

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

### O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPAS) EM AÇÕES RELACIONADAS AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS.

Clayson Marlei Figueiredo

UFF, Universidade Federal Fluminense, [mestrado@defesacivil.uff.br](mailto:mestrado@defesacivil.uff.br)

#### RESUMO

Florestas e matas nativas são fontes ricas de recursos naturais e biológicos. A preservação de tais recursos é vital para os seres humanos e um dos maiores problemas que estas áreas enfrentam são os incêndios florestais. Nesse contexto, é importante a implantação de novas tecnologias, sempre visando aumentar a eficiência dos atendimentos, otimizando a relação custo *versus* benefício. Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), sigla extraída do termo em inglês *remotely piloted aircrafts systems*, são um novo componente da aviação mundial com inúmeras aplicações, entre elas, procedimentos referentes aos incêndios florestais, tais como monitoramento, detecção, combate e recuperação, contando com aeronaves de variados tipos (asas fixas, asas rotativas, dirigíveis, etc.), tamanhos e performances. Devido às suas características, como a rápida capacidade de manobra, maior alcance operacional e melhor segurança pessoal, as aeronaves remotamente pilotadas – RPA's têm grande potencial e vantagens sobre as aeronaves tripuladas, sendo ao longo da última década, uma tecnologia bastante promissora nos procedimentos relacionados aos incêndios florestais. Antes do fogo elas podem ser usadas para monitorar a vegetação e para a estimativa do estresse hídrico e do índice de risco. Também podem ser aplicadas para a detecção, confirmação, localização e análise do incêndio, sendo úteis para a avaliação dos efeitos do fogo e para a estimativa da área queimada. O presente trabalho elenca as possibilidades de aplicações destas aeronaves, através de uma revisão bibliográfica. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, documental e exploratória, sendo aproveitadas as informações mais atuais de fontes oficiais. O manuscrito mostra como as RPA's com características diferentes podem cooperar no combate aos incêndios florestais. Apresenta uma visão geral e atualizada do progresso neste campo. Inicialmente, uma definição dos conceitos, baseados nos preceitos do órgão regulatório brasileiro, através de instrução normativa publicada em 2017. Posteriormente, uma explanação sobre as arquiteturas dos sistemas comumente embarcados nas aeronaves e suas aplicações nas atividades vinculadas aos eventos de incêndios florestais, como monitoramento, detecção e combate. Na seção seguinte uma visão dos principais tipos aeronaves remotamente pilotadas existentes juntamente com as novas tecnologias surgidas, que podem ser aproveitadas nos procedimentos referentes aos incêndios florestais. Por fim, serão colocadas as considerações acerca das vantagens, os desafios existentes e as possíveis soluções na aplicação de RPAS para atividades ligadas aos incêndios florestais.

**PALAVRAS-CHAVES:** incêndio florestal. sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS). drone. VANT. UAS.

# **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

## **1 INTRODUÇÃO**

A indústria de produtos florestais oferece um vasto número de empregos e contribui com bilhões de dólares para a riqueza econômica de um país (YUAN, 2015). Todos os anos milhões de hectares de floresta são danificados por incêndios e uma grande quantidade de pessoas, instalações e dinheiro são gastos. Por isso, tornaram-se um grave perigo natural que ameaça sistemas ecológicos, propriedades, economias, infraestrutura e vidas.

No Canadá, por exemplo, as florestas cobrem uma vasta área de terra que é mais de 10% das florestas do mundo. Conforme relatado pelo Insurance Bureau do Canadá, o custo total estimado chega a US \$ 3,58 bilhões pelo incêndio florestal ocorrido no Forte McMurray, Alberta, em maio de 2016. Este desastre é considerado o mais caro para as seguradoras na história do país (CBC, 2016).

Uma das formas mais eficientes de proteção contra incêndios é a sua rápida detecção, o que possibilita que ele seja combatido. Mas, atualmente, a detecção de incêndios florestais ainda é um processo razoavelmente oneroso e em alguns casos ineficiente. As técnicas atuais de detecção, de maneira geral, fazem utilização de redes de satélites com diferentes sensores ópticos (INPE, 2012). Um dos sistemas do governo brasileiro em operação para detecção de queimadas é o Prevfogo, operado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), juntamente com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis. Esse sistema tem suas limitações para ocorrências de incêndios florestais mais breves ou caso estejam sem visada direta para os satélites ou então se o incêndio possui uma extensão menor que os satélites possam detectar. (DANTAS, 2014).

O transporte aéreo desempenha um papel crescente nas atividades operacionais de incêndios florestais. Além do combate e transporte de brigadas, eles também são usados para o monitoramento e a detecção de incêndio, além da recuperação das áreas atingidas. Nestas aplicações a tripulação da aeronave deve incluir pessoas com experiência em monitoramento e detecção do fogo. Aeronaves tripuladas também são usadas para a medição de áreas de mata. O cálculo de distâncias do fogo aos meios de combate, casas, estradas e serviços públicos também são importantes. As câmeras aéreas são geralmente implantadas a bordo de meios aéreos convencionais (helicópteros, aviões). Voos perto do fogo, com condições de baixa visibilidade devido à fumaça, envolvem riscos significativos aos tripulantes.

Nos anos recentes, apesar de grandes gastos em infraestrutura dedicada à operações relativas aos incêndios florestais, o dano causado em termos de hectares queimados aumentou dramaticamente e atingiu recordes. Grandes incêndios florestais contribuem rapidamente com uma grande quantidade de dióxido de carbono ao ambiente que pode ter um enorme impacto no clima. Em um estudo realizado para estimar emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) utilizando modelos informáticos (WIEDINMYER, 2007) para os incêndios da Califórnia em outubro de 2007, verificou-se que os incêndios produziram 7,9 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> em apenas uma semana, o que equivalia a 25% das emissões mensais de CO<sub>2</sub> devidas à queima de combustíveis fósseis na Califórnia.

Os métodos convencionais de combate são insuficientes frente aos grandes incêndios florestais, e há uma necessidade de mudança de paradigma na metodologia de combate. Um Sistema de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), trabalhando com um conjunto com unidades de asas fixas e de asas rotativas, por exemplo, oferecem a possibilidade de novas tecnologias acessíveis que podem fazer a diferença na vigilância de incêndios florestais e no controle destes. As RPA's oferecem várias vantagens. Podem atuar: em situações perigosas; por mais tempo, permitindo a coleta de dados a longo prazo e o conhecimento da situação; com segurança em condições de mau tempo e em altitudes mais elevadas; com sensores tipo câmeras de alta definição que trabalham no espectro visual durante o período diurno e/ou imagens de infravermelho (IR) durante a noite; com equipamentos supressores de fogo ativos para uso semiautônomo em operações de combate.

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão e um levantamento das aplicações de RPAS nas atividades relacionadas aos incêndios florestais (monitoramento, detecção, combate e recuperação), abordando ainda a regulamentação em vigência no país, exemplificando também utilizações bem-sucedidas deste sistema, novas tecnologias, além de desvantagens e restrições desta ferramenta.

### **1.1 Aplicações de RPAS em incêndios florestais**

As aeronaves remotamente pilotadas (RPA's) têm vantagens sobre os sistemas aéreos. Evitam o risco humano inerente aos veículos aéreos tripulados, e também reduzem o custo das operações. As RPA's podem ser usadas para enviar imagens e dados para uma estação terrestre ou para centro de controle. Além disso, podem transportar recursos eletrônicos suficientes para detecção e medição das propriedades do fogo. Na última década, as RPA's atraíram um interesse significativo. Antes, foram amplamente usadas para aplicações militares, mas recentemente a evolução das tecnologias, a miniaturização dos sensores e câmeras e os novos avanços na comunicação e sistemas de controle (OLLERO e MERINO, 2004), estenderam o uso das RPA's para uma ampla gama de utilizações civis, como nos desastres naturais, inspeção, busca e salvamento, tráfego, vigilância e aplicação da lei, por exemplo. Detecção e monitoramento de incêndios florestais têm sido reconhecidos como um potencial de aplicação proposta por vários autores nos últimos anos. A manobrabilidade das RPA's torna-as adequadas para obter melhores pontos de vista, reduzindo o risco humano ao não usar os meios tradicionais. Outra vantagem é a autonomia. Uma RPA de propulsão elétrica, alimentada por energia solar, utilizada no monitoramento do Parque Natural de Xures, Espanha, mostra que durante o verão a aeronave AtlantikSolar pode operar de forma contínua ou durante ciclos superiores a 24 hs (GONZÁLEZ-JORGE et al., 2017).

A detecção precoce e a supressão de incêndios florestais são cruciais para minimizar a destruição que o fogo pode causar devido à sua propagação rápida de convecção e longo ciclo de combustão. O monitoramento e a detecção de incêndios florestais tradicionais são métodos que empregam dispositivos mecânicos e pessoas para monitorar, mas esses procedimentos podem ser perigosos e caros em termos dos recursos humanos necessários. O projeto FIRE (First Response Experiment) demonstrou a eficácia do uso do RPAS para informações de incêndios florestais em tempo real. O tempo total processando da coleta de dados, telemetria, geoprocessamento e a entrega de resultados foi dentro de quinze minutos (YUAN, 2017).

O sensoriamento remoto tornou-se uma das mais utilizadas ferramentas para levantamento e manejo florestal efetivos. Avanços rápidos em eletrônica, informática e tecnologias de câmeras digitais permitiram aos sistemas de sensoriamento remoto baseados em imagens fornecer um substituto promissor para sistemas convencionais de monitoramento e detecção de incêndios florestais (VIPIN, 2012). Abordagens atuais de sensoriamento remoto para monitoramento e detecção de incêndio podem ser agrupados em três categorias: sistemas terrestres, baseados em veículos aéreos e apoiado em satélites. Contudo, cada um destes sistemas apresenta diferentes tecnologias e problemas práticos.

O equipamento de medição de solo pode sofrer com faixas limitadas de vigilância. Os sistemas de satélites são menos flexíveis em relação às suas atualizações tecnológicas, ao seu planejamento e alteração de caminhos, além de que as suas resoluções espaciais podem ser muito baixas para a captura detalhada de dados para a utilização de algumas práticas relacionadas às operações vinculadas ao incêndio florestal. Tripulados, os veículos aéreos são tipicamente grandes e caros. Além disso, a vida da tripulação pode ser potencialmente ameaçada por ambientes perigosos e fadiga do piloto. Aeronaves remotamente pilotadas (RPA's) com sistemas computacionais de sensoriamento remoto são uma opção cada vez mais realista, pois são alternativas rápidas, móveis e de baixo custo para monitoramento, detecção e até combatendo incêndios florestais. A integração de RPA's com técnicas de sensoriamento remoto usuais também são capazes de atender a requisitos de resolução espacial, espectral e temporal, oferecendo um potencial complemento aos métodos existentes. Além disso, as RPA's permitem a execução de trabalhos de longo prazo, monótonos e repetidos, além das

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

capacidades humanas. Isto levou ao aumento da atenção mundial para as RPA's nas aplicações de incêndio florestal nos últimos anos (YUAN, 2015).

As aeronaves remotamente pilotadas podem conduzir a vigilância em rotas de vôo pré-programadas, detectando, fornecendo a localização e monitorando o status do incêndio. Durante as operações de combate ao fogo, as RPA's em conjunto com recursos terrestres podem ser usados para suprimir ou controlar o incêndio, e ainda fornecer rotas de evacuação para pessoas e equipamentos. Embora satélites e RPA's já tenham sido usados nos recentes incêndios, um cenário futuro altamente provável incorporaria ainda uma hierarquia de várias aeronaves heterogêneas em rede, tripuladas e não tripuladas, e ativos baseados em terra que cooperariam inteligentemente. Neste sentido, um dos projetos mais conhecidos é o Swarmoid, que utiliza aeronaves autônomas que agem de forma cooperativa, divididas em grupos que possuem especialização em alguma tarefa como análise sensorial do ambiente ou deslocamento de objetos e atuação (SWARMNOID, 2006).

Durante os últimos anos, pesquisas foram realizadas no campo do controle e coordenação de vários robôs móveis. Avanços na comunicação, aumento da capacidade computacional, miniaturização dos equipamentos e novas estratégias de controle facilitaram o uso de um grande número de robôs móveis automatizados de maneira cooperativa, que podem ser aplicados em vários campos (KUMAR, COHEN, e HOMCHAUDHURI, 2011). As RPA's são controladas à distância por meios eletrônicos e computacionais, sob a supervisão de humanos, ou mesmo sem a sua intervenção, por meio de controladores lógicos programáveis, comunicações digitais, navegação por satélites, sensores e coordenadas GPS.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS E DEFINIÇÕES

Para definir os parâmetros relativos às aeronaves remotamente pilotadas, usaremos a instrução ICA 40-100, expedida pelo Comando da Aeronáutica Brasileira (BRASIL, 2017), através do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, que regulamenta no Brasil as atividades com RPAS, sendo então todos os conceitos expostos no presente item extraídos deste documento. É de competência do DECEA, órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), legislar acerca dos procedimentos para o acesso ao espaço aéreo, cabendo aos demais órgãos reguladores o trato do assunto dentro de sua área de atuação.

Uma aeronave é qualquer aparelho que possa sustentar-se na atmosfera a partir de reações do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da terra. Aquelas que pretendam operar sem piloto a bordo são chamadas de aeronaves não tripuladas e, dentre as não tripuladas, aquelas que são pilotadas por meio de uma estação de pilotagem remota (RPS) são aeronaves remotamente pilotadas (RPA). As aeronaves remotamente pilotadas podem se adequar a qualquer classificação de aeronave existente, como balões livres, cativos ou dirigíveis (mais leves que o ar) e aeroplanos, de asas rotativas, ornitópteros e planadores (mais pesados que o ar).

No Brasil, as aeronaves não tripuladas ainda são amplamente conhecidas como *drones* (do inglês “zangão”, termo muito utilizado pelos órgãos de imprensa) ou veículos aéreos não tripulados (VANT), nomenclatura oriunda do termo em inglês *unmanned aerial vehicle* (UAV), hoje obsoleto na comunidade aeronáutica internacional. A mudança se fez necessária por dois motivos: primeiro, porque as principais organizações relacionadas à aviação não empregam o termo “veículo”, mas sim, aeronaves, de forma que, após várias discussões ao longo dos últimos anos, foi estabelecido que assim seriam definidas; segundo, porque esse tipo de aeronave necessita de uma estação em solo, de enlace de pilotagem e de outros componentes para a realização do voo, além do vetor aéreo, de modo que todo o sistema precisa ser considerado. O termo adotado tecnicamente pela comunidade, com abrangência internacional, é RPAS (*remotely piloted aircraft system*), em português “sistema de aeronave remotamente pilotada”.

Baseada nesse conceito e na evolução desses sistemas, a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) criou o grupo de estudos UASSG (*Unmanned Aircraft Systems Study Group*) com

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

o objetivo de assessorar a entidade para a adequação das normas existentes. Nesse processo, a OACI deixou claro que não regulamentará as aeronaves totalmente autônomas, ou seja, aquelas que, após programadas, executam o voo de forma totalmente independente, sem a possibilidade de intervenção por parte de um piloto. Isto porque, não havendo a figura do piloto em comando, todas as suas responsabilidades previstas em normas estariam comprometidas. Com isso, foram consideradas apenas as aeronaves remotamente pilotadas, em inglês, *remotely piloted aircraft (RPA)*, e seus sistemas associados. O Brasil é um dos países signatários mais atuantes na OACI e, portanto, compartilha destes preceitos.

Entende-se como equipe de RPAS todos os membros de um contingente com atribuições essenciais à operação de um sistema de aeronave remotamente pilotada. O enlace é a conexão entre a RPA e a estação de pilotagem remota para a condução do voo. Este enlace, além de possibilitar a pilotagem da aeronave, poderá incluir a telemetria necessária para prover a situação do voo ao piloto remoto. O enlace de pilotagem difere dos enlaces relacionados à carga útil. O *payload*, ou carga útil da RPA são todos os elementos da aeronave não necessários para o voo e pilotagem, mas que são carregados com o propósito de cumprir objetivos de uma missão específica, como os sensores, por exemplo.

O alcance visual é a distância máxima em que um objeto pode ser visto sem o auxílio de lentes (excetuando-se lentes corretivas). Uma operação em linha de visada visual (VLOS) é aquela em que o piloto, sem o auxílio de observadores, em condições meteorológicas mínimas específicas (VMC), mantém o contato visual direto (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos) com a RPA, de modo a conduzir o voo com as responsabilidades de manter as separações previstas com outras aeronaves, bem como de evitar colisões com aeronaves e obstáculos.

Já a operação em linha de visada visual estendida (EVLOS) refere-se à situação, em uma operação em VMC, na qual o piloto remoto, sem auxílio de lentes ou outros equipamentos, não é capaz de manter o contato visual direto com a RPA, necessitando dessa forma do auxílio de observadores para conduzir o voo com as responsabilidades de manter as separações previstas com outras aeronaves, bem como de evitar colisões com aeronaves e obstáculos, seguindo as mesmas regras de uma operação VLOS. Observador é o profissional designado pelo requerente, como membro da equipe RPAS, que por meio de observação visual de uma RPA, auxilia o piloto remoto na condução segura do voo

Operação além da linha de visada visual (BVLOS) é aquela em que o piloto remoto não consiga manter a aeronave remotamente pilotada dentro do seu alcance visual, mesmo com auxílio de observadores de RPA. A operação em linha de visada de rádio (RLOS) é a situação em que o enlace de pilotagem é caracterizado pela ligação direta (ponto a ponto) entre a estação de pilotagem remota e a RPA. Por fim, a operação além da linha de visada rádio (BRLOS) refere-se a qualquer outra situação em que o enlace de pilotagem não seja direto (ponto a ponto) entre a estação de pilotagem remota e a RPA. Nesse contexto, o enlace eletrônico é estabelecido de forma indireta, por meio de outros equipamentos, como antenas repetidoras de sinal, outras RPA ou satélites.

O piloto em comando é aquele portador de habilitação específica, com base nos critérios estabelecidos pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA (registro, certificação, licença etc.), designado pelo requerente, sendo o responsável pela operação e segurança do voo, podendo ou não ser o responsável pelo manuseio dos controles de pilotagem da aeronave. Quando responsável exclusivamente pelo manuseio dos comandos de pilotagem da RPA, será denominado piloto remoto.

### **3 ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA BASEADO EM RPA's, PARA AÇÕES REFERENTES AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Os elementos básicos operacionais em ações referentes a incêndios florestais, baseadas em RPAS abrangem as funções de monitorização (vigilância dos locais com potencial de ocorrência do evento), detecção (disparar um alarme para informar os operadores de combate ou/e inicializar o

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

diagnóstico e o prognóstico), diagnóstico (determinação da localização e da extensão do fogo e acompanhamento da sua evolução), prognóstico (previsão da evolução futura do fogo com base nas condições de vento), combate (ações diretas de ataque ao fogo, de suporte aos combatentes ou às vítimas) e recuperação (análise da extensão dos danos e ações de recomposição da mata). Essas funções podem ser conduzidas usando uma única aeronave remotamente pilotada ou uma equipe de RPA's (de classes distintas, embarcadas com diferentes tipos de sensores), juntamente com uma estação de pilotagem remota – RPS (ZHANG e JIANG, 2008).

Pode-se utilizar as RPA's para rastrear incêndios, prever sua evolução e fornecer informações em tempo real aos agentes que irão executar o combate. Terminologias para monitoramento e detecção de incêndio florestal não são ainda claramente definidas, com diferentes definições dentro da literatura. Para evitar confusão, definições para monitoramento de incêndios florestais, detecção, diagnóstico e prognóstico são fornecidos nesta revisão seguindo tradições estabelecidas no campo mais geral (ZHANG e JIANG, 2008).

O monitoramento é definido como o acompanhamento de áreas passíveis de eventos de incêndio, enquanto a detecção é a identificação de um incêndio real em andamento (YUAN, 2015). O fato de incêndios menores serem mais fáceis de controlar e extinguir acarreta que a detecção deve ser feita o mais cedo possível. O diagnóstico de incêndio visa encontrar informações detalhadas sobre o evento, como sua localização e extensão. Já o prognóstico propõe acompanhar e prever a evolução de um incêndio em tempo real, usando informações fornecidas pelo monitoramento remoto com o uso dos sensores a bordo das RPA's (YUAN, 2015).

Para atingir esses objetivos, o emprego de RPAS em operações referentes ao incêndio florestal, no que tangem monitoramento, detecção, diagnóstico, prognóstico, combate e recuperação, normalmente incluem o seguinte: (i) vários quadros e sensores, inclusive do sistema de posicionamento global (GPS), unidades de medição inercial (IMU) e câmeras; (ii) algoritmos específicos e estratégias; (iii) sistemas de orientação, navegação e controle para um único ou múltiplas RPA's; (iv) sistemas cooperativos de localização, implantação e controle, para as frotas de RPA's otimizarem as atividades, tais como aquelas com base na informação em tempo real fornecida pelas câmeras a bordo de captação em espectro visual (durante o dia) e em infravermelho (tanto para a noite quanto para o dia), sensores de monitoramento e sua imagem associada e/ou algoritmos de processamento; e (v) uma estação terrestre dedicada que inclua equipamentos para comunicação, mapeamento do terreno, visualização de detecção, rastreamento e previsão de incêndio com aviso ou alarme do sinistro, bem como todo o equipamento necessário ao funcionamento seguro e eficiente dos RPA's (YUAN, 2015).

As missões de combate a incêndios florestais com RPA's podem geralmente ser discriminadas em três etapas: busca, confirmação e observação do fogo (MERINO et al. 2010). No estágio de busca do fogo, o controle de solo divide a missão para cada RPA de acordo com as características do terreno e com as capacidades individuais de cada aeronave, incluindo seus sensores de bordo. Em seguida, uma única RPA ou uma frota de aeronaves homogêneas e/ou heterogêneas (fixo asa e asa rotativa, por exemplo) de busca são incumbidos de patrulhar a região de vigilância ao longo dos respectivos planos de caminhos pré-planejados (SHARIFI et al. 2014, 2015b).

Enquanto isso, os métodos de segmentação de fogo são aplicados em cada RPA para identificar automaticamente o incêndio, empregando os sensores de detecção, incluindo câmeras visuais e infravermelhas. O estágio de confirmação começa depois que um incêndio é detectado. A estação de controle comanda a(s) RPA(s) de busca para manterem uma distância segura, enquanto outras RPA's também são enviados para o local do incêndio detectado para confirmar, se necessário. O estágio de observação do incêndio começa se o fogo for confirmado como real; caso contrário, o estágio de pesquisa inicial de fogo é retomado. No estágio de observação de fogo, as RPA's são comandadas para obter continuamente informações sobre o incêndio. Isto requer que várias imagens síncronas sejam obtidas pelas RPA's de diferentes pontos de vista. Estas são então entregues aos operadores em terra e/ou ao comando de combate ao fogo para orientar os esforços da operação.

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

### 4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

As vantagens das técnicas baseadas nas imagens, incluindo a captura de dados intuitivos, informativos e confiáveis em tempo real, em uma grande faixa de detecção, habilidades convenientes de verificação e registro, fizeram desta tecnologia um importante recurso para a pesquisa no campo de ações relativas aos incêndios florestais. A última década assistiu a uma série de estudos usando sistemas de imageamento através de RPA's com estes objetivos, em testes de campo quase operacionais, embora em procedimentos reais os testes permanecem escassos (LI et al. 2013). Para reduzir o custo de dispositivos e pessoal, e economizar tempo experimental, a eficácia de várias abordagens de detecção de incêndio são normalmente testadas e verificadas antecipadamente com base em vídeos de incêndios florestais. Só depois as questões práticas específicas (vibração da imagem, etc.) que afetam cenas, são consideradas e resolvidas. Por causa disso, é altamente possível que essas metodologias de detecção também possam ser aplicáveis para RPA's conduzirem operações e/ou simulações de missões de detecção de incêndios florestais (YUAN, 2015).

#### 4.1 Tecnologias baseadas em imagens

Na última década, as técnicas de processamento de imagens tornaram-se amplamente utilizadas para detecção de incêndio florestal. Baseada na gama espectral da câmera usada, estas tecnologias podem ser classificadas como sistemas de detecção de incêndio no espectro visual ou infravermelho (ÇETIN et al. 2013). Podem também ser divididas em detecção de chamas ou detecção de fumaça em termos do objeto real a ser rastreado (Li et al. 2013). Sendo assim, a cor, o movimento e a geometria do fogo constituem as três características dominantes da detecção de incêndio (ÇELIK, OZKARAMANLI e DEMIREL, 2007b).

##### 4.1.1 Detecção de incêndios com imagens no espectro visual

Movimento e geometria do fogo são comumente usados na investigação de incêndios, com a cor sendo usada principalmente na segmentação das áreas de fogo (RUDZ et al. 2009; MAHDIPOUR e DADKHAH, 2012). Consideráveis esforços foram realizados para o desenvolvimento do vídeo baseado em detecção off-line de fogo. Chen et al. (2004) usam recursos de cor e movimento baseados em um modelo RGB (vermelho, verde, azul) para extrair fogo real e fumaça em sequências de vídeo.

Um algoritmo em tempo real que combina características de movimento e cor com a análise de cintilação do fogo, para detectar incêndio em vídeo sequências, é proposto em Toreyin, Dedeog e Cetin (2005). Toreyin et al. (2006a) combinam um modelo de cores genérico com base no espaço de cor RGB, informações de movimento e processo de Markov, com análise aprimorada de cintilação de fogo para criar uma detecção geral de incêndio. Mais tarde, a mesma estratégia de detecção de incêndio é empregada para identificar possíveis amostras de fumaça, que é usada como um alarme precoce para detecção de incêndio (TOREYIN, DEDEOG e CETIN, 2006b). Em Çelik e Demirel (2009), um modelo de cores genérico baseado em regras para classificação de pixels de chama é apresentado, com resultados experimentais mostrando melhoria significativa no desempenho de detecção. Em Gunay et al. (2009), uma abordagem baseada em quatro subalgoritmos para a detecção à noite é realizada e um método de fusão adaptativa é adotado para combinar linearmente decisões de algoritmos. Finalmente, Gunay et al. (2012) desenvolvem um sistema on-line baseado num enquadramento funcional adaptativo de fusão de decisões, cuja aplicação é detectar a presença de incêndios florestais em vídeo.

A maioria das pesquisas acima mencionadas enfoca a detecção de incêndios florestais por chama, enquanto a fumaça também é uma característica importante na detecção precoce e precisa. Chen et al. (2006) continuam o trabalho de Chen, Wu, e Chiou (2004), propondo uma regra de decisão estática baseada na cromaticidade e uma base de difusão de decisão de característica dinâmica para julgamento de pixel de fumaça. Os resultados experimentais indicam que esta abordagem pode fornecer solução autêntica e econômica para detecção de fumaça.

Um método de classificação de fumaça em tempo real usando análise em textura é desenvolvido e uma rede neural de propagação reversa é adotada como modelo discriminativo por Yu

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

et al. (2009). Experimentos provam que o método proposto é capaz de diferenciar a existência de vídeos com fumaça ou sem fumaça. Embora os resultados sejam promissores, o desenvolvimento ainda é necessário para integrar tais descobertas com os sistemas de vigilância existentes e implementá-los em operações. Uma abordagem usando características estáticas e dinâmicas da detecção de fumaça em incêndios florestais é proposta por Surit e Chatwirita (2011).

Embora vários métodos de detecção de incêndios florestais e fumaça tenham sido desenvolvidos experimentalmente, no momento, apenas alguns foram realizados em ambientes quase operacionais. A maioria destes foram conduzidos por uma equipe de pesquisa da Universidade de Sevilha, na Espanha. Esses experimentos usam múltiplos RPA's, com informações de cor escolhidas como o recurso de detecção de incêndio.

Muitos pesquisadores nos últimos anos adotaram métodos para reduzir as taxas de alarmes falsos e o custo dos sensores. Os algoritmos adotados (ÇELIK et al., 2007b; HOU et al. 2009; YU et al. 2010; HAM, KO, e NAM 2010) incluem redes neurais artificiais, lógica difusa e redes neurais difusas. Resultados experimentais mostram que, embora essas abordagens possam efetivamente detectar incêndios, a maioria delas não foram testadas em RPA's ou em cenários reais de incêndio florestal. (YUAN, 2015).

### **4.1.2 Detecção de incêndio com imagens de infravermelho**

Como as imagens infravermelhas podem ser obtidas em condições de fraca ou nenhuma luz e a fumaça é transparente nestas imagens, é, portanto, prático empregar câmeras infravermelhas para monitorar e detectar incêndios em ambas as condições diurnas e noturnas (YUAN, 2015). O uso de câmeras infravermelhas para gerar imagens contendo regiões de incêndio, reduzindo as taxas de alarmes falsos, é feita por Merino et al. (2005) e Martinez-De Dios et al. (2005), utilizando um método de seleção de limiares baseado em formação, já que o aparecimento de um incêndio é de alta intensidade em imagens de infravermelhos (MARTINEZ-DE DIOS e OLLERO 2004).

A fusão de decisão é aplicada em imagens de infravermelho para julgar a ocorrência de incêndios, permitindo que uma variedade de características antecipadas do fogo seja obtida, incluindo persistência a curto prazo e aumento a longo prazo em Bosch, Serrano e Vergara (2013). O desenvolvimento de um processamento de imagem por infravermelho, baseado em transformações lineares para calcular com precisão a taxa de propagação (ROS) de incêndios florestais, enquanto um valor limiar de busca é utilizado para identificar a posição frontal da chama é feito em Pastor et al. (2006). Os resultados experimentais demonstram que o método proposto pode contribuir para uma informação mais rápida e melhoria da classificação com sucesso.

Cabe dizer que um problema associado ao processamento de imagens em infravermelho é que as câmeras miniaturizadas ainda têm baixa sensibilidade (MARTINEZ-DE DIOS et al. 2005). Isso requer um aumento no detector de exposição para produzir imagens de maior qualidade. Além do que, a vibração de alta frequência das RPA's pode causar borrões nas imagens, que continua a ser um grande desafio no seu desenvolvimento. Com evolução acelerada da qualidade de captação dos equipamentos espera-se que em breve essa vulnerabilidade seja resolvida.

### **4.1.3 Fusão de imagens no espectro visual e infravermelho**

Para melhorar a precisão, a confiabilidade e a robustez da detecção dos algoritmos de incêndio e para reduzir a taxa de alarmes falsos, imagens infravermelhas e visuais podem ser fundidas, geralmente através do uso de lógica difusa, métodos inteligentes, probabilísticos e estatísticos. Um sistema de redução de falsos alarmes, composto de processamento de imagem infravermelha, RNA's e lógica difusa foi projetado por Arrue, Ollero e Martinez-de Dios (2000). Neste sistema, a combinação excessiva de informação das imagens no campo visual e infravermelhas são utilizadas para confirmar os alarmes de incêndio florestal. Com a integração de câmeras infravermelhas e visuais para a medição de parâmetros da frente do incêndio, aproveitando técnicas de processamento destas, as validações experimentais são realizadas apenas em laboratório por Martinez-de Dios et al. (2006). Além disso, a



## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

descrição de um sistema de percepção de fogo florestal construído sobre técnicas de visão computacional foi feita por Martinez-de Dios et al. (2008). Imagens no espectro visual e no infravermelho são combinados para calcular um modelo tridimensional de percepção de incêndio, permitindo que a evolução do fogo seja visualizada por sistemas de computadores remotos.

Embora diferentes abordagens para fusão de informações de imagem foram abordadas na pesquisa existente, a questão de como otimizar os recursos que são utilizados na detecção de incêndio ainda é um desafio. Nossa experiência indica que resolver este problema não só reduziria a carga computacional dos computadores de bordo, mas também o custo do hardware como a taxa de alarmes falsos.

### **4.2 Tecnologias baseadas em imagens para o diagnóstico e o prognóstico**

A missão mais comum de diagnóstico realizada em incêndios florestais, baseadas em RPA, é para produzir alarmes de fogo geolocalizado, enquanto que a missão mais comum no prognóstico do fogo é prever a propagação do fogo, que é suficiente para satisfazer os requisitos de funcionamento do combate a incêndios florestais.

Após o incêndio ser detectado e sua informação ser extraída de imagens, a área de incêndio segmentada requer informações de geolocalização para medir suas características geométricas, como localização frontal de fogo, largura e perímetro do local, comprimento e altura da chama, ângulo de inclinação, coordenadas de áreas queimadas e localização de hotspots. Tais medidas, juntamente com a projeção de imagens reunidas em um mapa de terreno, são essenciais para o planejamento eficaz e estratégias eficientes de combate aos incêndios (YUAN, 2015).

As RPA's estão atualmente sendo empregadas na geolocalização automática de incêndios florestais devido à sua ampla cobertura, resolução espectral, e segurança. Estudos existentes de geolocalização automática conduzem a adoção do sistema multissensorial de fusão para fornecer as informações antes, durante e após incêndios florestais, usando sensores de visão, telemetria a bordo e unidades de navegação, como sistema de posicionamento global (GPS) e unidades de medição inercial (IMU). Enquanto a localização dos RPA's é conhecida por meio do uso de GPS, a orientação da câmera da RPA é calculada compondo os ângulos de orientação do sistema de pan e tilt com os ângulos de orientação da célula da aeronave, estimada por IMU's e bússolas. Se uma câmera é calibrada e um mapa digital de elevação está disponível, é possível obter os dados de localização georreferenciados de um objeto no quadro de coordenadas global de sua posição no plano da imagem (ROSSI et al. 2010).

A geolocalização direta, através de informações de navegação, em termos de tempo é a maneira mais eficaz para conduzir automaticamente a missão, tendo evoluído consideravelmente na última década. Além disso, a geração da ortorretificação em tempo real e um mosaico geocodificado é de grande importância para melhorar a precisão da geolocalização automática em sistemas de RPA's. Os mosaicos ortorretificados da área do fogo podem ser combinados com imagens de RPA's geolocalizadas para produzir dados geoespaciais para ação rápida em eventos de incêndio críticos no tempo. A posição e a altura da frente de incêndio também podem ser medidas adotando uma instrumentação baseada em visão 3D com câmeras visuais e sensores de navegação (ROSSI et al. 2010).

Na prática, inúmeras fontes potenciais de erro podem resultar em informações 3D imprecisas. Por exemplo, a fumaça pode ocluir a cena de incêndio, enquanto a imprecisão dos sensores de navegação e plataformas pode afetar a medição de incêndios florestais. A calibração adequada da plataforma e orientação da câmera é de grande significância para melhorar a precisão da geolocalização. Os modelos digitais do terreno (MDT's), pontos de controle de solo, a planimetria e mapas topográficos são escolhas possíveis para esta aplicação (SHAHBAZI, THÉAU, e MÉNARD, 2014). O cômputo dos erros de localização de objetos considerando o mapa do terreno e erros na posição e orientação das câmeras é descrita em Martínez-de Dios et al. (2011). Além disso, para diminuir o efeito da fumaça, múltiplas RPA's heterogêneas, montadas com diferentes tipos de sensores

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

(câmera visual e infravermelha) são implantadas para geolocalizar em campo. Infelizmente, os estudos existentes até agora têm sido apenas realizados em ambientes laboratoriais ou quase operacionais (MERINO et al. 2006; MARTINEZ-DE DIOS, 2011). Pesquisa e testes em condições operacionais de combate a incêndios ainda são necessários para uma investigação mais aprofundada.

Por outro lado, prever o comportamento da propagação do fogo é essencial para o desenvolvimento de estratégias rápidas, eficazes e avançadas de combate aos incêndios florestais. Por isso, é importante conhecer a evolução da frente de fogo e também outras propriedades como a localização, a altura, o ângulo de inclinação e a largura do local das chamas. Em particular é um dos parâmetros mais significativos para a caracterização do comportamento do incêndio florestal, por estar diretamente associado com a intensidade e a geometria frontal das chamas.

Inúmeras novas metodologias foram desenvolvidas nas últimas décadas com base em monitoramento de incêndio discreto ou contínuo com auxílio de câmeras visuais e infravermelhas. Processamento de imagem em infravermelho, fusão de imagens visuais e infravermelhas são aplicados na literatura para melhor propiciar a informação sobre a propagação do fogo. Além disso, muitos algoritmos inteligentes também foram adotados. Essas abordagens são extensivamente aplicadas no prognóstico de incêndios florestais, devido à sua alta precisão, multifuncionalidade e confiabilidade em diferentes ambientes (YUAN, 2015).

### **4.3 Eliminação de vibração de imagem**

Uma questão prática na captura e processamento de imagens é que turbulências e vibrações inevitáveis das RPA's durante o voo podem alterar a posição de uma câmera e resultar em movimento frequente da imagem, desfocando-a e afetando os resultados da detecção. Para diminuir as falhas, dispositivos antivibração de imagem devem ser considerados. Sistemas eletromecânicos são úteis na eliminação de tais vibrações, mas esses sistemas são geralmente pesados e caros e ainda produzem uma vibração residual por si próprios (MERINO et al. 2010). Embora sistemas de gimbal menores e menos caros tenham sido desenvolvidos, um processamento de imagem simples e de baixo custo que possa ser usado para a eliminação de vibrações ainda está em alta demanda. Pesquisas sobre este tema são ainda escassas.

### **4.4 Controle cooperativo de RPA's**

Os incêndios florestais são altamente complexos e não estruturados, por isso é crucial usar várias fontes de informações em diferentes localizações. Além disso, a taxa na qual estas informações são atualizadas pode ser insatisfatória se apenas uma única RPA for implantada, seja para um incêndio florestal único e de grande escala, seja para múltiplos incêndios florestais (YUAN, 2015). Monitoramento, detecção e até mesmo o combate aos incêndios florestais, mais eficientes, podem ser alcançados quando uma frota de múltiplas aeronaves remotamente pilotadas é implantada em vez de uma única RPA. No entanto, isso também requer que algoritmos mais práticos para atribuição de tarefas e controle cooperativo para múltiplas RPA's sejam desenvolvidos. Estes algoritmos pretendem alcançar uma cooperação eficiente entre aeronaves para uma cobertura otimizada, bem como para eficientes detecção, rastreamento e predição nos casos de incêndios grandes, múltiplos ou de simultâneos eventos. Diversas simulações demonstraram a eficácia de diferentes métodos de coordenação dos RPA'S (ALEXIS et al. 2009; KUMAR, OHEN, e HOMCHAUDHURI, 2011). Apesar disso, trabalhos experimentais ou quase operacionais com equipes de RPA's ainda são subdesenvolvidos, e nenhuma implementação operacional pôde ser identificada na literatura atualmente. Numerosos desafios técnicos devem ser resolvidos antes de qualquer implementação prática e aplicação de monitoramento de incêndios florestais, detecção e estratégias de combate usando várias aeronaves remotamente pilotadas.

## **II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF**

**Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018**

### **5 TIPOS DE RPA's E NOVAS TECNOLOGIAS EM AÇÕES EM INCÊNDIOS FLORESTAIS**

#### **5.1 Tipos de aeronaves remotamente pilotadas quanto forma de sustentação aerodinâmica.**

##### **5.1.1 RPA's de asas fixas**

São aeronaves que se sustentam pela pressão aerodinâmica resultante da passagem de ar pelas suas asas, que não possuem articulação. Conseguem voar a altas velocidades e podem se sustentar no ar, por certo tempo sem o uso de motores, por efeito planador. Podem decolar através de uma pista ou serem lançados por catapultas. Podem aterrissar em pistas ou com o uso de para quedas.

##### **5.1.2 RPA's de asas rotativas**

São aeronaves que conseguem decolar e aterrissar na direção vertical. Possui aspecto de um helicóptero convencional, motores de eixos variando em dois, quatro, seis, oito ou mais, denominados de multi-rotores. O controle dos movimentos da aeronave é alcançado através da alteração da inclinação e/ou a taxa de rotação de um ou mais discos de rotor, mudando assim o seu binário de carga e de impulso. Conseguem desenvolver velocidades inferiores aos RPA's de asas fixas. A principal vantagem das plataformas desta plataforma é a sua manobrabilidade e capacidade para manter o veículo no ar sem se movimentar. Ao lado das aeronaves de asas fixas, são mais utilizadas em aplicações com equipamentos embarcados.

##### **5.1.3 RPA'S do tipo balões**

São aeronaves que flutuam porque são mais leves que os ar. Podem ser livres, cativos ou dirigíveis. Possuem grande autonomia de voo. Voam em baixa velocidade e normalmente são de grande tamanho.

#### **5.2 Inovações tecnológicas de interesse às ações de incêndios florestais**

##### **5.2.1 RPA'S híbridos**

Combinam as duas categorias de aeronaves remotamente pilotadas mais conhecidas: as de asa fixa e as de asas articuladas. As pesquisas e avanços recentes levaram a esta categoria que pode combinar o melhor dos dois tipos anteriores. Basicamente, este tipo de RPA é de asa fixa, mas os rotores não são montados rigidamente na asa, permitindo-a dessa forma girar em relação a sua posição inicialmente horizontal.

##### **5.2.2 RPA'S movidos à energia solar**

Como alternativa para as aeronaves propulsionadas por energia elétrica, que possuem baixa autonomia de voo, e às RPA's movidas a combustão que tem desvantagem dos altos custos em compra, operação e manutenção, além de vibrações que precisam ser isolados com gimbal nas câmeras, para obter imagens de suficiente qualidade no processo de monitoramento, surgiram as RPA's baseadas no uso de painéis solares montados quase sempre nas asas do avião para fornecer energia aos motores elétricos, proporcionando um aumento substancial na autonomia de voo. Usam a energia solar recolhida durante o dia para a operação, podendo armazená-la em baterias para o uso durante a noite (MEHTA, 2012). Os aviões solares podem ser divididos em dois grupos principais: os de alta altitude e longa autonomia (HALE), também chamados de satélites atmosféricos e os de longa autonomia e baixa altitude (LALE). No primeiro grupo são configurados como plataformas para atuar como relé de telecomunicações. Um exemplo típico é o Zephyr, sistema da Airbus. Estes sistemas são caros e difíceis de operar. Por outro lado, os sistemas LALE são mais baratos, fáceis de fabricar e operar. Podem permanecer durante meses e até anos voando.

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

### 5.2.3 RPA's usados para transportes de cargas

São aeronaves otimizadas para o transporte de cargas. Podem ser utilizados em situações que necessitem o acionamento de medidas de contingências, situações de risco, degradação de comunicações e de pouso seguro. Um exemplo é o FT-200 FH, da FT Sistemas, um helicóptero remotamente pilotado que possui configuração em rotores contra-rotativos. A fabricante afirma que o modelo pode transportar cargas até 50kg, é movido à gasolina ou querosene de aviação, tem 2,8 metros de diâmetro do dos rotores, autonomia típica de 12 horas de voo.

### 5.2.4 RPA's de combate ao incêndio

Representam uma alternativa de combate ao fogo, uma vez que seu porte robusto lhe permite acoplar e utilizar a mangueira de incêndio. Um exemplo é o Fast Drone, da fabricante Aerone. Inicialmente projetada para utilização em área urbana, com alcance vertical de até 500m e capacidade de carga de 300 kg, pode ser utilizada, mesmo que com restrições, em incêndios na mata. Possui um alcance horizontal de 400m. O comando e a alimentação desta RPA podem ser feitos através de cabo, o que lhe permite uma autonomia por tempo indeterminado. Sem os cabos opera por até 20 minutos, que pode ser suficiente para que a aeronave faça resgates de pessoas, assim como o transporte de suprimentos.

## 6 CONCLUSÕES

Após uma revisão da literatura existente sobre o desenvolvimento das aeronaves remotamente tripuladas, fica evidente que esses sistemas podem ser usados para evitar as desvantagens de outras tecnologias baseadas em terra e no espaço. Os benefícios potenciais para as ações relativas aos incêndios florestais, em especial para monitoramento, detecção, diagnóstico e prognóstico foram apresentados. Entretanto, as florestas são ambientes altamente complexos e o uso de todas as tecnologias disponíveis nos procedimentos ligados aos incêndios é fundamental.

O uso de sensores e sistemas de posicionamento para determinar as características do incêndio ainda é complicado e poucas pesquisas abordam o assunto. Para implementar aplicações viáveis, RPA's com maior durabilidade também são necessárias. A detecção de incêndio, por exemplo, permanece difícil na prática, tendo em vista que a própria fumaça pode bloquear as imagens do fogo ou que a chance de outras variantes como luz solar, vegetação e animais podem causar falsos alarmes ou falha no acionamento destes.

Portanto, ambas as pesquisas, em hardware e software, são dignas de uma investigação mais aprofundada. Contudo, há bastante demanda e com isso uma tendência para mais pesquisa e desenvolvimento de soluções completas. Assim, podemos esperar pela evolução desta tecnologia.

## REFERÊNCIAS

AERONES. *Firefighting*. <[https://www.aerones.com/eng/drones/firefighting\\_drone/](https://www.aerones.com/eng/drones/firefighting_drone/)> Acessado em 20 de abril de 2018.

ALEXIS, K., NIKOLAKOPOULOS, G., TZES, A., DRITSAS, L. *Coordination of helicopter UAVs for aerial forest-fire surveillance*. In: Applications of intelligent control to engineering systems. Springer Netherlands, 2009. p. 169-193.

ARRUE, B.C., OLLERO, A., MARTINEZ-DE DIOS, J.R. 2000. *An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection*. IEEE Intell. Syst. 15(3): 64–73, 2000.

BOSCH, I., SERRANO, A., VERGARA, L. *Multisensor network system for wildfire detection using infrared image processing*. Sci. World J., Article ID 402196, 2013.

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro*. ICA 100-40. Rio de Janeiro, 2017.
- CBC News. "Fort McMurray wildfire costliest insured disaster in Canadian history," in, July 7, 2016, <http://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/fort-mcmurray-wildfire-costliestinsured-disaster-in-canadian-history-at-nearly-3-6b-1.3668602> >. Acessado em 19 de abril de 2018
- ÇELIK, T., OZKARAMANLI, H., DEMIREL, H. *Fire pixel classification using fuzzy logic and statistical color model*. In Proceedings of the International Conference on Acoustic Speech Signal Processing (ICASSP), Hawaii, 15–20 April 2007. pp. I-1205–I-1208, 2007b.
- ÇELIK, T., DEMIREL, H. *Fire detection in video sequences using a generic color model*. *Fire Saf. J.* 44(2): 147–158, 2009.
- ÇETIN, A.E., DIMITROPOULOS, K., GOVERNEUR, B., GRAMMALIDISB, N., GUNAYA, O., HABIBOĞLUA, Y.H., TOREYIND, B.U., VERSTOKTE, S. *Video fire detection — review*. *Digit. Signal Process.* 23(6): 1827–1843, 2013.
- CHEN, T., WU, P., CHIOU, Y. 2004. *An early fire-detection method based on image processing*. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, 24–27 October 2004. pp. 1707–1710, 2004.
- CHEN, T.H., YIN, Y.H., HUANG, S.F., YE, Y.T.. The smoke detection for early fire-alarming system based on video processing. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Pasadena, California, 18–20 December 2006. pp. 427–430, 2006.
- DANTAS, G.S .F.M. *Enxame de VANTS para a detecção de incêndios Florestais*. Recife, 2014.
- FT SISTEMAS. *FT200-FH Poder máximo sob seu comando*. <<http://ftsistemas.com.br/ft-200-fh/>>. Acessado em 18 de abril de 2018.
- GONZÁLEZ-JORGE, H. et al. Low-Altitude Long-Endurance Solar Unmanned Plane for Forest Fire Prevention: Application to the Natural Park of Serra do Xures (Spain). *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, p. 135-139.
- GUNAY, O., TAS DEMIR, K., UĞUR TOREYIN, B., ÇETIN, A.E. *Video based wildfire detection at night*. *Fire Saf. J.* 44(6): 860–868, 2009.
- GUNAY, O., TOREYIN, B.U., KOSE, K., CETIN, A.E. *Entropy-functional-based online adaptive decision fusion framework with application to wildfire detection in video*. *IEEE Trans. Image Process.* 21(5): 2853–2865, 2012.
- HAM, S., KO, B., NAM, J. Fire-flame detection based on fuzzy finite automation. In: *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*. IEEE, 2010. p. 3919-3922.
- HOU, J., QIAN, J., ZHAO, Z., PAN, P., e ZHANG, W. Fire detection algorithms in video images for high and large-span space structures. In: *Image and Signal Processing, 2009. CISP'09. 2nd International Congress On*. IEEE, 2009. p. 1-5.
- IBAMA, I. B. de Meio Ambiente e dos R. N. R. *Monitoramento - Prevfogo*. 2014.<<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/monitoramento>>. Acessado em 15 de abril de 2018.
- INPE, I. N. P. E. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. 2012. <<http://www.inpe.br/queimadas/faq.php>>. Acessado em 20 de abril de 2018.
- KUMAR, M., COHEN, K., HOMCHAUDHURI, B. *Cooperative Control of Multiple Uninhabited Aerial Vehicles for Monitoring and Fighting Wildfires*, *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, Vol. 8, No. 1 (2011), pp. 1-16.
- LI, M., XU, W., XU, K., FAN, J., HOU, D. *Review of fire detection technologies based on video images*. *J. Theor. Appl. Inf. Technol.* 49(2): 700–707, 2013.

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

- MAHDIPOUR, E. e DADKHAH, C. Automatic fire detection based on soft computing techniques: review from 2000 to 2010. *Artificial intelligence review*, v. 42, n. 4, p. 895-934, 2014.
- MARTINEZ-DE DIOS, J. R.; OLLERO, A. A new training-based approach for robust thresholding. In: *Automation Congress, 2004. Proceedings. World. IEEE*, 2004. p. 121-126.
- MARTINEZ-DE DIOS, J.R., RAMIRO, J., MERINO, L., OLLERO, A.. *Fire detection using autonomous aerial vehicles with infrared and visual cameras*. In Proceedings of the 16th IFAC World Congress. Czech Republic, 2005.
- MARTÍNEZ-DE DIOS, J. R., ANDRÉ, J. C., GONÇALVES, J. C., ARRUE, B. C., OLLERO, A., e VIEGAS, D. X. Laboratory fire spread analysis using visual and infrared images. *International Journal of Wildland Fire*, v. 15, n. 2, p. 179-186, 2006.
- MARTINEZ-DE DIOS, J. R., ARRUE, B. C., OLLERO, A., MERINO, L. e GÓMEZ-RODRIGUES, F. Computer vision techniques for forest fire perception. *Image and vision computing*, v. 26, n. 4, p. 550-562, 2008.
- MARTÍNEZ-DE DIOS, J. R., MERINO, L., CABALLERO, F. e OLLERO, A I. Automatic forest-fire measuring using ground stations and unmanned aerial systems. *Sensors*, v. 11, n. 6, p. 6328-6353, 2011.
- MEHTA, A., *Solar aircraft: Future need*. International Journal of Advanced Engineering Technology, III(I), pp. 43 – 48, 2012.
- MERINO, L., CABALLERO, F., MARTINEZ-DE DIOS, J.R., e OLLERO, A. *Cooperative fire detection using unmanned aerial vehicles*. In Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Busan, South Korea, 18–22 April 2005. IEEE. pp. 1884–1889, 2005.
- MERINO, Luis CABALLERO, F., MARTINEZ-DE DIOS, J.R., FERRUZ, J. e OLLERO, A: Application to automatic detection of forest fires. **Journal of Field Robotics**, v. 23, n. 3-4, p. 165-184, 2006.
- MERINO, L., CABALLERO, F., MARTINEZ-DE DIOS, J.R., MAZA, I., OLLERO, A. *Automatic forest fire monitoring and measurement using unmanned aerial vehicles*. In Proceedings of the 6th International Congress on Forest Fire Research. Edited by D.X. Viegas. Coimbra, Portugal, 2010.
- OLLERO, A., MERINO L., *Control and perception techniques for aerial robotics*. *Annual Reviews in Control*, 28, Issue 2, pp. 167-178, 2004.
- PASTOR, E., ÁGUAEDA, A., ANDRADE-CETO, J., MUNOZ, M., PEREZ, Y., PLANAS, E. *Computing the rate of spread of linear flame fronts by thermal image processing*. *Fire Saf. J.* 41(8): 569–579, 2006.
- ROSSI, L., MOLENIER, T., AKHLOUFI, M., TISON, Y., PIERI, A. A 3D vision system for the measurement of the rate of spread and the height of fire fronts. *Meas. Sci. Technol*, 2010.
- RUDZ, S., CHETEHOUNA, K., HAFIANE, A., SERO-GUILAUME, O., LAURENT, H. *On the evaluation of segmentation methods for wildland fire*. In *Advanced concepts for intelligent vision systems*. Edited by J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, and P. Scheunders. Springer, Heidelberg, Berlin. pp. 12–23, 2009.
- SHAHBAZI, M., THÉAU, J., MÉNARD, P. Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, v. 51, n. 4, p. 339-365, 2014.
- SHARIFI, F., ZHANG, Y.M., AGHDAM, A.G. *Forest fire detection and monitoring using a network of autonomous vehicles*. In *The 10th International Conference on Intelligent Unmanned Systems (ICIUS 2014)*, 29 September – 1 October 2014, Montreal, Quebec, Canada, 2014.
- SHARIFI, F., CHAMSEDDINE, A., MAHBOUBI, H., ZHANG, Y.M., AGHDAM, A. G. *A distributed deployment strategy for a network of cooperative autonomous vehicles*, *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.* 23(2): 737–745, 2015a.
- SHARIFI, F., MIRZAEI, M., ZHANG, Y.M., GORDON, B.W. *Cooperative multivehicle search and coverage problem in an uncertain environment*. *Unmanned Systems*, 3(1): 35–47, 2015b.

## II Simpósio de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais da Região Serrana, do Estado do Rio de Janeiro – II SPCIF

Petrópolis, RJ, Brasil – 05 a 08 de junho de 2018

- SURIT, S., CHATWIRIYA, W. *Forest fire smoke detection in video based on digital image processing approach with static and dynamic characteristic analysis*. In Proceedings of the 1st ACIS/JNU International Conference on Computers, Networks, Systems, and Industrial Engineering, Jeju Island, South Korea, 23–25 May 2011. IEEE. pp. 35–39, 2011.
- SWARMNOID. Swarmnoid project. 2006. <<http://www.swarmanoid.org/>>. Acessado em 18 de maio de 2018.
- TOREYIN, B.U., DEDEOG LU, Y., CETIN, A.E. *Flame detection in video using hidden Markov models*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, 11–14 September 2005.
- TOREYIN, B.U., DEDEOG LU, Y., GUDUKBAY, U., CETIN, A.E. 2006a. *Computer vision based method for real-time fire and flame detection*. Pattern Recogn. Lett. 27(1): 49–58.2006a.
- TOREYIN, B.U., DEDEOG LU, Y., CETIN, A.E. *Contour based smoke detection in video using wavelets*. In Proceedings of the 14th European Signal Processing Conference, Florence, Italy, 4–8 September 2006. pp. 123–128, 2006b.
- VIPIN, V. Image processing based forest fire detection. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, v. 2, n. 2, p. 87-95, 2012.
- YU, C.Y., ZHANG, Y.M., FANG, J., WANG, J.J. *Texture analysis of smoke for real-time fire detection*. In The 2nd International Workshop on Computer Science and Engineering, Qingdao, China, 28–30 October 2009. IEEE. pp. 511–515, 2009.
- YU, C.Y., JUN, F., JINJUN, W., & YONGMING, Z. Video fire smoke detection using motion and color features. *Fire technology*, v. 46, n. 3, p. 651-663, 2010.
- YUAN, C, ZHANG, Y. M. LIU, Z. X., "A survey on technologies for automatic forest fire monitoring detection and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques", Canadian Journal of Forest Research, vol. 45, no. 7, pp. 783-792, 2015.
- YUAN, Chi. *Automatic Fire Detection Using Computer Vision Techniques for UAV-based Forest Fire Surveillance*. 2017. Tese de Doutorado. Concordia University.
- WIEDINMYER, C. e NEFF, J. C., *Estimates of CO2 from Fires in the United States: Implications for Carbon Management*, Carbon Balance Management, Vol. 2, No. 10, 2007.
- ZHANG, Y.M., and JIANG, J. *Bibliographical review on reconfigurable faulttolerant control systems*. Annu. Rev. Control, 32(2): 229–252, 2008.