

Monitoramento remoto como ferramenta para detecção de incêndios florestais

Recebido em: 14/04/2022

Aceito em: 15/04/2022

 10.46420/9786581460334cap2

Stanley Schettino^{1*} 

Thiago Ruas Souto¹ 

Denise Ransolin Soranso² 

Marilda Teixeira Mendes¹ 

INTRODUÇÃO

Os incêndios são causadores de danos sociais, ambientais e econômicos, uma vez que a ocorrência destes eventos varia em função da época do ano, localização geográfica, causa provável, tipo de vegetação e área atingida (Schumacher; Dick, 2018). A preocupação com os impactos causados pelos incêndios florestais no Estado do Paraná, por exemplo, teve início após o incêndio que atingiu o estado, em agosto e setembro de 1963, afetando uma área de 2.000.000 de hectares. A partir de então as ações voltadas à prevenção e combate aos incêndios vem sendo aperfeiçoadas, em função da grande probabilidade de ocorrência e do prejuízo que podem causar.

Estima-se que, na América do Sul, entre 1977 e 2007, tenham ocorrido pelo menos 290.000 incêndios florestais, afetando 51,7 milhões de hectares, sendo que cerca de 300.000 hectares foram de cultivos florestais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Os prognósticos das mudanças climáticas preveem uma elevação dos incêndios florestais em vários pontos geográficos, motivo pelo qual os países precisam expandir a sua cooperação, estarem coordenados e qualificados para encarar esses desafios diante de um cenário mais rígido (GFMC, 2017).

Os incêndios florestais no Brasil se concentram no inverno e início da primavera (junho a outubro), por apresentar as médias mais baixas de precipitação e umidade relativa do ar. Esse período equivale a cerca de 69 % de ocorrência dos incêndios e mais de 90 % das áreas queimadas. Condições como clima quente, estações muito secas e grandes períodos de estiagem, contribuem para maior intensidade e frequência dos incêndios florestais (Vosgerau et al., 2006).

¹ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Montes Claros - MG.

² Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá - MG.

* Autor correspondente: schettino@ufmg.br

Além dos fatores já citados, outro que dificulta a prevenção e a detecção de incêndios florestais é a pequena quantidade de pessoas responsáveis por áreas extensas. Assim, surge o problema de monitoramento e a detecção precoce do fogo, que se ocorrer em tempo hábil pode reduzir significativamente o impacto nessas áreas, bem como o custo e tempo necessários para combater o incêndio (Alkhatib, 2014).

Em se tratando de detecção dos focos de incêndio, um método bastante utilizado são as torres de observação, o qual oferece subsídios importantes para diminuir o tempo do primeiro combate, tendo em vista que a construção de torres em pontos estratégicos permite abrangência de visibilidade do observador na identificação dos focos de incêndio (Venturi; Antunes, 2007). Entretanto, como uma técnica tradicional de detecção de incêndios florestais, as torres de vigilância apresentam elevado custo de instalação e operação, consomem grande quantidade de mão de obra e são relativamente ineficientes. Além disso, a busca e observação do fogo é uma atividade perigosa e demorada quando dependente exclusivamente das habilidades da força de trabalho humana.

Ainda, soma-se o fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Com o desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs). Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais e rede de sensores (Molina-Pico, 2016).

Em informações disponibilizadas pelo INFOQUEIMA (2021), o método de monitoramento mais utilizado é o monitoramento remoto, através da utilização de satélites. São utilizados dez satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. Atualmente, são processadas operacionalmente, na Divisão de Geração de Imagens - DGI e na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens dos satélites polares, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3.

Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram seis imagens por hora, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. Vários satélites

utilizados no passado não estão mais em operação, como p. ex. o NOAA-9 que foi o primeiro a fornecer focos para o INPE no período 1984-1998.

Diante desse contexto, este estudo objetivou avaliar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais, com base em estudos realizados com este enfoque.

REFERENCIAL TEÓRICO

Incêndios florestais

Os incêndios florestais são um dos principais fenômenos recorrentes que provocam a destruição de áreas naturais e causam um imenso dano a fauna e a flora desses locais. Frequentemente, provocam também a destruição de construções próximas as regiões afetadas e a perda de vidas humanas, dentre outros prejuízos ambientais, sociais e econômicos (Soares; Batista, 2007).

Segundo o Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Lemos et al., 2010), incêndio florestal é todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem ou por causas naturais. Castro et al., 2003 identificam três fatores que influenciam no comportamento dos incêndios florestais: o tipo de combustível, tipo de relevo e as condições meteorológicas. A ação de cada um desses fatores é diferente para cada região e para cada época do ano, modificando o comportamento do fogo (Torres et al., 2020).

De acordo com Ribeiro (2002), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios se baseia no grau de envolvimento de cada estrato do combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores, no processo da combustão. Nesse caso, os incêndios são classificados em subterrâneos, superficiais e de copa.

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são imprescindíveis para o controle do fogo e para a redução de custos no combate e de danos. Logo, os métodos de detecção e monitoramento de incêndios florestais são essenciais para o controle e o dimensionamento dos efeitos causados pelas chamas sobre o meio ambiente (Batista, 2004). O controle de incêndios florestais está associado às ações administrativas e técnicas tomadas para realizar a prevenção e o combate ao fogo, as quais podem ser realizadas por uma instituição privada ou pública, municipal, estadual ou federal (Torres et al., 2020).

Dentre a sequência de etapas de combate aos incêndios, a detecção é indubitavelmente a de maior importância, pois um incêndio só pode ser combatido depois de descoberto e localizado, e quanto mais precoce se detecta o evento, maior a probabilidade de ser combatido, minimizando os danos (Saraiva, 2011).

Muitas são as dificuldades e limitações do mais utilizado método de monitoramento e detecção dos incêndios florestais, as torres de observação. Tais postos de vigilância têm sua eficiência limitada à

visibilidade do meio e ao alcance visual, com sua eficácia relacionada diretamente com a responsabilidade e qualificação específica do “vigilante”. O alto custo de investimento e operação, faz com que somente as grandes e organizadas empresas mantenham redes de torres de vigilância, fazendo com que as unidades de conservação e demais áreas rurais, com raríssimas exceções, tenham seus eventos de incêndios detectados quando a intensidade do fogo já é grande e o combate bastante difícil (Saraiva, 2011)

Ramos (2004) afirma que, a partir da década de 60, a destruição das florestas tomou um rumo nunca antes experimentado. Aumentaram também as queimadas e os incêndios florestais, trazendo como resultado mais destruição da vegetação e os inconvenientes da poluição atmosférica. Além disso, as unidades de conservação ficaram mais vulneráveis aos incêndios florestais.

Com a criação do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965) e pelo disposto em seu Artigo 27, desde então é proibido o uso do fogo nas florestas, exceto quando for utilizado para fins de queima controlada. Destaca-se ainda o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), criado pelo Decreto 97.635/89 (BRASIL, 1989), que atribuiu ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a competência de coordenar as ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades de pesquisa, prevenção, controle e combate às queimadas e incêndios florestais no Brasil (Schumacher; Dick, 2018).

Os efeitos diretos da combustão no ecossistema são: a redução da matéria orgânica e a liberação de calor, nutrientes e produtos da combustão. Como resultado desses efeitos diretos, os impactos serão observados em maior ou menor proporção, dependendo da intensidade do fogo, nos diversos elementos do ecossistema, tais como: o solo, a vegetação, a fauna silvestre, o ar atmosférico entre outros (Lima; Batista, 1993). A destruição da vegetação é, visualmente, a consequência mais significativa da força do fogo. Dependendo de sua intensidade, a vegetação pode ser destruída totalmente ou ficar comprometida em seu crescimento e em outras características (Soares; Batista, 2007).

No Brasil, as pesquisas relacionadas aos efeitos do fogo têm sido desenvolvidas principalmente no Cerrado e na Amazônia, onde os incêndios florestais ocorrem com maior frequência e intensidade. Estudos sobre o impacto do fogo em florestas tropicais tornam-se cada vez mais importantes à medida que os efeitos provocados pelos incêndios passam a ter repercussões globais negativas, particularmente sobre a atmosfera e o estoque de biodiversidade (Whitmore, 1998; Cochrane, 2004).

Os dados disponibilizados pelos relatórios do INFOQUEIMA, datam o começo do monitoramento de focos de incêndios em 1998, ano em que foram observados 123.896 focos (INFOQUEIMA, 2021). Segundo os relatórios, a partir do ano seguinte (1999), nota-se um aumento (mesmo que discreto no início) dos focos de incêndios no país. A Figura 1 apresenta dados do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre 1998 e 2021.

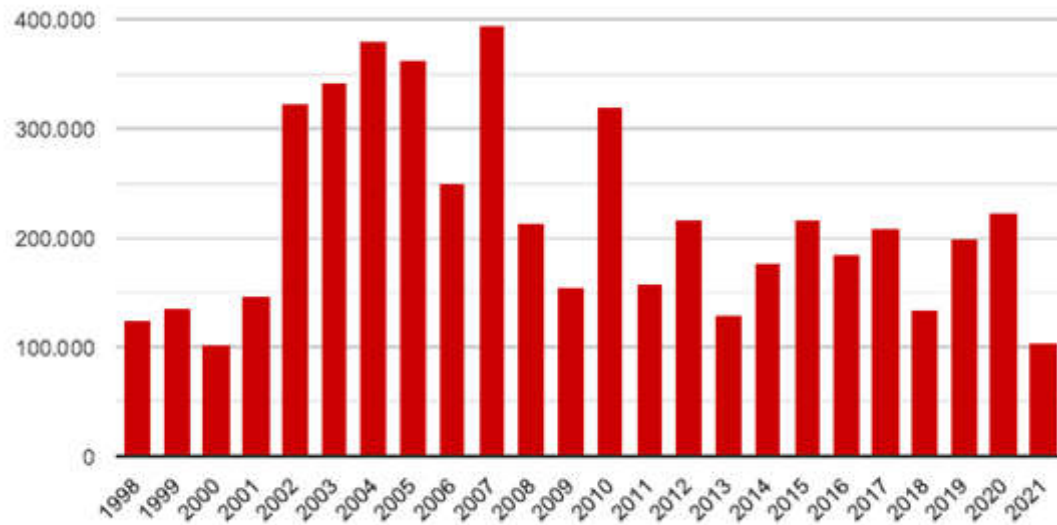


Figura 1. Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência no período de 1998 até 09/09/2021. Fonte: os autores (compilado de INFOQUEIMA, 2021).

Entre os anos de 2002 a 2005 percebe-se o notório aumento dos focos, quando comparados aos anos anteriores. O ano de 2007 foi o ano recorde de detecção de focos, atingindo por volta de 393.915 focos ativos no ano. Nos próximos anos teve uma queda, porém logo percebe-se um aumento desses focos, a partir de 2015 (ano que teve inúmeros incêndios florestais pelo país), o ano de 2021 apresenta um índice menor pois os relatórios liberados pelo INFOQUEIMA constam até julho (INFOQUEIMA, 2021).

Em junho de 2021 foram registradas 7.473 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência. Os estados líderes em detecção de focos de fogo são, em primeiro lugar, Mato Grosso, seguido de Tocantins, Maranhão e Minas Gerais. Em julho de 2021 foram registradas 15.985 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência (INFOQUEIMA, 2021)

Detecção de incêndios florestais

A detecção do incêndio ou dos focos de fogo é o tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento em que ele é visto por alguém. Quanto menor o intervalo de tempo entre o início do fogo e o começo do ataque, mais fácil será seu controle (Ribeiro, 2002).

Segundo Vélez (2009) a detecção de incêndios se fundamenta em uma série de atividades cujos objetivos são: descobrir, localizar e comunicar o início de um fogo a uma central de operações, gerando o que se conhece como “alarme de incêndio”. Contar com uma detecção eficiente dentro de um programa de controle de incêndios é garantia de que os danos produzidos pelo fogo e os gastos com as operações de combate serão mínimos (Saraiva, 2011).

A fase de combate aos incêndios florestais é antecedida pela detecção do foco de incêndio, que resulta do seu avistamento, e é desejável que a sua localização seja a mais imediata e rigorosa possível, uma vez que a detecção de um foco de incêndio é um fator determinante para o desenrolar de todas as restantes ações. É a partir da detecção, e da forma como essa informação chega aos centros operacionais, que se desencadeiam todos os subsequentes procedimentos (Torres et al., 2020).

Quanto maior o fogo, mais difícil o seu combate. Por isto, a capacidade de detectar ou descobrir rapidamente os focos iniciais de fogo é um dos principais objetivos dos serviços de prevenção e combate aos incêndios florestais. O controle dos incêndios florestais em uma determinada região começa, portanto, com um eficiente sistema de detecção e localização de focos de incêndios (Soares; Batista, 2007).

A detecção pode ser feita por meio de vigilância terrestre, por observação de torres ou locais de boa visibilidade e com o auxílio de aeronaves ou equipamentos automatizados, como sensores, satélites, etc. (Schumacher; Dick, 2018). A detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em: terrestre (fixa e móvel) e aérea (aeronaves e satélites) (Torres et al., 2020).

Contudo, cada um desses meios de detecção tem as suas vantagens e limitações, pelo que a implementação e o desempenho de cada um deles deve ser alvo de uma análise escrutinada, avaliando as várias opções e as características intrínsecas da área a monitorar.

Sistemas de vigilância

Para que um incêndio ocorra é necessária a chama inicial para dar início ao processo da combustão. Assim, qualquer ação para prevenção dos incêndios florestais deve buscar a eliminação de suas causas. De acordo com Nogueira et al. (2001), a melhor forma de combater um incêndio florestal é através de sua prevenção.

Um dos elementos básicos para o controle dos incêndios florestais é a implementação de sistemas de vigilância, cujos principais objetivos são: vigilância preventiva das zonas prioritárias para a conservação de modo que seja evitada a ocorrência de incêndios e possibilitada a identificação dos agentes que, por negligência ou intencionalmente, possam provocar os incêndios; e detectar o incêndio no menor tempo possível e efetuar a comunicação do evento para a estrutura de acionamento da brigada que efetuará o controle e extinção do mesmo (Lemos, 2010).

Tradicionalmente, a vigilância das florestas tem sido realizada por pessoas, previamente instruídas para esse efeito, mas ultimamente cada vez mais é complementada com recurso a diversos meios tecnológicos (Torres, 2020). De acordo com Lemos (2010) a detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em:

a) Terrestre (fixa e móvel);

- O sistema terrestre fixo é baseado na localização de pontos fixos do terreno para efetuar o monitoramento da área. A boa escolha dos pontos de observação é fundamental;
- O sistema terrestre móvel consiste na vigilância da área pelo deslocamento da equipe por meio de rondas. No deslocamento, pode-se utilizar diversos meios de transporte, motorizados ou não, tais como: automóveis, motos, bicicletas, cavalos, entre outros;

b) Aérea (aeronaves e satélites)

- O sistema aéreo consiste na utilização de aeronaves para monitoramento de grandes extensões territoriais. Método pouco utilizado no Brasil para a detecção de incêndios por causa da carência de aeronaves.
- O sistema de satélites utiliza satélites com sensores de luz e calor de distintas resoluções espaciais e temporais que, conjuntamente, oferecem leituras diárias de possíveis focos de incêndios em todo território nacional.

Torres de observação de incêndios florestais

A detecção terrestre fixa é feita através das torres de observação, geralmente construídas de ferro ou madeira, tendo no topo uma cabine fechada com visibilidade para todos os lados. São instaladas em pontos altos, com alturas entre 12 e 42 m que variam em função do relevo da área monitorada. A distância visual máxima de uma torre de observação, dependendo das condições locais de visibilidade, varia entre 8 a 15 km. Considerando-se uma capacidade visual média, uma torre pode cobrir uma área de 8.000 a 20.000 ha, dependendo principalmente do relevo (Soares; Batista, 2007).

Entretanto, as torres representam uma parte significativa do orçamento do sistema de prevenção de uma área ou região, o que exige um planejamento cuidadoso, visando a utilização do menor número de torres para cobrir a maior área possível. Os critérios geralmente utilizados para escolha dos locais para instalação das torres são o relevo, as vias de acesso, a altitude dos pontos mais destacados dentro da área, a formação vegetal, a visibilidade e a importância da área a ser protegida (Lemos, 2010).

Para se obter a localização exata de um foco de incêndio é necessário que dois ou mais postos de vigia forneçam os respectivos azimutes desse foco de incêndio aos centros operacionais, onde, sobre um mapa, cruzam-se as linhas correspondentes a esses azimutes, cujo local de intersecção dá as coordenadas geográficas do ponto de ignição (Torres, 2020).

É fundamental uma boa distribuição dos postos de vigia para se conseguir assegurar um grau de visibilidade abrangente e contínuo das manchas florestais, para com o menor número de postos de vigia se cobrir a maior área possível. A eficácia dos Postos de Vigia depende das capacidades do próprio vigilante em reconhecer uma coluna de fumaça, diferenciando-a de outras fumaças inerentes à atividade humana do dia a dia, para não ativar falsamente os escassos meios de combate, bem como depende também dos

meios de que dispõe para entrar em contato com os centros de decisão (Lemos, 2010). O Quadro 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens desse sistema.

Monitoramento de incêndios florestais

Tradicionalmente, o controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. Idealmente, o alerta de incêndio devia ser dado de forma autônoma, automática e sistemática. Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Os sistemas visam, de forma geral, fornecer imagens e dados relativos aos incêndios para que as entidades responsáveis pelo combate às chamas partam para o terreno mais cedo, evitando a propagação do incêndio, e com mais informações acerca do que encontrarão.

Quadro 1. Vantagens e desvantagens no sistema de torres de observação. Fonte: Adaptado de Torres (2020).

Vantagens	Desvantagens
Os Postos de vigia permitem uma vigilância contínua das áreas florestais e em comunicação permanente com os centros operacionais.	A acuidade visual e a fadiga a que estes agentes estão sujeitos, bem como deficientes técnicas de observação, fazem com que o índice de detecção seja mais baixos que os alertas dados pelos populares;
Todavia, para assegurar um grau de cobertura satisfatório, é necessária uma rede articulada de vários postos;	A existência de áreas extensas que não se conseguem observar em linha de vista, uma vez que a área diretamente visível pelos postos de vigia pode variar, consoante os locais, entre 10 e 40 ou mais quilômetros
A detecção por dois ou mais postos de vigia permite localizar facilmente, através de técnicas de triangulação, o foco de incêndio e proceder ao alerta e ativação de meios de combate;	Normalmente é um trabalho sazonal, precário, com condições de trabalho abaixo dos padrões aceitáveis, pelo que há dificuldades de recrutamento e contratação de pessoal
Os postos de vigia servem, também, para fiscalização da área, coibindo a ação dos agentes causadores de incêndios, principalmente de origem humana	Dependência das condições atmosféricas e diminuição do grau de visibilidade durante a noite, o que dificulta a detecção das colunas de fumaça.
	A detecção atempada depende do grau de conhecimento dos agentes e da atenção constante dos vigias durante o seu turno;
	O fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Os sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais podem ser divididos em três categorias, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais. Fonte: Ribeiro (2014).

Tipos de sistema	Tecnologia utilizada
Baseados em processamento de imagem	Imagens de satélite ou câmeras fixas
Sistemas térmicos	Sensores estáticos ou dinâmicos
outras aplicações	Radares, LIDAR e detecção de som

À medida que, na sua trajetória orbital, os satélites vão varrendo a superfície terrestre, procedem à captação de imagens com características espectrais (multiespectrais, pancromáticos, RADAR, LIDAR, óticos, térmicos, etc.), consoante sua própria tipologia, dado que não só têm diferentes velocidades e altitudes orbitais, mas também estão munidos com um conjunto de diferentes sensores, geralmente Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ou Along-Track Scanning Radiometer (ATRS). Esses sensores tornam os satélites capazes de levantar e monitorar diversas variáveis que permitem a detecção e localização do foco de incêndio, após serem tratadas por meio de softwares de detecção remota e recomposição das bandas de imagens (Torres, 2020).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi elaborado no modelo de pesquisa bibliográfica, consistindo na leitura e interpretação de material publicado relacionado ao tema em questão. A principal vantagem do uso da pesquisa bibliográfica, é possibilitar ao investigador uma visão mais ampla da gama de fenômenos, do que aquela que poderia ter ao pesquisar diretamente (GIL, 2007).

Utilizando como base referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos, artigos e base de dados, a revisão bibliográfica busca explicar e discutir um tema visando o enriquecimento da pesquisa (Cajueiro, 2014).

A fim de atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistemática exploratória, descritiva com pesquisa em livros, teses, dissertações, e internet, utilizando principalmente as plataformas do Google Acadêmico, Elsevier, revistas do setor florestal, seminários e simpósios, tomando por base o que já foi publicado em relação ao tema, de modo que se possa ter uma nova abordagem sobre o mesmo, chegando a conclusões que possam servir de embasamento para pesquisas futuras.

Os diversos tipos de tecnologia utilizadas para o monitoramento de incêndios florestais são analisados pelos pesquisadores que constam no Quadro 3. Os materiais consultados tinham como foco principal definir os conceitos relacionados aos incêndios florestais, às formas de detecção, observação e

monitoramento dos mesmos, com o objetivo de apresentar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais.

As palavras-chave adotadas foram: Incêndios Florestais, Monitoramento Remoto, Controle de Incêndios. Os trabalhos utilizados nesta pesquisa, são referentes aos últimos quarenta anos (1980-2021), tal espectro é interessante pois permite uma melhor visualização das melhorias e estudos que surgiram acerca desse tema no decorrer dos anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordados os métodos de monitoramento que são utilizados para a detecção e prevenção de incêndios florestais. Os métodos mais utilizados são as imagens de satélite (AVHRR e MODIS), redes de sensores (imagens de câmeras e wireless), sensores infravermelhos, LiDAR, radares, rede RSSF, entre outros.

Quadro 3. Autores utilizados e as tecnologias que suas pesquisas contemplaram. Fonte: os autores.

Autores	Sistema de monitoramento remoto
Razafimanilo et al. (1995) NASA (1999) Batista (2004) Nakau et al. (2006) Aslan (2010)	IMAGENS DE SATÉLITES
Gandia et al. (1994) Unewisse et al. (1995) Lorenz (1997) Alkhatib (2014)	CAMÉRAS e INFRAVERMELHOS
Eberhard (1983) Banta et al. (1992) Fromm et al. (2000) Utkin et al. (2003) Vélez (2009) Arrue et al. (2000)	LiDAR
Yu et al. (2005) Lloret et al. (2009) Correia (2017) Alkhatib (2014)	REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF)

Autores	Sistema de monitoramento remoto
Zhu et al. (2012) Molina-Pico et al. (2016)	
Ollero et al. (1998) Yuan et al. (2015) Yuan et al. (2016) Cruz et al. (2016)	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

Satélites em órbita terrestre e até dispositivos flutuantes no ar têm sido empregado para observação e detecção de incêndios florestais. Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais, a nível nacional e em escalas regionais, o uso de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo, quando comparado com os demais meios de detecção.

A detecção é feita através de imagens termais dos satélites que captam os pontos de calor, através do sensor AVHRR, que registra qualquer temperatura acima de 47° C (Batista, 2004). Devido a esta baixa temperatura há uma grande quantidade de alarmes falsos, além da desvantagem de o sistema não permitir uma detecção contínua. Outro satélite utilizado é o espectro radiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS), lançado em 1999 (Nakau et al., 2006; NASA, 1999).

Estes satélites podem fornecer imagens das regiões da Terra a cada dois dias e isso é muito tempo para a varredura de incêndio; além do mais a qualidade das imagens de satélite pode ser afetada pelas condições do clima (Aslan, 2010). De acordo com Razafimpanilo et al. (1995), a eficiência do monitoramento de incêndios por satélites depende de informações prévias do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural e fenologia da vegetação e condições climáticas.

Dois tipos diferentes de redes de sensores capazes de detectar incêndios estão disponíveis: vigilância por câmera e wireless rede de sensores. O desenvolvimento de sensores, câmeras digitais, processamento de imagens e computadores industriais resultaram no desenvolvimento de um sistema para reconhecimento óptico e automatização e alerta de incêndios florestais (Alkhatib, 2014).

Desde os anos 90, o uso de sensores de infravermelho vem sendo estudado e aplicado na detecção de incêndios, mas sua eficiência é bastante variável. Apresentam excelente eficiência na detecção, mas estão severamente limitados ao alcance, atuando em escala de poucos quilômetros (Gandia et al., 1994).

Unewisse et al. (1995) sugeriram o uso de rede de câmeras de infravermelho nas áreas monitoradas, como sistema de grande eficiência, mas de elevado custo de implantação e manutenção, sendo necessário uma câmera a cada quilometro quadrado. Outra tecnologia de sensor aplicada é o radiômetro de

infravermelho que provê a temperatura de determinado ponto, mas considerado eficiente apenas como caminho para confirmação de alarme de ocorrência do evento (Lorenz, 1997).

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*), tecnologia óptica de detecção remota que tem sido testada no setor florestal, tem sido visto como promissora. A tecnologia mede as propriedades da luz refletida e funciona estimando distâncias baseadas no tempo entre a emissão de um pulso de laser e detecção do sinal refletido. Funciona emitindo feixes ópticos sobre as florestas e recebendo dados de varreduras.

Testes preliminares utilizando combinação de radar Doppler banda X e LiDAR, detectaram e acompanharam coluna de fumaça produzida por dois incêndios florestais de grandes proporções (Banta et al., 1992). Eberhard (1983) acompanhou fumaça produzida pela queima de óleo com uso do LiDAR. Medições da densidade da fumaça de incêndios florestais na estratosfera foram realizadas por Fromm et al. (2000) e Utkin et al. (2003) estudaram viabilidades do uso do LiDAR na detecção de fumaça de incêndios florestais.

A detecção através do uso da telemetria a laser, que faz uma varredura sistemática ao longo do horizonte e monitora uma extensa área ao redor do detector, está em fase experimental, não sendo ainda utilizado operacionalmente (Vélez, 2009). O uso de avançadas tecnologias como sistemas computacionais que combinam imagens de infravermelho obtidas por satélites, redes neurais e lógica fuzzy, exemplificam esforços de se obter ferramenta auxiliar para minimizar falsos alarmes de focos de incêndios indicados unicamente pelo sensoriamento remoto via satélite (Arrue et al., 2000).

Yu et al. (2005) apresentam um sistema de detecção de incêndios florestais em tempo real usando redes de sensores neurais sem fio. Eles utilizaram um algoritmo de agrupamento como técnicas de roteamento para coletar a medição dos sensores espalhados, como umidade, temperatura, fumaça e velocidade do vento onde esses dados foram usados como entrada para a Classificação Nacional de Perigo de Incêndio dos Estados Unidos Sistema.

Uma nova tecnologia chamada rede de sensores sem fio (RSSF) tem recebido mais atenção e passou a ser aplicado na detecção de incêndios florestais. Os nós wireless integram na mesma placa de circuito impresso, os sensores, os dados processamento, e o transceptor sem fio e todos eles consomem energia das mesmas baterias de origem (Correia, 2017). A revolução da tecnologia RSSF nos últimos anos tornou possível aplicar esta tecnologia para detecção precoce de incêndios florestais (Alkhatib, 2014).

Zhu et al. (2012) criaram um sistema de monitoramento de incêndios florestais com base em redes de sensores sem fio e rede GPRS. Foram utilizados sistemas de cluster para fornecer monitoramento em tempo real para fumaça, temperatura, umidade e algum outro ambiente parâmetros mentais. Os dados coletados dos nós irão ser transmitido em modo *multibop* para o *nodec* central e em seguida, para o centro de monitoramento para produzir relatórios, gráficos e curvas para ajudar os bombeiros a tomar uma decisão adequada

Um método de detecção precoce de incêndio é proposto por Molina-Pico et al. (2016) que usa um RSSF para detecção precoce de floresta incêndios. Esta rede pode ser facilmente implantada em áreas especiais interesse ou risco. Os resultados mostram que a detecção precisa de incêndio foi alcançado, sendo muito raro o acionamento do alarme falso.

Lloret et al. (2009) sugeriram a implantação de uma rede *mesh* de sensores fornecidos com câmeras de protocolo de internet (IP) na Espanha. Os sensores detectam o incêndio no início e envie um sinal de alarme. O IP envia de volta uma mensagem para ligar a câmera mais próxima para fornecer imagens do incêndio e evitar alarmes falsos. Seu papel é baseado em testar o desempenho de quatro câmeras IP e seus consumo de energia. O problema com este sistema é que a transferência de imagens é pesada para redes de sensores sem fio em relação aos seus recursos limitados de poder, memória e buffer. As câmeras IP podem fornecer apenas uma linha de imagens visuais e não são eficientes no escuro, na neblina e na chuva. As câmeras IP necessitam de instalação, de cada uma delas, manualmente e na posição apropriada.

Um levantamento abrangente para o uso de veículos aéreos não tripulados para monitoramento de detecção e realização de atividades de combate a incêndios é fornecido em Yuan et al. (2015). Primeiro uma breve revisão do desenvolvimento e em seguida uma revisão das tecnologias relacionadas aos VANTs, desafios e suas soluções potenciais também são fornecidos. A pesquisa conduzida por Yuan et al. (2016) apresenta um método de monitoramento e detecção de incêndios florestais com sensores visuais em veículo aéreo não tripulado (VANTs). Cor, movimento e características do fogo são adotados para o projeto da floresta estudada. Essa estratégia de detecção de incêndio tem como objetivo melhorar o desempenho de detecção do fogo, enquanto reduz as taxas de alarmes falsos.

Cruz et al. (2016) descreveram um índice de incêndio que pode ser aplicado ao Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) para detectar fogo. Os autores conseguiram atingir uma precisão de detecção de mais de 96% com tempo de processamento de 4 min.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios, Ollero et al. (1998) apontam para a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

Apesar das utilizações citada, essas tecnologias possuem pontos positivos e negativos, os quais são expostos no Quadro 4.

Quadro 4. Vantagens e desvantagens do monitoramento remoto. Fonte: adaptado de Torres (2020).

Vantagens	Desvantagens
Apresentam tempos médios homogêneos na cobertura das imagens, permitindo comparações diretas	Elevados custos para a sua implementação e operacionalização;
Proporcionam cobertura frequente e repetitiva de uma área de interesse, além de cobrir grandes áreas florestais onde a presença humana, fixa ou móvel, é de difícil acesso,	A rapidez na detecção e na localização dos incêndios ainda não é a mais adequada para que se consiga uma primeira intervenção rápida;
Proporcionam aquisição de dados em diferentes escalas, resoluções e periodicidade;	A presença de nuvens limita a quantidade de informação válida numa imagem, uma desvantagem clara em relação à detecção de incêndios, que reside no fato das nuvens poderem ocultar o foco de incêndio ativo ou gerar falsas detecções.
Fornecem imagens que podem ser interpretadas para diferentes fins e aplicações;	
Possibilitam a detecção de incêndios ativos tanto durante o dia, pela atividade térmica ou pelo infravermelho médio, quanto à noite, pela luz emitida pelo incêndio.	Em virtude de fenômenos de reflexão, uma vez que tanto os bordos de nuvens, como outros elementos do mobiliário urbano ou das atividades humanas podem apresentar uma assinatura espectral similar à dos incêndios florestais no infravermelho médio.

Todos os sistemas apresentam as suas vantagens e muitos estudos com sucesso têm sido feitos e publicados, mas as desvantagens também existem, pelo que muitas vezes, para um sistema se tornar aplicável a todas as situações, seria necessário combinar mais do que uma tecnologia para se obter resultados positivos (Ribeiro, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. A rede de detecção de incêndios florestais deve ser uma ferramenta fácil para implementar com pouca ou nenhuma manutenção.

Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais, além da implementação de rede de sensores.

Desta forma, a partir do desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e

flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs), garantindo, assim, a rapidez necessária para a detecção dos princípios de incêndios florestais com maior precisão e com custos compatíveis.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios percebe-se a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkhatib AAA (2014). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3): 1-12.
- Arrue CB et al. (2000). An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 15(3): 64-73.
- Aslan Y (2010). A framework for the use of wireless sensor networks in the forest fire detection and monitoring. Department of Computer Engineering, The Institute of Engineering and Science Bilkent University (MS thesis). 145p.
- Batista AC (2004). Detecção de incêndios florestais por satélites. *Revista Floresta*, 34: 237–241.
- Banta RM et al. (1992). Smoke-column observations from two forest fire using doppler Lidar and doppler radar. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 1328-1349.
- BRASIL (1965). Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 117: 9529.
- BRASIL (1989). Decreto nº 97.635, de 10 de abril de 1989. Regula o artigo 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 213: 5518.
- Cajueiro, RLP (2014). Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos: guia prático do estudante. 3 ed. Petrópolis: Vozes. 112p.
- Castro CF et al. (2003). Combate a incêndios florestais. 2 ed. Sintra, Portugal: Escola Nacional de Bombeiros, 94p.
- Cochrane MA (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 42: 913-919.
- Correia TA (2017). RSSF para detecção de incêndios florestais em tempo real. Pontifícia Universidade Católica de Campinas (Dissertação), Campinas. 95p.
- Cruz H et al. (2016). Efficient forest fire detection index for application in unmanned aerial systems (UASs). *Sensors*, 16(6): 893.

- Eberhard WL (2003). Eye-safe tracking of oil fog plumes by UV Lidar. *Applied Optics*, 22: 2282-2285.
- Fromm M et al. (2000). Observations of boreal fire smoke in the stratosphere by POAM III, SAGE II and Lidar. *Geophysical Research Letters*, 27: 1407-1410.
- Gandia A et al. (1994). El Sistema BOSQUE, alta tecnologia em defensa del medio ambiente. *DYNA*, 6: 34-38.
- GFMC (2017). Global cooperation: regional South America wildland fire network. Disponível em: <<https://gfmcconline.org/globalnetworks/southamerica/SouthAmerica.html>>. Acesso em: 22/09/2021.
- Gil AC (2010). Métodos e técnicas de pesquisa social. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas. 220p.
- INFOQUEIMA (2021). Boletim mensal de monitoramento e risco de queimadas e incêndios florestais. Disponível: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima>>. Acesso em: 20/08/2021.
- Lemos AF et al. (2010). Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais. Brasília: Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio). 90p.
- Lima GS, Batista AC (1993). Efeitos do fogo no ecossistema. *Estudos de Biologia*: 31: 5-16.
- Lloret J et al. (2009). A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification. *Sensors*, 9(1): 8722-8747.
- Lorenz E et al. (1997). Design and analysis of a small bispectral infrared push broom scanner for hot spot recognition. *Infrared Spaceborne Remote Sensing V. Proceedings SPIE 3122*: 25-34.
- Molina-Pico A et al. (2016). Forest monitoring and wildland early fire detection by a hierarchical wireless sensor network. *Journal of Sensors*, 4: 1-8.
- NASA (1999). MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 25/08/2021.
- Nakau K et al. (2006). Forest fire detection based on MODIS Satellite imagery and comparison of NOAA satellite imagery with fire fighters' information. Disponível em: <<https://cutt.ly/YWpqcuO>>. Acesso em: 20/08/2021.
- Nogueira GS et al. (2002). Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. *Revista Árvore*, 26(3): 363-369.
- Ollero A et al. (1998). Integrated systems for early forest-fire detection. In: III International Conference on Forest Fire Research [and] 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, 1998, Coimbra, Portugal: Proceedings... Coimbra: Head in Luso.
- Ramos PCM (2004). Manual de operações de prevenção e combate aos incêndios florestais: comportamento do fogo. Brasília: IBAMA. 60p.

- Razafimanilo H et al. (1995). Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 54: 273-289.
- Ribeiro GA (2002). Formação e treinamento de brigada de incêndio florestal. Viçosa: CPT. 182p.
- Saraiva EA (2011). Detecção de incêndios florestais e queimadas com radar meteorológico. Universidade Federal do Paraná (Tese), Curitiba. 139p.
- Soares RV, Batista AC (2007). Incêndios florestais controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: [s.n.]. 250p.
- Schumacher MV, Dick G (2018). Incêndios Florestais. 3 ed. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Ciências Florestais. 153p.
- Torres FTP et al. (2020). Manual de prevenção e combate de incêndios florestais. Viçosa: Os Editores. 178p.
- Unewisse MH et al. (1995). Growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection. In: SPIE's 1995 - International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1995, San Diego: Proceedings Volume 2554, Growth and Characterization of Materials for Infrared Detectors II. San Diego: International Society for Optics and Photonics.
- Utkin AB et al. (2003) Feasibility of forest fire smoke detection using lidar. *International Journal of Wildland Fire*, 12: 159-166.
- Vélez R. (2009). La defensa contra incendios forestales: fundamentos e experiencias. 2 ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 800p.
- Venturi NL, Antunes AFB (2007). Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. *Revista Floresta*, 37(2): 159-173.
- Vosgerau JL et al. (2006). Avaliação dos registros de incêndios florestais do Estado do Paraná no período de 1991 a 2001. *Revista Floresta*, 36(1): 23–32.
- Whitmore TC (1998). An introduction to tropical rain forests. 2 ed. Oxford: Oxford University Press. 296p.
- Yuan C et al. (2015). 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*, 45(7): 783-792.
- Yuan C et al. (2016). Unmanned aerial vehicle based forest fire monitoring and detection using image processing technique. In: 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC), 2016, Nanjing, China: Proceedings... Nanjing: IEEE Robotics and Automation Society.
- Yu L et al. (2005). Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. In: Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 11, 2005, Shanghai, China, Proceedings... Shanghai: IEEE Robotics and Automation Society.

Zhu Y et al. (2012). Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network. In: World Congress on Intelligent Control and Automation, 10, 2012, Beijing, China: IEEE Robotics and Automation Society