

SISTEMA DE INSPEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO VEÍCULOS AÉREOS NÃO-TRIPULADOS

Rodrigo Kuntz Rangel, rodrigo.kuntz@brvant.com.br

BRVANT – Soluções Tecnológicas, Mogi das Cruzes SP / Divisão de Engenharia de Computação, ITA/CTA, José dos Campos SP

Karl Heinz Kienitz, kienitz@ieee.org

Divisão de Engenharia Eletrônica, ITA/CTA, 12.228-900 S. José dos Campos SP

Mauricio Pazini Brandão, pazinibrandao@gmail.com

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial, ITA/CTA, 12.227-000 S. José dos Campos SP

Abstract: *Apresentamos o desenvolvimento de um sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT) para emprego em inspeção de linhas de transmissão elétrica de alta tensão. Através de uma estação de solo portátil, é possível pilotar o VANT remotamente, capturar imagens de vídeo através de câmeras embarcada, e determinar a respectiva posição geográfica da região monitorada, em tempo real. Basicamente, a estação de solo é composta por um computador dedicado, enlaces de vídeo e de dados, para coletar as informações do VANT, softwares de computador específicos, dentre outros dispositivos para suportar a aplicação. Atualmente, as inspeções em linhas de transmissão de alta tensão constituem uma tarefa de alta periculosidade, pois é feita através de helicópteros tripulados voando em baixa altitude, em condições operacionais com severas restrições e muito próximos às estruturas físicas das linhas de alta tensão. A aplicação dos VANTs neste segmento tende a diminuir a exposição de vidas humanas nestas aplicações de alta periculosidade.*

Keywords: *Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT), Inspeção de Linhas de transmissão elétrica, Robôs Aéreos.*

1. INTRODUÇÃO

Linha de transmissão de energia é uma linha usada para transmitir energia em alta tensão guiada de uma fonte geradora para uma carga consumidora. A linha de transmissão é formada por cabos condutores de energia elétrica, torres e isoladores que sustentam esses cabos.

No Brasil, a energia elétrica é gerada por usinas hidroelétricas, termoelétricas, eólicas e até nucleares. Muitas vezes, devido a condições geográficas e de segurança, as usinas ficam localizadas em lugares distantes da população.

Na maioria dos casos, devido à localização das usinas geradoras de energia, a energia gerada nem sempre será utilizada ou consumida no lugar de sua geração. Portanto, há a necessidade da utilização de linhas de transmissão para transportar a energia gerada na fonte geradora (usinas) para a carga consumidora (subestações, residências ou indústrias) de forma econômica e com a menor perda de energia possível.

O mercado consumidor brasileiro é composto por cerca de 47 milhões de unidades, distribuídos da seguinte forma: 56% nas regiões sudeste/centro-oeste, 22% na região nordeste, 15% na região sul, 5% na região norte e 2% em sistemas isolados. Em termos de linhas de transmissão de energia, são cerca de 77.640 km que devem estar operando 24 horas por dia, 7 dias por semana e 365 dias por ano e em perfeito estado de manutenção, a fim de garantir energia elétrica para os consumidores brasileiros (ONS, 2006).

Ao longo dos anos, robôs vem auxiliando os seres humanos na realização dos mais diversos tipos de atividades. Desde robôs domésticos, na forma de um aspirador de pó, robôs para o entretenimento na forma representativa de cães e gatos, até robôs que podem substituir os seres humanos em tarefas de alta periculosidade (Litzenberger, 2007).

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento aéreo a ser utilizada para inspecionar linhas de transmissão de alta tensão, tarefa hoje realizada por helicópteros tripulados. Ele se baseia em sistemas que possam auxiliar na captura de imagens e dados georreferenciados e em tempo real das estruturas físicas que compõem as linhas de transmissão de energia e do terreno em que as estruturas estão localizadas. A proposta é o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem a um operador sobrevoar com um VANT as linhas de transmissão de energia, capturar as imagens georreferenciadas das estruturas físicas e região e, em tempo real, enviar essas informações ao solo para posterior processamento e armazenagem. Com isso, é feita a inspeção visual da integridade física das estruturas que compõem as linhas de transmissão, além de gerar uma base de dados, com os dados obtidos pelo VANT, sem a necessidade da utilização de aeronaves tripuladas.

2. O PROBLEMA

Durante vários anos, a inspeção de linhas de transmissão de alta tensão tem sido feita regularmente através de aeronaves tripuladas. As aeronaves executam voos em baixa altitude e muito próximos das linhas de transmissão, conforme mostrado na Fig. 1. Em alguns casos, devido às características geográficas da região, condições climáticas e outros fatores que venham a dificultar o sobrevo, há uma grande exposição dos tripulantes a riscos associados à tarefa (Oliveira e Lages, 2007).



Fig 1. Inspeção de linhas de transmissão feita por aeronaves tripuladas. (Fonte: SeaBird Aviation / Powerlineman)

Além dos helicópteros, que muitas vezes operam dentro do chamado diagrama do homem-morto (Brandão, 1995), uma forma alternativa de inspeção pode ser feita através de veículos terrestres. Porém, essa forma é muito limitada, pois boa parte das linhas de transmissão está localizada em áreas de difícil acesso terrestre, muitas vezes restritas pelas características geográficas da região.

De um modo geral, as inspeções nas linhas de transmissão de alta voltagem são feitas de forma preventiva, regularmente e de forma visual. As inspeções buscam verificar a integridade física dos componentes das linhas, em termos de fissuras, corrosão e eventuais danos que venham a prejudicar o fornecimento de energia elétrica. Essas inspeções envolvem a integridade estrutural das torres, a condição dos isoladores, as conexões das linhas de transmissão, a fim de se verificar um eventual ponto de ruptura. Em alguns casos, através de uma câmera térmica, buscam-se futuros pontos de ruptura potencializados pelo aumento da resistência elétrica na linha, que resulta no aumento de temperatura pontual (Weischedel, 1985). Outros pontos a serem inspecionados envolvem as condições do terreno local onde as torres são instaladas, pois a vegetação deverá ser mantida numa distância mínima, tal que não ocorra nenhum contato entre a vegetação e as torres ou cabos de transmissão, evitando assim interferências no funcionamento da linha de transmissão. Além disso, é essencial a garantia de dispor-se de um terreno em condições de trânsito de veículos para o transporte do pessoal de manutenção, transporte de ferramentas, dentre outros fatores. Neste trabalho não serão abordados os méritos no que tange à manutenção das torres de transmissão, pois existem várias operações destinadas à sua conservação. Dentre essas operações encontramos o aperto ou troca de parafusos, troca de isoladores, substituição de peças corroídas e retensionamento de estais (tirantes de aço que sustentam certos tipos de torres). O objetivo do trabalho é apresentar um sistema de Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) a ser utilizado para inspeção de linhas de transmissão elétrica de alta voltagem.

A Fig. 2 mostra uma instalação típica de uma torre de transmissão, assim como a preservação do terreno local. A Fig. 3 mostra as torres de transmissão comumente utilizadas no Brasil (Moreira 2008).



Fig. 2. Instalação típica / preservação do local.

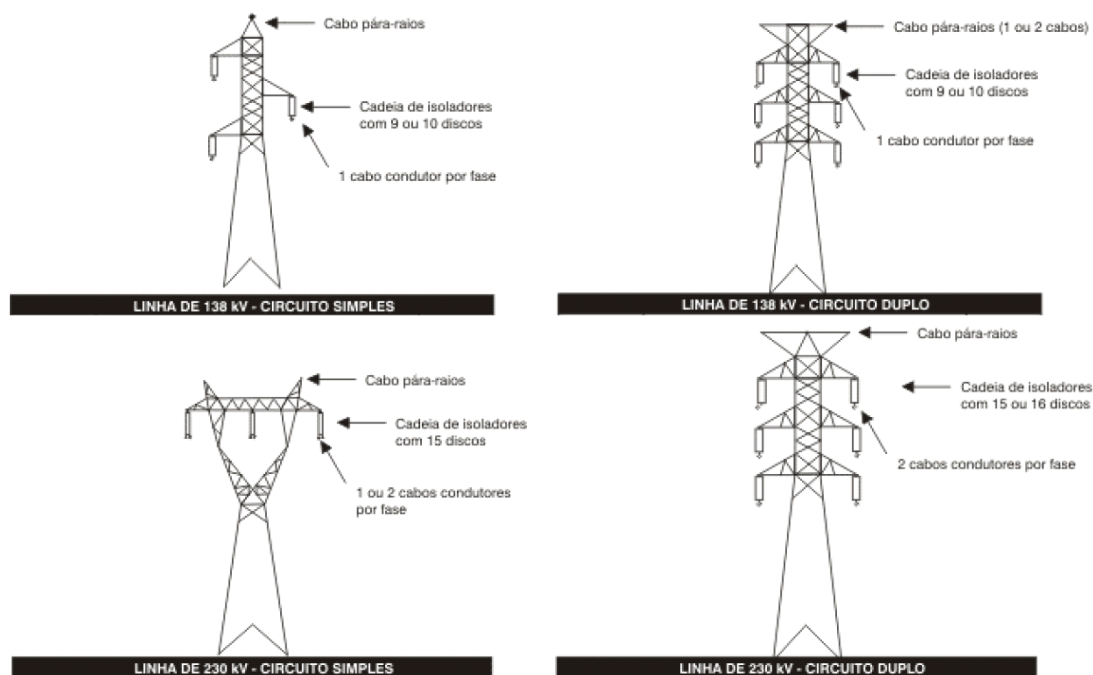


Fig. 3. Tipos de torres comumente utilizadas no Brasil.

3.DESENVOLVIMENTO

3.1. Visão geral do projeto

A proposta deste artigo é uma aplicação do projeto descrito por Rangel, Kienitz e Brandão (2009). Como plataforma básica de teste, foi utilizada a aeronave Hornet H2 (VANT), onde foram instaladas câmeras de vídeo, equipamentos de telemetria e de controle. Através de uma estação de solo equipada com laptop, dispositivos que fornecem vídeo em tempo real, telemetria, placas de interface, controle de voo (*Joystick*), dispositivos de visualização e softwares específicos, é possível pilotar o VANT remotamente. Instalado no laptop da estação de solo, o Software de Navegação analisa as informações de voo da aeronave, posição de latitude e longitude, entre outros dados, captura imagens de vídeo em tempo real, monta uma espécie de *Head-Up-Display*, atualiza visualmente os resultados e, em tempo real, as informações de navegação. Como segunda referência de navegação, o sistema gera a rota em 3D.

Toda a interface visual entre o piloto e os equipamentos da estação de solo é feita graficamente. Esta interface pode ser representada na tela do laptop e/ou em um capacete equipado com visores de LCD que, por sua vez, possibilita a imersão total do piloto no sistema de navegação / monitoramento. A Fig. 4 mostra o sistema desenvolvido para o monitoramento das linhas de transmissão de energia elétrica.



Fig. 4. Sistema de monitoramento aéreo para linhas de transmissão de energia.

3.2. Software de Navegação

O principal objetivo do software da navegação é fazer a integração entre os diversos equipamentos responsáveis pelo funcionamento do sistema de VANT, mostrar de forma visual ao piloto as informações de voo da aeronave e a sua respectiva posição em relação à missão planejada. Os equipamentos incluem um hardware conectado ao computador, controlado diretamente pelo software de navegação, e um arquivo de informações proveniente de software executado paralelamente com o software da navegação. O carregamento dos dados de missão é feito através de um arquivo.

O software gerencia em tempo real a aquisição dos dados de missão, aquisição dos dados de telemetria, realiza cálculos do posicionamento da aeronave, cálculos de navegação e controle (Dorf e Bishop, 2001), mostra os resultados dos cálculos em forma gráfica, gerencia a aquisição das imagens provenientes da aeronave e, finalmente, monta a interface do usuário.

Toda a navegação é gerenciada via GPS (Tsui, 2000) com o auxílio de giroscópios estabilizadores (Dorf e Bishop, 2001) e a lógica interna do software de navegação.

Neste tópico são abordadas as informações gerais da construção, estrutura e funcionamento do software de navegação e como utilizar o software para controlar remotamente um VANT para inspecionar as linhas de transmissão de energia.

O software de navegação foi desenvolvido utilizando a ferramenta de programação Visual C++ 7 (Gurewich e Ori, 2003). Basicamente, o software desenvolvido possui a arquitetura mostrada na Fig. 5, onde sua concepção é baseada em módulos, ou seja, cada funcionalidade adicional ao software principal é tratada como um módulo separado.

Partindo das especificações mencionadas acima, foi desenvolvido um diagrama macro de relacionamento entre os módulos que compõem o software de navegação. A Fig. 6 ilustra o funcionamento do sistema.

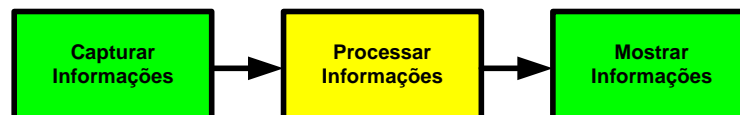


Fig. 5. Arquitetura básica do software.

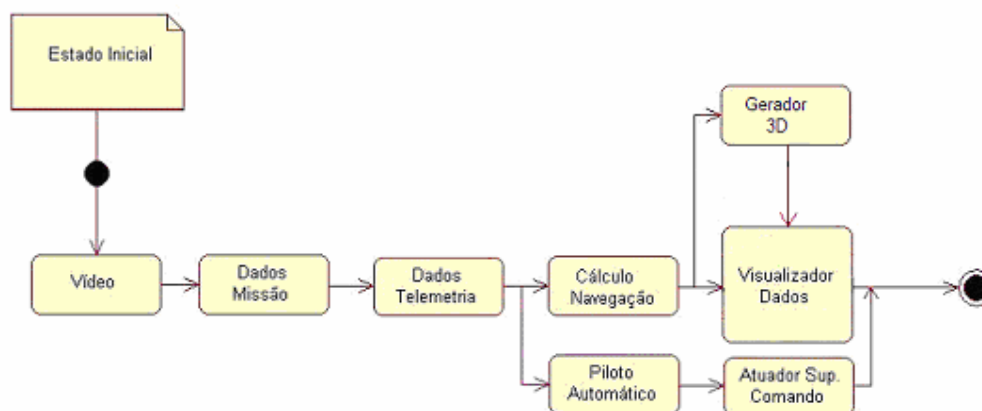


Fig. 6. Diagrama de Estados do software de navegação.

3.3. Aeronave

São duas as opções de protótipos de VANT utilizados neste trabalho, conforme mostrado na Fig. 7: o VANT Eletron e o VANT Hornet H2. O protótipo denominado de Hornet H2 é uma aeronave totalmente portátil, de fácil montagem e transporte. É operada através de um sistema de rádio-controle, cuja operação pode ser de forma manual ou automática, sendo esta através de uma estação de solo. Algumas funcionalidades automáticas e autônomas (Dorf e Bishop, 2001) estão presentes na aeronave, como, por exemplo, a navegação automática por *waypoints* e o retorno à estação de solo em caso de emergência.

O protótipo denominado de Eletron é uma aeronave totalmente portátil, de fácil montagem e transporte, ideal para a utilização em áreas densamente populadas. É operada através de um sistema de rádio-controle, cuja operação pode ser de forma manual ou automática, sendo esta através de uma estação de solo. Assim como ocorre no Hornet H2, algumas funcionalidades automáticas e autônomas estão presentes na aeronave, como, por exemplo, a navegação automática por *waypoints* e o retorno à estação de solo em caso de emergência. Uma segunda unidade de câmera de vídeo pode ser utilizada como equipamento adicional. Neste caso, a câmera de vídeo é utilizada como câmera para aquisição de dados de missão. Esta câmera possui um sistema de estabilização próprio.



Fig. 7. VANTs utilizados como plataforma de testes.

3.3.1. Desempenho e envelope de operação

As aeronaves possuem duas opções de motorização, sendo a primeira composta por um motor à combustão e a segunda composta por motorização elétrica.

A altitude típica de operação das aeronaves varia entre 20 a 10.000 pés acima do terreno local com a velocidade de cruzeiro de 100 km/h (motorização a combustão) e 60 km/h (motorização elétrica).

Uma importante característica de voo é o envelope operacional de velocidade, situado na faixa entre 20 a 200 km/h. As aeronaves podem realizar sobrevôos lentos e têm resposta rápida para altas velocidades, o que permite operação com ventos de até 30 km/h.

Através da geometria das aeronaves e de sistemas de estabilização dedicados, obtém-se a capacidade de auto-estabilização. Com isso, o piloto pode dar maior atenção aos comandos de navegação, ao invés de preocupar-se com a controlabilidade das aeronaves (Stinton, 2001).

3.3.2. Eletrônica embarcada

Basicamente, a principal missão da aeronave é manter a rota pré-estabelecida através da leitura dos sensores embarcados. Para isso, o piloto eletrônico (placa embarcada) (Berger 2001) lê as informações de rota, previamente programadas no GPS, e as informações provenientes dos sensores, a fim de fazer ou não eventuais correções. Com isso, fica garantido que a aeronave seguirá a rota pré-estabelecida automaticamente.

Um enlace de dados feito através de um rádio transmissor específico e de um segundo transmissor de vídeo contido na aeronave é utilizado para enviar as informações de posicionamento e dos sensores da aeronave para a estação de solo. Além disso, o transmissor cuida do enlace de vídeo, que é utilizado para transmitir o vídeo do voo em tempo real.

Sistemas de estabilização, navegação e controle específicos são utilizados para a estabilização, navegação e controle da aeronave em voo. Todos os equipamentos embarcados podem ser observados no diagrama representado pela Fig. 8.

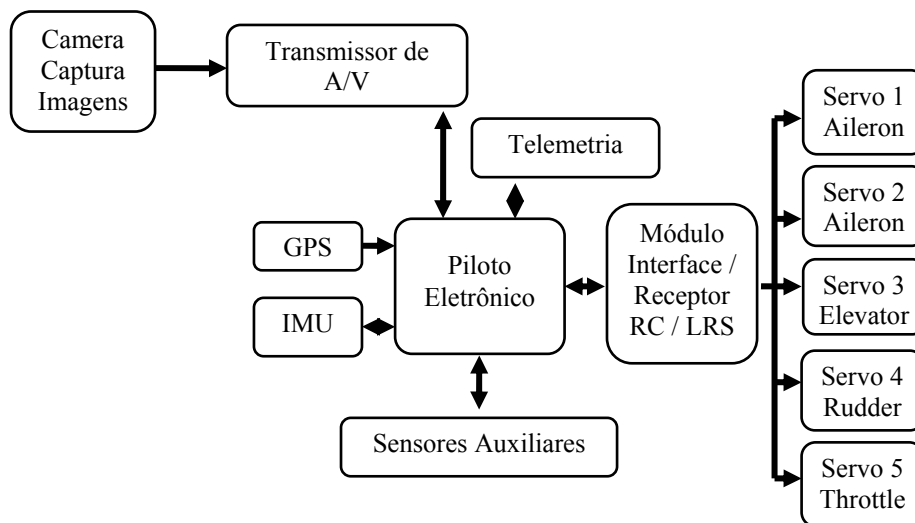


Fig. 8. Eletrônica embarcada.

3.4. Estação de Solo

Em complemento ao desenvolvimento das aeronaves, foi desenvolvida uma estação de solo compacta e de fácil manuseio. A estação de solo é um componente do sistema de extrema relevância, pois é responsável pela aquisição de todas as informações captadas pela aeronave, conforme as funcionalidades descritas nos próximos parágrafos.

Utilizando de um laptop conectado à estação de solo via interface USB, é possível controlar remotamente o VANT. Softwares específicos contidos no laptop possibilitam a criação de missões específicas, utilização de controles de voo (*Joystick*) e interface com software de *Moving-map* / Visão Sintética. Eles também permitem um completo sistema de navegação via *waypoints* e uma interface visual e sonora contendo instruções de navegação de fácil compreensão, similar aos atuais sistemas de *Head-Up-Display* (HUD) e sistemas aviônicos utilizados nos mais modernos aviões da atualidade (Rangel, Guimarães e Brandão, 2007).

Através de um capacete específico, equipado com um conjunto de visores com tecnologia LCD, alto-falantes, equipamento giroscópio, juntamente com a interface gráfica do HUD e alarmes sonoros provenientes do software de navegação, é possível a total integração entre o piloto e a aeronave. Imagens e áudio do voo são captadas, processadas em tempo real e mostradas ao piloto de forma visual e sonora. Com isso, cria-se um cockpit virtual para a pilotagem remota do VANT, possibilitando a total imersão do piloto no cockpit virtual do veículo.

Em tempo real é possível gravar os dados do voo e da missão (vídeo e dados de voo). Existe também a possibilidade de conectividade a outras estações de solo através de redes LAN, WLAN e Internet. A Fig. 9 mostra o diagrama básico de funcionamento da estação de solo.

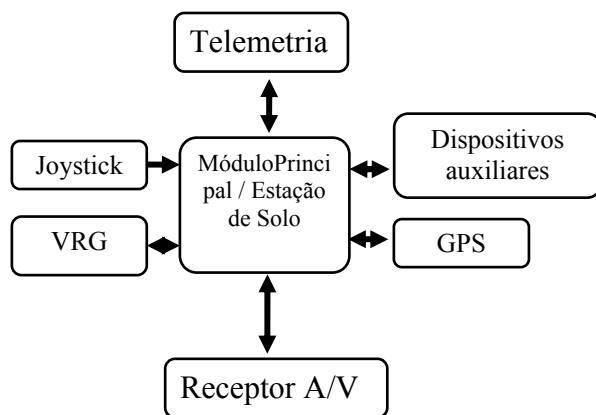


Fig. 9. Diagrama básico de funcionamento da estação de solo.

4. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Para o monitoramento de linhas de transmissão de energia de alta potência, o processo utilizando VANTs é muito parecido com o processo de inspeção utilizando helicópteros ou outro tipo de aeronave tripulada. Todos partem da condição inicial de sobrevoar as linhas de transmissão em baixas altitudes, em baixa velocidade, e muito próximo das estruturas das linhas de transmissão.

Um ponto de extrema relevância na utilização dos VANTs é a interferência eletromagnética que a rede elétrica pode provocar no correto funcionamento do VANT.

Segundo Paul (2006), os campos eletromagnéticos causadores de interferência podem ser classificados em campos próximos e campos distantes. São denominados de campos próximos os casos onde a fonte está a uma distância menor que o comprimento de onda dividido por 2π . Caso contrário, os campos são denominados de campos distantes.

Embora o VANT possua o seu próprio sistema de blindagem eletromagnética (Ficchi, 1971), em alguns casos será necessária a utilização do sistema de controle rádio-controlado. Com isso, é mandatório que o VANT esteja sobrevoando as linhas de transmissão de energia num dado raio de ação, tal que a interferência eletromagnética não venha a prejudicar o correto funcionamento da aeronave.

Para que a aeronave sobrevoe as linhas de transmissão fora do alcance das interferências eletromagnéticas, o planejamento da missão é fundamental, conforme demonstrado na Fig. 11. Ao se planejar a missão, o planejador deverá conhecer o campo máximo envoltório da linha de transmissão na região a ser inspecionada, assim como os dados geográficos das linhas, em termos de latitude, longitude e altitude, distância máxima operacional do VANT, relativos à obtenção do controle da aeronave por rádio-controle em caso de emergência. As Figs. 10 e 11 mostram uma aproximação de um campo eletromagnético envoltório à linha de transmissão.

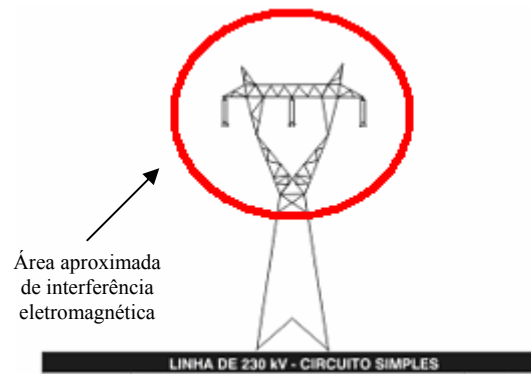


Fig. 10. Campo eletromagnético envoltório.

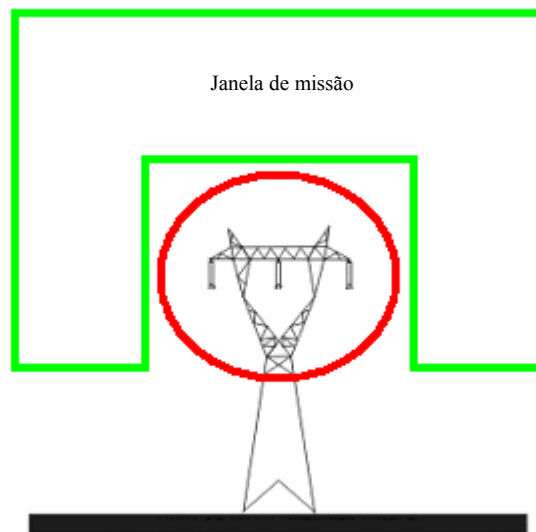


Fig. 11. Janela para elaboração da missão.

A Figura 12 mostra uma janela de missão, considerando a distância a ser inspecionada e o posicionamento da aeronave em relação à estrutura das linhas de transmissão, considerando o campo eletromagnético e alguns fatores geográficos da região, como, por exemplo, edificações e vegetação.



Fig. 12. Planejamento da missão.

A missão foi planejada levando em consideração 3 pontos de inspeção, sendo eles representados na Fig. 12 através de círculos numerados. A figura geométrica de um triângulo mostra o ponto de decolagem / pouso da aeronave. As linhas pontilhadas mostram a rota que a aeronave deve seguir até o primeiro ponto de inspeção, o ponto 1, e do último ponto, o ponto 3, ao local de pouso. Partindo do ponto 1, a aeronave deve seguir a rota estabelecida pela linha que faz a conexão entre os pontos 1, 2 e 3. Quando a aeronave chega ao último ponto de inspeção, o ponto 3, a aeronave segue a rota determinada pela linha pontilhada que une o ponto 3 ao ponto de decolagem / pouso. A tabela 1 mostra os dados geográficos (latitude e longitude) assim como a altitude de cada ponto em que a aeronave deve seguir.

Tabela 1. Posição geográfica dos *waypoints* da missão de inspeção de linhas de transmissão.

Waypoints	Latitude	Longitude	Altitude (Pés)
1	-23.510969	-46.165824	2500
2	-23.513557	-46.164773	2500
3	-23.515855	-46.163969	2500
Pouso / decolagem	-23.513333	-46.163921	2332

Após o planejamento da missão, a próxima etapa é a realização da inspeção. Para isso, todos os sistemas embarcados na aeronave partem de um ponto em comum, ou seja, da rota estabelecida e gravada em um cartão de memória acoplado no GPS. Através de um software capaz de fazer o planejamento da rota e gravação no cartão de memória, a rota da missão é definida, gravada e carregada no piloto eletrônico, que, por sua vez, é responsável por toda a navegação automática da aeronave. Em paralelo, a missão é carregada no software de navegação da estação de solo, a fim de se obter um sistema secundário de *backup*. O GPS é conectado ao piloto eletrônico, onde são lidas e codificadas as informações provenientes da aeronave em relação à sua rota pré-estabelecida. O vídeo do voo é transmitido em tempo real para a estação de solo através de um vídeo-enlace conjunto com o enlace de telemetria, feito por um sistema de telemetria dedicado.

Quando a missão é iniciada, o piloto manualmente decola a aeronave e numa altitude pré-definida aciona o modo automático, onde o piloto eletrônico assume o comando da aeronave.

Durante todo o tempo de voo, a estação de solo recebe as imagens da câmera e os dados de telemetria referentes ao estado dos sensores embarcados na aeronave, assim como a posição da aeronave em relação à rota pré-definida. Todas essas informações são interpretadas e unificadas num software específico, denominado de software de navegação e controle da estação de solo.

Após a conclusão da missão, a aeronave inicia o processo de aproximação para pouso. Nessa etapa, a estação de solo é avisada para que o piloto humano assuma o controle da aeronave. Quando este assume o controle da aeronave, o piloto eletrônico é desligado e a aeronave faz o pouso manualmente.

As imagens obtidas através do monitoramento são posteriormente analisadas para uma eventual manutenção preventiva.

5. CONCLUSÕES

No Brasil, há uma quantidade considerável de linhas de transmissão que já ultrapassou os 40 anos de idade. Com o envelhecimento das linhas de transmissão, a manutenção preventiva é um fator de extrema relevância para garantir o perfeito funcionamento dos sistemas.

Foi visto que o método atual de inspeção dessas linhas é de extrema periculosidade para as pessoas que o executam, pois o método utilizado é baseado no sobrevoo dessas por de aeronaves tripuladas que operam em baixas altitudes e muito próximas às estruturas das linhas de transmissão. Uma falha que ocorra na aeronave pode por fim à vida dos operadores.

Durante as pesquisas na inspeção em linhas de transmissão de energia utilizando aeronaves não-tripuladas (VANT), foi constatado que aeronaves desta classe não substituem na plenitude aeronaves tripuladas, pois existem limitações quanto ao raio de operação dos VANTs, proximidade operacional das linhas de transmissão, para que esses veículos não venham a sofrer com interferências eletromagnéticas. Além disso, não é possível o transporte de um operador até o topo da torre ou linha de transmissão para que seja efetuada uma manutenção corretiva.

Um fator adicional de extrema importância para a aquisição de imagens é a resolução e tipo de equipamento para esta tarefa. Quanto maior a resolução destes equipamentos, melhor a qualidade das imagens e mais distante poderá ser a operação do VANT.

Sem dúvida alguma, a inspeção das linhas de transmissão de energia utilizando um VANT é possível, quando feita em etapas e respeitando os limites operacionais das aeronaves não-tripuladas. Esta inspeção presta-se fundamentalmente para a identificação e diagnóstico de problemas. Com isso esse tipo de inspeção, em alguns casos, poderá ser possível substituir o trabalho atualmente feito por aeronaves tripuladas e, conseqüentemente, a exposição de vidas humanas a situações de perigo.

6. REFERÊNCIAS

- Berger, A., 2001, "Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools, and Techniques", 1st ed, CMP Books, EUA.
- Brandão, M. P., 1995, "Uma Perspectiva Elementar da Engenharia do Helicóptero", ITA Engenharia 2 (3), 35-42, São José dos Campos, Brasil.
- Dorf, R. e BISHOP, R., 2001, "Sistema de Controle Moderno", 8^a ed, LTC, Rio de Janeiro, Brasil.
- Ficchi, R., 1971, "Practical Design for Electromagnetic Compatibility", 1st ed, Hayden Book Company, EUA.
- Gurewich, N. & Ori, 2003, "Visual C++ - Quick Start", E-books, Rev. 030520-01, EUA.
- Litzenberger, G., 2007, "World Robotics", World Robotics Press Conferece, Germany.
- Moreira, L. F. P., 2008, "Ssistema Robótico para Inspeção de Linhas e Áreas de Transmissão de Energia Elétrica", Dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- ONS (2006), "Dados Relevantes 2006: Operação do Sistema Interligado Nacional, ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.
- Oliveira, V. e Lages, W., 2007, "Comparação entre Duas Classes de Robôs Bracejadores Subatuados Utilizando Controle Preditivo Baseado em Modelo, VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Florianópolis, Brasil.
- Paul, C., 2006, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", 2nd ed, John Wiley & Sons, EUA.
- Rangel, R. K., Kienitz, K. H. e Brandão, M. P., 2009, "Development of a Complete UAV System Using COTS Equipment", IEEE Aerospace Conference, Montana, EUA.
- Rangel, R. K., Guimaraes, L. N. F. e Brandão, M. P., 2007, "Development of an UAV Navigation System through a Sysnthetic Vision", Congresso SAE Brasil, São Paulo, Brasil.
- Stinton, D., 2001, "The Design of the Aeroplane", 2nd ed, Blackwell Science, UK.
- Tsui, J., 2000, "Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach", 1st ed, John Wiley & Sons, EUA.
- Weischedel, H., 1985, "The Inspection of Wire Ropes in Service: A Critical Review", Materials Evaluation 43 (13), 1592-1605, EUA.

7. RESPONSABILIDADE DAS INFORMAÇÕES

O material incluído neste artigo é de responsabilidade exclusiva de seus autores.