Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Monitorización mediante cámaras y automatización en la prevención de incendios en la caña de azúcar: fundamentos para el diseño de procedimientos operativos y sus repercusiones.

Monitoreo por cámara y automatización en la prevención de incendios en campos de caña de azúcar: fundamentos para el diseño de procedimientos operativos y sus impactos.

Vigilancia mediante cámaras y automatización en la prevención de incendios en cuevas: fundamentos para el diseño de procedimientos operativos y sus impactos.

Rafael Dinardi Gonçalves
Ingeniero Agrónomo por la Universidad Estadual de São Paulo (UNESP), Facultad de Ciencias Agrícolas y Veterinarias, campus Jaboticabal. Especialista en Manejo de Suelos por la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidad de São Paulo (ESALQ/USP). MBA en Gestión Empresarial por la Fundación Getulio Vargas (FGV).

RESUMEN

Con la eliminación gradual de la quema de caña de azúcar antes de la cosecha en el estado de São Paulo, el fuego ha dejado de ser una práctica de gestión para convertirse en un evento imprevisto, cuya contención depende de la detección temprana y la respuesta rápida. Los incendios registrados en agosto de 2024, que llevaron al estado al mayor número mensual de focos de incendio en la serie histórica del INPE, reforzaron el interés en los sistemas de videovigilancia y la automatización de alarmas. Este artículo, desarrollado a través de una revisión narrativa de la literatura científica, técnica y normativa, analiza los fundamentos que deben guiar el diseño y el uso de los procedimientos operativos apoyados por estas tecnologías, así como sus impactos. El análisis reúne contribuciones de la teledetección, la visión por computadora, la ergonomía cognitiva, la ingeniería de seguridad y la gestión de emergencias. Los resultados indican que el rendimiento del sistema depende menos de las especificaciones del equipo y más de la definición clara de los niveles de automatización, la calibración de la confianza del operador, el manejo de falsas alarmas, la estandarización de los pasos entre la alarma y la extinción del incendio, y la integración con la gestión de riesgos y las políticas públicas para la gestión integral de incendios.

Se puede concluir que los procedimientos bien estructurados mejoran los beneficios ambientales, sanitarios, económicos y de gobernanza de la tecnología, siempre que vayan acompañados de indicadores y mecanismos de aprendizaje continuo.

Palabras clave: Caña de azúcar; Incendios agrícolas; Detección temprana; Automatización; Procedimientos operativos.

ABSTRACTO

Con la eliminación gradual de la quema de caña de azúcar antes de la cosecha en el estado de São Paulo, Brasil, el fuego dejó de ser una práctica de gestión y comenzó a ocurrir como un evento no planificado, cuya contención depende de la detección temprana y la respuesta rápida. Los incendios registrados en agosto de 2024, que llevaron al estado al mayor número mensual de focos de incendio en la serie histórica del INPE, incrementaron el interés en los sistemas de monitoreo basados en cámaras y la automatización de alarmas. Este artículo, basado en una revisión narrativa de la literatura científica, técnica y regulatoria, analiza los fundamentos que deben guiar el diseño y el uso de procedimientos operativos apoyados por estas tecnologías, así como sus impactos. El análisis se basa en contribuciones de la teledetección, la visión por computadora, la ergonomía cognitiva, la ingeniería de seguridad y la gestión de emergencias. Los resultados indican que el desempeño del sistema depende menos de las especificaciones del equipo y más de una definición clara de los niveles de automatización, la calibración de la confianza del operador, el manejo de falsas alarmas, la estandarización de los pasos entre la alarma y la extinción, y la integración con la gestión de riesgos y las políticas públicas sobre gestión integrada de incendios. Se concluye que los procedimientos bien estructurados mejoran los beneficios ambientales, sanitarios, económicos y de gobernanza de la tecnología, siempre que estén respaldados por indicadores y mecanismos de aprendizaje permanentes.

Palabras clave: Caña de azúcar; Incendios agrícolas; Detección temprana; Automatización; Procedimientos operativos.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar tiene una presencia significativa en la agricultura de São Paulo y, a principios de la década de 2010, ocupaba...
aproximadamente 5 millones de hectáreas en el estado de São Paulo, equivalente al 21,3% de su territorio (Aguiar)
et al., 2011). Durante décadas, el fuego fue parte del propio sistema de producción, empleado para
eliminar la paja antes del corte manual y aumentar la productividad de los cortadores (Saiani; Perosa,
2016). La Ley Estatal N° 11.241/2002 estableció la eliminación gradual de esta práctica y el Protocolo
El acuerdo agroambiental firmado en 2007 entre el gobierno del estado de São Paulo y el sector productivo adelantó los plazos,
lo que aceleró la mecanización de la cosecha (São Paulo, 2002; Aguiar et al., 2011). Con el reemplazo
Con la quema planificada para la cosecha de caña de azúcar cruda, el fuego dejó de ser una herramienta de gestión y
Comenzó a ocurrir como un evento no planificado y no autorizado. Este cambio alteró la naturaleza de
El problema, que dejó de ser el control de una operación programada y se convirtió en la detección y...
Responder a eventos impredecibles.

Los acontecimientos de agosto de 2024 pusieron de manifiesto la magnitud de este desafío. Datos del programa
Datos del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales indican que el estado de São Paulo registró incendios forestales.
Ese mes se registró el mayor número de puntos críticos en su registro histórico, que comenzó en 1998, y
Los estudios realizados por MapBiomas indicaron que las zonas de cultivo de caña de azúcar se encontraban entre las más afectadas.
afectados (INPE, 2024a; MapBiomas, 2024). En este contexto, sistemas de monitoreo por
Las cámaras, los centros de control y la automatización de alarmas han llegado a considerarse soluciones.
Tecnologías prometedoras. La literatura sobre factores humanos y seguridad de sistemas muestra que
Sin embargo, la tecnología por sí sola no garantiza el rendimiento, ya que sus efectos dependen de la forma en que se utilice.
cómo están diseñados los procedimientos, la forma en que los operadores interactúan con la automatización.
y la integración con la estructura de respuesta (Bainbridge, 1983; Parasuraman; Riley, 1997).

Dado esto, el presente artículo pretende analizar, a la luz de la literatura científica, técnica y regulatoria,
los fundamentos que deben guiar el diseño y el uso de los procedimientos operativos respaldados por
Monitoreo por cámara y automatización para la prevención de incendios y extinción inicial de incendios en
plantaciones de caña de azúcar, así como los impactos previstos de estos procedimientos en las dimensiones ambiental, social y ecológica.
economía y gobernanza. El objetivo es ofrecer un marco teórico que contribuya a...
Las inversiones en tecnología deben ir acompañadas de procesos coherentes y medibles y
sostenible a lo largo del tiempo, evitando que la adquisición de equipos se confunda con la
solución al problema.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

2. METODOLOGÍA

Se trata de un estudio de investigación cualitativo y exploratorio, realizado mediante una revisión.
La narrativa de la literatura. La elección de este enfoque se justifica por la naturaleza interdisciplinaria del tema.
que incluye teledetección, visión por computadora, ergonomía cognitiva, ingeniería de
seguridad, gestión de emergencias, salud ambiental y políticas públicas. A diferencia de la revisión.
sistemático, cuyo objetivo es responder a una pregunta específica basándose en un protocolo rígido de
En la selección y extracción de datos, la revisión narrativa permite articular marcos de distintos campos y
construir una síntesis teórica destinada a comprender un problema aplicado, que corresponde a
propósito de este estudio.
Las búsquedas se realizaron en motores de búsqueda académicos y en portales de revistas y
editoriales como SciELO, PubMed Central, MDPI, SpringerLink y CSIRO Publishing, además de
Repositorios institucionales de universidades brasileñas, con especial atención a las publicaciones periódicas.
especializado en incendios de vegetación, como Fire Safety Journal, International Journal of
Informes actuales sobre incendios forestales y silvicultura. Los términos de búsqueda combinados, en portugués e inglés,
Términos relacionados con la detección de incendios, cámaras, visión artificial, automatización y confianza.
en sistemas automatizados, falsas alarmas, ataque inicial, gestión de riesgos, caña de azúcar y quema
paja. También se analizaron documentos técnicos y reglamentarios, incluida la legislación federal.
y Paulista sobre el uso del fuego y la gestión integrada, la doctrina del sistema de mando de incidentes.
En Estados Unidos se han adoptado la norma ABNT NBR ISO 31000 y los boletines del Programa de Incendios Forestales.
del INPE.
La selección priorizó los estudios revisados por pares, los documentos oficiales y las obras de referencia.
ampliamente citados en sus campos, sin restricciones de tiempo estrictas, ya que parte de
Los fundamentos teóricos sobre la automatización y el error humano se formularon en las décadas de 1980 y 1990.
sigue vigente. Los datos cuantitativos presentados se extrajeron de fuentes públicas, como la
INPE, MapBiomas y los informes del Protocolo Agroambiental se utilizan únicamente para
Para contextualizar el problema, el análisis se organizó en seis ejes temáticos que estructuran las secciones.
Las siguientes secciones analizan el contexto de los incendios en los campos de caña de azúcar y las repercusiones de los procedimientos.
operativo. Dado que se trata de una revisión, el estudio no prueba empíricamente hipótesis y sus conclusiones
Deben entenderse como proposiciones teóricas que deben verificarse mediante investigación de campo.

3. INCENDIOS EN CAMPOS DE CAÑA DE AZÚCAR DESPUÉS DE FINALIZAR LAS QUEMAS PREVIAS A LA COSECHA

Durante mucho tiempo, quemar la paja antes de la cosecha manual fue una práctica común en el cultivo de la caña de azúcar.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Brasileño, porque facilita la reducción de costos y aumenta los ingresos de los trabajadores (Saiani; Perosa, 2016).

El Decreto Federal N° 2.661/1998 reguló el uso del fuego en las prácticas agrícolas, ganaderas y forestales.
mediante quemas controladas, y en el estado de São Paulo, la Ley No. 11.241/2002 estableció un cronograma.
de eliminación gradual, con diferentes plazos para áreas mecanizables y no mecanizables (Brasil,
1998; São Paulo, 2002). El Protocolo Agroambiental del Sector Azucarero-Energético, firmado en 2007,
Esto adelantó los plazos para las unidades firmantes y permitió la monitorización mediante imágenes satelitales.
Un estudio realizado por investigadores del INPE mostró un aumento significativo en la cosecha sin quema en los años
a continuación, especialmente en áreas de expansión de cultivos (Aguiar et al., 2011). En 2006, aproximadamente el 34,7%
Según el mapeo con imágenes de [fuente], no se produjo ningún incendio en el área mecanizable cosechada en el estado.
satélite Landsat (Aguiar et al., 2009) y, según los informes del Protocolo, cosecha sin
La quema entre los firmantes alcanzó el 72,6% en la cosecha de 2012/2013, el 83,7% en la cosecha de 2013/2014 y el 91,3%.
en la cosecha 2015/2016 (São Paulo, 2014, 2016).

La eliminación de las quemas abordó problemas ambientales y de salud ampliamente documentados.
Cançado et al. (2006), al analizar casi un año de datos en Piracicaba, encontraron que los aumentos
Las concentraciones de materia particulada asociadas con la quema de caña de azúcar estaban relacionadas con
Aumento de las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias entre niños y ancianos, con efectos más intensos.
durante la temporada de quemas. Ribeiro (2008), en una revisión de estudios publicados entre 1996 y 2006, concluyó
Las personas mayores, los niños y los asmáticos se encuentran entre los grupos más afectados, lo que genera una demanda adicional.
en lo que respecta a los servicios de salud. Arbex et al. (2004) ya habían reunido evidencia sobre los efectos de
quema de biomasa en el sistema respiratorio, y Saiani y Perosa (2016) encontraron, en un análisis de
Datos de panel de municipios en São Paulo, relación entre el avance de la mecanización y la reducción de
hospitalizaciones respiratorias, especialmente entre los ancianos. Estos resultados indican que el fuego en
En los campos de caña de azúcar, incluso cuando es accidental, representa no solo una pérdida de productividad, sino también una
problema de salud pública.

Con el fin de las quemas controladas, la naturaleza de los incendios en los campos de caña de azúcar cambia. Antes, había una operación.
sujeto a autorización y planificación previas (Brasil, 1998), mientras que ahora la ocurrencia es, por
La cosecha de la caña de azúcar cruda es un proceso no programado que puede comenzar fuera del control del productor.
Mantiene una capa de paja sobre el suelo, lo que aporta beneficios agronómicos para la conservación del suelo.
El ciclo de nutrientes y la retención de humedad se discuten ampliamente en la literatura (Carvalho
et al., 2017). Sin embargo, desde el punto de vista del riesgo de incendio, esta capa constituye material
Combustible continuo, cuya inflamabilidad depende del contenido de humedad, la carga y la disposición,
variables que los modelos de propagación clásicos, como el propuesto por Rothermel (1972),
Identifican los factores que determinan la velocidad a la que avanzan las llamas. Por lo tanto, la gestión del incendio se convierte en...
lo cual requiere vigilancia durante toda la estación seca, no solo durante el período de cosecha.

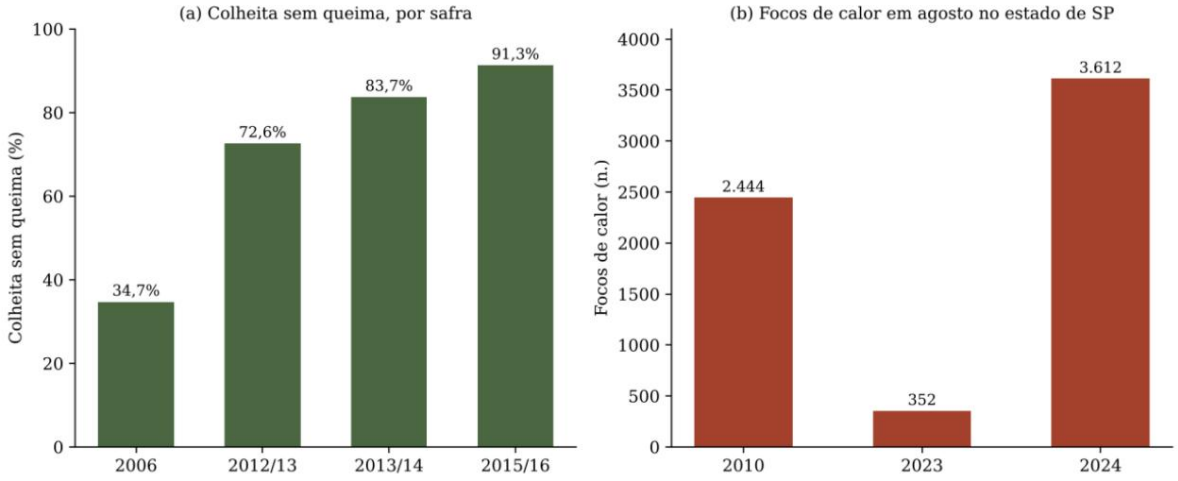
Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Los eventos de 2024 ilustran la magnitud que puede alcanzar este riesgo. Según la base de datos
Según el Programa de Incendios Forestales, el estado de São Paulo registró 3.612 focos de incendio en agosto de ese año.
Según el satélite de referencia, este es el valor mensual más alto desde el inicio de la serie histórica, en comparación con 352 puntos críticos en...
mismo mes de 2023 y 2.444 en agosto de 2010, hasta entonces el agosto más crítico de la serie (INPE,
2024a). El Monitor de Incendios de MapBiomas estimó que aproximadamente 430.000 hectáreas se quemaron en
estado entre enero y agosto de 2024, con el 86% del área quemada concentrada en agosto y
predominio de áreas agrícolas, especialmente plantaciones de caña de azúcar, que sumaban aproximadamente 236
mil hectáreas afectadas durante el período (MapBiomas, 2024). La Figura 1 resume esta trayectoria, por
para contrastar el progreso de la cosecha sin quema con el comportamiento reciente de los puntos calientes en el estado,
y sugiere que la reducción prevista de incendios no fue acompañada de una reducción proporcional del riesgo.

Figura 1 – Cosecha de caña de azúcar sin quema en el estado de São Paulo (a) y puntos de calor registrados
en agosto en el estado por el satélite de referencia (b)



Fuente: Elaborado por el autor con base en Aguiar et al. (2009), São Paulo (2014, 2016) e INPE (2024a). Nota: el valor de 2006 se refiere al área mecanizable cosechada en el estado, y los demás a las unidades signatarias del Protocolo Agroambiental.

La comparación sugiere una lección importante para la gestión. La reducción de las quemas planificadas no
Eliminó el riesgo de incendios en los campos de caña de azúcar, pero lo trasladó a otra categoría, en la que
La combinación de condiciones climáticas extremas, acumulación de material combustible y fuentes de ignición dispersas puede
producir eventos simultáneos de gran magnitud. En tales situaciones, la capacidad de detectar
Iniciar un incendio rápidamente y activar la respuesta adecuada se convierte en uno de los factores que se pueden controlar.
Directamente del productor, ya que el tiempo de respuesta y el tamaño del fuego al inicio del combate influyen en la probabilidad
de éxito del ataque inicial (Arienti; Cumming; Boutin, 2006). Es en este
Aquí es donde la videovigilancia y la automatización cobran relevancia, siempre y cuando vayan acompañadas de...
de procedimientos capaces de transformar la información en acción efectiva, que constituye el objeto de

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

secciones siguientes.

4 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LA DETECCIÓN TEMPRANA

La detección de incendios en áreas abiertas se puede realizar mediante diferentes métodos, cada uno con...
alcance, resolución y limitaciones inherentes. Alkhatib (2014), en una revisión de las técnicas disponibles, grupos
soluciones en observación humana, sistemas basados en satélites, cámaras ópticas y redes de
sensores inalámbricos, y destaca que ninguno de ellos es superior en todos los criterios, lo que hace que sea común
combinación de métodos. Barmpoutis et al. (2020) organizan los sistemas de detección óptica en
terrestres, aéreos y orbitales, y muestran que la elección depende del equilibrio entre el área cubierta,
Frecuencia de observación, tamaño mínimo detectable del fuego y costo. Para el manejo de campos de caña de azúcar,
Esta distinción es relevante porque cada capa de detección responde a una pregunta diferente sobre
El fuego, ya sea la existencia de un brote de fuego en una región específica, su ubicación precisa o su evolución.
con el tiempo.

Los sistemas orbitales ofrecen una cobertura amplia y estandarizada. El algoritmo contextual desarrollado
El sensor MODIS identifica píxeles con anomalías térmicas en relación con su entorno y se ha convertido en...
Referencia para el monitoreo global de incendios activos (Giglio et al., 2003). El producto de 375 metros
El sensor VIIRS ha ampliado la capacidad de detectar incendios de menor magnitud en comparación con los productos anteriores.
resolución más gruesa (Schroeder et al., 2014). En Brasil, el Programa de Incendios Forestales del INPE
Procesa aproximadamente doscientas imágenes recibidas diariamente de once satélites diferentes y adopta un
Satélite de referencia para garantizar comparaciones temporales consistentes (INPE, 2024b). La limitación
La respuesta operativa de estas plataformas depende de la frecuencia de paso y de la resolución espacial.
y en la interferencia de las nubes y el humo, lo que hace que los datos orbitales sean más útiles para la vigilancia regional.
y el análisis histórico de lo que se necesita para el despliegue inmediato de equipos en una parcela específica.

Las cámaras instaladas en las torres llenan parte de este vacío al permitir la observación continua de
un área definida. Barmpoutis et al. (2020) describen sistemas terrestres compuestos por cámaras.
cámaras fijas, cámaras con control de rotación y zoom, o cámaras panorámicas, equipadas con
sensores en el espectro visible, en el infrarrojo o ambos, y resaltan que el posicionamiento
Debe garantizar una visibilidad adecuada del terreno. Los algoritmos de detección de vídeo combinan
Características de color, movimiento, textura y variación temporal de las llamas y el humo (Çetin et al.,
(2013). En los incendios de vegetación, el humo tiende a hacerse visible antes que las llamas, por eso
cuya detección adquiere prominencia en aplicaciones de vigilancia (Çetin et al., 2013). En los campos de caña de azúcar, la
La legislación del estado de São Paulo considera que las áreas con una pendiente de hasta el 12% son aptas para la mecanización (São Paulo, 2002).
condiciones topográficas que tienden a favorecer la visión de largo alcance, aunque la extensión de los cultivos

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Se requieren redes con múltiples torres para una cobertura continua.

El avance de las redes neuronales convolucionales ha aportado mejoras en el rendimiento de los sistemas de detección.
en video. Muhammad et al. (2018) propusieron una arquitectura de red neuronal convolucional de
Costo computacional reducido para detectar incendios en videos de cámaras de vigilancia, y reportaron, en
Bases de datos de referencia, rendimiento superior en comparación con los métodos de última generación. Barmpoutis et
Sin embargo, otros autores (2020) señalan que las falsas alarmas siguen estando entre las limitaciones de los sistemas.
óptica terrestre, lo que llevó a varios investigadores a emplear cámaras infrarrojas para
reducirlos. En el entorno agrícola, es plausible que el polvo levantado por las máquinas, el humo de
Las calderas y la propia actividad de cosecha producen patrones visuales similares a los de un fuego.
Esta hipótesis inicial refuerza la necesidad de calibrar los sistemas a las condiciones locales y de predecir...
Pasos de confirmación en los procedimientos operativos.

La evidencia de campo refuerza la necesidad de precaución con respecto al desempeño esperado de estos
tecnologías. Matthews et al. (2012) evaluaron dos sistemas de detección basados en imágenes en
Condiciones de funcionamiento en el sureste de Australia, en zonas forestales y de pastizales. Los sistemas
Detectaron y localizaron los incendios y se desempeñaron bien en incendios de mayor magnitud, pero
Los resultados fueron deficientes para incendios pequeños ubicados a distancias moderadas, entre 10 y 20 metros.
kilómetros. En un subconjunto de sucesos comparado con el rendimiento de un observador.
Las pruebas en humanos mostraron una mayor tasa de detección y un menor tiempo de comunicación, lo que llevó a los autores a concluir...
que la detección de imágenes puede servir como un complemento útil a los métodos existentes. Para la
En los campos de caña de azúcar, la lección es que el rendimiento real depende del tamaño del foco, la distancia y las condiciones.
condiciones atmosféricas e integración con otras fuentes de información, y no solo con especificaciones técnicas.
del equipo.

5. La automatización y el papel del operador humano

La introducción de cámaras inteligentes en un centro de operaciones no elimina la necesidad de un operador humano.
pero redefine su papel. Parasuraman, Sheridan y Wickens (2000) propusieron un modelo en el que el
La automatización puede operar en cuatro funciones: adquisición de información, análisis de información y...
selección de decisiones e implementación de acciones, cada una con distintos niveles de autonomía.
Aplicado al monitoreo de campos de caña de azúcar, el modelo ayuda a separar lo que se espera de la tecnología en
cada paso. La cámara y el algoritmo pueden adquirir y analizar imágenes con un alto grado de automatización.
Si bien la decisión de movilizar brigadas, camiones cisterna o apoyo externo puede quedar en manos de la
Operador o liderazgo de campo. Definir explícitamente estos niveles es el primer paso hacia
El diseño de procedimientos coherentes evita lagunas en las responsabilidades y duplicidades.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Retrasan la respuesta.

Bainbridge (1983) describió las llamadas ironías de la automatización al observar que cuanto más una
El sistema está automatizado, pero el operador es responsable de las tareas difíciles, como por ejemplo:
Para monitorear eventos raros durante largos períodos y tomar el control en situaciones anormales. El autor
Señaló que la vigilancia prolongada de sistemas que rara vez experimentan incidentes es una tarea compleja.
para las cuales los humanos tienen un rendimiento limitado y la pérdida de práctica reduce la capacidad de
La intervención se produce cuando resulta necesaria. Esto se lleva a cabo en un centro de control que supervisa decenas de cámaras.
Esta paradoja surge durante los meses de la estación seca, cuando la mayor parte del tiempo transcurre sin acontecimientos significativos.
Esto se manifiesta de forma concreta. Por lo tanto, los procedimientos deben prever la rotación de puestos de trabajo, los descansos,
ejercicios simulados y mecanismos de mantenimiento de la atención, y no solo instrucciones sobre qué
Haz esto cuando suene la alarma.

Parasuraman y Riley (1997) distinguieron cuatro formas de relación con la automatización, que son el uso
uso adecuado, mal uso, caracterizado por exceso de confianza, y desuso, que ocurre cuando el operador
Ignorar o apagar el sistema, y abusar de él, cuando se implementa la automatización sin considerar sus...
consecuencias para el desempeño humano. Lee y See (2004) argumentan que el objetivo no es
Maximice la confianza en la automatización, pero ajústela para que se adapte a la capacidad real.
del sistema en cada contexto. En la vigilancia de incendios, el exceso de confianza lleva al operador
dejar de inspeccionar visualmente las áreas donde el algoritmo no emitió una alerta, mientras que el
La desconfianza lleva a desestimar alarmas genuinas. Ambas desviaciones tienen un costo, y la calibración...
Depende de la transparencia en la información sobre las tasas de éxito y fracaso del sistema en los diferentes sistemas.
condiciones de funcionamiento.

El tema de las falsas alarmas merece especial atención. Breznitz (1984) analizó el fenómeno.
conocido como el efecto de falsa alarma, en el que las alertas repetidamente infundadas reducen la
La credibilidad de las siguientes advertencias. Dixon, Wickens y McCarley (2007) demostraron
Las investigaciones experimentales han demostrado que la automatización propensa a las falsas alarmas repercute negativamente en el rendimiento general.
Más que una automatización propensa a omisiones, afectaba la disposición del operador a seguir las reglas.
alertas sobre su confianza en el sistema cuando este permanecía en silencio. Para centros de control
Monitoreo agrícola, donde el polvo, el humo industrial y las actividades de gestión pueden generar
estímulos similares al fuego, esta evidencia implica que la sensibilidad del algoritmo no puede ser
ajustado únicamente con el propósito de no perder el enfoque. El umbral de alarma debe tener en cuenta el
Debe tenerse en cuenta el coste de cada tipo de error, y los procedimientos deben incluir un paso rápido y estandarizado para...
verificación.

Endsley (1995) definió la conciencia situacional en tres niveles, que corresponden a la percepción de
elementos del entorno, para comprender su significado y proyectar su estado futuro. Uno

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

La alarma de la cámara responde, como máximo, al primer nivel. Para que el operador entienda lo que está sucediendo...
A medida que el fuego avanza y se proyecta su evolución, necesita información adicional, como la dirección.
y la intensidad del viento, la humedad relativa del aire, la etapa de la caña de azúcar y el estado de la paja, la proximidad
áreas sensibles y ubicación de los equipos disponibles. La integración de estas capas en una sola
La interfaz, con mapas georreferenciados e indicadores meteorológicos, es lo que diferencia a un centro de control.
capaz de respaldar decisiones desde una sala de vídeo sencilla. El diseño del procedimiento debe comenzar desde
decisiones que el operador debe tomar, y solo entonces definir qué datos deben presentarse y en qué contexto.
¿Qué formato?

6. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DESDE LA ALARMA HASTA LA RESPUESTA

La detección eficaz solo se traduce en reducción de daños cuando va seguida de una respuesta rápida y
apropiado. La literatura sobre incendios de vegetación trata esta etapa como un ataque inicial, y Arienti,
Cumming y Boutin (2006) diferencian entre la falta de respuesta, cuando el combate no comienza antes
un límite de tiempo o tamaño de incendio determinado, o un fallo de contención, cuando el equipo llega
Llegaron al lugar pero no pudieron controlar el fuego. Las autoridades identificaron que el combustible...
Las condiciones climáticas, la presencia de carreteras y las variables de gestión influyen en la probabilidad de
éxito. Esta distinción es útil para los campos de caña de azúcar porque muestra que reducir el tiempo de detección es
necesario, pero insuficiente, si el tiempo de viaje de los equipos, la disponibilidad de agua y el
La accesibilidad de las parcelas no se aborda en el mismo procedimiento.
Plucinski (2019) muestra que la efectividad de la supresión puede evaluarse en diferentes escalas, desde
las llamas y la línea de fuego, hasta el incidente completo y el paisaje, y que cada escala requiere indicadores.
propia. Esta perspectiva ayuda a estructurar el procedimiento en pasos medibles. Se propone, en este
El estudio debe incluir la detección de la señal, la verificación por parte del operador y la clasificación de la señal.
El evento, el despliegue de recursos, la llegada del primer equipo, el inicio del combate, la contención.
y las consecuencias. Cada transición puede registrarse con la hora y la persona responsable, lo que permite su identificación.
donde se pierde el tiempo y donde fallan las decisiones. Sin este registro, la organización solo sabe si el
El fuego estaba controlado o no, pero él no entiende por qué, y se pierde la principal fuente de aprendizaje.
para las siguientes cosechas.
La estandarización de la respuesta se menciona en el Sistema de Comando de Incidentes, incorporado
al Sistema Nacional de Gestión de Incidentes de EE. UU. El documento establece principios tales como:
terminología común, organización modular, cadena de mando definida, ámbito de control
mando manejable y unificado cuando múltiples instituciones trabajan juntas (FEMA, 2017).
Aunque diseñado para emergencias a gran escala, este marco ofrece una lógica aplicable.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

a las operaciones agrícolas, especialmente cuando un incendio cruza los límites de la propiedad y se convierte en
Involucre a los vecinos, al departamento de bomberos, a la defensa civil y a las empresas concesionarias de carreteras. Procedimientos
Los procedimientos internos que ya cuentan con funciones claras, un lenguaje estandarizado y criterios de escalamiento facilitan este proceso.
La integración con los organismos públicos impide que la coordinación sea improvisada, precisamente en el contexto de...
el momento más crítico del evento.

Un aspecto central del diseño es la definición de los criterios de clasificación y escala. Martell
(2015) analiza la gestión de incendios desde la perspectiva de la cadena de suministro y revisa los sistemas de apoyo.
Toma de decisiones basada en la investigación operativa centrada en la planificación y la asignación de recursos.
supresión. En términos prácticos, se propone que el procedimiento indique, para cada combinación de riesgo
Teniendo en cuenta los factores meteorológicos, la ubicación inicial y el tamaño del incendio, ¿qué recursos deben activarse y en qué plazo?
Hollnagel (2014) advierte, sin embargo, que existe una diferencia entre el trabajo tal como lo imagina el autor.
los diseñadores y el trabajo tal como se realiza en la práctica, así como la variabilidad en el desempeño de las personas.
También es una fuente de adaptación exitosa. Por lo tanto, los criterios deben ser lo suficientemente claros para
para orientar la toma de decisiones rápidas, pero sin ser tan rígido como para impedir ajustes ante situaciones imprevistas.
planificado.

Los procedimientos operativos también necesitan mecanismos de revisión continua. Leveson
(2011) propone entender la seguridad como un problema de control, en el que los accidentes
resultan de restricciones inadecuadas o no aplicadas al comportamiento del sistema, y no solo de
fallas de componentes. Desde esta perspectiva, cada incidente de incendio, incluidas las falsas alarmas y...
Los incidentes que estuvieron a punto de convertirse en un accidente revelan algo sobre la idoneidad de las restricciones y los mecanismos de retroalimentación existentes.
El análisis sistemático de estos sucesos, combinado con simulaciones periódicas realizadas antes del inicio de la
Durante la estación seca, permite actualizar las rutas de acceso, los puntos de recogida de agua, las listas de contactos y...
Asignación de responsabilidades. Un procedimiento que no se practica tiende a desvincularse de...
realidad operativa y pérdida de credibilidad ante los equipos que deberían implementarla.

7. Integración con la gestión y prevención de riesgos.

La detección y la respuesta son solo una parte de una estrategia más amplia de gestión del riesgo de incendios.
La norma ABNT NBR ISO 31000 describe un proceso que implica establecer el contexto,
La identificación, el análisis, la evaluación y el tratamiento de los riesgos, acompañados de un seguimiento.
Análisis crítico, comunicación y consulta continua (ABNT, 2018). Aplicado a los campos de caña de azúcar, este
La estructura permite mapear las fuentes de ignición, como carreteras, vías férreas, líneas de transmisión y áreas.
operaciones urbanas y mecanizadas, y compararlas con la vulnerabilidad de las parcelas y la importancia
de los activos expuestos. El resultado guía tanto la ubicación de las cámaras como las mediciones.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Medidas preventivas, como la construcción y el mantenimiento de cortafuegos y vías de acceso, y la restricción de actividades.
de mayor riesgo en días críticos.

El riesgo de incendio varía diariamente dependiendo de las condiciones climáticas, y esto
El comportamiento puede incorporarse a los procedimientos mediante índices de riesgo. El sistema
El índice canadiense de riesgo de incendios meteorológicos, descrito por Van Wagner (1987), utiliza
La temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la precipitación se utilizan para estimar el contenido de humedad
del combustible y el comportamiento potencial del fuego. Dichos índices, adaptados a las condiciones locales,
Pueden definir niveles de preparación que alteran la intensidad del monitoreo, la disponibilidad de
equipos y la restricción de operaciones. De esta forma, el procedimiento deja de ser estático y se convierte en...
Responder al riesgo del momento, concentrando los recursos cuando la probabilidad de ignición y propagación es máxima.
Es más grande, sin mantener las operaciones en alerta máxima durante toda la temporada.
Reason (1997) demostró que los accidentes organizacionales rara vez resultan de una sola falla y
Estos generalmente resultan de la alineación de debilidades en varias barreras de defensa, muchas de las cuales
latente y originado por decisiones gerenciales distantes del evento. En el contexto de los incendios en
campos de caña de azúcar, cámaras, cortafuegos, brigadas, camiones cisterna y protocolos de comunicación conforman
capas sucesivas de defensa, y la efectividad del conjunto depende de que ninguna de ellas falle...
descuidado debido a la confianza depositada en otros. Rasmussen (1997) agrega que, bajo
Bajo la presión de la eficiencia y la reducción de la carga de trabajo, las organizaciones tienden a migrar gradualmente hacia
los límites del rendimiento seguro. A la luz de este modelo, la introducción de
Paradójicamente, si se utilizara la tecnología de monitorización, esta podría impulsar dicha migración.
como justificación para reducir el mantenimiento de los cortafuegos o el número de brigadas.
El entorno regulatorio también refuerza la necesidad de integración. Ley Federal N° 14.944/2024
estableció la Política Nacional Integrada de Gestión de Incendios, con instrumentos tales como planes para
Gestión integrada de incendios, programas de brigadas de bomberos y el Sistema Nacional de Información sobre Incendios.
El fuego, y estableció como principio la responsabilidad compartida de las entidades federativas en coordinación.
con la sociedad civil y los sectores productivos (Brasil, 2024). En el estado de São Paulo, Ley No.
La Ley 17.460/2021 ya había establecido la política estatal sobre el tema (São Paulo, 2021). Al definir la
La gestión integrada de incendios como modelo de planificación y gestión; este marco transforma la gestión...
de una lógica puramente reactiva de prevención de incendios a una lógica de planificación, en la que la prevención,
La preparación, la respuesta y la recuperación se gestionan de forma coordinada. Procedimientos empresariales
Quienes se alinean con este modelo pueden facilitar la cooperación con los organismos públicos, de conformidad con
la directriz de gestión participativa y compartida prevista en la ley, que incluye al sector privado (Brasil,
2024).

La prevención en los campos de caña de azúcar también tiene una dimensión territorial que va más allá de los límites de cada área individual.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
IRCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

propiedad. Entre el 22 y el 24 de agosto de 2024, el estado registró 2.621 puntos críticos, distribuidos
por diferentes regiones (INPE, 2024a), una situación en la que es improbable una estructura individual.
podría responder a todos los sucesos al mismo tiempo. El intercambio de imágenes y
Las alertas entre ingenios azucareros vecinos, proveedores de caña de azúcar, municipios y departamentos de bomberos podrían aumentar el riesgo.
Cobertura eficaz y reducción de redundancias. Para que esto funcione, los procedimientos deben contemplar...
protocolos de comunicación, responsabilidades en zonas fronterizas y normas para el uso compartido
de recursos, cuestiones que dependen tanto de acuerdos institucionales como de soluciones tecnológicas.
compatibles entre sí.

8 IMPACTOS AMBIENTALES, SOCIALES, ECONÓMICOS Y DE GOBERNANZA

Los procedimientos de detección y respuesta bien diseñados generan impactos que van más allá de la protección.
En la agricultura, contener los incendios en sus primeras etapas reduce la superficie quemada.
y, en consecuencia, emisiones de gases y partículas, pérdida de materia orgánica superficial y la
daños a fragmentos de vegetación nativa, áreas de preservación permanente y reservas legales que
Pueden estar intercalados entre los campos de caña de azúcar. La paja conservada continúa desempeñando las funciones de
protección del suelo y ciclo de nutrientes discutidos por Carvalho et al. (2017). Además, la
Reducir la recurrencia de incendios en la misma zona tiende a beneficiar la conservación de estas [áreas].
fragmentos y la biodiversidad asociada a ellos.
En los ámbitos de la salud y la sociedad, los estudios realizados en el interior del estado de São Paulo nos permiten medir...
La importancia de la prevención. Si el humo de las quemas planificadas se asoció con un aumento en
Dado el elevado número de hospitalizaciones respiratorias en niños y ancianos (Cançado et al., 2006; Ribeiro, 2008), es razonable suponer
que los incendios accidentales a gran escala producen efectos similares en las poblaciones.
expuestas, con el agravante de que ocurren sin previo aviso y a menudo durante períodos de baja actividad.
Humedad ambiental. Reducir la superficie quemada mediante la detección y respuesta rápidas contribuye a ello.
Por lo tanto, para proteger la salud de las comunidades vecinas y de los propios trabajadores. Como se ha señalado
Ribeiro (2008) afirma que estos efectos también se traducen en una mayor demanda de servicios de salud.
lo cual amplía el alcance social del problema más allá de los límites de la propiedad.
Desde el punto de vista económico, los procedimientos deben evaluarse desde una perspectiva amplia.
Análisis de costo-beneficio. Los costos incluyen cámaras, torres, conectividad, software y personal.
Monitoreo, mantenimiento y capacitación. Los beneficios incluyen la reducción de las pérdidas de caña de azúcar,
daños a los rastrojos y la infraestructura, costos de extinción de incendios y responsabilidades ambientales y legales, además de
Preservación de las relaciones con las comunidades y los organismos públicos. La bibliografía sobre el ataque inicial.
Esto indica que los incendios que escapan a esta fase tienden a crecer y a requerir más recursos, y que

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Los tiempos de respuesta más largos aumentan la probabilidad de falla (Arienti; Cumming; Boutin,
(2006). Sin embargo, para medir estos beneficios se requieren series históricas fiables de sucesos.
Los tiempos de respuesta y las zonas afectadas, lo que subraya una vez más la importancia de mantener registros sistemáticos.
de cada paso del procedimiento.

La expansión de la videovigilancia también plantea problemas de gobernanza de datos. Cámaras
Las cámaras de largo alcance instaladas cerca de autopistas, pueblos y áreas urbanas pueden capturar
Imágenes de personas y vehículos, lo que requiere el cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos.
que establece principios como propósito, idoneidad, necesidad, transparencia y seguridad en
procesamiento de datos (Brasil, 2018). Los procedimientos deben definir quién accede a las imágenes, por
¿Durante cuánto tiempo se almacenan y en qué circunstancias pueden compartirse con las autoridades?
y cómo se protegen contra el acceso no autorizado. Por otro lado, los registros bien gestionados
Pueden respaldar las investigaciones sobre el origen de los incendios y fortalecer la posición de la empresa en
procedimientos administrativos o judiciales, siempre que se garantice la integridad y la trazabilidad de las imágenes.
en conserva.

Los efectos de los procedimientos solo pueden demostrarse si existen indicadores adecuados.
Plucinski (2019) destaca la dificultad de medir la efectividad de la supresión, debido a la influencia
El análisis simultáneo de múltiples variables muestra que los resultados dependen de la escala en la que se analizan.
evaluado. Para los campos de caña de azúcar, indicadores como el tiempo entre la ignición estimada y la detección, el tiempo
entre detección y despacho, el tiempo hasta la llegada del primer equipo, la proporción de incendios
El ataque inicial, el área promedio por ocurrencia y la tasa de falsas alarmas permiten
Para monitorear el desempeño en todas las cosechas. Asociado con el análisis de ocurrencias y revisión.
Procedimientos periódicos, estos indicadores transforman el monitoreo en un instrumento de
El aprendizaje organizacional, y no solo como herramienta de vigilancia.

CONCLUSIÓN

La eliminación de las quemas previas a la cosecha representó un avance significativo para el medio ambiente y la salud.
El sector de la caña de azúcar y la energía en São Paulo ha cambiado, pero no ha eliminado la quema de los campos de caña de azúcar. Lo que ha cambiado es la naturaleza del medio ambiente.
del riesgo, que pasó de una operación planificada y controlada a eventos inesperados, de origen
diversos y potencialmente simultáneos. En esta nueva condición, la capacidad de detectar precozmente y
La capacidad de respuesta rápida se ha convertido en un factor crucial para el alcance de la gestión, como lo demuestra...
Episodios de 2024 en el estado de São Paulo.

El análisis demostró que las tecnologías de detección son complementarias y que ninguna de ellas resuelve el problema.
el problema de forma aislada. Los satélites ofrecen vistas regionales e históricas, mientras que las cámaras en

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS - Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Las torres permiten la observación continua de áreas específicas. Sin embargo, la evidencia de campo indica que
El rendimiento real de las cámaras varía en función del tamaño del enfoque, la distancia y las condiciones.
factores atmosféricos, lo que sugiere tratarlos como parte de un sistema más amplio, y no como una solución.
autosuficiente.

La automatización redefine el trabajo del operario, sin eliminarlo. Los fundamentos de la ergonomía.
Los estudios cognitivos demuestran que la vigilancia prolongada de eventos poco frecuentes es una tarea difícil para los seres humanos.
...y que la confianza en la automatización debe calibrarse, no maximizarse. Por lo tanto, los procedimientos...
Las estrategias eficaces comienzan por definir explícitamente cuál es la responsabilidad de la máquina y cuál es la responsabilidad de las personas en cada tarea.
Esta etapa, desde la obtención de la imagen hasta la decisión de movilizar recursos para combatir el virus, es crucial.
Las falsas alarmas son un punto crítico para la sostenibilidad de estos sistemas. Cuando
La frecuencia de estos sucesos reduce la credibilidad de las alertas y compromete la respuesta ante los incidentes.
verdadero. La definición de umbrales de alarma debe considerar el costo de cada tipo de error y el
Los procedimientos deben incluir un paso de verificación rápido y estandarizado, especialmente en
entornos agrícolas en los que el polvo, los humos industriales y las operaciones mecanizadas producen señales
similares a las de un incendio inicial.

El diseño del procedimiento debe abarcar toda la cadena, desde la alarma hasta el control del incendio, con los siguientes pasos...
Medible, con responsabilidades claramente definidas y criterios claros para la clasificación y la evaluación. Puntos de referencia
¿Cómo ofrece el sistema de mando de incidentes principios útiles de estandarización e integración?
con organismos públicos. Al mismo tiempo, los criterios deben dejar margen para el juicio de
Los equipos se enfrentan a situaciones imprevistas, ya que el trabajo real rara vez coincide completamente con...
el trabajo prescrito.
La tecnología de monitoreo debe integrarse en la gestión de riesgos y en los índices de peligro.
barreras meteorológicas y otras barreras de defensa, como cortafuegos, brigadas y recursos de extinción de incendios. Existe la
riesgo de que la adopción de cámaras se utilice para justificar la reducción de estas otras capas, que
Esto va en contra de los principios fundamentales de la seguridad del sistema y puede aumentar la vulnerabilidad de la operación.
La Política Nacional Integrada de Gestión de Incendios refuerza esta visión integrada al valorar la
planificación, prevención y cooperación entre los diversos actores.
Los impactos de los procedimientos bien estructurados alcanzan varias dimensiones. En el ámbito ambiental,
Suelen reducir la superficie quemada y las emisiones. A nivel social, contribuyen a proteger la salud.
de poblaciones vecinas y para contener la demanda de servicios de salud. En el frente económico,
Reducen las pérdidas y las responsabilidades, y en términos de gobernanza, requieren atención al manejo de datos.
Información personal captada por las cámaras. En todos estos casos, la prueba de los beneficios depende de...
La existencia de indicadores consistentes y registros sistemáticos de cada ocurrencia.
Al tratarse de una revisión narrativa, este estudio presenta limitaciones, entre ellas la ausencia de verificación.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinaria El Conocimiento.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

evidencia empírica de las proposiciones y el predominio de la evidencia producida en contextos forestales de otros países. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen el desempeño en los campos de caña de azúcar brasileños. de diferentes sistemas de detección, los tiempos efectivos de cada paso de respuesta, las tasas de alarma Falsedades en condiciones del mundo real y la relación costo-beneficio de las inversiones, con el fin de consolidar una base de datos de evidencia propia para el sector.

REFERENCIAS

AGUIAR, DA; RUDORFF, BFT; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, YE. Imágenes de teledetección en el seguimiento de la cosecha de caña de azúcar. Ingeniería Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 3, pág. 440-451, 2009. DOI: 10.1590/S0100-69162009000300011.

AGUIAR, DA; RUDORFF, BFT; SILVA, WF; ADAMI, M.; MELLO, MP Imágenes de teledetección en apoyo de un protocolo ambiental: monitoreo de la cosecha de caña de azúcar en el estado de São Paulo, Brasil. Remote Sensing, Basel, vol. 3, n.° 12, págs. 2682-2703, 2011. DOI: 10.3390/rs3122682.

ALKHATIB, AAA. Una revisión de las técnicas de detección de incendios forestales. International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, n.º 3, art. 597368, 2014. DOI: 10.1155/2014/597368.

ARBEX, MA et al. Quema de biomasa y sus efectos en la salud. Revista Brasileña de Neumología, São Paulo, vol. 30, n.º 2, págs. 158-175, 2004.

ARIENTI, MC; CUMMING, SG; BOUTIN, S. Modelos empíricos de probabilidades de éxito del ataque inicial de incendios forestales: efectos de los combustibles, características lineales antropogénicas, condiciones meteorológicas propicias para incendios y manejo. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, vol. 36, n.° 12, págs. 3155-3166, 2006. DOI: 10.1139/x06-188.

Asociación Brasileña de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 31000: Gestión de riesgos: directrices. Río de Janeiro: ABNT, 2018.

BAINBRIDGE, L. Ironías de la automatización. Automatica, Oxford, vol. 19, n.º 6, págs. 775-779, 1983.

BARMPOUTIS, P.; PAPAIOANNOU, P.; DIMITROPOULOS, K.; GRAMMALIDIS, N. Una revisión de los sistemas de detección temprana de incendios forestales mediante teledetección óptica. Sensors, Basel, vol. 20, n.º 22, art. 6442, 2020. DOI: 10.3390/s20226442.

BRASIL. Decreto N° 2.661, de 8 de julio de 1998. Regula el único párrafo del artículo 27 de la Ley N° 4.771, de 15 de septiembre de 1965 (Código Forestal), estableciendo normas de precaución relativas al uso del fuego en las prácticas agrícolas, ganaderas y forestales, y prevé otras medidas. Gaceta Oficial de Brasilia, 1998. Disponible en: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm. Unidad, DF,

BRASIL. Ley N° 13.709, de 14 de agosto de 2018. Ley General de Protección de Datos Personales (LGPD). Gaceta Oficial de Brasilia, 2018. Disponible en: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Oficial, DF,

BRASIL. Ley N° 14.944, del 31 de julio de 2024. Establece la Política Nacional de Manejo Integrado de Plagas.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

Ley de Incendios y enmiendas Leyes N° 7.735 del 22 de febrero de 1989, N° 12.651 del 25 de mayo de 2012 (Código Forestal) y N° 9.605 del 12 de febrero de 1998 (Ley de Delitos Ambientales). Gaceta Oficial de la Unión, Brasilia, DF, 1 de agosto de 2024. Disponible en: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14944.htm.

BREZNITZ, S. Grito de lobo: la psicología de las falsas alarmas. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1984.

CANCEDO, JED et al. El impacto de las emisiones de la quema de caña de azúcar en el sistema respiratorio de niños y ancianos. Environmental Health Perspectives, Research Triangle Park, vol. 114, n.º 5, págs. 725-729, 2006. DOI: 10.1289/ehp.8485.

CARVALHO, JLN et al. Implicaciones agronómicas y ambientales de la eliminación de la paja de caña de azúcar: una revisión exhaustiva. GCB Bioenergy, vol. 9, n.º 7, págs. 1181-1195, 2017.

ÇETIN, AE et al. Detección de incendios por vídeo: revisión. Procesamiento de señales digitales, vol. 23, n.º 6, págs. 1827-1843, 2013.

DIXON, SR; WICKENS, CD; McCARLEY, JS Sobre la independencia entre cumplimiento y confianza: ¿son las falsas alarmas de la automatización peores que los errores? Human Factors, vol. 49, n.º 4, págs. 564-572, 2007. DOI: 10.1518/001872007X215656.

ENDSLEY, MR Hacia una teoría de la conciencia situacional en sistemas dinámicos. Factores Humanos, vol. 37, n.º 1, págs. 32-64, 1995.

AGENCIA FEDERAL PARA EL MANEJO DE EMERGENCIAS (FEMA). Sistema Nacional de Gestión de Incidentes. 3.ª ed. Washington, DC: FEMA, 2017.

GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, CO; KAUFMAN, YJ Un algoritmo mejorado de detección contextual de incendios para MODIS. Remote Sensing of Environment, vol. 87, n.º 2-3, págs. 273-282, 2003.

HOLLNAGEL, E. Seguridad-I y Seguridad-II: el pasado y el futuro de la gestión de la seguridad. Farnham: Ashgate, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES ESPACIALES (INPE). Programa Incendios Forestales: base de datos de incendios forestales (BDQueimadas). São José dos Campos: INPE, 2024a. Disponible en: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN ESPACIAL (INPE). Infoqueima: boletín técnico mensual para el monitoreo de brotes de incendios. São José dos Campos, v. 9, n. 8, ago. 2024b. Disponible en https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Infoqueima/2024/2024_08_infoqueima.pdf.

LEE, JD; SEE, KA Confianza en la automatización: diseño para una dependencia adecuada. Factores humanos, vol. 46, n.º 1, págs. 50-80, 2004.

LEVESON, NG. Ingeniería para un mundo más seguro: el pensamiento sistémico aplicado a la seguridad. Cambridge, MA: MIT Press, 2011.

MAPBIOMAS. Monitor de incendios: datos mensuales sobre la superficie quemada en Brasil. São Paulo:

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

MapBiomas, 2024. Disponible en: https://brasil.mapbiomas.org/dados-monitor-mensal-do-fogo/.

MARTELL, DL. Una revisión de investigaciones recientes sobre sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de incendios forestales y de zonas silvestres. Current Forestry Reports, vol. 1, n.º 2, págs. 128-137, 2015. DOI: 10.1007/s40725-015-0011-y.

MATTHEWS, S.; SULLIVAN, A.; GOULD, JS; HURLEY, RJ; ELLIS, P.; LARMOUR, J. Evaluación de campo de dos sistemas de detección de incendios forestales basados en imágenes. Fire Safety Journal, vol. 47, págs. 54-61, 2012. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.11.001.

MUHAMMAD, K.; AHMAD, J.; MEHMOOD, I.; RHO, S.; BAIK, SW. Detección de incendios en vídeos de vigilancia mediante redes neuronales convolucionales. IEEE Access, vol. 6, págs. 18174-18183, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2812835.

PARASURAMAN, R.; RILEY, V. Humanos y automatización: uso, mal uso, desuso, abuso. Factores Humanos, vol. 39, n.º 2, págs. 230-253, 1997.

PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, TB; WICKENS, CD Un modelo para tipos y niveles de interacción humana con la automatización. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, vol. 30, n.º 3, págs. 286-297, 2000.

PLUCINSKI, MP. Combatir las llamas y crear cortafuegos: eficacia de la supresión de incendios forestales en el borde del fuego. Current Forestry Reports, vol. 5, n.º 1, págs. 1-19, 2019. DOI: 10.1007/s40725-019-00084-5.

RASMUSSEN, J. Gestión de riesgos en una sociedad dinámica: un problema de modelización. Safety Science, vol. 27, n.º 2-3, págs. 183-213, 1997.

REASON, J. Gestión de los riesgos de accidentes organizacionales. Aldershot: Ashgate, 1997.

RIBEIRO, H. Quema de caña de azúcar en Brasil: efectos sobre la salud respiratoria. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 42, n. 2, pág. 370-376, 2008.

ROTHERMEL, RC. Un modelo matemático para predecir la propagación del fuego en combustibles forestales. Ogden: Servicio Forestal del USDA, Estación Experimental Forestal y de Pastizales Intermontañosos, 1972. (Documento de investigación INT-115).

SAIANI, CCS; PEROSA, BB Salud respiratoria y mecanización de la cosecha de caña de azúcar en municipios de São Paulo: la importancia del Protocolo Agroambiental. Revista de Economía e Sociología Rural, Piracicaba, v. 54, n. 1, pág. 29-50, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Ley N° 11.241, del 19 de septiembre de 2002. Dispone la eliminación gradual de la quema de paja de caña de azúcar y adopta medidas conexas. Gaceta Oficial del Estado de São Paulo. Disponible en https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html. Pablo, Pablo, 2002. en:

SÃO PAULO (Estado). Secretaría de Medio Ambiente. Protocolo agroambiental del sector azucarero-energético: datos consolidados de las cosechas 2007/08 a 2013/14. São Paulo: SMA, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaría de Medio Ambiente. Protocolo Agroambiental del Sector Azucarero-Energético: El 26,3% de las tierras cultivables de São Paulo están comprometidas con buenas prácticas.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Envío: 05/12/2026 | Aceptado: 19/06/2026 | Publicación: 09/07/2026

São Paulo: SMA, 2016. Disponible en: https://semil.sp.gov.br/04/protocolo-agroambiental-do-setor-sucroenergetico-263-da-area-agricultavel-de-sao-paulo-esta-comprometida-com-boas-praticas/.

SÃO PAULO (Estado). Ley N° 17.460, de 25 de noviembre de 2021. Establece la Política de Estado para el Manejo Integrado del Fuego. Boletín Oficial del Estado de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponible en: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2021/lei-17460-25.11.2021.html.

SCHROEDER, W.; OLIVA, P.; GIGLIO, L.; CSISZAR, IA El nuevo producto de datos de detección de incendios activos VIIRS de 375 m: descripción del algoritmo y evaluación inicial. Remote Sensing of Environment, vol. 143, págs. 85-96, 2014.

VAN WAGNER, CE Desarrollo y estructura del Sistema Canadiense de Índices Meteorológicos para Incendios Forestales. Ottawa: Servicio Forestal Canadiense, 1987. (Informe Técnico Forestal, 35).

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.