

# ALTITUDE MEASUREMENT IN MANNED AIRCRAFT USING BAROMETRIC SENSOR AND ALTIMETER

**Maicol Peterson G. de Almeida, Thiago A. Michels, Pedro Bertemes Filho**

*Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC*

*Departamento de Engenharia Elétrica, Campus universitário – Joinville - SC*

[maicol.almeida@udesc.br](mailto:maicol.almeida@udesc.br)

**Abstract.** The objective of this article is to develop an electronic system for measuring the altitude of a manned aircraft using barometric sensor. The system uses a microcontroller for capturing both pressure and altitude measurements in a real time. The results showed a difference of 50 feet between sensors. It was observed that the system's sensitivity is 100 feet, which permitted to detect turbulence during the descent of the aircraft. This may be useful to evaluate pilot-students by indicating whether the aircraft remain stable during the ascent or descent.

**Keywords—** *Manned Aircraft, Altimeter, Barometric Sensor*

## 1. INTRODUÇÃO

O surgimento de veículos aéreos não tripulados (VANTs) exigiu a utilização de sensores barométricos para medição de altitudes [1]. Estes veículos são compactos e movem-se rapidamente, necessitando de um tempo de resposta curto para medição de altitude, razões de subidas e descidas.

O uso de linhas de pressão estática para medição de altitude e razões de descida ou subida de aeronaves exige manutenções regulares. A agência Nacional de Aviação Civil estabelece no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC-43) os testes e inspeções que devem ser feitos nos altímetros das aeronaves brasileiras [2].

Os erros apresentados pelos altímetros analógicos instalados nas aeronaves tripuladas podem aparecer devido ao congelamento da linha de pressão estática, atrito com o ar, vazamento da linha de pressão e outros apresentados no RBAC-43 [2]. A medição de altitude através do uso de sensores barométricos é uma alternativa para eliminar a maioria dos erros descritos no RBAC-43. Além disso, o tempo de resposta na medição é importante para o piloto no momento do pouso, sendo a fase mais crítica do voo [3].

O tempo de resposta de um sensor barométrico é curto quando comparado com um altímetro convencional que utiliza a linha de pressão estática como fonte de medição para o altímetro [4].

O atraso na resposta do altímetro analógico durante o voo exige atenção do piloto. Em alguns casos, quando o piloto nivela de forma brusca após a decolagem ou descida, apesar da aeronave estar nivelada, o piloto verifica que o ponteiro do altímetro ainda está retornando para sua posição normal, desta forma o piloto pode reagir pensando ainda não ter nivelado a aeronave. Esta reação do piloto é muito comum em alunos que estão na fase de voo por instrumentos, trata-se de uma desorientação espacial e os seus riscos estão descritos nas análises dos fatores humanos feitos pelo setor de medicina aeroespacial da Federação de Aviação Americana - FAA [5].

O uso de sensores do tipo SONAR para medição de altitude é aplicado em aeronaves não tripuladas que voam a baixa altura, isto porque o alcance do sensor é pequeno em relação ao uso de um sensor barométrico [6]-[7].

Existem projetos que já utilizam sensores barométricos em aeronaves não tripuladas [4]. O uso de sensores barométricos como auxílio na manutenção de altitude e razão de descida no momento do pouso é importante porque o altímetro analógico apresenta um retardo na medição. [8]-[9]-[6]-[4].

O objetivo deste artigo é desenvolver um sistema de medição de altitude para aeronaves tripuladas utilizando um sensor barométrico.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento consiste na captura e gravação dos dados do sensor barométrico durante o voo e transferência dos dados em solo através do *software* instalado no computador.

Para a medição de pressão foi usado um sensor barométrico modelo Bosch BMP180 conectado a uma placa de circuito Arduíno. O BMP180 é um sensor de pressão atmosférica que alia alta precisão a baixo consumo [10]. A faixa de utilização deste sensor é de 300 a 1100 hPa.

O módulo Arduino lê e grava os dados fornecidos pelo sensor, este módulo contém um microcontrolador ATmega328 de 16 MHz e 5 V com memória EEPROM de 1 kb.

O acompanhamento das medições durante o voo foi feito por um display de 16x2 segmentos, conectado a um potenciômetro para ajustar a intensidade do brilho. Também foi usado um potenciômetro conectado ao microcontrolador para fazer a calibração da altitude de referência.

A pressão de referência é calibrada pelo ajuste do altímetro analógico da aeronave. Este ajuste é feito através do valor de pressão medido ao nível do mar e informado pelos órgãos de tráfego aéreo do aeroporto. Através do potenciômetro ajusta-se a pressão de referência no sistema para que o microcontrolador grave a altitude da aeronave em relação ao nível do mar. A Fig.1 mostra o diagrama de blocos do sistema de medição.

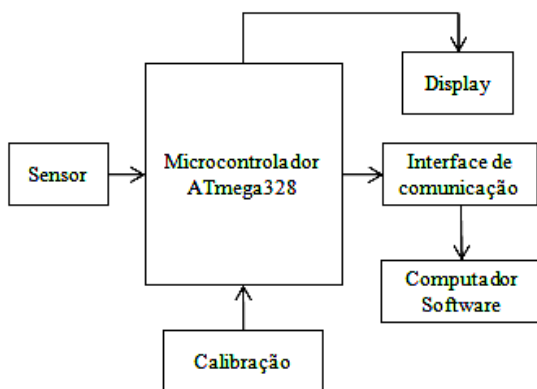


Figura 1. Diagrama de conexão do sistema de medição.

As medições foram feitas através de uma aeronave de instrução civil de pequeno porte, equipada com altímetro analógico e transponder. Os testes foram feitos entre 1000 e 4000 pés de altitude num intervalo de tempo de 6 minutos, subindo a uma razão de 500 pés/minuto até 5000 pés de altitude.

O sistema foi fixado no piso da aeronave e atrás dos bancos dos pilotos. As altitudes indicadas pelo altímetro analógico foram gravadas por uma câmera instalada próximo ao painel de instrumentos.

### 3. RESULTADOS

A Fig.2 mostra as medições realizadas pelo sistema durante a decolagem da aeronave pelo instrutor de voo, iniciando ao nível médio do mar com uma razão de subida de 500 pés/minuto e nivelando após 10 minutos na altitude de 5000 pés.

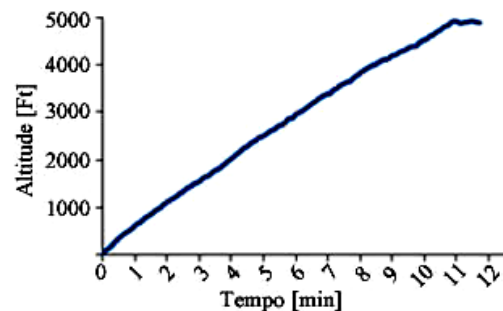


Figura 2. Resposta temporal das medições de altitudes pelo sistema na subida.

A Fig.3 mostra as medições realizadas entre 1000 e 4000 pés pelo sensor (linha contínua) e pelo altímetro analógico (linha tracejada). Os valores do sensor e do altímetro mostraram um desvio de 50 pés entre os instrumentos de medição, o que pode ter sido ocasionado por um problema de aferição do altímetro da aeronave (atrato, parafusos de regulagens e desgastes).

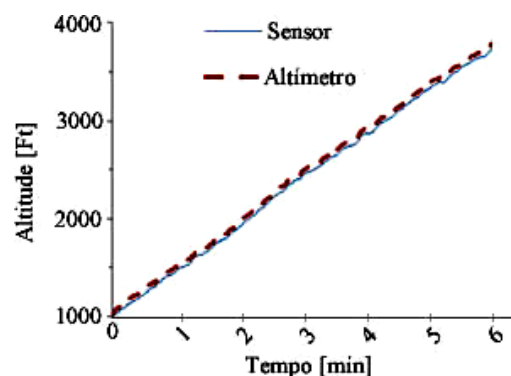


Figura 3. Resposta temporal do sistema e altímetro analógico.

A Fig.4 mostra os valores medidos pelo sistema na descida efetuada pelo instrutor de voo de 5000 para 2500 pés. Uma ampliação do início da descida (após a redução de potência da aeronave) é apresentada nos

primeiros 4 minutos para mostrar uma região de turbulência que a aeronave passou após o início do voo planado. Esta variação não é muito perceptível no altímetro analógico devido a sua escala de medição.

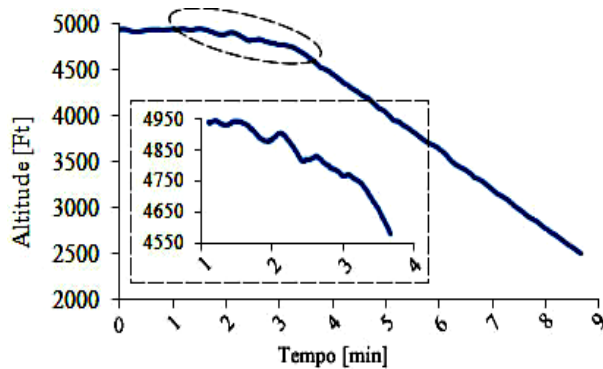


Figura 4. Resposta temporal do sistema na descida para 2500 pés.

Na Fig.5 a medição realizada pelo sistema durante o pouso inicia na altitude de 1500 pés e termina após o pouso. As oscilações na razão de descida ocorreram porque o pouso foi realizado por um aluno em instrução. Valores medidos no sistema e no altímetro indicaram altitudes de aproximadamente 5 pés devido a diferença do ajuste de referência que o controlador de voo informou no momento da decolagem. Após o pouso o valor de referência de pressão era diferente, mas ambos (sistema e altímetro) mediram altitudes em relação a primeira referência fornecida pelo controlador.

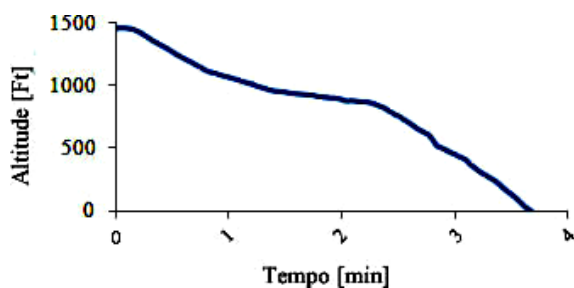


Figura 5. Resposta temporal de altitude do sistema durante o pouso.

### 3. DISCUSSÕES

Os valores registrados pelo sistema digital estão aproximadamente 50 pés abaixo

dos valores indicados pelo altímetro analógico da aeronave, isto se deve ao fato de que o altímetro analógico possui elementos mecânicos internos que podem gerar atrito e erros de indicação para mais ou para menos, além de necessitar ser aferido e ajustado com regulagens de parafusos e molas em intervalos de tempo de uso. Já o sistema do sensor não sofre influências mecânicas e foi calibrado facilmente através do ajuste por um potenciômetro.

Os valores das altitudes informadas pelo controlador de tráfego aéreo, através do transponder, ficaram 100 pés acima dos valores indicados no altímetro da aeronave, esta variação é considerada normal para os controladores de voo porque a precisão de altitude informada pelo *transponder* é de 100 pés [11].

Verificou-se que os valores das altitudes ficaram próximos dos valores indicados pelo altímetro, apesar de pequenas oscilações devido a turbulência durante o voo.

A precisão do sistema de medição foi comprovada durante a descida a aeronave, observou-se regiões de turbulência onde o sensor mediu a variação de pressão naquela região, formando uma linha sinuosa de variação de altitude.

O sistema poderá ser usado para avaliar o pouso de um aluno através dos valores temporais das medições e, conseqüentemente, mostrar se o aluno mantém uma razão de descida constante.

### 4. CONCLUSÃO

A medição de altitude através do uso de sensores barométricos é vantajosa porque não apresenta erros de indicação devido ao atrito entre peças mecânicas e não precisam ser aferidos constantemente. O sistema proposto também foi capaz de registrar eventos que os sistemas analógicos não conseguem registrar devido a inércia de seus componentes internos.

Conclui-se que este sistema de medição pode ajudar os instrutores de voo na avaliação de seus alunos após um voo de

treinamento, pois é possível observar a variação das altitudes feitas pelo aluno durante o voo. Além disso, o custo deste sistema ficou vinte por cento menor do que um altímetro aeronáutico.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade do Estado de Santa Catarina pelo apoio institucional e a Fundação Instituto Tecnológico de Joinville pelo apoio técnico-financeiro.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ramos, J., Paiva, E., Azinheira, J., Bueno, S., Maeta, S., Mirisola, L., Bergeman, M. and Faria, B. "Autonomous flight experiment with a robotic unmanned airship", Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, pp. 4152-4157.
- [2] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. "Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – 43", emenda 01, 2014, p. 1-28. Em: <www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha.asp>. Acesso: 10 mai. 2015.
- [3] Matschinske, M. R. "O invisível vento e os procedimentos de pouso e decolagem". Em: <www.redemet.aer.mil.br/Artigos/vento.pdf>. Acesso: 10 mai. 2015.
- [4] Silva, Jorge Estrela da; Sousa, João Borges de; Ferreira, Filipe Manuel Costa. "Desenvolvimento de módulos para planeamento e controlo de execução de missões de veículos aéreos não tripulados", 2013. Disponível em: <hdl.handle.net/10400.22/3275>. Acesso: 10 mai. 2015.
- [5] Shappell, S.A.; Wiegmann, D.A.(2000)."The human factors analysis and classification system". Federal Aviation Administration – FAA. Disponível em: <www.nifc.gov/safety/reports/humanfactors\_class&anly.pdf> Acesso: 10 mai. 2015.
- [6] Santana, Lucas V. "Uma estrutura sensorial e de comunicação para o controle de altitude e guinada de um mini-helicóptero autônomo", 2010. XVIII Congresso Brasileiro de Automática.
- [7] Santos, William Vairo Dos. "Modelagem, identificação e controle de altitude de um helicóptero em escala reduzida", 2005. XII, 999p. (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Elétrica, 2005).
- [8] Marques, João. "Os veículos terrestres não tripulados no campo de batalha moderno". Academia Militar de Lisboa. Disponível em: <comun.rcaap.pt/handle/123456789/7983>. Acesso: 10 mai. 2015.
- [9] Albergoni, L.; Rosot, M. A. D.; Oliveira, Y. M. M. de; Gar-rastazu, M. C. "Calibragem de GPS de navegação com antena de alta sensibilidade para registro de altitude". In: Evento de Iniciação Científica da EMBRAPA Florestas, 2008, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/99648/1/2008-RAC-CalibragemGPS.pdf>
- [10] Bosch Sensortec. Datasheet: BMP180 Digital pressure sensor. Disponível em: <www.bosch-sensortec.com/en/homepage/products\_3/environmental\_sensors\_1/bmp180\_1/ bmp180>. Acesso: 10 mai. 2015.
- [11] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. "Proposta de emenda 01 ao RBAC 135 quando à exigência de transponder modo S nas aeronaves que operam segundo este regulamento", 5p. Disponível em: <www2.anac.gov.br/transparencia/audiencia/aud06\_2013/justificativa.pdf> Acesso: 30 jun. 2015.