

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Detecção de incêndios nocturnos através de processamento digital de imagem



Trabalho realizado por:  
Abílio Manuel Figueira de Abreu

“Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para o grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e Computadores”

Orientadores: Professor Doutor José Manuel da Fonseca  
Professor Doutor Pedro Vieira

Setembro de 2009

## Resumo

Os incêndios florestais são uma das grandes causas da desflorestação, sendo responsáveis por uma larga percentagem da destruição de matas e florestas. São ainda responsáveis por uma enorme produção e emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, o que juntamente com a destruição das florestas, diminui a produção de oxigénio, contribuindo assim para o efeito de estufa.

A melhor forma de reduzir o número de incêndios florestais de grandes proporções, passa por detectar e extinguir os incêndios o mais depressa possível, evitando que passem rapidamente para um incêndio descontrolado de grandes proporções. Embora existam já algumas técnicas de detecção de incêndios, são na sua grande maioria técnicas de detecção diurna, havendo assim poucas ou quase nenhuma técnicas nocturnas. Existem ainda técnicas de análise química (CO<sub>2</sub>), mas são pouco precisas na localização, pois o gás pode ser arrastado pelo vento, havendo uma localização deficitária do incêndio.

Neste trabalho pretende-se implementar um sistema de detecção nocturna de pontos de luz, onde o aumento de um desses pontos poderá ser um incêndio que posteriormente é confirmado através de uma análise espectral. O sistema assenta numa base já existente para a detecção diurna, onde se usa uma câmara para a captação de imagens e é feita a análise em tempo real.

A análise é feita com base em comparação de imagens, extraíndo-se a informação sobre todos os pontos de luz, identificando os que aparecem, os que desaparecem e ainda os que aumentam a sua dimensão.

Quando se detecta um possível incêndio, é feita uma análise espectral para uma melhor confirmação (a análise química não faz parte deste projecto).

Com o sistema desenvolvido obteve-se uma eficácia bastante elevada em todos os testes efectuados. Detectaram-se e classificaram-se correctamente todos os incêndios, reais e simulados, não havendo também registo de nenhum falso incêndio detectado.

## Abstract

Forest fires are one of the main causes of deforestation, as they're responsible for a wide percentage of forests and woodland's destruction. They are also responsible for a huge production and emission of CO<sub>2</sub> into the atmosphere, and this, along with the forest's destruction, reduces the production of oxygen and contributes to the greenhouse effect.

The best way to reduce the number of extensive forest fires is to detect and extinguish these fires as soon as possible, thus avoiding that they quickly become uncontrollable. Although some fire detection techniques already exist, they are mostly for day detection, and night techniques are few or almost non-existent. We also have some chemic (CO<sub>2</sub>) analysis available, but they're not precise in the location of fires, since the gas can be dragged by the wind, which causes a misplace of the fire.

In this Project, I intend to implement a system that detects spotlights by night. Any increase of those spotlights could be a fire, which would be confirmed later by a spectral analysis. The system comes from an already existing basis for day detection, which uses a camera for image capture, and the analysis is made real-time.

The analysis is made by comparing images, extracting the information about all spotlights and identifying the ones that appear, the ones that disappear and also those that grow.

When a possible fire is detected, a chemical analysis is made to confirm it (this chemical analysis is not part of this project).

With the developed system, we managed to obtain a high effectiveness in all performed tests. We detected and classified correctly all fires, real and simulated, without obtaining any false fire detections.

## **Agradecimentos**

É da mais elementar justiça agradecer a algumas pessoas que durante a realização deste projecto deram o seu apoio da mais variada forma.

Um primeiro agradecimento aos Professores Pedro Vieira e José Manuel da Fonseca pelo apoio prestado, disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e ainda pela confiança depositada.

Agradecer aos colegas Nuno Pinto, Manuela Mendes e Pedro Duque pela pronta disponibilidade para ajudar, esclarecimento de dúvidas e ainda todo o apoio prestado.

Por último um especial agradecimento à minha família e amigos por todo o apoio, encorajamento e incentivo nos melhores e nos piores momentos.

# Índice

Resumo .....	2
Abstract .....	3
Agradecimentos .....	4
Índice .....	5
Índice de Figuras .....	7
1 Introdução .....	9
1.1 Enquadramento .....	10
1.2 Estrutura da tese .....	11
2 Estado da arte .....	12
2.1 Detecção de fumo .....	12
2.2 Detecção por Ultravioletas .....	14
2.3 Detecção por satélite .....	14
2.4 Detecção através de estatística de cores em sequências de vídeo .....	15
3 Conceitos Teóricos .....	18
3.1 Imagem digital .....	18
3.2 RGB para níveis de cinzento .....	18
3.3 Binarização .....	19
3.4 Etiquetagem por componentes ligados .....	19
3.4.1 Área .....	21
3.4.2 Centróide .....	21
3.4.3 Segmentação .....	22
3.5 Erosão .....	22
3.6 Dilatação .....	22
3.7 Abertura .....	23
3.8 Fecho .....	24
3.9 Alinhamento .....	24
3.9.1 Correlação cruzada .....	25
3.9.2 Pesquisa a Três Passos (Three Step Search) .....	25
3.9.3 Alinhamento de imagens com base na distância entre objectos .....	26
4 Sistema desenvolvido .....	28
4.1 Descrição do sistema .....	28
4.2 Requisitos do sistema .....	29
4.3 Software utilizado .....	30
5 Implementação .....	31
5.1 Sistema .....	31
5.1.1 Divisão do ângulo em azimutes .....	31
5.1.2 Análise de azimute .....	32
5.1.3 Extracção de características da imagem .....	33
5.1.4 Comparação de duas imagens .....	34
5.1.5 Comparação de 3 imagens .....	35
5.2 Detecção de incêndio .....	36
5.3 Relatório diário .....	36
6 Preparação dos dados pré-processados .....	38
6.1 Alinhamento das imagens .....	38
6.2 Luminosidade .....	39
6.2.1 Ajuste manual .....	40
6.2.2 Ajuste automático .....	40

6.3	Gestão de memória .....	42
6.3.1	Leitura da imagem .....	42
6.3.2	Armazenamento das imagens .....	42
6.3.3	Leitura do cabeçalho da imagem .....	42
6.3.4	Algoritmo de identificação do azimute.....	43
6.3.5	Gestão de processamento e armazenamento de dados.....	44
7	Discussão e Resultados.....	45
7.1	Testes Preliminares .....	45
7.2	Testes Simulados .....	46
7.3	Testes Reais .....	48
8	Conclusões .....	50
8.1	Perspectivas .....	51
9	Referências .....	52

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Representação do sistema ForestWatch .....	12
Figura 2.2 - Esquema do sistema FireWatch.....	13
Figura 2.3 - Exemplo de uma imagem térmica tirada por satélite [1] .....	15
Figura 2.4 - Diagrama geral da detecção por estatística de cores em vídeo .....	17
Figura 3.1 - Histograma e threshold a dividir a escala.....	19
Figura 3.2 – a) imagem binária, b) imagem binária com etiquetas atribuídas aos pixels não nulos .....	20
Figura 3.3 - Propagação das etiquetas na passagem descendente .....	20
Figura 3.4 - Propagação das etiquetas no sentido ascendente .....	20
Figura 3.5 - Distribuição final das etiquetas.....	21
Figura 3.6 - a) Imagem original, b) Máscara de erosão, c) Imagem resultante da erosão .....	22
Figura 3.7 - a) Imagem original, b) Máscara de dilatação, c) Imagem resultante da dilatação .....	23
Figura 3.8 - a) Imagem original, b) Máscara de erosão, c) Imagem resultante da erosão, d) Máscara de dilatação, e) Imagem resultante da dilatação .....	23
Figura 3.9 - ) Imagem original, b) Máscara de dilatação, c) Imagem resultante da dilatação, d) Máscara de erosão, e) Imagem resultante da erosão.....	24
Figura 3.10 - Exemplo do algoritmo pesquisa a três passos .....	26
Figura 3.11 - a) Distância $d$ entre os centróides do objecto A e B do template; b) Distância $d'$ entre os centróides do objecto A' e B' do template .....	26
Figura 4.1 - Sistema de varrimento óptico .....	28
Figura 4.2 - Sistema completo. a) computador e espectrómetro, b) sistema atmosférico, sistema óptico .....	29
Figura 5.1- Divisão do ângulo de visão em vários azimutes.....	32
Figura 5.2 - Esquema da extracção de características da imagem.....	33
Figura 5.3 - Esquema da extracção de características da imagem.....	33
Figura 5.4 - Passagem de uma imagem a cores, para uma imagem a preto e branco. a) imagem a cores, b) imagem em tons de cinzento, c)imagem a preto e branco .....	34
Figura 5.5 - a) imagem $\Delta t_{-1}$ , b) imagem $\Delta t_0$ com aparecimento de novo ponto de luz... 35	
Figura 5.6 - a) varrimento $\Delta t_{-2}$ , apenas com um ponto de luz; b) varrimento $\Delta t_{-1}$ , ponto de luz já existente e novo ponto de luz; c) varrimento $\Delta t_0$ , ponto de luz já existente e aumento substancial do ponto de luz que apareceu no varrimento anterior.....	35
Figura 5.7 – Ficheiro gerado em caso de incêndio .....	36
5.8 – Excerto do relatório diário, exemplo com possível incêndio. ....	37
Figura 6.1 – a) imagem de $\Delta t_{-1}$ ; b)imagem de $\Delta t_0$ ; c) sobreposição directa das duas imagens; d) sobreposição das duas imagens correctamente alinhadas.....	38
Figura 6.2 – Distância de alinhamento de duas imagens .....	39
Figura 6.3 - Imagem com brilho automático .....	40
Figura 6.4 - Imagem com brilho manual e mínimo .....	40
Figura 6.5 - Recta para calcular o valor de threshold .....	41
Figura 6.6 – Alguns azimutes e respectivos índices .....	43
Figura 6.7 - Célula de armazenamento de dados.....	44
Figura 7.1 – a) Imagem com brilho automático, b)Imagem com brilho manual e valores mínimos.....	45
Figura 7.2 - Variação da intensidade da luz ao longo do tempo, a) varrimento $\Delta t_{-2}$ ; b) varrimento $\Delta t_{-1}$ ; c) varrimento $\Delta t_0$ , .....	46

Figura 7.3 – Progressão da área ao longo do tempo em cada azimute .....	47
7.4 – Progressão do incêndio ao longo do tempo .....	48
7.5 – Área em função do varrimento, para cada azimute.....	49



# 1 Introdução

Anualmente os incêndios consomem milhares de hectares de florestas, muitas das quais, zonas protegidas onde existem espécies em vias de extinção, quer de animais quer de plantas. Os incêndios são também responsáveis pela emissão de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito de estufa.

Por outro lado, se as florestas se encontram queimadas, não existe produção de oxigénio e por consequência também não existe consumo de CO<sub>2</sub>. Assim, para requalificar essas zonas são gastos imensos recursos, tanto a nível económico, como a nível de mão-de-obra. Os resultados desses investimentos só são visíveis alguns anos mais tarde e até o ecossistema recuperar totalmente são necessários bastantes anos.

Uma das melhores maneiras de prevenir a destruição das nossas florestas passa por vigiar, prevenir meios, limpar as matas e extinguir atempadamente os focos de incêndio. A precoce detecção do incêndio permite uma rápida resposta no seu combate, podendo assim evitar-se perdas enormes da fauna, flora, bem como perdas de vidas humanas e de bens.

Para uma precoce detecção de incêndio, existe a tradicional vigilância humana bem como alguns sistemas automáticos e semiautomáticos que se baseiam essencialmente em processamento de imagem e análise química. A grande maioria destes sistemas consiste apenas em vigilância diurna, existindo portanto uma lacuna na detecção nocturna, fazendo com que muitos incêndios sejam detectados já com grandes proporções e dificultando muito a sua extinção.

Este projecto faz parte de um sistema permanente de detecção de incêndios, que garante vigilância diurna e nocturna. O sistema é totalmente independente e, embora use o mesmo hardware, está dividido em duas partes distintas: detecção diurna e detecção nocturna.

A detecção diurna consiste na identificação de colunas de fumo, com base em espectros obtidos ao longo da linha do horizonte. Como à noite não é possível obter espectros, pois não existe luz solar, optou-se por uma abordagem completamente diferente. Assim, para fazer a detecção de incêndio, são necessários dois processos distintos, identificação de um ponto de luz suspeito e análise espectral do mesmo.

Este trabalho tem como objectivo fazer a detecção nocturna de pontos de luz, analisá-los e filtrá-los.

Como à noite a luminosidade é muito reduzida, adoptou-se uma abordagem de detecção de pontos de luz em imagens. As imagens são captadas e analisadas em tempo real, sendo feito um diagnóstico instantâneo da imagem a analisar. Toda a análise é efectuada através da combinação de algumas técnicas de processamento de imagem que permitem identificar e isolar todos os pontos de luz. O foco inicial é detectado recorrendo a três imagens com uma determinada diferença temporal, onde inicialmente não existe foco de luz, depois aparece um foco e a sua dimensão aumenta ao longo do tempo.

Após detectado o foco inicial, transmitem-se as coordenadas do suposto incêndio, bem como o azimute e altitude da respectiva imagem. Em seguida, é feita uma análise química para confirmar ou não a existência de incêndio, análise essa que não faz parte deste trabalho.

Sempre que é detectado um incêndio, é dado um alarme com as respectivas coordenadas do local, para uma mais rápida chegada ao local.

## **1.1 Enquadramento**

A utilização de uma câmara para vigilância nocturna de matas parece lógica, mas traz alguns problemas. Desde logo a identificação de todas as fontes de luz, bem como a sua classificação como fonte de luz natural (incêndio) ou artificial.

A utilização deste tipo de tecnologias tem inerente o conceito de máxima optimização e aproveitamento das capacidades de todo o sistema. O sistema contém uma parte mecânica que é responsável por movimentar a câmara de vigilância em torno de dois eixos, o que permite manter vigilância sobre um perímetro bem alargado.

Com a introdução do sistema mecânico de movimentação, surge o problema da precisão do mesmo, sendo muito difícil conseguir posicionar o sistema exactamente no mesmo sítio duas vezes. Isto deve-se ao facto de o motor eléctrico ter associado ao seu movimento um erro, bem como toda a restante mecânica envolvida, o que provoca algum desfasamento nas imagens, principalmente a longa distância.

Surge ainda a necessidade de fazer o processamento e análise das imagens em tempo muito curto, de forma a supervisionar uma maior área.

## **1.2 Estrutura da tese**

A tese encontra-se dividida em sete partes:

- Introdução (a presente parte)
- Estado da arte, onde se faz uma breve descrição dos vários métodos e técnicas utilizadas em projectos semelhantes.
- Conceitos teóricos, onde se apresentam todos os conceitos teóricos de processamento de imagem utilizados neste projecto.
- Implementação, onde se faz a descrição pormenorizada de todo o trabalho implementado. Esta secção está dividida em três partes:
  - Breve descrição da arquitectura geral desenvolvida.
  - Descrição detalhada de todo o processo.
  - Correções efectuadas de forma a melhorar o desempenho do sistema.
- Análise do algoritmo com base nos testes e simulações efectuadas.
- Conclusões retiradas da realização do projecto, bem como possíveis melhoramentos.

## 2 Estado da arte

Uma das grandes preocupações na detecção de incêndios é detectá-los a tempo. Com este objectivo, já se estudaram e implementaram algumas soluções, mas nenhuma perfeita, ao ponto de permitir uma vigilância cem por cento eficaz.

Para além dos tradicionais meios de vigilância humanos existem ainda várias soluções digitais para a detecção de incêndios, entre os quais processamento de imagem, soluções de análise química e ainda sistemas detectores de fumo.

Em seguida faz-se uma breve descrição de alguns dos métodos já usados na detecção de incêndios, dando-se um particular destaque ao ponto 2.4, pois é uma técnica muito útil para futuros melhoramentos do presente projecto.

### 2.1 Detecção de fumo

A detecção de fumo através de processamento de imagem é um método muito utilizado [11]. As imagens são captadas por máquinas que trabalham em comprimentos de onda na zona do visível e na zona do infravermelho. Aproveitam postes altos já instalados para outros efeitos para instalar as máquinas, poupando-se assim algum dinheiro em equipamento e conseguindo-se uma vigilância por cima da copa das árvores. O vídeo resultante é transferido para a central, onde é processado por computador. Às imagens resultantes são aplicados algoritmos de processamento de imagem e de detecção de movimento para a detecção de fumo, comparando as últimas imagens capturadas com imagens guardadas.

Em caso de detecção de um potencial incêndio, dá-se um alarme na central, onde está um operador que verifica a imagem e confirma ou não o incêndio.

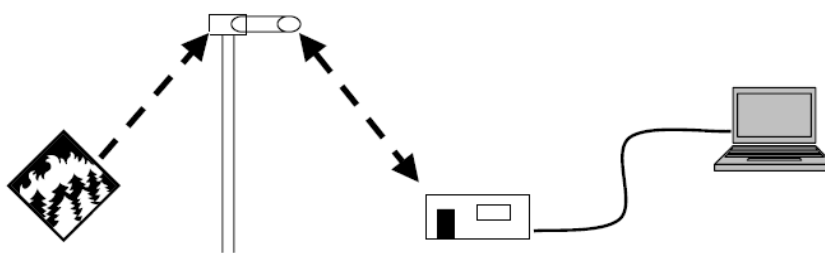
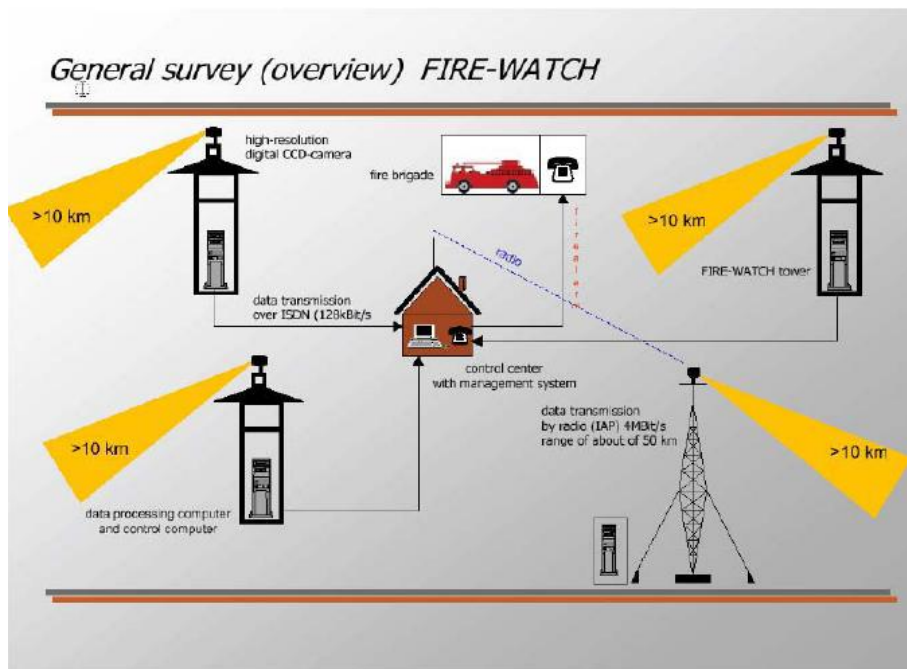


Figura 2.1 - Representação do sistema ForestWatch

Existe ainda um outro sistema semelhante, cujo objectivo é detectar uma coluna de fumo com a dimensão de 10m x 10m a uma distância de 10km. Após ser feita a detecção automática, é necessário o operador da central confirmar o incêndio. Em seguida utiliza uma triangulação de câmaras para poder identificar num mapa digital, a zona exacta do incêndio e assim dar o alarme, fornecendo as coordenadas exactas do mesmo.



**Figura 2.2 - Esquema do sistema FireWatch**

Existe ainda a possibilidade de combinar as duas técnicas anteriores, obtendo-se assim uma vigilância praticamente automática e ainda uma exacta posição do foco de incêndio.

Este método não é uma solução nocturna de incêndios, pois a detecção de colunas de fumo apenas é possível durante o dia.

## **2.2 Detecção por Ultravioletas**

Existem aparelhos de detecção por ultravioletas e infravermelhos, [12], pequenos e compactos que podem ser colocados em qualquer lado, sendo usados tanto em florestas como em edifícios.

Este processo consiste em analisar apenas os comprimentos de onda na gama dos UVC (Ultravioleta com comprimento de onda curto), com comprimentos de onda entre 200-280 nm.

Estes comprimentos de onda são característicos dos incêndios. Assim, o sistema não captura os comprimentos de onda emitidos pelo sol.

Estes aparelhos são de alcance limitado, pois são fixos e estão limitados ao alcance do sensor. Assim, é necessária uma grande quantidade de aparelhos para cobrir uma área significativa.

## **2.3 Detecção por satélite**

A detecção de incêndios por satélite é um método utilizado em alguns países, com alguns resultados interessantes, mas também com algumas limitações.

Em [1], a palavra-chave deste método é “infra-vermelhos”, ou seja, é feita a medição na gama dos infra-vermelhos, transformando-se os comprimentos de onda para a zona do visível sendo daí feita uma “imagem” do que é captado pelo sensor e posteriormente efectuada a análise. Para fazer essa passagem, utiliza-se um conjunto de sensores que medem vários tipos de comprimento de onda na gama dos infra-vermelhos. Em seguida filtram-se esses valores, ficando uma imagem como a seguinte:

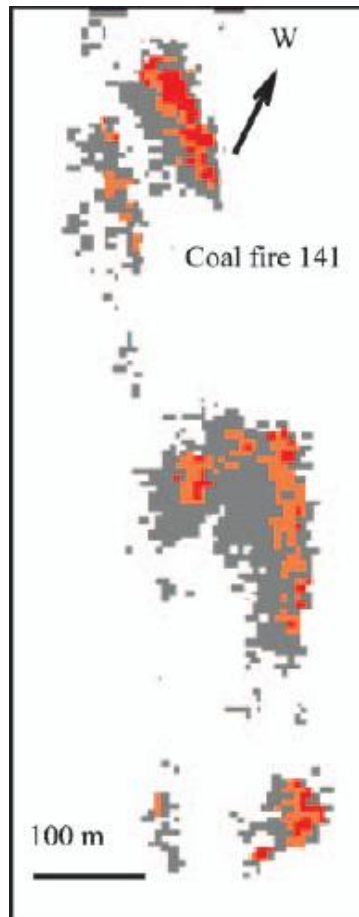


Figura 2.3 - Exemplo de uma imagem térmica tirada por satélite [1]

Este algoritmo apresenta algumas lacunas, pois devido à baixa resolução do sensor, apenas se detectam os incêndios quando têm já uma certa dimensão. Também devido a várias fontes de calor naturais, como o sol e vulcões, bem como outras fontes com origem humana, detecta um elevado número de falsos incêndios.

#### **2.4 Detecção através de estatística de cores em sequências de vídeo**

Este método é muito interessante, pois combina as técnicas tradicionais de processamento de imagem com estatística [2].

Os parâmetros estatísticos são todos calculados com base em imagens de treino, em várias condições diferentes, de forma a obter-se um melhor desempenho. Retiram-se os valores do vermelho, verde e azul, em todas as zonas que tenham chama, de forma a chegar-se a um valor médio. Com esses valores, verifica-se ainda qual a cor predominante na chama, bem como a sua variação ao longo da evolução do incêndio.

Inicialmente começa-se por capturar uma primeira imagem que vai ser designada por imagem de fundo.

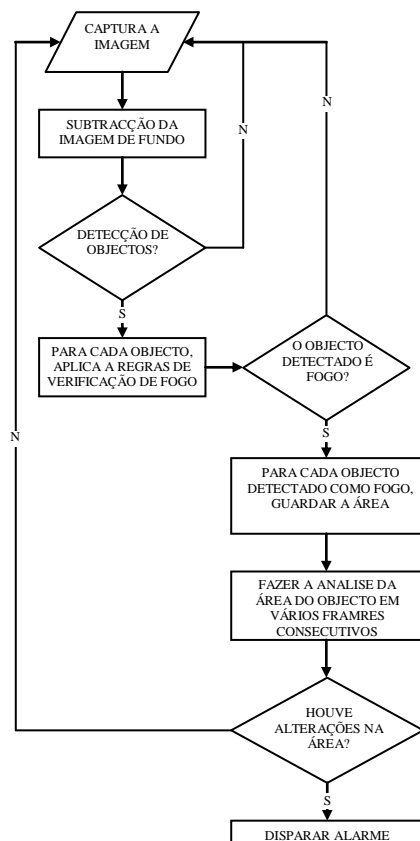
Em seguida volta-se a repetir o processo, mas à nova imagem subtrai-se a imagem de fundo inicial, ou seja, verifica-se se houve alteração significativa entre a imagem inicial e a imagem a analisar. Em caso de existir alteração, aplica-se uma primeira regra para verificar se o objecto pode ser incêndio ou não. Essa regra consiste em verificar se a componente vermelha de cada pixel é maior do que a média dos vermelhos da imagem de fundo.

Seguidamente verifica-se se o nível de vermelhos é maior do que o nível de verdes e se o nível de verdes é maior do que o nível de azuis. Assim reduz-se muito os pontos possíveis onde pode existir uma chama, pois eliminam-se todos os pontos onde houve alterações e ainda os pontos onde não predomina o vermelho.

Por último, aplica-se uma outra regra para eliminar a intensidade luminosa, ficando apenas na imagem resultante as zonas onde houve alguma alteração e essa alteração corresponde às cores de uma chama.

A imagem de fundo pode ainda ser dinâmica, ou seja, sempre que existe uma alteração na imagem, conta-se o número de frames em que o objecto permanece na imagem. No caso de o objecto permanecer na imagem mais do que N vezes, esse objecto passa a pertencer à imagem de fundo, assumindo-se assim que houve uma alteração estática da imagem. Em caso de haver uma nova alteração na zona do objecto, o contador correspondente a cada pixel é inicializado novamente, evitando assim que um objecto passageiro passe a pertencer ao fundo.





**Figura 2.4 - Diagrama geral da detecção por estatística de cores em vídeo**

Para a realização deste processo, pressupõe-se que a câmara se encontra fixa, ou seja, que não existe movimento da câmara sendo apenas feita a detecção no seu ângulo de captação. Tem-se ainda uma resolução muito baixa (176×144), fazendo com que a precisão da imagem diminua, mas o tempo de processamento baixe drasticamente.

Este algoritmo detecta correctamente em cerca de 98% dos casos, sendo um algoritmo muito preciso e com uma grande eficácia podendo ainda ser melhorado com a adição de algoritmos mais complexos de subtracção de imagens, ou com uma melhor modelação das cores dos incêndios.

Apesar da eficácia do algoritmo, ainda não existe uma solução nocturna com base neste algoritmo que permita obter bons resultados com o mesmo. Esta solução diurna deixa ainda outro problema, pois a câmara tem que ser fixa para as imagens não terem que ser alinhadas.

## 3 Conceitos Teóricos

Para uma melhor compreensão de todo o algoritmo, apresenta-se em seguida uma explicação de todos os conceitos teóricos usados no tratamento das imagens. Os conceitos teóricos abordam a detecção dos pontos de luz, o alinhamento de duas imagens e ainda a remoção de erros nas imagens.

### 3.1 Imagem digital

Imagem digital é uma matriz a duas dimensões de valores finitos de uma dada imagem. A matriz tem N linhas por M colunas, define-se então que a resolução da imagem é N por M. À resolução da imagem pode-se também chamar de detalhe da imagem, ou ainda número de pontos da matriz.

Cada ponto da matriz é chamado de pixel, e define o valor da cor nesse ponto. Na prática, a cor é composta por uma percentagem de cada uma das três cores básicas, vermelho, verde e azul. Assim, um pixel é composto por três campos em que cada um representa a quantidade de cada uma das três cores básicas (RGB).

Pode-se dizer então que uma imagem digital é composta por uma matriz de 3 dimensões, onde cada dimensão corresponde a uma cor básica.

### 3.2 RGB para níveis de cinzento

Tipicamente uma imagem RGB utiliza três matrizes de valores, uma para cada cor: vermelho, verde e azul. Uma imagem em tons de cinzento utiliza apenas uma matriz de valores, variando assim entre o preto (de menor intensidade luminosa e menor valor) e o branco (de maior intensidade luminosa e de valor mais elevado).

A conversão de RGB para níveis de cinzento é feita utilizando uma ponderação entre as três cores. Esta ponderação é feita porque o olho humano é mais sensível à cor verde do que ao vermelho e ao azul. Tem-se então uma proporção aproximada  $I = 0.30 R + 0.59 G + 0.11 B$  [4].

### 3.3 Binarização

A binarização consiste em passar uma imagem a cores para preto e branco. Essa passagem envolve dois processos: passar a imagem para níveis de cinzento e depois definir um valor, o qual vai definir a gama de valores que corresponde a preto e a gama de valores que corresponde a branco, dividindo assim a escala de 0 a 255 e ficando apenas 0 e 1, tal como mostra a figura seguinte:

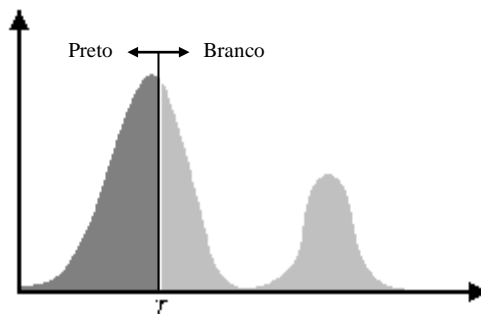


Figura 3.1 - Histograma e threshold a dividir a escala

Ao valor que divide a escala dá-se o nome de threshold e pode ser calculado automaticamente ou definido manualmente pelo utilizador.

Depois de definido o nível de threshold passa-se a imagem para binário, o que significa que todos os pontos da imagem em níveis de cinzento que têm um valor mais pequeno que o threshold, passam a valer zero e os restantes passam a valer um.

### 3.4 Etiquetagem por componentes ligados

A etiquetagem serve para atribuir uma etiqueta a cada objecto presente na imagem binarizada, conseguindo-se assim extrair todas as características dos vários objectos, tais como contabilizar o número de objectos, bem como as suas áreas e os seus centróides.

Assim, aplica-se um algoritmo iterativo numa imagem binária, onde é atribuído um valor a cada pixel não nulo.

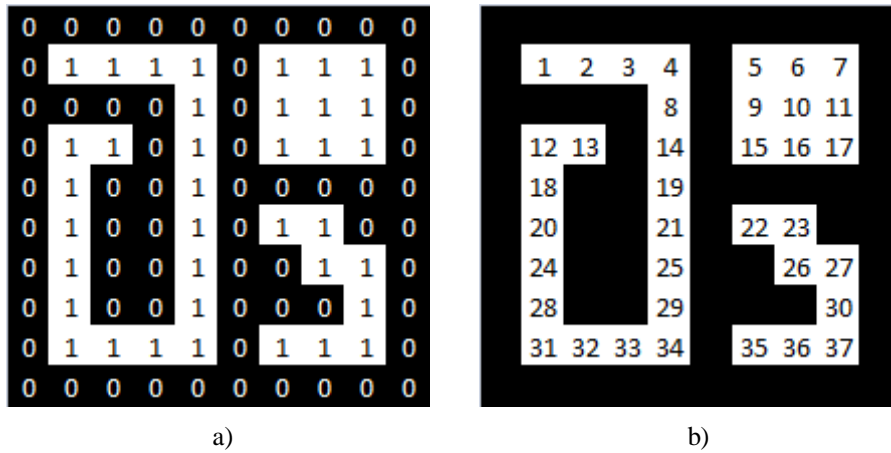


Figura 3.2 – a) imagem binária, b) imagem binária com etiquetas atribuídas aos pixéis não nulos

Esse valor é propagado por todos os pixéis adjacentes, podendo ser usada uma adjacência a 4 pixéis ou a 8 pixéis, onde ao pixel em análise se atribui a menor etiqueta adjacente. A propagação das etiquetas é feita da esquerda para a direita e de cima para baixo.

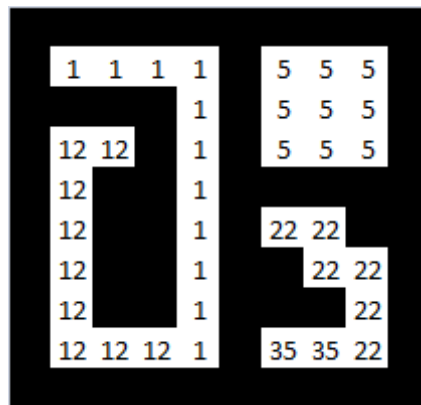


Figura 3.3 - Propagação das etiquetas na passagem descendente

Após concluída a primeira passagem, faz-se uma segunda passagem no sentido inverso, de baixo para cima e da direita para a esquerda.

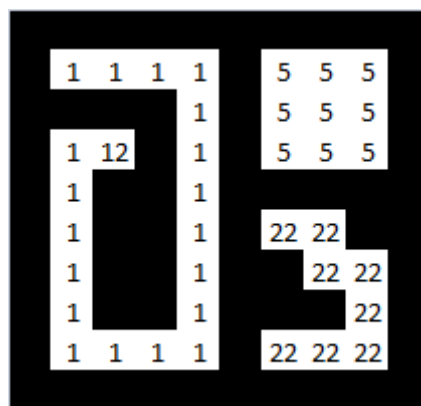


Figura 3.4 - Propagação das etiquetas no sentido ascendente

Este processo é repetido até não haver mais alterações de etiquetas, sendo cada objecto identificado por uma das etiquetas finais, tal como se pode ver na Figura 9, onde existem três objectos identificados pelos números 1, 5 e 22.

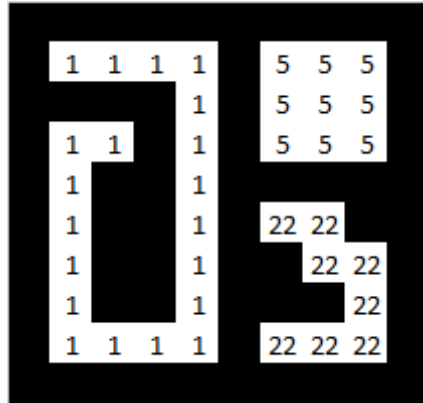


Figura 3.5 - Distribuição final das etiquetas

### 3.4.1 Área

Após feita a etiquetagem, faz-se uma contagem do número de pixéis correspondentes a cada etiqueta, ficando-se assim com a área de cada objecto.

### 3.4.2 Centróide

O centróide de um objecto consiste no seu centro geométrico, podendo esse ponto pertencer ou não ao objecto, dependendo da sua forma.

Para se proceder à determinação do centróide, é necessário saber a sua área e somar cada uma das suas coordenadas, ou seja, o centróide em X e Y é dado da seguinte forma:

$$C_x = \frac{\sum x_i}{Area} \qquad C_y = \frac{\sum y_i}{Area}$$

### 3.4.3 Segmentação

A segmentação consiste na divisão da imagem em sub-imagens, onde cada sub-imagem corresponde a um objecto. Pressupõe ainda o conhecimento de todas as características do objecto, como a área, centróide e em alguns casos a orientação.

### 3.5 Erosão

O algoritmo da erosão consiste em “roubar” pontos pertencentes ao objecto onde uma determinada máscara não coincide, ou seja, a máscara é colocada em todos os pixels da imagem original e em todos os pontos que não coincide o pixel é retirado.

A imagem seguinte apresenta um exemplo do funcionamento do algoritmo da erosão:

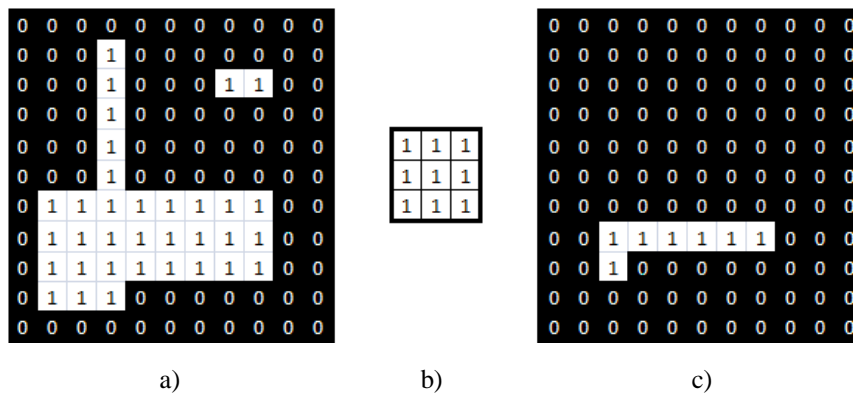


Figura 3.6 - a) Imagem original, b) Máscara de erosão, c) Imagem resultante da erosão

A máscara de erosão pode tomar várias configurações, sendo a do exemplo uma das mais utilizadas pois mantém inalterado o interior dos objectos.

### 3.6 Dilatação

A dilatação faz o contrário da erosão, ou seja, “acrescenta” pontos ao objecto, aumentando assim a sua área. O processo consiste em passar a máscara por todos os pontos da imagem e sempre que o centro da máscara seja coincidente com o pixel, “acrescenta” os restantes pontos da máscara ao objecto.

A imagem seguinte apresenta um exemplo do funcionamento do algoritmo da dilatação:

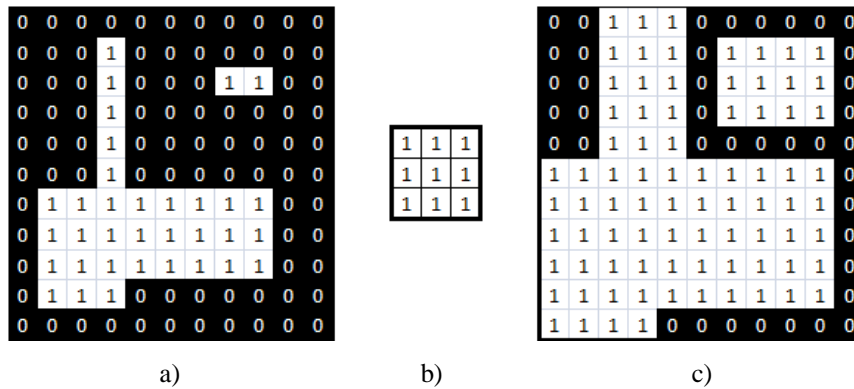


Figura 3.7 - a) Imagem original, b) Máscara de dilatação, c) Imagem resultante da dilatação

A máscara de dilatação pode tomar várias configurações, sendo a máscara do exemplo uma das mais utilizadas para aumentar os objectos [4].

### 3.7 Abertura

A operação de Abertura consiste em fazer uma erosão, seguida de uma dilatação. Com esta operação consegue-se eliminar algumas imperfeições na imagem, tais como pontos isolados, traços muito finos e outros, dependendo da máscara utilizada. De notar que a máscara de erosão não necessita obrigatoriamente de ser igual a máscara de dilatação, dependendo sempre do que se pretende eliminar ou realçar. Na figura seguinte pode-se ver um dos casos mais simples:

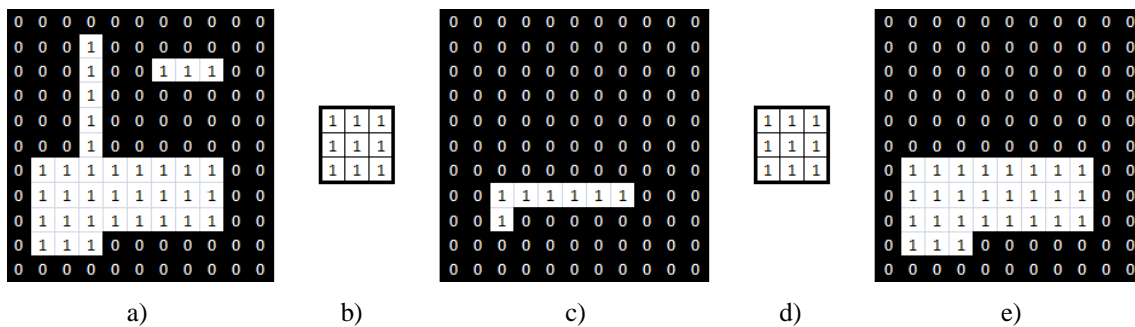


Figura 3.8 - a) Imagem original, b) Máscara de erosão, c) Imagem resultante da erosão, d) Máscara de dilatação, e) Imagem resultante da dilatação

### 3.8 Fecho

A operação de Fecho consiste em fazer uma dilatação seguida de uma erosão. Com esta operação consegue-se a junção de objectos muito próximos, onde fica assim apenas um objecto. Tal como na Abertura, as máscaras de dilatação e erosão podem ser diferentes, dependendo sempre do objectivo que se pretende. Na figura seguinte pode-se ver um dos casos mais simples:

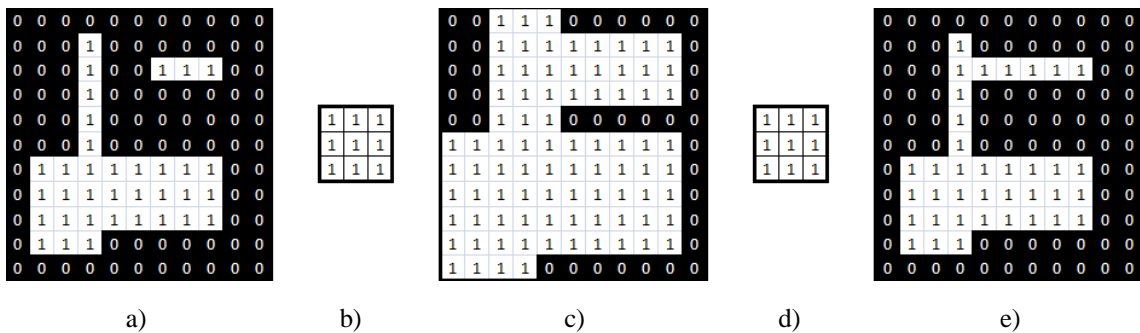


Figura 3.9 - ) Imagem original, b) Máscara de dilatação, c) Imagem resultante da dilatação, d) Máscara de erosão, e) Imagem resultante da erosão

### 3.9 Alinhamento

Para garantir uma sobreposição perfeita de duas imagens, é necessário proceder ao seu alinhamento, de forma a calcular o número de pixéis que se encontram deslocados tanto em X como em Y. O mesmo procedimento serve quando se pretende localizar o ponto óptimo de sobreposição de uma imagem mais pequena numa imagem de maiores dimensões.

Na literatura existem alguns métodos para a implementação do alinhamento, tais como a correlação cruzada [10] e a pesquisa a 3 Passos (Three Step Search [6]).

Os algoritmos existentes têm um elevado grau de complexidade, o que se traduz em muito tempo de processamento. Assim, de maneira a diminuir o tempo foi necessário desenvolver um algoritmo de alinhamento de baixa complexidade de processamento.



### **3.9.1 Correlação cruzada**

A correlação cruzada consiste na sobreposição de duas imagens, em que uma é mais pequena que a outra. A pesquisa é feita sobre toda a imagem, resultando do algoritmo o ponto máximo, ou seja, o ponto onde a imagem mais pequena (o template) coincide melhor com a imagem original.

O processo consiste em fazer a transformada de Fourier da imagem e da sub-imagem, seguido da correlação cruzada das transformadas. Em seguida é feita a transformada inversa, de onde resultam os coeficientes de correlação. Calcula-se o máximo dos coeficientes que correspondem aos pontos da potencial localização da imagem

### **3.9.2 Pesquisa a Três Passos (Three Step Search)**

Tal como o nome indica, a pesquisa é feita em três passos. Para implementar o primeiro passo é necessário definir nove pontos que são distribuídos igualmente na forma de uma matriz de 3 x 3. Dado que não existe nenhuma regra para a distância entre os pontos, o utilizador define-a de forma a melhor se ajustar ao pretendido. Em seguida sobrepõe-se o template, onde o centro é sobreposto com cada um dos pontos da matriz e calcula-se o erro entre cada pixel. Para calcular o erro podem-se usar vários métodos, tais como o erro quadrático médio, o erro absoluto médio ou a correlação cruzada normalizada.

No segundo passo, verifica-se qual o erro mínimo dos nove pontos anteriores e utiliza-se esse ponto como sendo o ponto central dos nove pontos seguintes. Esses nove pontos terão uma menor distância entre si, normalmente metade da distância do primeiro passo, diminuindo assim o raio de pesquisa.

No terceiro passo repete-se mais uma vez o segundo passo, sendo que neste caso a distância entre os pontos da matriz é de um pixel, ou pouco mais caso se justifique. O ponto óptimo para sobrepor o template na imagem original é dado pelo ponto de menor erro.

Apesar de este algoritmo ser interessante, não funciona correctamente com o tipo de imagens utilizadas neste trabalho, pois são maioritariamente constituídas por cores

muito escuras e com pequenos pontos brancos espalhados aleatoriamente pela imagem, o que ao proceder-se ao cálculo do erro poderia indicar uma direcção oposta à direcção correcta.

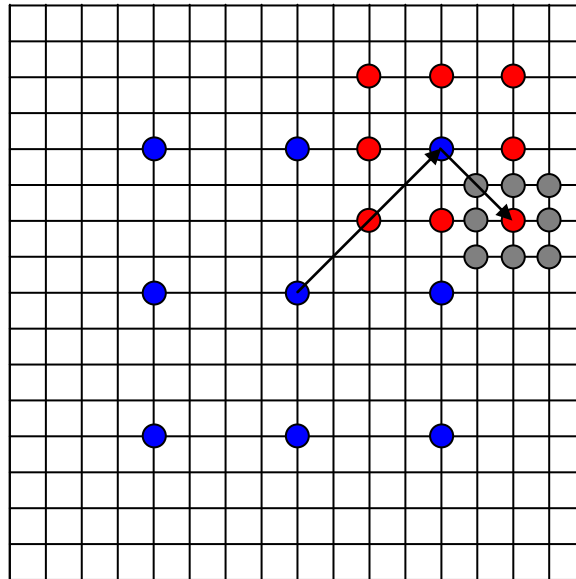


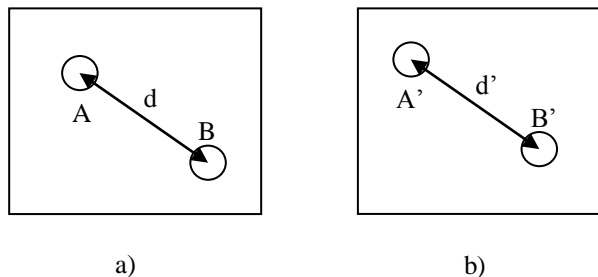
Figura 3.10 - Exemplo do algoritmo pesquisa a três passos

### 3.9.3 Alinhamento de imagens com base na distância entre objectos

A distância entre pontos é um algoritmo de baixa complexidade computacional, utilizando única e exclusivamente imagens binárias e devidamente segmentadas.

O algoritmo utiliza dois tipos de distâncias: distâncias entre centróides da mesma imagem e distância entre coordenadas X e Y das duas imagens. O primeiro passo é calcular a distância entre dois centróides quaisquer do template e verificar a existência desses pontos na imagem original.

$$\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \approx \sqrt{(X_{B'} - X_{A'})^2 + (Y_{B'} - Y_{A'})^2}$$



No caso de haver dois pontos com distâncias muito semelhantes, passa-se à verificação das coordenadas X e Y utilizando as seguintes regras matemáticas:

$$\begin{cases} |X_A - X_{A'}| \approx |X_B - X_{B'}| \\ |Y_A - Y_{A'}| \approx |Y_B - Y_{B'}| \end{cases}$$

Caso o número de objectos da imagem ou do template, seja maior ou igual a dez, definiu-se que é necessário haver a confirmação sobre quatro distâncias e respectivas coordenadas X e Y, o que permite garantir que não são apenas dois pontos coincidentes.

Caso o template, ou a imagem, não tenham qualquer objecto, define-se que as imagens estão alinhadas e o erro em X e Y é nulo. Também no caso de a imagem e o template não terem nenhum ponto comum, define-se que as imagens estão alinhadas.

## 4 Sistema desenvolvido

O sistema foi desenvolvido sobre uma plataforma que já é comercializada, o Forest Fire Finder (FFF) que faz a vigilância diurna de matas. Faz-se em seguida uma descrição do sistema, bem como do software utilizado.

### 4.1 Descrição do sistema

O sistema é constituído por uma unidade de varrimento composta por uma câmara óptica de longo alcance e um telescópio, o qual tem uma mobilidade na horizontal de 320° e na vertical de -45° a 90°. Fazem também parte do sistema sensores de temperatura, humidade, velocidade e direcção do vento, precipitação e pressão atmosférica. Este sistema deve ser colocado a uma altura superior à copa das árvores.

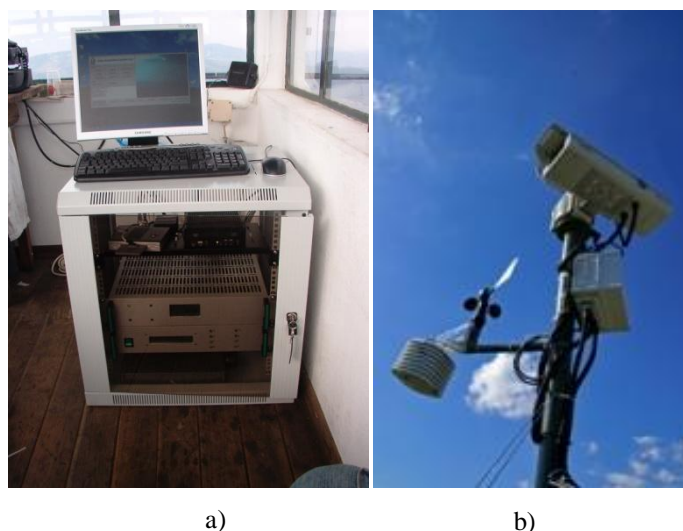


Figura 4.1 - Sistema de varrimento óptico

O sistema de varrimento óptico é composto por duas partes, uma câmara digital e uma unidade de espectrometria. A câmara digital é da marca Lumenera, modelo LE175, com CCD CMOS de 1.3 megapixéis. A unidade de espectrometria é composta por um

telescópio MEADE ETX-90 que transmite um sinal óptico para um espectrómetro da marca Avantes, modelo AvaSpec-2048.

O controlo destas três unidades é feito através de um sistema inteligente de monitorização e controlo, que faz uma constante verificação da funcionalidade do sistema e alerta para o caso de haver alguma avaria. O processamento do sinal óptico recolhido pelo espectrómetro, bem como pela câmara digital, é feito através de um computador, que encontra-se ainda ligado a todos os sistemas de informação atmosférica.



**Figura 4.2 - Sistema completo. a) computador e espectrómetro, b) sistema atmosférico, sistema óptico**

Para alimentação do sistema são necessários 12 Volt DC e 24 Volt AC com 100 Watt. Como o sistema pode ser colocado em zonas de difícil acesso, permite a utilização de energias alternativas, como energia eólica ou painéis solares, podendo-se ainda utilizar o método tradicional da rede eléctrica.

A informação é transmitida por protocolo IP, sendo necessária uma largura de banda mínima de 300 kbps.

## **4.2 Requisitos do sistema**

O sistema proposto assenta apenas num software de processamento de imagem, sendo integrado posteriormente num sistema completo de software e hardware. Todo o

software proposto encontra-se compilado numa DLL, que é executada pelo software de controlo de todo o sistema.

O software permite a análise de pontos de luz em imagens à noite, sendo processada imagem por imagem em vários varrimentos consecutivos. Sempre que é feita a análise da imagem, em caso de haver um possível incêndio, gera-se um ficheiro com as coordenadas do ponto a verificar posteriormente. A verificação é feita através de espectroscopia que, através da análise do espectro do fumo, valida o incêndio.

É também guardado um relatório de todas as análises feitas, sendo assim possível mais tarde visualizar quando houve um possível incêndio, em que imagem e em que coordenadas.

### **4.3 Software utilizado**

O sistema foi desenvolvido tendo como base plataformas já existentes, tanto ao nível do software, como ao nível de hardware.

Todo o software foi desenvolvido em Matlab<sup>®</sup>, usando funções básicas já implementadas no próprio programa. Todas as funções de maior complexidade, bem como toda a parte de controlo do sistema foi feito de raiz, de forma a permitir agrupar funções de menor complexidade e reduzir algum tempo de processamento.

O hardware necessário é apenas um computador, computador esse que já se encontra instalado no sistema principal e que tem como principal função controlar todo o sistema restante de hardware através do software desenvolvido.

O software de controlo do sistema é independente do software deste projecto, sendo apenas responsável pela execução da DLL onde se encontra desenvolvido o software do projecto.

## 5 Implementação

O projecto desenvolvido tem como base a captura de pontos de luz em imagens nocturnas, processamento dos pontos de luz e identificação de possíveis focos de incêndio.

O conjunto de imagens dá um ângulo de visão de aproximadamente 360°, podendo ser utilizado na sua totalidade, ou apenas o necessário para percorrer a área pretendida.

A base da detecção dos possíveis focos de incêndio, assenta nas seguintes premissas:

- Analisam-se três imagens com  $\Delta t$  diferentes
- Da análise identificam-se todos os pontos de luz
- Verifica-se a continuidade, aparecimento e desaparecimentos dos pontos de luz
- Os pontos de luz que inicialmente não existem, posteriormente aparecem e aumentam a sua área no tempo são considerados possíveis focos de incêndio

### 5.1 Sistema

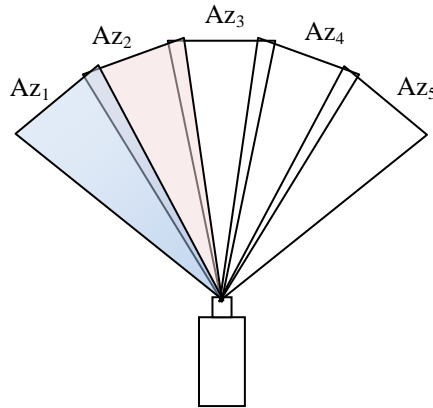
Apresenta-se em seguida uma descrição pormenorizada do sistema desenvolvido para a detecção de incêndio, dividindo-se o processo em sub-processos mais pequenos e detalhados.

#### 5.1.1 Divisão do ângulo em azimutes

Tal como já foi mencionado, o sistema tem um ângulo de visão máximo de 360°, podendo ser definido para ângulos menores, conforme a área de interesse a supervisionar.

A divisão do ângulo é feita para que a posição actual da câmara capture sempre uma parte da imagem do azimute anterior e do próximo (Figura 5.1), sendo configurável

a percentagem da imagem sobreposta sem qualquer interferência no trabalho desenvolvido. No entanto recomenda-se uma sobreposição de 50% de forma a garantir que toda a área é verificada duas vezes de forma.



**Figura 5.1- Divisão do ângulo de visão em vários azimutes**

Feita a divisão do ângulo de interesse, a máquina percorre o campo de visão no sentido horário tirando uma fotografia em cada azimute. Sempre que o ângulo de visão é percorrido na sua totalidade, o sistema volta ao ponto inicial e repete todo o processo.

Em cada azimute é feita uma análise da imagem, utilizando para comparação as imagens dos dois últimos varrimentos. Da comparação tenta concluir-se se existe ou não algum incêndio naquele instante para o respectivo azimute.

### **5.1.2 Análise de azimute**

Para se analisar o azimute, utiliza-se um conjunto de regras e condições para extrair e filtrar os vários pontos de luz.

Assim, após a captura da imagem, procede-se à sua respectiva análise de onde é feita a extracção de todas as suas características, tais como o vários pontos de luz e respectivas coordenadas e azimute.

Feita a extracção das características, faz-se em seguida a comparação das imagens para se concluir sobre possíveis pontos de luz que aumentem as suas dimensões. Todos os pontos que respeitem as regras são considerados possíveis incêndios.

Em seguida apresenta-se um diagrama de blocos que representa um resumo de todo o processo, desde a aquisição da imagem até à conclusão.



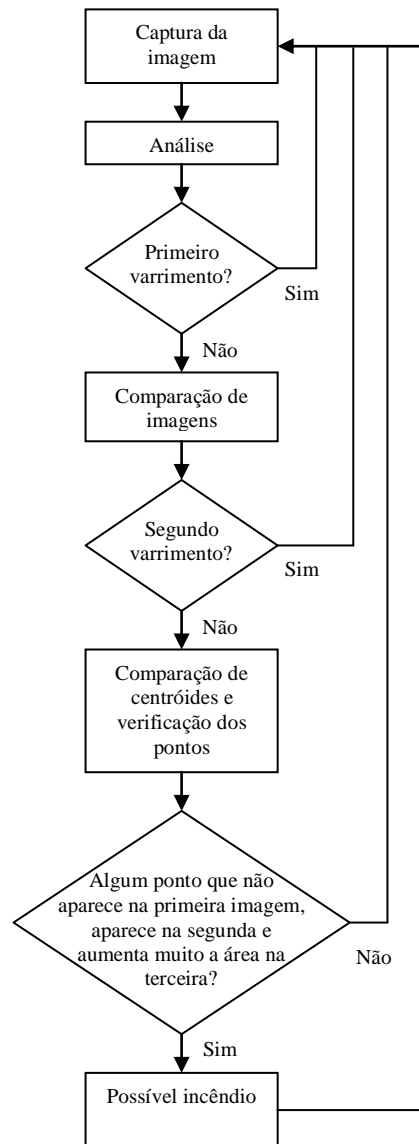


Figura 5.2 - Esquema da extração de características da imagem

### 5.1.3 Extração de características da imagem

Para extrair a coordenadas dos pontos de luz das imagens é necessário algum processamento de imagem. De notar que neste capítulo faz-se referência a conceitos teóricos apresentados no capítulo 3.

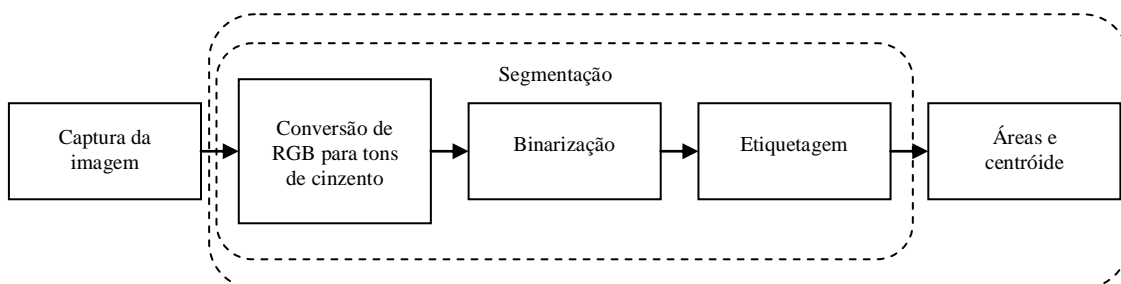
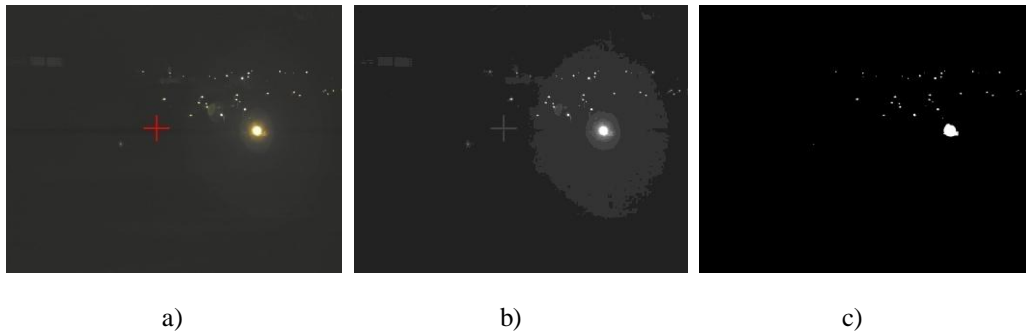


Figura 5.3 - Esquema da extração de características da imagem

Como os pontos de maior interesse nas imagens são os pontos de luz (pontos com uma maior intensidade luminosa), começa-se por passar a imagem a cores para uma imagem binária a preto e branco. Assim, é necessário passar inicialmente a imagem a cores (RGB), para uma imagem em tons de cinzento. Passando-se em seguida a imagem de tons de cinzento, para uma imagem binária.



**Figura 5.4 - Passagem de uma imagem a cores, para uma imagem a preto e branco. a) imagem a cores, b) imagem em tons de cinzento, c) imagem a preto e branco**

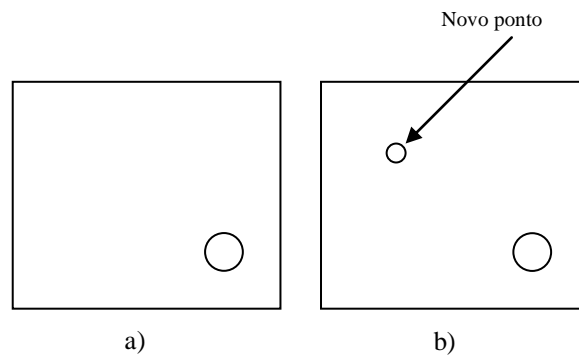
Após ter a imagem a preto e branco é possível extrair todos os objectos nela presentes, ou seja, todos os pontos brancos (focos de luz) da imagem. Para isso, utiliza-se a função da etiquetagem onde se atribui uma etiqueta a cada objecto, tal como explicado no subcapítulo 3.4.

Depois de identificados e separados os objectos, é possível extrair todas as características necessárias a cada objecto, tais como o centro do objecto e a sua área.

#### **5.1.4 Comparação de duas imagens**

Após extraídas as características da imagem, já se pode fazer a comparação directa com a imagem anterior. Da comparação, consegue-se perceber se houve aparecimento de novos pontos de luz, desaparecimento de pontos de luz e ainda se a área de algum ponto de luz aumenta. Assim, comparam-se todos os pontos de luz de uma imagem com todos os pontos de luz de outra imagem. Todos os pontos que se encontrem com uma distância menor ou igual à distância mínima são considerados como o mesmo ponto de luz, mas em imagens diferentes. Da comparação guardam-se as seguintes informações:

- Novos pontos de luz
- Pontos de luz que desapareceram
- Pontos de luz que se mantêm

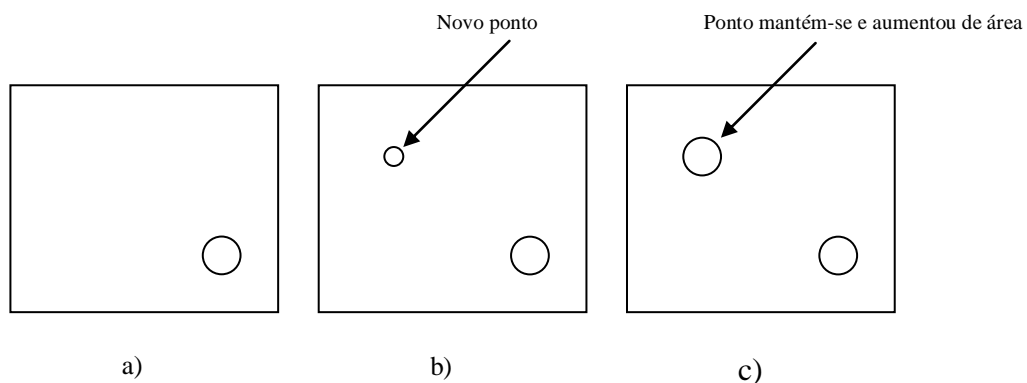


**Figura 5.5 - a) imagem  $\Delta t_1$ , b) imagem  $\Delta t_0$  com aparecimento de novo ponto de luz**

Este processo repete-se sempre que é tirada uma fotografia nova, guardando-se a informação extraída para se proceder a comparações com uma terceira imagem.

### 5.1.5 Comparação de 3 imagens

A comparação de três imagens é feita sempre que é tirada uma fotografia a partir do terceiro varrimento. Inicialmente, começa-se por comparar a imagem com a imagem do varrimento anterior (processo do ponto precedente), obtendo-se a informação necessária para se proceder à análise do progresso dos pontos de luz nos últimos três varrimentos.



**Figura 5.6 - a) varrimento  $\Delta t_2$ , apenas com um ponto de luz; b) varrimento  $\Delta t_1$ , ponto de luz já existente e novo ponto de luz; c) varrimento  $\Delta t_0$ , ponto de luz já existente e aumento substancial do ponto de luz que apareceu no varrimento anterior**

Em seguida começa-se por analisar os pontos que apareceram da imagem de  $\Delta t_2$  para a imagem de  $\Delta t_1$ . Esses pontos são comparados com os que permaneceram da imagem  $\Delta t_1$  para a imagem  $\Delta t_0$  e verifica-se se permaneceram. Em caso afirmativo, verifica-se a progressão da área do ponto de luz ao longo do tempo. Se houve um

aumento relativo do ponto de luz, então o ponto é considerado possível foco de incêndio.

Este processo é repetido N vezes em cada varrimento (sendo N o numero de azimutes), utilizando-se sempre três imagens para a comparação em cada azimute.

## 5.2 Detecção de incêndio

Sempre que se detecta um possível incêndio é necessário passar ao programa principal toda a informação relativa a esse ponto para o mesmo proceder a confirmação do incêndio.

Para passar a informação do programa principal utilizou-se um ficheiro de texto, onde o seu nome é um número que identifica o número de imagens onde houve um ou mais alertas de incêndios e tem o seguinte formato:

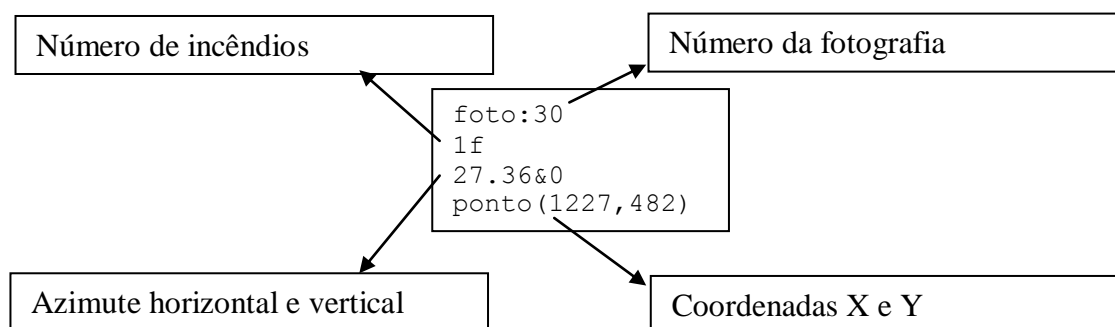
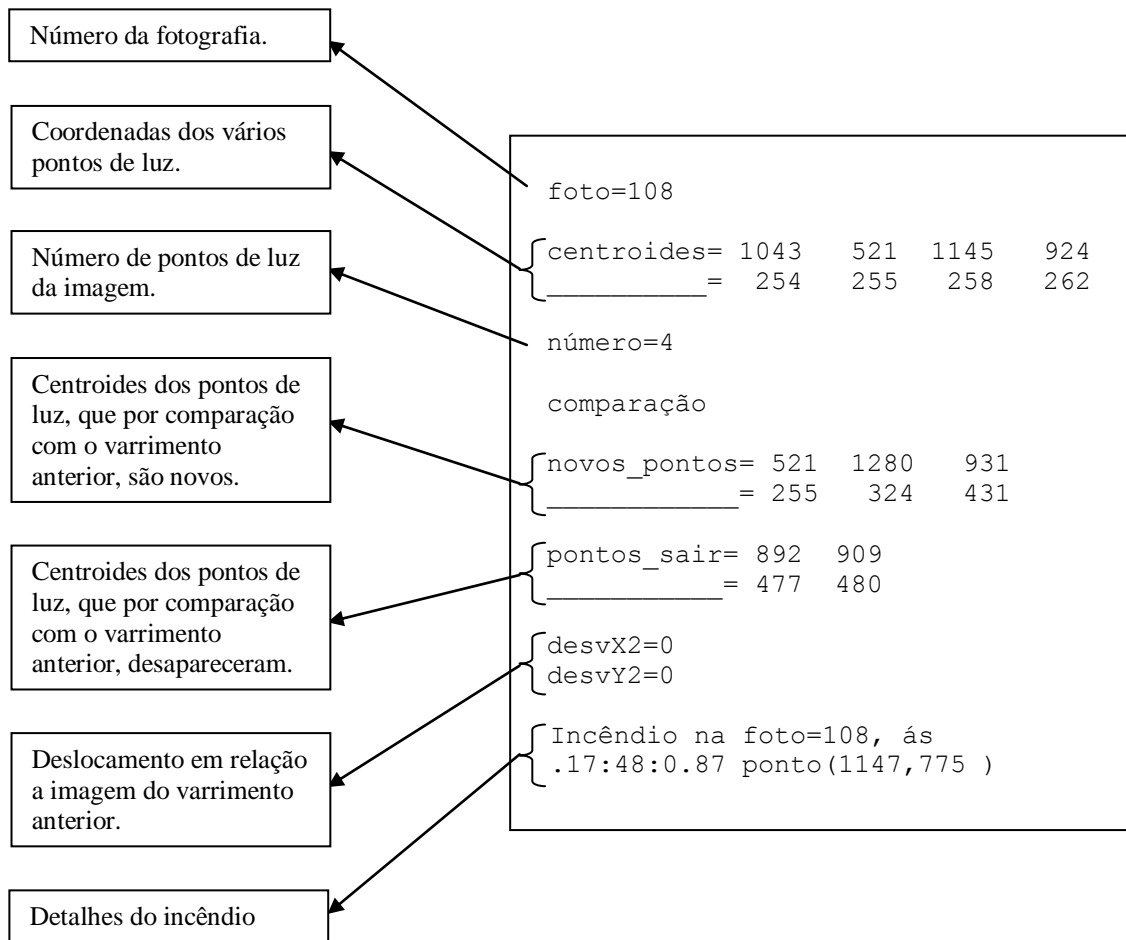


Figura 5.7 – Ficheiro gerado em caso de incêndio

## 5.3 Relatório diário

Todos os dias guarda-se um relatório de todo o processamento efectuado, guardando-se todos os pontos de detectados, todas as áreas e respectivas fotografias, bem como toda a informação relativa à comparação entre imagens. Guardam-se ainda todos os possíveis incêndios com as suas respectivas coordenadas.

Este ficheiro tem como objectivo fazer um registo diário dos acontecimentos, bem como uma ajuda em caso de ocorrer algum erro. É guardado com a extensão .info na pasta relativa a toda a informação do dia corrente.



5.8 – Excerto do relatório diário, exemplo com possível incêndio.

## 6 Preparação dos dados pré-processados

Após os primeiros testes concluiu-se ser necessário adicionar algumas correcções às imagens antes de se proceder à análise.

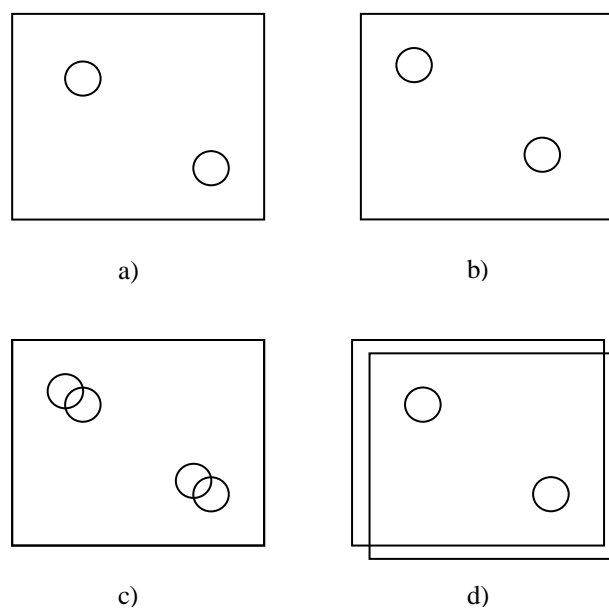
Assim, através dos testes percebeu-se que devido ao erro do motor o azimute tem um erro associado, ficando a fotografia em cada azimute ligeiramente deslocada tanto na horizontal como na vertical.

Verificou-se ainda que a claridade geral da fotografia tem muita influência na área real de cada ponto de luz, bem como no aparecimento de falsos pontos de luz, sendo necessário recorrer-se a ajustes manuais e automáticos (ajustes por software) da claridade da fotografia.

Devido a serem necessários demasiados recursos de memória e de processamento foi necessário preparar os dados para se reduzir ao mínimo a memória utilizada bem como o tempo e a complexidade de processamento.

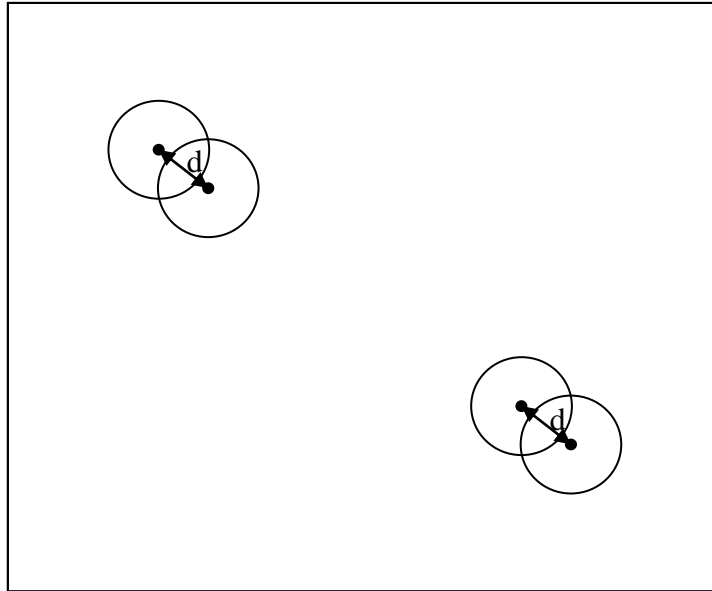
### 6.1 Alinhamento das imagens

Inicialmente foram utilizadas imagens obtidas em condições ideais para testar todo o algoritmo proposto. Ao passar-se para imagens reais, constatou-se que devido aos erros de engrenagens e motores era muito difícil conseguir obter duas imagens exactamente alinhadas tanto na horizontal como na vertical.



**Figura 6.1 – a) imagem de  $\Delta t_1$ ; b) imagem de  $\Delta t_0$ ; c) sobreposição directa das duas imagens; d) sobreposição das duas imagens correctamente alinhadas**

Assim, foi necessário perceber qual a distância, em pixels, entre duas imagens do mesmo azimute. Essa distância, representada na figura 6.2 como 'd', é decomposta nas suas componentes horizontais e verticais, percebendo-se assim o desalinhamento entre as duas imagens.



**Figura 6.2 – Distância de alinhamento de duas imagens**

Para se saber qual a distância entre as duas imagens, utilizou-se o algoritmo da distancia entre pontos (explicado no ponto 3.12.3), conseguindo-se assim alinhar as duas imagens como representado na figura 6.2 d).

Assim, sempre que é necessário comparar dois pontos de diferentes imagens, tem-se em conta a distância horizontal e vertical e subtrai-se ou soma-se (consoante o desalinhamento é para a esquerda ou direita, acontecendo o mesmo na vertical, se é para cima ou para baixo) às coordenadas dos pontos da imagem desalinhada.

## **6.2 Luminosidade**

De maneira a diminuir o número de falsos pontos de luz, fazem-se alguns ajustes de para a corrigir o automatismo da máquina, ou seja, tempo de exposição e ganho automáticos. Os ajustes são feitos de forma manual no próprio hardware e de forma automática por software.

### 6.2.1 Ajuste manual

Os ajustes manuais consistem em passar o ganho e o tempo de exposição do sensor para valores mínimos, baixando assim o brilho na imagem. Sempre que o processo nocturno é activado, as características da máquina são alteradas.

As imagens seguintes exemplificam a diferença da utilização de brilho mínimo e automático:



**Figura 6.3 - Imagem com brilho automático**



**Figura 6.4 - Imagem com brilho manual e mínimo**

Com a alteração manual do brilho, aplica-se um escurecimento geral à imagem, conseguindo-se assim obter imagens onde a luz incide directamente sobre a. Também são retirados alguns pontos de fundo, mas são mínimos, sendo detectados no varrimento seguinte no caso de serem incêndios.

### 6.2.2 Ajuste automático

Apesar das alterações manuais, existem imagens muito claras, pois poderá existir muita luminosidade, nevoeiro, chuva, ou ainda a possibilidade de reflexo em espaços

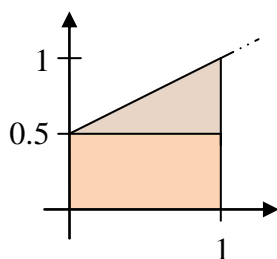


com água. Assim, utiliza-se um algoritmo dinâmico para calcular o nível de threshold a aplicar a cada imagem.

O algoritmo dinâmico tem em conta o threshold automático, ou seja, através da intensidade média, calcula o melhor nível a aplicar a imagem. Assim, se uma imagem tiver um nível de intensidade médio baixo, então a imagem é muito escura, pelo que convém ter um nível de threshold baixo para haver uma melhor filtragem dos pontos de luz. No entanto, o nível de threshold não pode ser muito baixo, pois um pixel cinza com um nível médio, passaria a ser um ponto branco, ou ponto de luz.

No caso de o nível médio ser muito alto, então a imagem é muito clara e convém ter um nível de threshold ainda mais alto, de maneira a considerar apenas mais claros da imagem. Caso contrário seriam inseridos pontos de luz inexistentes na imagem binária.

Assim, para calcular o nível de threshold a aplicar, utiliza-se a recta  $y=0.5x+0.5$ , onde  $x$  representa o threshold automático e  $y$  o threshold a aplicar na imagem. Situando os valores possíveis de threshold apenas entre 0.5 e 1.



**Figura 6.5 - Recta para calcular o valor de threshold**

Os valores possíveis ficam limitados de 0.5 a 1, para se garantir que apenas ficam os pontos de luz que correspondem a branco.

Apesar de todos os ajustes feitos por hardware e por software, é necessário ainda eliminar pontos isolados. Esses pontos são constituídos por apenas um pixel e na grande maioria dos casos são apenas ruído. Então, aplica-se à imagem binária o algoritmo da erosão, seguido da dilatação.

Os ajustes por software são todos feitos na fase 1, durante a análise da imagem. Funcionam apenas como filtros para melhorar a eficiência da fase 1, não alterando em nada a estrutura do software.

### **6.3 Gestão de memória**

O desenvolvimento de software, pressupõe sempre uma boa gestão de memória bem como de processamento por parte do programador. Para fazer face a uma boa gestão de memória e de processamento, tendo em conta o algoritmo base para a detecção de incêndio, foi necessário desenvolver algumas regras básicas para evitar repetição de processos, bem como utilizar o mínimo de recursos da memória.

#### **6.3.1 Leitura da imagem**

As imagens são captadas pelo programa que é executado em paralelo sendo guardadas numa pasta específica. Assim, sempre que existe uma imagem nova, é copiada para uma variável e processada. Ao copiar uma imagem para uma variável, é ocupada uma parte significativa da memória. Assim, teve-se o cuidado de eliminar sempre todas as variáveis logo que deixavam de ser necessárias.

Em seguida o programa espera por uma nova imagem na pasta respectiva, não havendo qualquer processamento durante esse tempo.

#### **6.3.2 Armazenamento das imagens**

O armazenamento e gestão das imagens é feito pelo o programa que é executado em paralelo com o programa de análise das imagens que as separa consoante o dia. Assim, sempre que muda de dia é necessário ler as imagens de pastas diferentes.

As imagens são guardadas numa directoria específica existindo dentro dessa directoria subdirectorias referentes aos vários dias. O nome da directoria é composto pelo ano, mês e dia, ou seja, um número com oito algarismos.

#### **6.3.3 Leitura do cabeçalho da imagem**

Todas as imagens referentes a este projecto contêm no exif informação importante sobre a orientação da máquina quando a imagem foi captada para além de outra informação relevante. Essa informação é necessária para se saber a que azimute a imagem corresponde, pois por algum motivo pode haver uma falha no software

principal e saltar alguns azimutes. A informação pode ainda ser necessária para identificar o local de um possível incêndio, sendo disponibilizado ao software principal o azimute da imagem em questão, bem como a altura, em graus, e ainda os pixéis referentes às coordenadas do ponto na imagem.

### 6.3.4 Algoritmo de identificação do azimute

Após extraído o azimute do exif da imagem, verificou-se que devido aos erros associados das várias partes mecânicas do sistema, não se obtinham azimutes de passo constante e precisos.

É necessário então conhecer a qual índice pertence o azimute da imagem, pois é necessário conhecer-se com que conjunto de imagens se compara a fotografia.

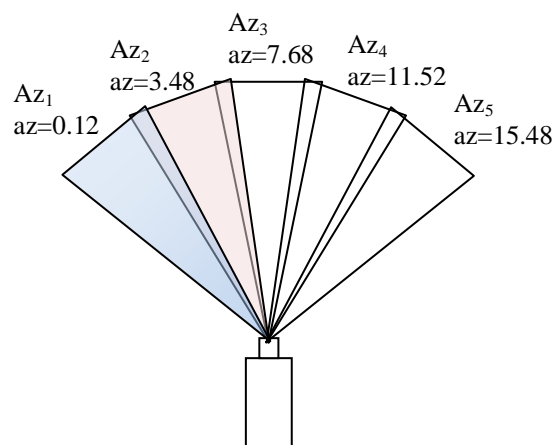


Figura 6.6 – Alguns azimutes e respectivos índices

Assim, foi necessário criar uma lista dinâmica de valores dos vários azimutes no primeiro varrimento e posteriormente utilizá-la para verificar qual o índice correspondente. Para comparar qual o azimute correspondente, utilizou-se o método da distância entre dois pontos, onde se faz a diferença entre o azimute dado, com a diferença de todos os valores da lista de azimutes e a menor distância, ou seja, o menor valor corresponde ao índice adequado, tal como mostra o pseudocódigo seguinte:

- Subtração do azimute, a todos os valores da lista de azimutes
- Módulo do resultado da subtração
- Índice do mínimo do resultado do módulo

Assim, através do índice adequado consegue-se saber qual o conjunto de imagens a comparar para verificar a existência de incêndio.

### 6.3.5 Gestão de processamento e armazenamento de dados

Em processamento de imagem a melhor maneira de reduzir o tempo de processamento é diminuir ao máximo o número de análises da imagem. Assim, na extracção das características da imagem, juntou-se em apenas um ciclo, processos como a contabilização da área, número de pontos e centroides dos vários pontos. Os dados relevantes foram guardados num ficheiro, evitando-se assim a repetição da análise da imagem numa futura comparação.

Inicialmente é criado um ficheiro para cada azimuth e cada ficheiro guarda a informação das duas últimas imagens do azimuth correspondente.

A informação é guardada numa célula com oito posições e vários tipos de dados. Na célula são guardados os centróides dos vários pontos e suas respectivas áreas, número de pontos e ainda os pontos de luz novos que aparecem na imagem.

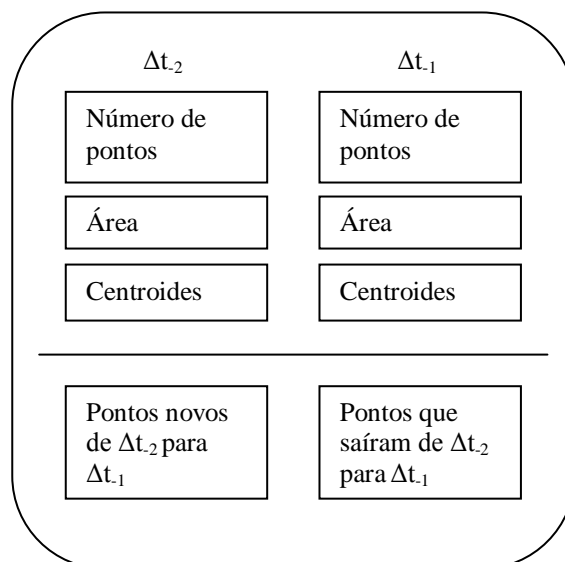


Figura 6.7 - Célula de armazenamento de dados

Sempre que há informação de uma imagem nova para guardar, eliminam-se os dados da imagem mais antiga, copiam-se os dados da imagem  $\Delta t_1$  para a posição de  $\Delta t_2$  e colocam-se os dados da imagem mais recente em  $\Delta t_1$ , fechando-se assim novamente o ficheiro.

## 7 Discussão e Resultados

Ao longo da realização do trabalho, foram efectuados vários testes que permitiram corrigir e validar todo o trabalho desenvolvido. Em seguida apresentam-se todos os testes efectuados e correcções efectuadas.

### 7.1 Testes Preliminares

Os testes preliminares tiveram como objectivo verificar o funcionamento de todo o algoritmo, bem como detectar possíveis erros tanto de análise como de programação. Começou-se por fazer testes numa zona residencial, local onde existe todo o tipo de problemas que podem surgir em pleno funcionamento do software e sem simulação de incêndio.

Após alguns testes, percebeu-se que o sistema óptico ajusta automaticamente o brilho, obtendo-se imagens com auto-iris elevado e com muito erro associado. Assim, configurou-se o sistema para funcionar com o brilho em modo manual e utilizando valores mínimos.



**Figura 7.1 – a) Imagem com brilho automático, b) Imagem com brilho manual e valores mínimos**

Com a diminuição do brilho, obtiveram-se imagens com muito melhor qualidade e com uma dimensão mais aproximada da realidade, não havendo assim aumentos abruptos da área em pontos estáticos, nem a existência de pontos de luz onde não existem, tais como reflexos nas paredes (Fig. 7.1).

Ainda assim, verificou-se que as imagens com muitos pontos de luz, ou imagens com alguma claridade, tinham alguns pontos inexistentes. Então, optou-se por fazer um ajuste automático (cap. 6.2.2) do threshold, o que permite em imagens mais claras ter um threshold mais alto e em imagens mais escuras um threshold mais baixo evitando assim que se eliminem pontos importantes em imagens muito escuras ou se adicione ruído a imagens muito claras.

Após a correcção ao hardware, testou-se novamente o sistema e verificou-se que o software responde bem em todas as situações, embora com pequenos erros em alguns casos particulares. Os erros são originados principalmente pela deslocação de veículos na direcção do sistema óptico e em sentido oposto, o que provoca um aumento do ponto luz à medida que o veículo se desloca. Não se conseguiu corrigir o erro, pois o mesmo respeita todas as regras da detecção de incêndio e não se consegue fazer a distinção entre os dois tipos de pontos de luz.

## 7.2 Testes Simulados

Os testes simulados tiveram como objectivo simular um incêndio, verificar se na prática as regras básicas de detecção de incêndio fazem sentido e ainda verificar a movimentação do centroide do incêndio à medida que o mesmo aumenta. Em fundo tinham-se ainda algumas luzes de carros e candeeiros, de forma a simular o pior caso, onde há luzes permanentes e luzes que aparecem e desaparecem.

Para se simular o incêndio utilizou-se um projector com um reóstato e ao longo do tempo fez-se variar a intensidade de luz do projector.

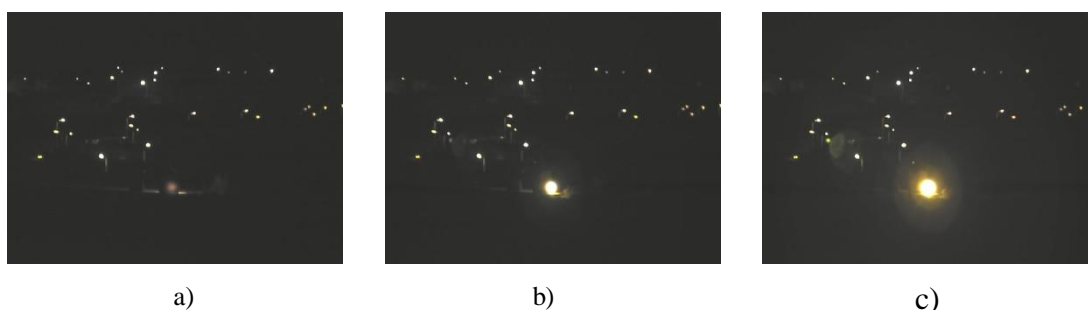


Figura 7.2 - Variação da intensidade da luz ao longo do tempo, a) varrimento  $\Delta t_2$ ; b) varrimento  $\Delta t_1$ ; c) varrimento  $\Delta t_0$ ,

Pode-se observar pela Figura 7.2 a progressão do ponto de luz referente ao incêndio, onde no varrimento  $\Delta t_2$  o ponto era inexistente, no varrimento  $\Delta t_1$  existe o aparecimento de um novo ponto de luz e no varrimento  $\Delta t_0$  permanece havendo um aumento da sua área. Como o ângulo de movimentação entre azimutes era muito pequeno (cerca de 5 graus) e na máquina utilizada para os testes encontrava-se instalada uma lente grande angular de 20 graus, fez com que qualquer ponto das imagens fosse analisado quatro vezes, uma vez em cada azimute. Isto acontece porque o sistema não estava otimizado para o processo nocturno. Acabou ainda por ser proveitoso, pois o número de imagens para teste aumentou substancialmente.

Assim, o incêndio foi detectado em quatro azimutes diferentes, mas sempre correctamente e referente ao ponto em teste (possível incêndio). Todos os outros pontos de luz foram correctamente classificados, não havendo mais nenhum ponto classificado como incêndio.

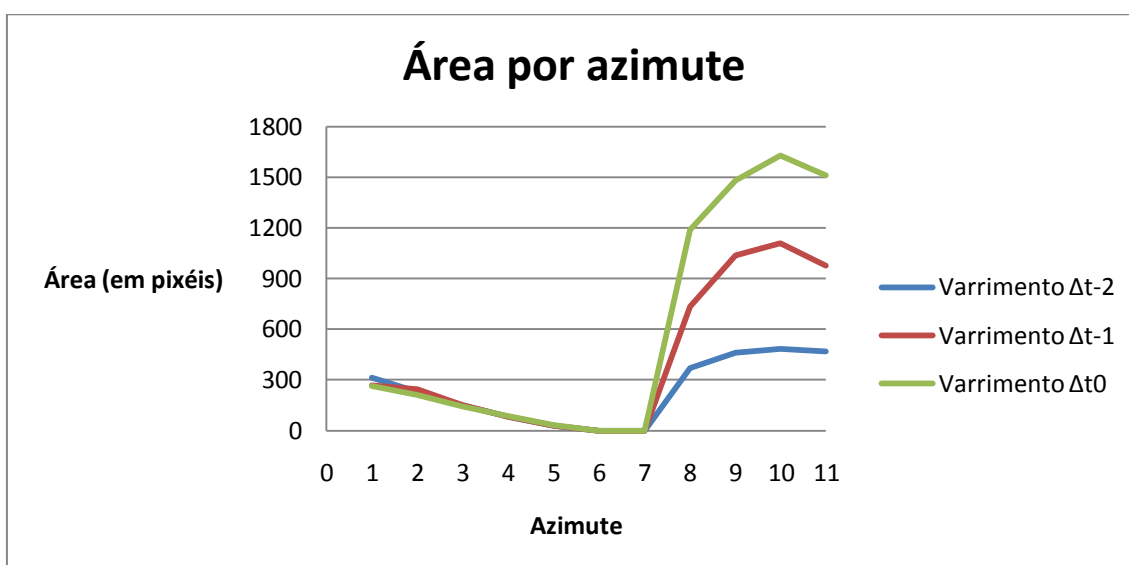


Figura 7.3 – Progressão da área ao longo do tempo em cada azimute

No gráfico da figura 7.3 pode-se observar a evolução da área em cada azimute ao longo do tempo. De notar um aumento da área nos azimutes de índice 8 até 11, azimutes que no seu campo de visão capturavam o suposto incêndio. Ao longo do tempo houve um aumento, respeitando todas as regras de incêndio e sendo gerado o ficheiro com as coordenadas correspondentes, para verificação com espectrometria.

### 7.3 Testes Reais

Os testes reais tiveram como objectivo a detecção de um incêndio real, bem como a verificação do funcionamento global do sistema.

Como não foi possível esperar pela escuridão total, teve de se proceder ao teste em condições de semi-escuridão. Assim, e apesar de não haver condições perfeitas para a realização do testes, verificou-se que o sistema funcionou como previsto, detectando o incêndio que se encontrava a alguns quilómetros de distância.



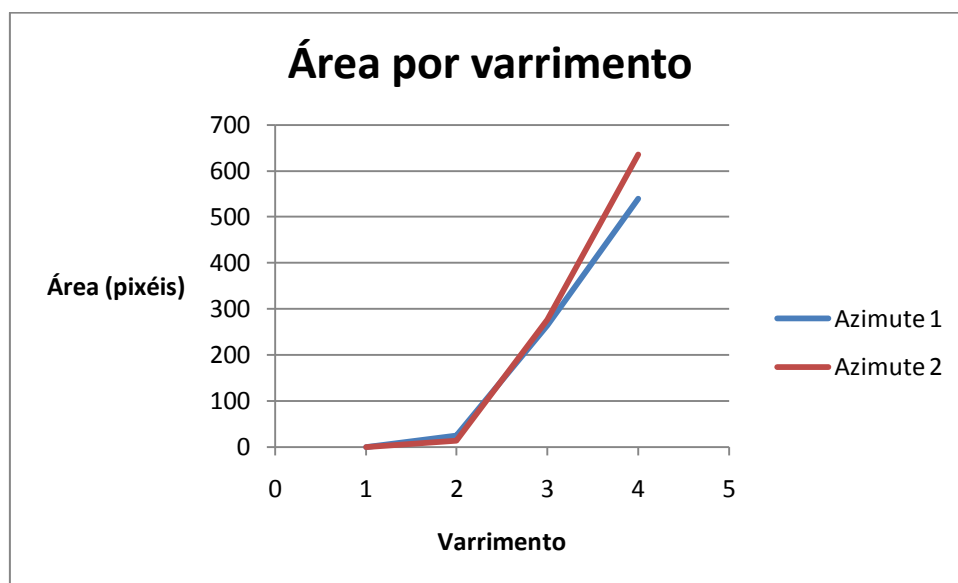
7.4 – Progressão do incêndio ao longo do tempo

Pode-se verificar nas imagens da figura 7.4 a evolução do teste ao longo do tempo. Que, como se pode observar; respeita as regras pré-estabelecidas para a classificação de incêndio.

O centroide do incêndio mantém-se praticamente inalterado, havendo pequenas oscilações, já previstas não só pelo desalinhamento das imagens, bem como pela progressão do incêndio. Na prática, quanto mais longe estiver o incêndio, menor é a variação do seu centroide.



No gráfico da figura 7.5 observa-se a evolução da área, em pixels, do incêndio ao longo do tempo, para cada um dos azimutes.



7.5 – Área em função do varrimento, para cada azimute

## 8 Conclusões

Neste projecto foi desenvolvido um inovador sistema nocturno de detecção de incêndios, através da análise de imagem. Este tipo de sistemas, auxilia muito na prevenção de incêndios, que é uma das maiores causas de desflorestação natural em todo o mundo. A elevada capacidade de autonomia do sistema permite a colocação de sistemas em pontos-chave e de difícil acesso, bem como a redução de activos humanos em vigilância.

Para o projecto foi necessário desenvolver todo um software de processamento de imagem, capaz de reconhecer um incêndio através da sua progressão ao longo do tempo. Não foi necessário desenvolver qualquer dispositivo de hardware, pois o sistema assenta na plataforma já desenvolvida para a detecção diurna, sendo apenas necessário desenvolver uma aplicação de funcionamento paralelo.

Dos vários testes conclui-se que o sistema tem um funcionamento robusto, não havendo falhas de software a registar em nenhum dos testes. Concluiu-se ainda que todos os incêndios, simulados ou reais, foram correctamente detectados, confirmando as três regras fundamentais para a classificação de um ponto de luz como sendo um incêndio. Nos testes não houve nenhum falso alarme, sendo que o mesmo seja possível num caso muito particular, como a aproximação de uma fonte de luz com trajectória rectilínea em direcção ao sistema óptico.

Não houve possibilidade de efectuar mais testes com incêndios reais, pois estes levam a uma preparação muito rigorosa, envolvendo autorizações de várias entidades responsáveis, bem como a requisição de elementos de segurança pública (bombeiros e polícia). Dado que o fim do projecto coincidiu com o verão, estes testes também não poderiam ser efectuados, pois é uma época seca com muito calor propícia a incêndios, sendo que uma falha na segurança poderia levar a perda de controlo do mesmo. Optou-se então por concluir o projecto com os testes efectuados.

Conclui-se portanto que os objectivos propostos foram alcançados, sendo esta uma ferramenta que no futuro, e com algumas melhorias, poderá ser uma mais valia na detecção nocturna de incêndios.

## **8.1 Perspectivas**

De futuro, algumas melhorias poderão ser efectuadas, de forma a otimizar e melhor o desempenho do software.

Um das melhorias a fazer, será a adição do algoritmo das estatísticas de cores (Cap. 2.4) o que permitirá em princípio distinguir mais facilmente uma fonte de luz com origem artificial de uma fonte de luz com origem num incêndio, devido à sua cor avermelhada. Isto, permitirá não só a optimização na classificação, como também o início da detecção de incêndio ainda com alguma luz.

Outra melhoria a fazer situa-se ao nível da comunicação entre o software principal e o software desenvolvido, que, em vez da utilização de ficheiros de texto, poderá utilizar mensagens do Windows, que requerem um menor processamento, levando a uma maior velocidade de resposta do software principal. Podendo-se assim baixar o tempo de processamento entre imagens, diminuindo-se assim o tempo de análise de cada varrimento.

## 9 Referências

- [1] ABUELGASIM, A.; FRASER, R.; *Day and night-time active fire detection over North America using NOAA-16 AVHRR Data*, Canada.
- [2] CELIK, T. [et. al.]; *Fire detection using statistical color model in video sequences*, Turkey, 2005.
- [3] CEN, T.; WU, P.; CHIOU, Y.; *An Early Fire-Detection Method Based on Image Processing*, Taiwan, 2004.
- [4] FONSECA, J. M.; *Acetatos de Sistemas sensoriais*
- [5] GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; *Digital Image Processing*, 2ª ed., NJ: Englewood Cliffs, Prentice Hall, 2002.
- [6] Lopes, M. L. [et. al.]; *Método para alinhamento rápido e robusto de alinhamento de ecografia por contraste de microbolhas*, Brasil.
- [7] MacAuley, A. J.; Carr, A.; Johnson, K.; *A Strategic Review of the Wildfire Detection Programme in Saskatchewan*, January, 2004.
- [8] Shi, Y. Q.; Sun, H.; *Image and Video Compression for Multimedia Engineering*, CRC Press.
- [9] Zhang, X. [et. al.]; *Capability evaluation of 3–5 mm and 8–12.5 mm airborne thermal data for underground coal fire detection*, Netherlands, Germany, Austria, 2004.
- [10] Zhao, F.; Huang, Q.; Gao, W.; *Image matching by normalized crass-correlation*, China.
- [11] in: <http://www.fire-watch.de/index.php?id=13>
- [12] in: <http://fire-scout.com>