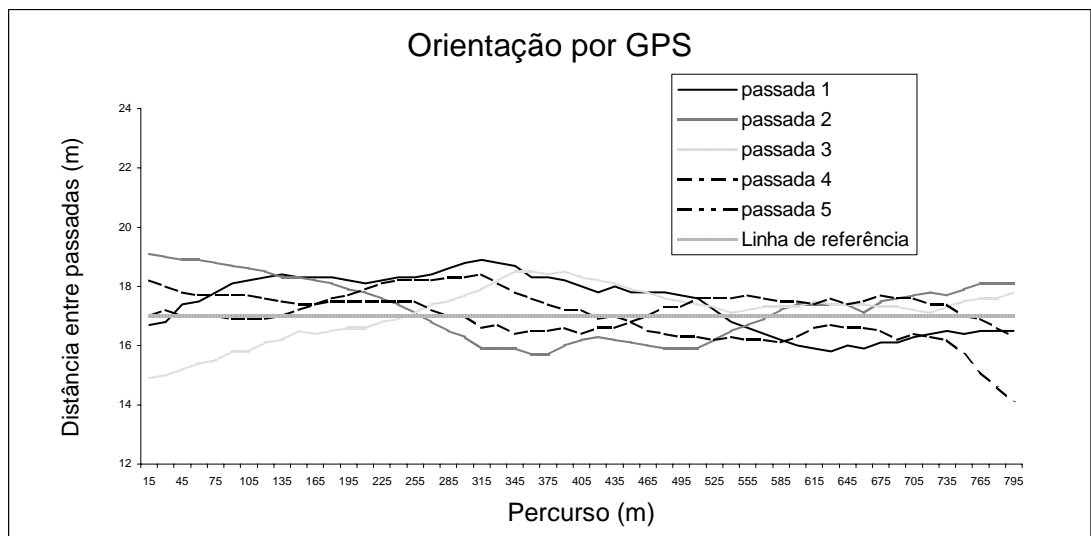


FIGURA 2. Trajetórias de cada passada, referenciadas à linha de origem que define o espaçamento de 17 m entre passadas; (a) orientação por bandeiras, (b) orientação por DGPS.

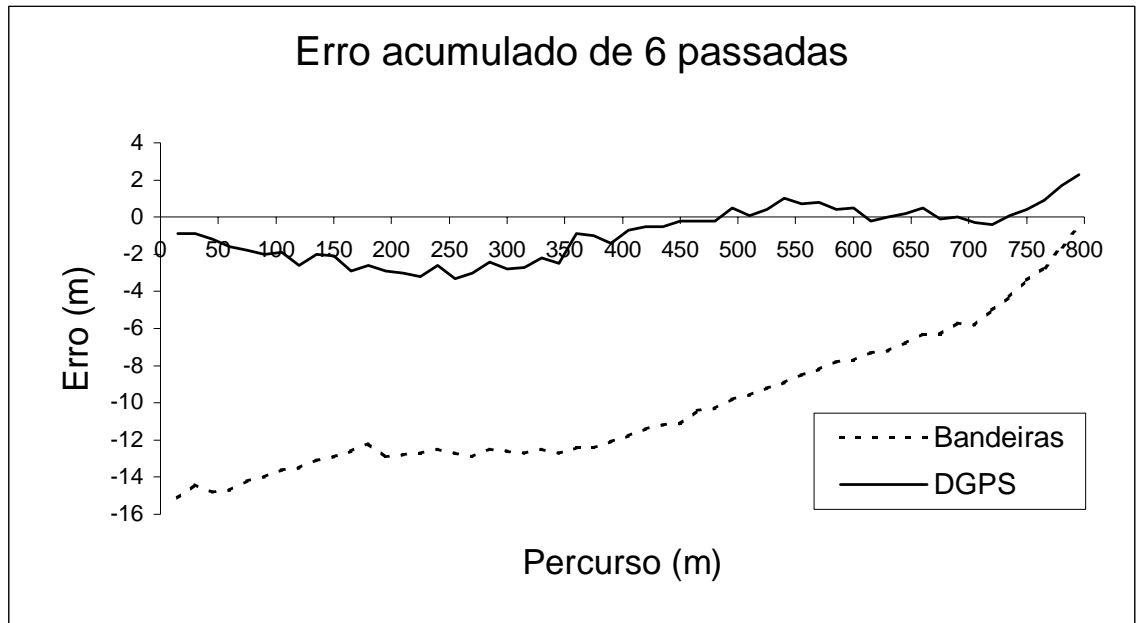


FIGURA 3. Erros acumulados de espaçamentos entre as seis passadas ao longo dos percursos, para os dois sistemas de orientação.

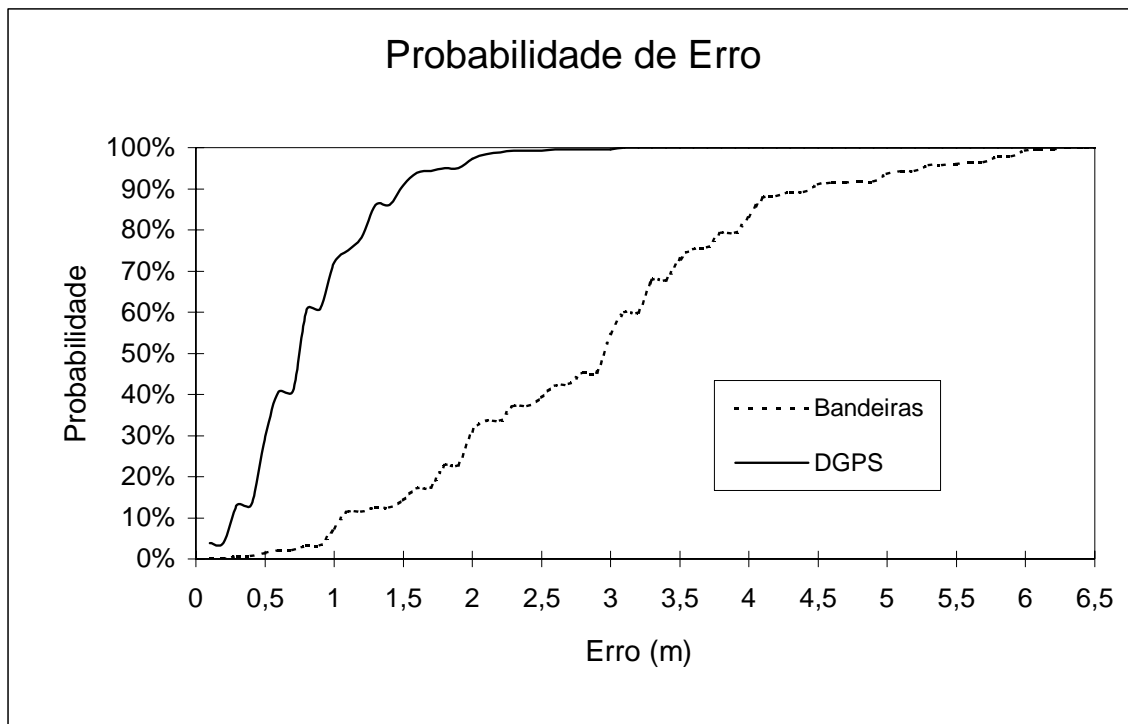


FIGURA 4. Probabilidades de desvio da aeronave em relação à linha teórica para o acumulado de todas as passadas para os dois sistemas de orientação.

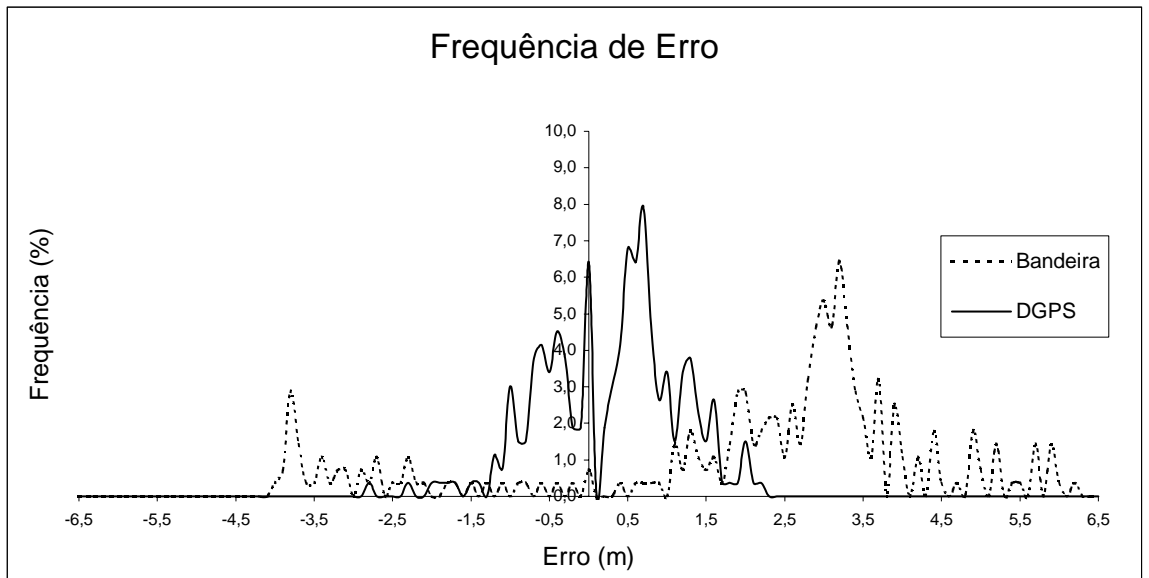


FIGURA 5. Distribuição de frequência dos erros de alinhamento em torno da linha desejada para todos os percursos e para cada sistema de orientação.

TABELA 1. Valores médios observados para a distância entre faixas, erro acumulado e desvio padrão do erro de alinhamento para os dois sistemas de orientação.

Sistema guia	Largura média das faixas (m)	Erro médio acumulado (m)	Desvio padrão
Bandeiras	18,9	9,71	2,15
DGPS	17,2	0,93	0,87