



SISTEMA PARA DETECÇÃO DE CHAMAS EM MÁQUINAS DE CORTE A LASER

Cleber Lourenço Izidoro¹

Alisson Pirola Goularte²

Anderson Diogo Spacek³

Gabriela Rocha Roque⁴

Everlise Maestrelli⁵

Resumo: O presente artigo refere-se ao desenvolvimento de um sensor para detecção de chamas em máquinas de corte a laser equipadas com canhão de CO₂ com larga utilização em empresas de diversos ramos, destacando-se as calçadistas, brindes, artesanato e moveleiro, devido à grande versatilidade de utilização do equipamento. O corte é efetuado através de um feixe de laser que eleva a temperatura promovendo o corte das superfícies em questão, devido ao acontecimento de vários acidentes por negligência de operação, já que muitos dos materiais em corte, ao serem expostos ao laser podem entrar em combustão, podendo ocasionar incêndios que causem a perda das máquinas, ou dependendo pode se tornar de grandes proporções colocando vidas em risco. Por isso faz-se necessários dispositivos que garantam a operação plena do equipamento sem que haja acidentes por iniciação de fogo. Para tal aplicação o sistema desenvolvido deverá ser imune às situações adversas encontradas no ambiente agressivo do corte em couro sintético, MDF, PVC, entre outros tipos de materiais. O novo produto deverá resistir a gases oxidantes, evitar disparos errôneos e não ser obstruído por sujeiras oriundas do corte, desta forma caso ocorra falha operacional, se evitará danos físicos e estruturais com o possível incêndio do material em corte. Além disto, o sistema é equipado com com eletrônica embarcada onde é possível programar quais sensores serão utilizados, se algum deles se encontra em falha e se houve disparos. Caso um disparo ocorra, o sistema eletrônico envia um sinal à máquina a desligando e evitando a chama. Os testes realizados em laboratório do protótipo, obtiveram resultados excelentes, de forma que os disparos efetuados interromperam o laser já no princípio da chama, garantindo o funcionamento pleno do sistema. Com este projeto o dispositivo pode ser implantado em máquinas de corte laser para detecção de princípios de incêndio oriundos de negligência operacional, tornando a tecnologia de corte a laser mais segura confiável.

Palavras-chave: Corte a Laser, Detecção de chama, Segurança, Inovação.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste em elaborar um sistema de detecção de chama dedicado às máquinas de corte a laser equipadas com canhão de CO₂, desenvolvidas para serviços de corte e marcação em diversos materiais, tais como tecidos, couro, sintéticos, emborrachados, EVA, MDF, acrílico, entre outros, também pode ser aplicado para gravações (sem corte)

¹ Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Professor da SATC. E-mail: cleber.izidoro@satc.edu.br.

² Pós-graduando de Engenharia de Produção - SATC. E-mail: alissonpg@gmail.com.

³ Mestre em Engenharia. Professor da SATC. E-mail: anderson.spacek@satc.edu.br.

⁴ Mestrando em Tecnologias da Informação e Comunicação. Professora da SATC. E-mail: gabriela.roque@satc.edu.br.

⁵ Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Professora da SATC. E-mail: everlise.maestrelli@satc.edu.br.



em vidro, metal, pedraria e cerâmica, com o uso de aditivo apropriado. (FUTURIZE, 2015; PATEL; PRAJAPATI, 2015)

O corte a laser é um processo de alta velocidade, repetíveis e método confiável para uma ampla variedade de tipos de materiais e espessuras com muito estreita. O processo é particularmente adequado como um processo de corte totalmente automatizado ou semiautomatizados para os elevados volumes de produção (PATEL; PRAJAPATI, 2015), sendo aplicado em larga escala no setor calçadista e também nos setores de artesanatos, brindes, têxteis e moveleiros.

Como consequência do processo de corte a laser, no contato destes materiais com o raio laser pode provocar pequenos focos de incêndio. Caso o operador não esteja exercendo suas funções de acordo com os procedimentos de segurança indicados pelo fabricante, danos materiais podem ser ocasionados, e, dependendo das proporções que o incêndio atingir danos físicos ao operador e demais colaboradores que estiverem no local.

Atualmente os sensores comerciais não se adéquam a tal finalidade, devido ao ambiente hostil encontrado no processo de corte. Por isto foi necessário o desenvolvimento de um sistema ideal de detecção de chamas, onde uma central de controle dedicada é indispensável, pois as particularidades do processo impossibilitam o uso de centrais comerciais. A criação de um sistema dedicado a tal finalidade possibilitará uma operação segura do equipamento, aumentando a confiabilidade do produto e diferenciando o fabricante que implantar a inovação dos demais concorrentes.

2 MÁQUINAS DE CORTE A LASER

A máquina de corte a *laser* consiste na automatização de uma mesa de coordenada X e Y para direcionar o feixe *laser* através de espelhos até o material a ser cortado. O sistema mecânico é relativamente simples é composto por motores de posicionamento de alta precisão, como os motores de passo, híbridos ou servo motores, juntamente com correias sincronizadoras, trilhos lineares de alto desempenho com folga zero. A Figura 01 mostra a máquina laser modelo FL-6004 do fabricante nacional Futurize.



Figura 1: Máquina laser FL-6004.
Fonte: Futurize (2015).

O *software* da máquina de corte a *laser* em questão foi desenvolvido pelo fabricante de máquinas Futurize, o mesmo assemelha-se a outros *softwares* de criação de desenho comerciais, porém, possui uma comunicação única com o dispositivo onde através do mesmo é possível realizar todas as configurações necessárias para o processo de corte, ajustando potência e velocidade, entre outras.

Com uma interface muito mais amigável do que costumemente encontramos em máquinas *CNC's* este *software* faz com que a máquina se assemelhe a uma impressora, após o desenho feito, o mesmo é transferido para o equipamento via cabo ou *pendrive* e automaticamente o mesmo será executado. Todo processamento de imagem e transformação em comandos de máquina é feita automaticamente, bastando ao usuário efetuar o desenho.

3 O LASER

O *laser*, cuja sigla em inglês significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou seja, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação começou a ter seu uso explorado na segunda metade do século XX e desde então, tal ferramenta tem se difundido de forma acentuada, tornando-se objeto de inúmeras pesquisas e processos em diferentes áreas de atuação como na medicina, odontologia, indústria e também comércio (FENDRICH, 2007).

Por definição, a luz, compreende todo o espectro de radiação eletromagnética compreendida em toda a faixa do espectro, desde o ultravioleta até o infravermelho, com comprimento de onda entre 0,1 a 100um, onde luzes artificiais de qualquer natureza, como



lâmpadas podem gerar estes tipos de espectro, mas com comprimentos de ondas e relações de fase totalmente distintas, de forma que são dissipadas pelo espaço (GERCK; LIMA, 1997).

Por este motivo uma lâmpada comum não possui a mesma característica de corte que um canhão laser. Diferentemente de outros tipos de luzes artificiais, o laser é um dispositivo que produz radiação eletromagnética (Luz) com características muito especiais, sendo a mesma monocromática (frequência/comprimento de onda muito bem definida) e coerente (relações de fase bem definidas), além de ser colimado (trajetória paralela, ou seja, não difusa) possibilitando a propagação como um feixe (FENDRICH, 2007; GERCK; LIMA, 1997.)

3.1 FUNCIONAMENTO

Um sistema de geração de laser funciona baseado na conversão de energia elétrica em uma energia alta densidade de luz através da estimulação e amplificação. A estimulação ocorre quando elétrons no material gerador são excitados por uma fonte externa, como um arco elétrico ou lâmpada de flash, resultando na emissão de fótons, excitando um número mínimo de elétrons de um determinado material para um nível de energia superior (CHRYSSOLOURIS, 1991).

Já a amplificação de luz em um laser é realizada por um ressonador óptico, o qual é composto por uma cavidade emissora de laser entre dois espelhos alinhados. Um espelho é totalmente refletor, e o outro é parcialmente transmissivo para permitir a saída do feixe, conforme a Figura 02.

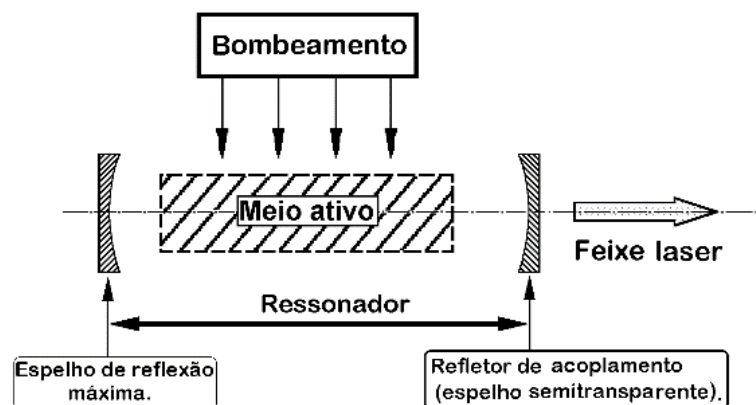


Figura 2: Funcionamento do sistema a laser.
Fonte: Gerk e Lima (1997).



De acordo com a Figura 03, quando o elétron deixa o estado excitado e retorna ao estado fundamental o átomo emite o fóton, que pode ser tratado como um pacote de energia CO_2 , ou seja, este fóton será o gerador do laser. (FENDRICH, 2007; CHRYSOLOURIS, 1991)

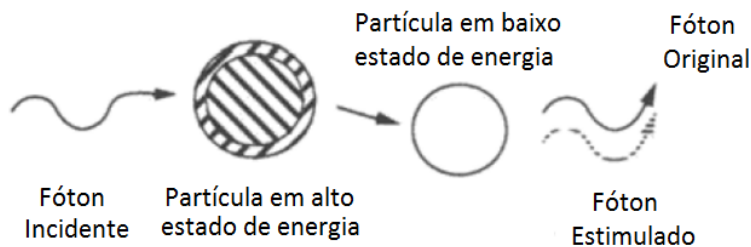


Figura 3: Geração do fóton de laser.
Fonte: Chryssolouris (1991).

3.2 GERAÇÃO BASEADA EM CANHÃO DE CO_2

Os lasers baseados na emissão por CO_2 , conforme Figura 04, emitem radiação laser de infravermelhos com um comprimento de onda de $10,6\mu m$ e possuem uma eficiência global de cerca de 10 a 13%. O meio de laser ativo é uma mistura de CO_2 , N_2 e He, onde o CO_2 é a molécula de laser ativo. A estimulação do meio de laser ativo é realizada por descarga eléctrica no gás (PEER-REVIEWED et. al., 2015).

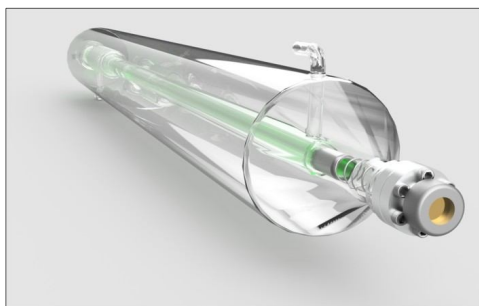


Figura 4: Canhão laser.
Fonte: Grabcad Community (2015).

O comprimento de onda gerado não é visível ao olho humano, como observado na Figura 05, desta forma alguns cuidados devem ser tomados na manipulação deste equipamento, como sua potência para corte de materiais excede os 3W, classifica-se o mesmo com o



grau 4, podendo causar cegueira em contato com os olhos, queimaduras à pele, incêndio quando não operado da forma correta (FENDRICH, 2007).

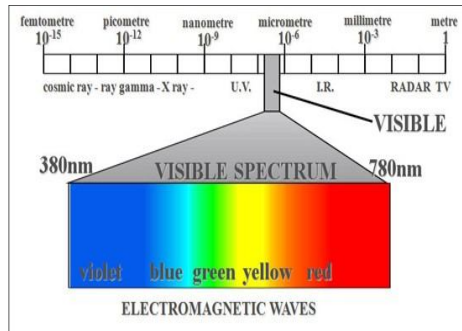


Figura 5: Comprimento de onda do canhão laser.
Fonte: Schröder (2015).

Para que haja o entendimento quantitativo de potência de tubos laser, pode-se fazer uma análise comparativa entre uma lâmpada comum e um tubo laser. A lâmpada incandescente de tungstênio comum com 10 Watts de potência, não é suficiente para clarear a folha de um livro, mas, um *laser* de 10 Watts tem potência suficiente para furar o livro (USP, 2015).

Estes lasers são capazes de produzir altos feixes de laser de energia de alta qualidade do feixe. Os CO₂ e Nd: são as duas tecnologias laser, que têm aplicações de corte. O laser de CO₂ e Nd: tem capacidades de potência de saída de até 8.000 W e 4.500 W, respectivamente, estão agora disponíveis para aplicações de corte. Os lasers de CO₂ com potências de saída ainda mais elevadas (até 20.000 W) são aplicados em soldagem e tratamento de superfície (PATEL; PRAJAPATI, 2015).

Mesmo o *laser* sendo uma tecnologia de ponta e com um excelente custo benefício, o rendimento de um tubo *laser* ainda é baixo, pois a grande maioria da geração é transformada em calor, e este por sua vez é resfriado a água gelada proveniente de um *chiller*, conforme a Figura 06, com temperatura e vazão controlada seguindo orientações dos fabricantes, pois na ausência de arrefecimento, o tubo *laser* sofrerá danos irreparáveis.



Figura 6: Circulação de água.
Fonte: Grabcad Community (2015).

Como a construção física mais utilizada para tubos *laser* é com base em vidro, lembrando uma lâmpada fluorescente, mesmo um vidro de borossilicato resistente à temperatura e de baixa dilatação, caso ocorra à elevação da temperatura o mesmo sofrerá trincas. Para evitar esse dano o sistema possui sensores que monitoram o fluxo de água denominados de fluxostatos, para maior segurança são utilizados 3 em série sendo assim, obtém-se proteção contra falhas em redundância.

4 SENSORES DE DETECÇÃO DE INCÊNDIO

Atualmente no mercado existem diversos tipos de sensores com o objetivo de fornecer alerta e/ou atuar no caso de incêndios, a grande maioria tem sua aplicação na área de segurança contra incêndios, seja esta, residencial ou industrial, de modo a evacuar o ambiente preservando a integridade física de pessoas.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da NBR 9441, “Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio”, regulamenta como um detector de incêndio um dispositivo destinado a operar quando influenciado por determinados fenômenos físicos ou químicos que precedem ou acompanham um princípio de incêndio no lugar da instalação (ABNT, 2005).

Segundo a mesma norma, estes sensores podem ser divididos em:

1 - Detector automático de temperatura pontual: dispositivo destinado a atuar quando a temperatura ambiente ou o gradiente da temperatura ultrapassa um valor determinado no ponto da instalação.

2 - Detector automático de fumaça pontual: dispositivo destinado a atuar quando ocorre presença de partículas e/ou gases, visíveis ou não, e de produtos de combustão, no ponto da instalação.



3 - Detector linear: detector destinado a atuar quando ocorre a presença de partículas e/ou gases, visíveis ou não, e de produtos de combustão, ou a variação anormal de temperatura ao largo da linha imaginária de detecção, no caso de sistemas óticos com transmissor e receptor, ou ao longo de uma linha física de sensoriamento que pode ser instalada reta ou curvada para passar pela área, de tal maneira que supervise os pontos de maior periculosidade na menor distância possível.

4 - Detector automático de chama: dispositivo destinado a atuar em resposta a uma radiação de energia, dentro ou fora do espectro visível, resultante de um princípio de incêndio dentro da sua área de captação (visão) (ABNT, 2005).

4.1 DETECTOR FOTOELÉTRICO

O detector fotoelétrico, demonstrado na Figura 07, tem seu princípio de funcionamento baseado na reflexão e dispersão de luz infravermelha, ou seja, detectam quando a fumaça atinge o sistema, e desta forma comutam sua saída indicando a presença de irregularidades. Geralmente são instalados no teto dos ambientes além de não ser acionamento quando a quantidade de fumaça é pequena, como a de um fósforo, sendo possível o ajuste de sensibilidade conforme a necessidade (DE SOUZA, 2011; KIDDE, 2015).



Figura 7: Detector de fumaça.
Fonte: Kidde (2015).

4.2 DETECTOR TERMOVELOCIMÉTRICO

A forma de monitoração de incêndios dos sensores térmicos se dá através da elevação anormal da temperatura ambiente, ou seja, caso uma temperatura ambiente de 30°C



eleva-se rapidamente para 60°C certamente haverá um incêndio. A leitura de temperatura é geralmente efetuada por dispositivos chamados termistores que variam a resistência conforme a temperatura, a Figura 08 mostra um típico detector térmico (KIDDE, 2015).



Figura 8: Detector térmico.
Fonte: Kidde (2015).

Seu uso é bastante limitado, devido ao fato de ser acionado somente quando o fogo já está se alastrando, podendo ser aplicado em locais onde existem fumaça e exposição a gases sem haver fogo, ou seja, locais onde há o aumento da temperatura por qualquer razão. (DE SOUZA, 2011)

4.3 DETECTOR IÔNICO DE FUMAÇA

Os detectores iônicos de fumaça diferem dos detectores fotoelétricos por possuírem uma resposta muito mais rápida, e, além da detecção de fumaça podem ainda atuar sob a ação de gases inerentes a formação do fogo. Tem seu princípio de funcionamento baseado em duas câmaras, uma de referência e outra de amostragem, em uma das câmaras há um material que ioniza as partículas de oxigênio e nitrogênio presente no ar, permitindo um fluxo de corrente entre as câmaras.

Quando gases diferentes adentram a câmara, o fluxo de corrente entre as mesmas diminui, provocando o acionamento do elemento sensor (DE SOUZA, 2011).



4.4 DETECTOR POR ESPECTRO

A tecnologia de detecção de chama ainda é pouco conhecida, a mesma ainda restringe-se a grandes depósitos de produtos inflamáveis, porém essa tecnologia adéqua-se perfeitamente ao uso no interior de máquinas de corte *laser*.

O seu funcionamento é simples, porém eficaz. Este sensor é capaz de detectar os comprimentos de ondas que incidem sobre o mesmo, e além da parcela de luz visível que compõe a chama há também outras não visíveis ao olho humano.

A parte visível do espectro abrange o intervalo relativamente estreito entre 380nm e 780nm. Estes limites representam médias obtidas de forma experimental, na realidade eles podem variar de um indivíduo para outro. (SCHRÉDER, 2015).

Com esta tecnologia é possível detectar um princípio de incêndio, pois sua detecção é instantânea não sendo necessário esperar que as chamas elevem a temperatura ambiente ou até mesmo que haja o acúmulo de fumaça no ambiente. Estes sensores são utilizados em ambientes em que a chama é o primeiro indício de fogo (THOMAZINI; DE ALBUQUERQUE, 2014).

5 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Projetar um sistema de detecção de incêndio em uma máquina de corte a laser não é uma tarefa simples, pois o mesmo deve atender uma série de requisitos para que tenha funcionalidade efetiva sobre o processo, durabilidade, baixo custo e segurança. Os principais problemas enfrentados no decorrer do projeto foram: escolha do sensor, oxidação ocasionada por gases oriundos no processo de corte a materiais sintéticos, evitar burla no sensor por intermédio de operação mal-intencionada, auto diagnóstico indicando mau funcionamento do sistema por falta de limpeza das superfícies dos sensores, além do problema de incidência de luz solar, pois a mesma gera todas as frequências da faixa de espectro.

O problema principal de alguns dos sensores estudados está no método de detecção da chama, pois podem funcionar perfeitamente em ambientes domésticos ou escritórios, mas não para as máquinas de corte a laser, pois durante o processo de corte, mesmo em condições normais ocorre um grande acúmulo de fumaça no interior da máquina. Além de que



em alguns processos ocorrem pequenas chamas que não devem ser identificados como um princípio de incêndio até certo ponto, como observado na Figura 09.

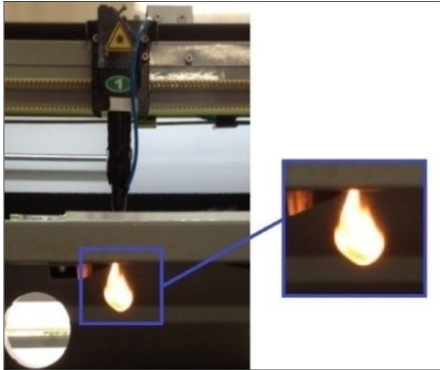


Figura 9: Chama inofensiva.
Fonte: Os autores.

Em outras regiões da área de corte é imprescindível uma rápida atuação do sistema de alarme, comprovando assim que a central deve possuir diferentes sensibilidades para cada zona do processo, além da constante verificação automática do sistema, para garantir que o mesmo não esteja com seus sensores obstruídos por sujeira ou restos de materiais oriundos do material cortado.

5.1 SENSORIAMENTO

Para que o sistema se torne financeiramente viável é imprescindível que se tenha tecnologia e conhecimento para a fabricação do próprio sensor para detecção de chama. Como explanado anteriormente o sensor indicado para esse tipo de aplicação no qual se deseja detectar um princípio de incêndio é o modelo que possui detecção por faixa espectral.

Para a prototipagem do sensor foi utilizado como base de estudos o sensor de chama infravermelho para *Arduino*, conforme Figura 10. Este sensor é ideal para se detectar a presença de fogo ou outros comprimentos de onda de luz entre 760nm a 1100nm. Quando o ambiente está isento de chamas ou ondas de luz dentro da faixa de operação descrita e esta condição se alterna com a propagação de uma chama ou feixe de luz a saída digital D0 alterna seu estado (nível lógico).



Figura 10: *Shield* sensor Arduino.
Fonte: Os autores.

A sensibilidade de detecção da presença de chama pode ser ajustada através do potenciômetro presente no sensor que ajustará o ponto que ocorrerá a mudança de estado da saída digital D0. A temperatura de trabalho deste sensor é de -25°C a 85°C , portanto não é aconselhável chegar muito próximo à chama do fogo para não danificar o componente (FILIFELOP, 2015).

Para que o sensor resista aos gases oriundos do corte de materiais vinílicos que são altamente oxidantes e os mais utilizados na indústria calçadista, um encapsulamento usado em aço inox foi fabricado, de forma a resistir ao processo de oxidação, porém é necessária uma face sensitiva, ou seja, é por onde a luz produzida pela chama em um momento de sinistro atinge o sensor que está dentro do encapsulamento.

A escolha do material para a janela de passagem de luz foi feita com base no funcionamento da óptica utilizadas em maquinários a *laser*, então o material mais apropriado para a aplicação é uma *window* de ZnSe. Uma *window* é aplicada para isolar diferentes ambientes físicos, permitindo a passagem de luz (WAVELENGTH, 2015).

Essa janela tem como material de fabricação Zinco Selênio, que possui propriedades apropriadas para sua utilização neste processo, como maior relevância sua resistência à oxidação e a limpeza, pois a janela de passagem deve ser limpa diariamente ou quando a CPU controladora indicar falha por sujeira excessiva. Para prototipagem dos sensores foram reaproveitados os terminais de anodo e catodos de tubos *laser* usados, pois os mesmos possuem o corpo em inox e uma *window* conforme Figura 11.



Figura 11: Sensores protótipos.

Fonte: Os autores.

5.2 POSICIONAMENTOS SENSORIAIS

A localização e o espaçamento dos detectores de chama devem resultar de uma análise do risco considerando o tamanho da chama a ser detectado, tipo principal de radiação gerada em função do combustível envolvido, sensibilidade do detector, campo de visão do detector, distância entre detector e a provável chama, presença de outras radiações, propósito do sistema e tempo de resposta desejado (THOMAZINI; DE ALBUQUERQUE, 2014).

Considerando um ângulo de abertura do sensor de 60° e um plano de trabalho no tamanho de 1200mm x 600mm, constatou-se através de testes em campo que 3 sensores contemplaram à segurança desejada, para um eventual sinistro, conforme Figura 12.

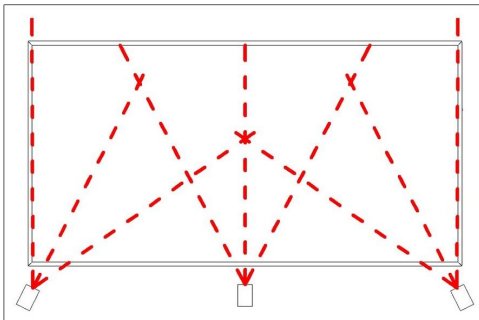


Figura 12: Ângulo de proteção.

Fonte: Os autores.

Para aumentar a segurança mais sensores podem ser instalados, até mesmo em áreas que trabalham com pequenas chamas em situações rotineiras, basta ajustar a sensibilidade da central de controle.



5.3 AFERIÇÕES INFRAVERMELHAS

Dispositivos para evitar acúmulo de pó ou sujeira na lente do detector devem ser previstos, de forma a não diminuir sua sensibilidade entre as manutenções previstas. Recomenda-se que o detector de chama tenha um dispositivo que indique sujeira na lente (THOMAZINI; DE ALBUQUERQUE, 2014). Durante os testes realizados foi utilizada uma placa de iluminação de câmera noturna, conforme Figura 13.



Figura 13: Iluminação câmera noturna.
Fonte: Os autores.

Para aferir o funcionamento dos sensores mesmo depois de posicionados no interior da máquina, utilizou-se como recurso LED com capacidade de emissão de luz infravermelha, a central de detecção faz pequenos disparos controlados no dispositivo de aferição infravermelha constituído por dezenas de LED's, desta forma a central sabe que o disparo foi proveniente de um teste e não atua o alarme, caso os sensores de chama não correspondam ao teste um sinal de erro será emitido pela central.

Com esse teste é possível eliminar alguns problemas que poderiam ocorrer: sensores com as lentes sujas, sensores com defeito e por último o mais provável, pequenos pedaços de material depositados acidentalmente durante o processo de corte sobre os sensores ou intencionalmente por operadores. Para implementação em máquinas na indústria uma barra infravermelha será fabricada, conforme Figura 14.

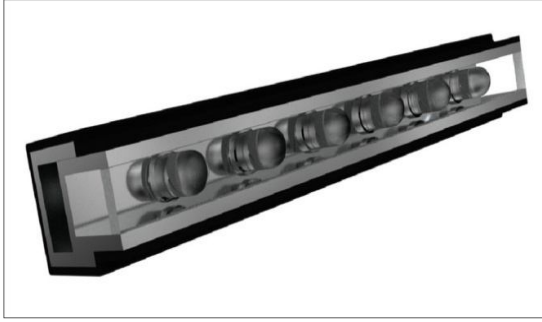


Figura 14: Projeto da barra de iluminação.
Fonte: Os autores.

5.4 CENTRAL DE CONTROLE

Para que a solução em detecção de chamas em máquina de corte a *laser* atinja uma eficiência de qualidade industrial para que possa de maneira segura estar equipando maquinário em todo território sul americano se fez necessário a criação de uma central dedicada a esse propósito, tendo como base experimentos realizados em campo, onde se constatou que a central deve ser aprova de disparos involuntários para que o cliente não perca a confiabilidade no produto.

5.5 SOFTWARE

O *software* inserido no micro controlador foi desenvolvido na plataforma CCS apenas para prototipagem e desenvolvimento do projeto, para implementar em máquinas após aprovação do novo produto o software será reescrito em plataforma HI-TECH seguindo os padrões homologados pelo fabricante no qual se pretende a utilização do mesmo.

Os grandes diferenciais do *software* para que se tornasse viável a utilização de tal equipamento foi o ajuste de sensibilidade feito através de contagens de disparos em um determinado período programado. Para ajustar a sensibilidade o técnico instalador tem acesso a ajustes através de botões localizados na placa, a sensibilidade varia de 0 à 9 onde zero é extremamente sensível utilizados em pontos estratégicos da máquina onde qualquer incidência de luz infravermelha significaria incêndio, e nove o menos sensível utilizado em locais onde pequenos focos podem surgir, porém se a chama não se dissipar em determinado tempo o alarme será ativado. A Figura 15 exemplifica de forma simplificada o funcionamento do *software*.

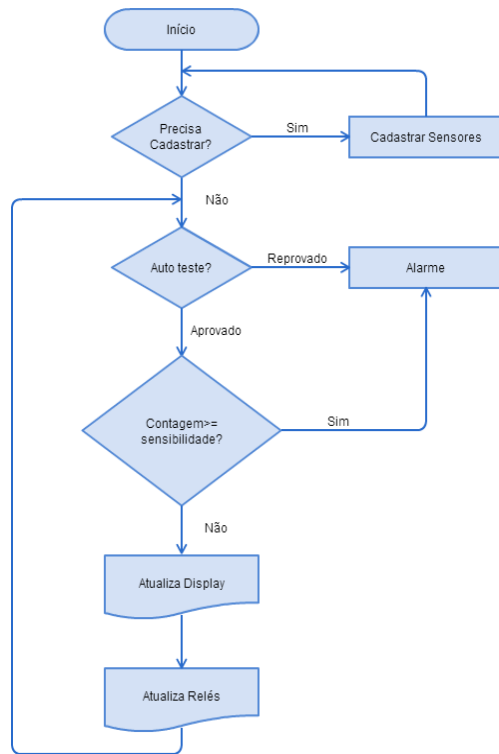


Figura 15: Fluxograma simplificado do *software*.
Fonte: Os autores.

O controle da aferição infravermelha também é comandado por esta placa, a cada 6 segundos todos os sensores são testados, até 5 sensores podem ser cadastrados pela central. Quando o técnico instala o equipamento a placa reconhece o número exato de sensores através de um auto teste, que consiste em disparar infravermelho e esperar para ver em qual canal de retorno recebesse sinal, caso retorne somente por 3 pinos do micro controlador por exemplo, significaria que o sistema está equipado com apenas 3 sensores, isso é necessário pois sem esta análise a placa informaria um sinal de sensor com falha durante o auto teste afinal ela não saberia que alguns sensores não estão conectados à mesma.

5.6 HARDWARE

A placa responsável por fazer a aquisição de dados dos sensores tem como cérebro o micro controlador PIC16F876 do fabricante norte americano Microchip. Para a escolha do mesmo além de características técnicas como quantidades de I/O's o fato do dispositivo já ser de uso convencional em outros dispositivos do fabricante no qual se pretende a utilização



deste projeto, desta maneira já foi possível aperfeiçoar o hardware deixando-o aplicável ao padrão do mesmo.

A criação do esquemático e layout para a fabricação da placa foi através do *software* Altium. Durante a prototipagem não foi utilizado nenhum componente *SMD*, pois se tornaria inviável a confecção de PCI caseiras para teste. Durante o processo de fabricação da primeira placa, ocorreu um erro de espelhamento do *layout* conforme Figura 16, então para que a placa funcionasse os componentes tiveram que ser soldados no mesmo lado que as trilhas de cobre.



Figura 16: Placa *layout* espelhado.
Fonte: Os autores.

Após a realização de testes, e aprovação dos resultados a placa foi refeita, para que se tornasse apresentável para testes em campo, conforme Figura 17. Quando esse produto se tornar oficial o *layout* será refeito para utilização de componentes *SMD* otimizando espaço e agilizando o processo de montagem, seguindo os padrões do fabricante.

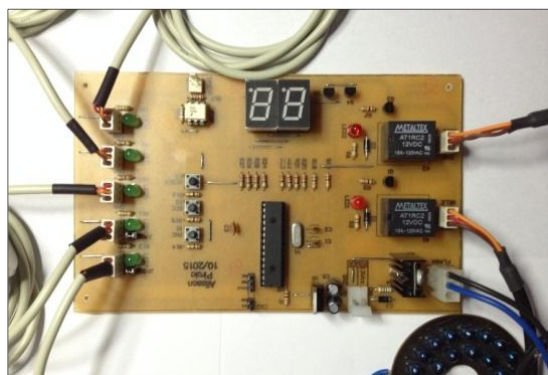


Figura 17: Placa protótipo finalizado.
Fonte: Os autores.



A placa é constituída por 2 saídas à relés, que podem ser programadas individualmente para modo alarme, falha ou ambas as situações. O modo alarme é propriamente o sinal emitido quando ocorre a detecção do incêndio, o modo falha indica um mal funcionamento dos sensores durante a aferição infravermelha, como explicado anteriormente. Na ocorrência de falha em algum sensor ou detecção de chama, fica a cargo de dois *displays* de 7 segmentos indicar em qual sensor ocorreu a falha ou sinistro. A Figura 18 mostra a parte principal do esquemático eletrônico.

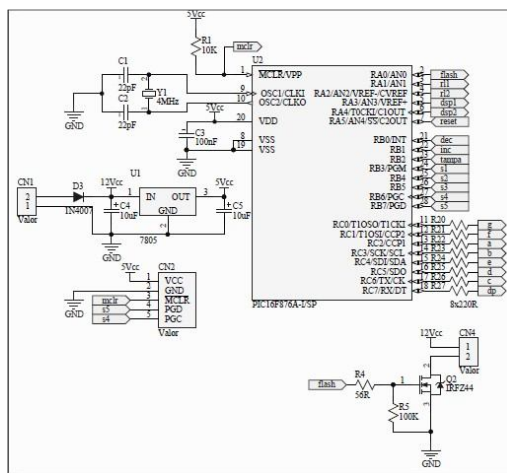


Figura 18: Principal esquemático eletrônico.
Fonte: Os autores.

A verificação infravermelha dos sensores somente poderá ser realizada com a máquina em funcionamento pelo fato que entre um corte e outro é normal ser utilizado a própria mesa de corte para limpeza e separação de materiais cortados, certamente durante o processo as mãos dos operadores e alguns materiais durante a seleção impedirão que o disparo dos LED's cheguem aos sensores, para isso foi instalado um opto acoplador na placa de controle que utiliza o mesmo sinal que é enviado para o acionamento da fonte do tubo *laser*, desta maneira quando a máquina entrar em operação o sistema de varredura será automaticamente acionado e posteriormente desabilitado. A utilização do opto acoplador 4N25 é indispensável para isolação deste sinal, garantindo que em caso de surtos elétricos a unidade de detecção de chamas não seja afetada.



6 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os testes de validação do equipamento proposto foram realizados no setor de desenvolvimento da máquina de corte a *laser* da empresa Futurize, inicialmente foram realizados testes de funcionamento da placa, como verificação geral da placa de controle a procura de algum inconveniente como curto circuito ou mau funcionamento de algum componente.

Com a placa de controle em perfeito funcionamento o próximo passo foi a realização dos testes em bancada, com o acionamento dos sensores através da simulação da chama, (ocasionado através de chamas controladas). Nos testes realizados após uma prévia calibração dos sensores, ainda sem o invólucro de proteção, todos os acionamentos comutaram a saída que indica chama, além disto, alguns sensores foram desligados, o que indica um mal funcionamento do mesmo, e, da mesma forma também em todos os casos a saída foi comutada, além disso mostra também que o recurso de aferição dos sensores é eficiente, ou seja, em falha de qualquer um dos sensores, não haverá como a máquina entrar em operação até que tudo esteja correto.

Após do sistema em pleno funcionamento, os sensores foram acomodados nos encapsulamentos fabricados especialmente para a aplicação e montados em um leiaute na máquina de corte a laser para testes mais efetivos de funcionamento.

O posicionamento dos sensores, como já mencionado, foram eficientes a cobertura total do campo de atuação do laser, de forma que qualquer princípio de incêndio foi detectado, interrompendo a máquina e gerando um alarme.

A maior dificuldade encontrada na instalação do sistema foi em relação a calibração dos sensores, pois a mesma não pode ser tão sensível, onde um pequeno princípio de incêndio já possa desligar a máquina e nem tão lenta, onde a proporção do incêndio se torne grande. Desta forma para cada máquina instalada é necessário que seja realizada sua calibração individualmente devido a fatores como posicionamento e até mesmo o tipo de material que será cortado.

O ajuste de sensibilidade com “n” leituras a cada 6 segundos se mostrou suficiente para disparos em todos os ambientes de risco da máquina, pois foram também efetuados testes com a retirada do sensor durante o funcionamento da máquina, este se mostrou eficiente pois em todos os casos a máquina parou seu ciclo de funcionamento.

Um detalhe que deverá ser levado em consideração durante o posicionamento do sensor, que não estava previsto no projeto, é a questão da luz solar, pelo fato de que o sol emi-



te todas as faixas de luz a infravermelha, e certamente está contemplada neste range, então o sensor não poderá ficar diretamente focado para uma grande incidência de luz solar.

Nos testes percebeu-se isso de forma indireta, enquanto se manuseava o sensor fora da máquina e acidentalmente o mesmo foi direcionado para uma grande incidência de luz solar, essa característica não impede o funcionamento do sistema, mais exige uma atenção extra quanto ao posicionamento da máquina em sua instalação.

Com a calibração efetuada e o processo em funcionamento, verificou-se se a escolha dos materiais que constituem o invólucro do sensor foram suficientes. O teste foi realizado com materiais que propagam resíduos nas janelas dos sensores, pôde-se neste caso verificar que o material da janela resiste a inúmeras limpezas, desta forma não exige nenhum tipo de cuidado extra com o equipamento, se tornando de fácil aplicação e alta durabilidade, além de que a sujeira acumulada em grande quantidade também efetuada a obstrução do funcionamento da máquina em todos os casos.

Após a finalização do projeto o baixo custo do equipamento possibilitou uma projeção de uso real em campo, após orçamentos em empresas terceiras especializadas em fabricação e montagem de PCI e somando-se os custos com usinagem para fabricação dos sensores, horas homens e demais itens do projeto, constatou-se um investimento de R\$ 450,00 por equipamento com 5 sensores.

7 CONCLUSÕES

Os principais resultados do sistema com a detecção de incêndio em máquinas de corte a *laser* foram alcançados com êxito, o dinamismo do sistema permite um monitoramento em diferentes zonas de trabalho com sensibilidades alternadas. Isto provoca um incremento na segurança do equipamento já que em todos os testes efetuados após a calibração e ajuste do sistema houve a interrupção do funcionamento da máquina.

Considerando ganhos em segurança e projeções de marketing por ser a única máquina com este sistema no mercado, certamente se torna uma aplicação viável em ambos os pontos de vista. O baixo custo de implementação também deve ser levado em consideração, pois com um pequeno valor investido se comparado ao preço total do equipamento haverá proteção total evitando acidentes e a possível perda do mesmo.

Além disto, este sistema poderá ser aplicado em qualquer local onde haja probabilidade de incêndios em um determinado ponto, tornando-se futuro um equipamento completo



na detecção e contemplando também edificações e zonas controladas de indústrias, por exemplo.

Com base no que estudo realizado, o único inconveniente está na utilização em pontos onde haja a luz solar incidindo sob o sensor, neste caso necessita-se de pesquisa em filtros para que a incidência de luz solar não seja um problema, além disso, para aplicações residenciais ou industriais a utilização de sistemas sem fio (*wireless*) acoplada a um *software* computacional de monitoramento pode ser um conceito a ser implementado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9441**: Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio, 2005.

CHRYSSOLOURIS, G. **Laser Machining**. New York: Springer New York, 1991.

DE SOUZA, E. A. D. A. **Automação Predial**: Dispositivos Contra Incêndio. Universidade São Francisco, 2011.

FENDRICH, M. A. **Desenvolvimento Do Processo De Recuperação Em Canhões CO2 Vidros Selados**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

FILIFELOP. **Sensor de chama**. 2015. [Online]. Disponível em:<<http://www.filifelop.com/pd-bcb5c-sensor-de-chama-fogo.html>>.

FUTURIZE. **Máquinas de Bordar a Laser**. Criciúma, 2015.

GERCK, E.; LIMA, J. L.. **O corte a laser : da teoria à máquina (tutorial),**” in ‘97 International Seminar. Láseres: usos y aplicaciones industriales. 1997, no. November 1997, p. 44.

GRABCAD COMMUNITY. **GrabCAD Helps Mechanical Engineers Build Great Products Faster**. 2015. [Online]. Disponível em:<<https://grabcad.com/library/reci-co2-laser-tube-1>>.

KIDDE. **Manual Usuário**: Detector de Fumaça – Modelo P3010H Kidde. 2015. [Online]. Disponível em:<http://www.kidde.com.br/Documents/Manual_P3010H_P3010L.pdf#search=p3010h>.

KIDDE. **Manual Usuário**: Detector de Chama – Modelo S60 Kidde. 2015. [Online]. Disponível em: Manual Usuário – Detector de Chama – Modelo S60 Kidde.

PATEL, G.M.; PRAJAPATI, R.A. **Effect of process parameter On kerf width for SS-316 material in CO2 Laser cutting**. Int. J. Mech. Eng. Futur. Technol., vol. 1, no. 1, pp. 19–24, 2015.



PEER-REVIEWED, A.; et. al. **Engineering Science and Futuristic Technology Parametric analysis for SS-316 material on CO2 Laser using Taguchi base design of Experiment**
Keywords. vol. 02, no. February, pp. 11–17, 2015.

SCHRÉDER. **Conceitos básicos de iluminação.** 2015. [Online]. Disponível em:<
<http://www.schreder.com/ptspt/LearningCenter/ConceitosBasicosDeIluminacao/Pages/Luminance.aspx>>.

THOMAZINI, D.; DE ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais Fundamentos e Aplicações.** 1st ed. São Paulo: Érica, 2014.

USP. **Noções Sobre a Física do Laser.** 2015. [Online]. Disponível em:<
<http://www.forp.usp.br/restauradora/laser/fisica.html>>.

WAVELENGTH. **Protective Window.** 2015. [Online]. Disponível em:<
<http://www.wavelength-tech.com/Laser-Optics/Window.jsp>>.