

# Desenvolvimento e implementação do protótipo de malha laser para simulador de treinamento na área de segurança

Antonio Valerio Netto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Doutor em computação e matemática computacional, Pesquisador DT do CNPq, [antonio.valerio@pq.cnpq.br](mailto:antonio.valerio@pq.cnpq.br)

**Resumo** – O artigo apresenta os resultados obtidos com o desenvolvimento de um protótipo de sistema de malha laser para capturar projéteis de um simulador de treinamento para área de segurança pública e privada. Foram apresentadas as informações sobre o desenvolvimento das placas eletrônicas que compõem a malha laser e os protocolos de comunicação utilizados para tratar os dados internos da malha e a comunicação externa com o computador responsável pelo controle principal. Foram também apresentadas informações sobre o projeto construtivo e os cálculos matemáticos desenvolvidos para realizar as operações da malha laser. Além disso, também é apresentado como a calibração da referência absoluta da malha laser foi desenvolvida em relação às coordenadas  $x$  e  $y$ .

**Palavras-chave:** Segurança pública e privada, simulação, malha laser, simulador de tiro.

**Abstract** – The article presents the results obtained with the development of a laser mesh system prototype to capture projectiles from a training simulator for public and private security area. The information about the development of the electronic boards that make up the laser mesh and the communication protocols that were used to treat the internal data of the mesh and the external communication with the computer in charge of the main control are presented. Information about the constructive design and the mathematical calculations that were developed to perform the operations of the laser mesh are also presented. In addition, it is also presented how the calibration of the absolute reference of the laser mesh was developed in relation to the  $x$  and  $y$  coordinates.

**Keywords:** Public and private security, simulation, laser mesh, shooting simulator.

## I. INTRODUÇÃO

Esse projeto teve como objetivo desenvolver um sistema de multimídia interativa de treinamento na área de segurança (empresas de segurança e corporações de segurança pública). O treino contínuo nas mais diversas forças de segurança é essencial para garantir a segurança da população e das próprias forças de segurança [1]. Foi idealizado um sistema de treinamento que pudesse “transportar” os profissionais da área de segurança para uma realidade mais próxima do cotidiano de trabalho, permitindo que os mesmos tenham um treinamento e uma formação mais adequada. Permitindo assim, que

desempenhem suas funções de forma mais segura e eficaz [2]. A tecnologia de simuladores de tiro já está bastante consolidada no exterior com vários fabricantes [3]. O simulador é utilizado, principalmente, pelas Forças Armadas de vários países do mundo. O seu uso, inicialmente, está associado à redução de custos com munições, diminuição do desgaste do meio ambiente e o mais importante, redução na quantidade de acidentes e mortes de pessoas [4] [5].

Muitas vezes, os profissionais da área de segurança são colocados em situações onde os alvos a serem alvejados são fixos ou imóveis, não transmitindo a sensação de realidade com a qual o profissional irá realmente se defrontar no momento em que estiver prestando seus serviços [6] [7]. Além disso, quando é exigido um treinamento em um stand de tiro, por exemplo, existe a necessidade de retirar os profissionais das atividades cotidianas em função do deslocamento necessário para ir fisicamente até o stand. Isto é, parte do agrupamento precisa ser retirada temporariamente das atividades rotineiras, sobrecarregado os que permanecem trabalhando [8]. Inclusive, já existem pesquisas comprovando que o uso de simuladores é relevante para o treinamento dos profissionais de segurança, como por exemplo, dos agentes de segurança responsáveis por proteger o chefe de estado e as demais pessoas relacionadas com a Secretaria de Segurança Presidencial [9], dos policiais militares do estado de Santa Catarina [10] e da guarda nacional republicana de Portugal [11].

Dessa forma, o projeto tem por objetivo gerar maior interatividade aos possíveis usuários, permitindo assim, um ganho maior na qualidade e na capacitação dos profissionais envolvidos com segurança. Para gerar essa interatividade, o sistema irá exibir em um anteparo de metal, um filme 2D (produção dos filmes com técnicas diferentes) com situações reais do cotidiano, tais como assaltos, sequestros, invasões entre outros, utilizando personagens em tamanho real (1:1), o que produzirá por meio das imagens e dos sons emitidos, uma sensação de presença física no ambiente no momento em que a situação está ocorrendo. Nesse momento, com uma arma real carregada com projéteis de silicone ou óleo de mamona, o usuário terá que tomar decisões, tais como o momento exato de sacar a arma e atirar; e posteriormente a sua ação, ocorrerá uma reação do filme de acordo com o resultado do disparo. Isto é, após efetuar o disparo, o sistema será responsável por definir qual a nova sequência de imagens a ser mostrada na tela, dependendo da ação tomada pelo usuário.

---

VALERIO NETTO, A.

Um dos itens inovadores do sistema está relacionado à “malha laser” para o rastreamento da posição do projétil. Com essa técnica baseada na “malha laser”, o sistema se torna mais flexível, permitindo uma maior mobilidade e adaptabilidade a diferentes tamanhos e ambientes de treinamento, além de permitir que sejam utilizadas armas reais sem as adaptações, prática necessária nos sistemas disponíveis atualmente no mercado. A utilização das armas reais é de extrema importância para que o treinamento seja o mais próximo da realidade, aumentando assim, a sensação de envolvimento do usuário com relação ao simulador e, conseqüentemente a eficiência do processo de treinamento [12]. Além disso, a criação da “malha laser” gera condições para o desenvolvimento de outros projetos (projetos derivados) onde exista a necessidade de identificar o posicionamento cartesiano, por exemplo, de objetos ou pessoas.

Esse tipo de sistema de treinamento prove um grau de assimilação muito maior do conhecimento transmitido, pois um sistema que promove estímulos visuais, sonoros e interativos, viabiliza um ganho de qualidade no aprendizado do usuário [13].

Na seção 2 são apresentadas as informações referentes ao desenvolvimento das placas eletrônicas que compõe a malha laser: Lasercon, Receptor e Arbiter. Na seção 3 são apresentados os protocolos de comunicação que foram utilizados para tratar os dados internos da malha e a comunicação externa com o computador responsável pelo controle principal. Na seção 4, são apresentadas informações sobre o projeto construtivo e os cálculos matemáticos que foram desenvolvidos para efetuar as operações da malha laser. Além disso, também é apresentado como foi desenvolvida a calibração do referencial absoluto da malha laser em relação às coordenadas  $x$  e  $y$  que permitirá identificar a posição do disparo que, posteriormente, será utilizado por um módulo computacional para direcionar a cena no ambiente 3D. Por fim, na seção 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

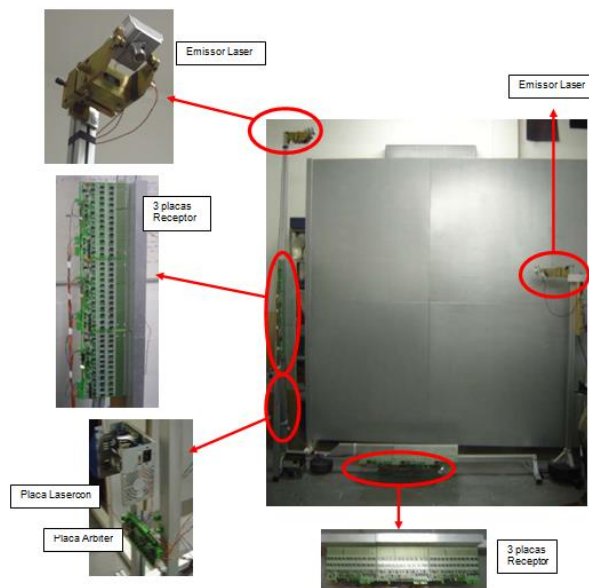
## II. DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA MALHA LASER

Foram desenvolvidos três tipos de placas eletrônicas. Uma placa para controle de potência dos lasers chamada “placa Lasercon”, outra para detectar a interrupção do feixe laser causada pela passagem do projétil, chamada “placa Receptor”, e a terceira, para controlar e sincronizar o funcionamento das outras duas, chamada de “placa Arbiter”.

Para o protótipo foram adquiridos componentes eletrônicos para a montagem: de uma placa Lasercon, uma placa Arbiter e seis placas Receptor, para efeito de prova de conceito.

Na Figura 1 é apresentada uma visão geral da malha laser, salientando o posicionamento das placas desenvolvidas.

Figura 1 – Visão geral do suporte mecânico da malha laser, salientando o posicionamento das placas desenvolvidas.



Fonte: Próprio autor.

### A. Desenvolvimento da placa Lasercon

Devido ao alto custo e a relativa fragilidade dos diodos lasers à transientes de tensão, especial atenção foi dada a fonte de alimentação e circuito de controle antes de conectá-los ao laser. Isso foi muito importante para garantir estável fornecimento de corrente aos diodos laser e adequada proteção destes dispositivos em caso de transientes na linha de alimentação do sistema.

Deve-se lembrar que para poder determinar precisamente as coordenadas do projétil que atravessa a “folha de luz”, que é produzida pelos lasers, seria necessário ter dois pontos da projeção da sombra do projétil, cada uma referente a um dos lasers. Para isso, os mesmos deveriam operar de forma modulada (pulsada), seguindo um sinal externo de sincronia.

A solução encontrada com o objetivo de reduzir custos, simplificar o circuito eletrônico e prover a funcionalidade desejada foi o desenvolvimento de uma nova placa que trabalhe em regime contínuo de alimentação, diferentemente da anterior, que era modulada em 50 kHz. Com isto foi possível aumentar a confiabilidade do sistema tendo em vista a preservação do diodo laser. Esta nova placa implicou no desenvolvimento de um novo software de determinação das coordenadas  $x$  e  $y$  do projétil. Na Figura 2 é possível ver o novo protótipo da placa Lasercon desenvolvida pela equipe técnica.

Figura 2 - Placa Lasercon é responsável pelo acionamento dos lasers.

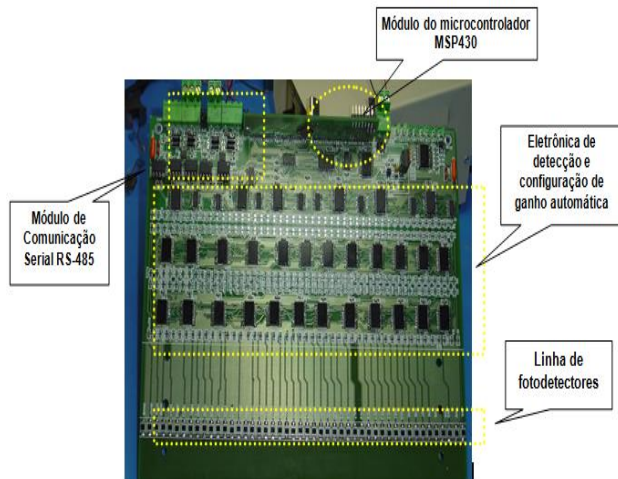


Fonte: Próprio autor.

### B. Desenvolvimento da placa Receptor

Individualmente, a placa de circuito eletrônico mais importante de todo o sistema é a placa Receptor. A Figura 3 mostra uma das placas montadas, indicando os principais elementos que a constituem. Cabe a ela detectar a posição na qual o projétil atravessa a folha e luz, gerada pelos emissores laser. Além dos fotodetectores e de um conjunto de circuitos eletrônicos que permite o ajuste do nível de sinal luminoso a ser detectado. Essa placa possui ainda um módulo de comunicação RS-485 e um microcontrolador que pode ser programado para executar as diversas tarefas. O microcontrolador empregado pertence à família MSP430 da empresa *Texas Instruments*.

Figura 3 – Placa Lasercon é responsável pelo acionamento dos lasers.



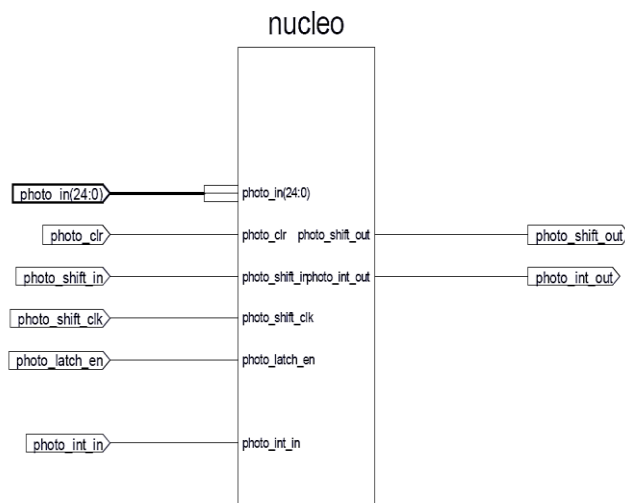
Fonte: Próprio autor.

Por meio de um software dedicado desenvolvido para esse *hardawre*, o microcontrolador da placa receptora pode realizar automaticamente o ajuste do

limiar de detecção da intensidade luminosa, parâmetro determinante da transição correspondente à passagem do projétil. Uma vez realizada a configuração do ganho dos fotodetectores, o programa embarcado inicia a varredura contínua dos fotodetectores a uma taxa de 10.000 vezes por segundo, sinalizando através de um sinal de interrupção para a placa Arbiter quando há a detecção da obstrução da luz laser que incide nos fotodetectores. Ao receber o sinal de interrupção, a Arbiter faz uma requisição da leitura dos detectores da(s) placa(s) que acusam a passagem do projétil. Toda a comunicação entre essas placas é feita por um barramento RS-485 de alta velocidade, segundo um protocolo desenvolvido para otimizar essa comunicação e garantir um rápido tempo de resposta. Isso é importante para evitar descontinuidade na projeção do filme e permitir uma plena sensação de interatividade.

A captura de eventos de transição nos fotos detectores é realizada através de um circuito digital dedicado, implementando dentro de um circuito integrado CPLD (*Complex Programmable Logic Device*). Esse circuito fica localizado entre os fotos detectores e o microcontrolador, sendo responsável pelo armazenamento instantâneo do estado dos fotodetectores e sinalização de interrupção quando novos dados estão disponíveis para processamento. A Figura 4 exhibe a estrutura em bloco do circuito digital projetado.

Figura 4 – Estrutura do circuito digital implementado no CPLD.

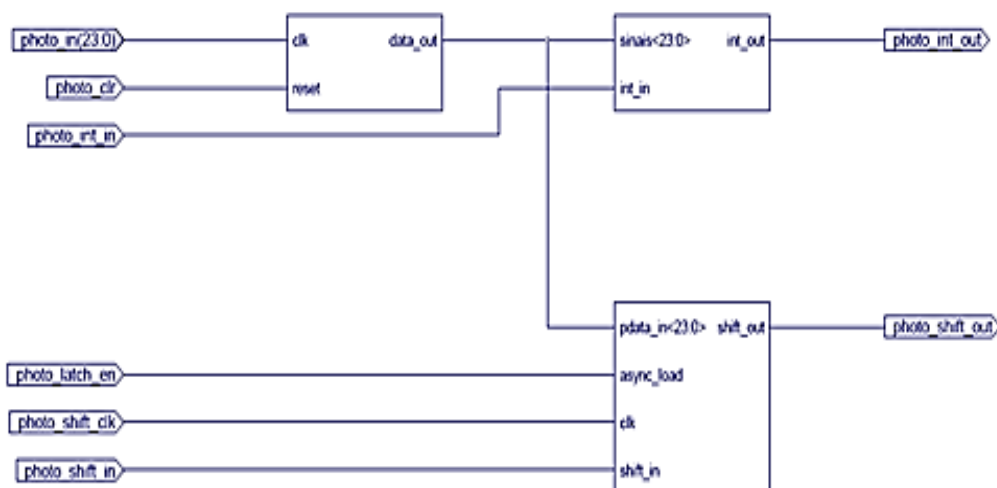


Fonte: Próprio autor.

Cada circuito integrado é responsável pela observação de 24 fotodetectores, como indicado na Figura 5 (entradas *photo\_in[23..0]*). A estrutura do circuito permite escalabilidade dos módulos, tornando possível a conexão serial de uma grande quantidade de módulo. Adicionalmente, cada circuito digital conta com buffers tipo *latch*, que permitem que os estados dos fotodetectores sejam temporariamente congelados para transferência para o microcontrolador.



Figura 5 – Detalhes internos do circuito digital implementado no CPLD.



Fonte: Próprio autor.

Devido a todas essas características e complexidades envolvidas, foram realizados vários testes para verificar seu funcionamento e definir valores finais de componente eletrônico utilizados no circuito de configuração automática do ganho dos fotodetectores. Esses testes envolveram tanto a capacidade de detecção, propriamente dita, quanto à interface de comunicação com o módulo do microprocessador. É importante salientar que todos os testes realizados com as seis placas montadas mostraram-se satisfatórios. Inclusive aqueles envolvendo a interface de comunicação RS-485, conectadas em rede.

### C. Desenvolvimento da placa Arbiter

A placa Arbiter tem como função o sincronismo entre todas as placas Receptor, a coleta de dados das placas Receptor, e a transmissão desses dados de forma padronizada para o computador (PC). Esta placa possui três canais de comunicação: uma interface RS-232C responsável pela comunicação entre a Arbiter e o PC; uma interface RS-485, responsável pela comunicação entre a Arbiter e as placas Receptor; e a interrupção direta na Arbiter que é gerada pela placa Receptor.

Figura 6 – Placa Arbiter e o gerenciamento de dados entre as placas receptoras e o computador.



Fonte: Próprio autor.

Ao detectar qualquer interrupção gerada por uma das placas Receptor, ocasionada pela passagem do projétil, a Arbiter realiza um *pooling* (varredura) em todas as placas receptoras pelo barramento RS-485, verificando quais os detectores sensibilizados. Por meio da interface RS-232C, a Arbiter então envia os dados para que o computador (PC), tornado possível os cálculos das coordenadas (x, y) do projétil. Na Figura 6 é possível observar a placa Arbiter com seus três canais de comunicação.

## III. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO DESENVOLVIDOS

Para o projeto foram desenvolvidos dois protocolos de comunicação:

- Interno: protocolo de comunicação RS-485 utilizado pela placa Arbiter para coordenar a aquisição de dados da rede de placas receptoras;
- Externo: protocolo de comunicação serial RS-232C utilizado entre a placa Arbiter e o computador que executa o software do módulo de controle.

### A. Protocolo interno

Uma vez verificada a funcionalidade da placa Receptor, iniciou-se o desenvolvimento do protocolo de comunicação utilizado pela placa Arbiter para coordenar a aquisição de dados da rede de placas receptoras (seis placas Receptor). Esse protocolo segue, em linhas gerais, os mesmos procedimentos utilizados em uma rede de computadores. Porém, como nesse caso o *hardware* é dedicado, procurou-se fazer um protocolo bastante “enxuto”, dispensando o envio de qualquer informação desnecessária. Isso é muito importante para garantir a menor latência possível do sistema.

Ainda assim, como cada placa receptora constitui-se em um dispositivo independente, e que em última análise é responsável pelo mapeamento da posição do projétil, é necessário determinar qual a posição física das placas que levantaram a interrupção de *hardware*, sinalizando a detecção da passagem do projétil. Isso foi obtido por meio do endereçamento de cada placa com um número de id próprio. Desse modo, ao receber a interrupção de uma das linhas monitoradas, o software do microcontrolador da placa Arbiter identifica quais placas deverão receber a instrução para enviar a leitura dos fotodetectores. Esse comando é então enviado pelo barramento RS-485 e verificado por todas as placas receptoras conectadas a esse barramento, porém apenas as placas que têm os endereços solicitados irão responder ao comando enviado.

Dessa forma, tanto as instruções de comando da placa Arbiter como as respostas enviadas pelas placas receptoras, devem ser encapsuladas em um “pacote” de dados que contém a informação que se deseja transmitir. Esse empacotamento da informação enviada pelo barramento serial garante o funcionamento simultâneo de todas as placas conectadas a este barramento, sem que haja conflitos (embaralhamento) dos dados transmitidos. Para evitar colisão dos pacotes de dados no barramento, as placas receptoras são programadas para ficar em um estado de varredura contínua dos fotodetectores, sem enviar nenhuma informação pelo barramento até que ocorra um evento de interrupção em alguma das placas. Quando então, a placa Arbiter envia um comando (específico para o endereço da placa receptora que levantou a interrupção) solicitando a leitura dos fotodetectores daquela placa, armazenados na memória do microcontrolador daquela placa. Isso permite relaxar os requisitos de taxa de transmissão entre as placas receptoras e o módulo responsável pelo cálculo da posição do projétil.

Para que essa estrutura funcione adequadamente, cada sequencia de comandos e/ou resposta deve, portanto, ser empacotada de uma forma apropriada. Cada pacote de dado deve também carregar a informação de endereço (<id>) da placa destino/origem. Da mesma forma, todos os dispositivos conectados à rede RS-485 devem ser capazes de “desempacotar” essas informações, interpretá-las responder de forma apropriada. Todas essas tarefas de “empacotamento/desempacotamento” de informações são realizadas por rotinas específicas implementadas nos softwares dos microcontroladores MSP430.

### B. Protocolo externo

O protocolo externo é responsável pela comunicação entre a placa Arbiter e o computador que executa o software do módulo de controle. Esta comunicação é realizada via interface serial RS 232C. O protocolo de comunicação foi inicialmente desenvolvido em linguagem LISP, pois antigo coordenador acreditava que a mesma poderia ser mais eficiente para o projeto e já possuía experiência com o

interpretador “Guile”. Contudo, verificou-se que a mesma não apresenta grandes ganhos de desempenho, quando comparadas com a linguagem C.

Este protocolo desenvolvido contempla todas as funções de controle do *hardware* do sistema, como acesso de dados vindo da Arbiter, além da programação das placas Receptor. Os principais comandos são:

- (*arbiter-status*): Essa função retorna dados sobre a Arbiter como: porta serial em que ela esta conectada; número de placas conectadas e pinos utilizados; modo de operação atual (enviar ou receber dados);
- (*send-pack ID DATA*): Onde ID é o número da placa e DATA é um valor inteiro qualquer. Esse comando retorna: O ID e a DATA se esta tudo bem com a placa; #f - se algum erro de comunicação foi encontrado; 227 - se existe algum erro na placa;
- (*set-all-photo-levels ID VALOR*): Onde ID é o numero da placa e VALOR deve ser 0 ou 1. Essa função seta o valor dos fotosensores com o valor dado na entrada.
- (*scan-always ID*): Onde ID é o número da placa. Essa função ativa o modo de varredura, mostrando na tela a matriz com os valores de todos os fotosensores da placa setada, sendo estes valores atualizados automaticamente após qualquer modificação; Ela está programada para trabalhar com apenas um laser emissor.
- (*verify-photo-levels ID*): Onde ID é o número da placa. Essa função mostra o valor setado para os fotosensores da placa (0 ou 1).
- (*scan-2-lasers*): Retorna o ID da placa Receptor que gerou a interrupção, seguido dos bits correspondentes ao nível dos fotosensores.

O funcionamento do sistema é realizado quando o usuário aciona, por meio da interface gráfica do módulo de controle, a opção “Carregar” que carrega o filme 2D e aciona automaticamente uma rotina de calibração das coordenadas cartesianas do filme, com as coordenadas reais do anteparo. Em seguida, o protocolo de comunicação via RS232C é executado em background, e é habilitado o módulo de varredura para dois lasers. Enquanto o filme é executado, o sistema fica aguardando que uma interrupção seja gerada na porta serial pela Arbiter. O sistema lê esses dados e utiliza uma rotina de conversão matemática que traduz as informações da Arbiter, em posição x e y de onde o disparo atingiu o anteparo.

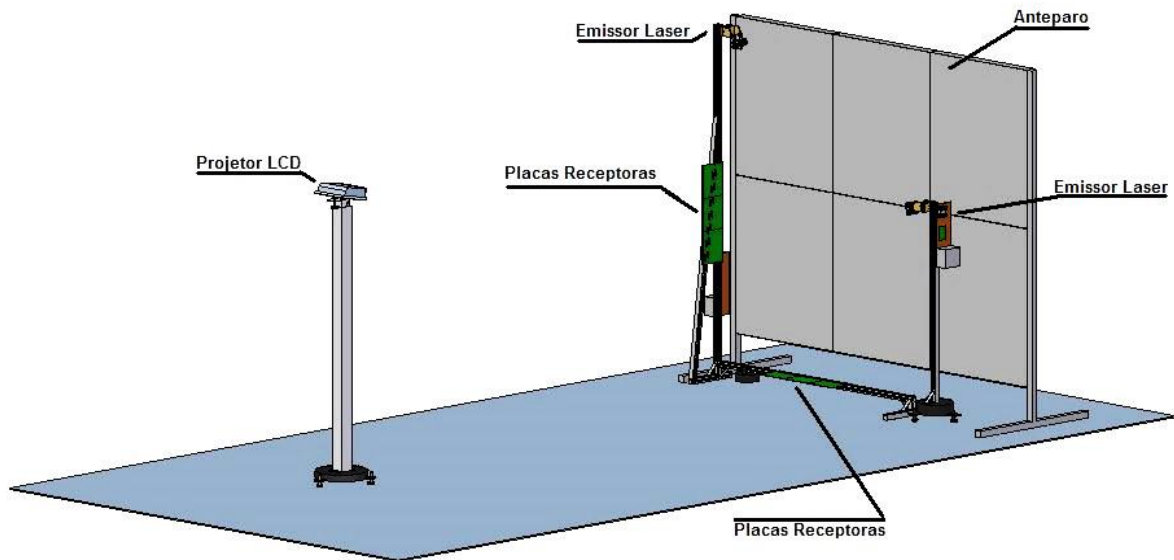
O módulo desenvolvido recebe este sinal vindo da Arbiter, e simula um evento de “click de mouse” na posição x e y já previamente calibrada, correspondente a posição da cena carregada no momento do disparo. Esta estratégia foi aplicada, pois a *mouse* utiliza o mesmo protocolo de comunicação serial, e por meio de bibliotecas específicas (SDL e MJPEG) é possível controlar os eventos do filme de forma interativa.

#### IV. PROJETO CONSTRUTIVO E CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Com o objetivo de desenvolver um protótipo modular, todos os componentes deste projeto foram projetados para serem desmontáveis para facilitar seu transporte. Deste modo, o protótipo pode ser facilmente transportado para: eventos externos, feiras tecnológicas ou para testes em um local específico.

A mecânica deste projeto foi projetada para evitar vibrações provocadas pelo impacto da bala com o anteparo. Para isso, o anteparo foi montado separadamente da parte elétrica-eletrônica para que a força de impacto da bala não interfira ou cause danos nas placas eletrônicas do laser e de seus sensores. Com isso, o projeto de treinamento possui três partes separadas: anteparo, sistema de emissão e recepção dos lasers e projetor de imagens, conforme Figura 7.

Figura 7 – Visualização do anteparo, lasers, placas receptoras e o projetor de imagens LCD.



Fonte: Próprio autor.

A primeira parte é o anteparo e seu suporte. Este foi projetado em seis módulos de placas de aço com 1,0m por 1,20m, com um total de 3,0m de largura e 2,4m de altura. Este deve ser de cor cinza para obter melhor definição da imagem projetada.

A outra parte é o sistema de emissão e recepção, composto pelos lasers, placas de recepção dos feixes dos lasers e suportes. Os lasers estão fixos a um sistema de alinhamento e este está fixo ao suporte, separadamente do anteparo. Os lasers também possuem uma lente cilíndrica colimadora (feitas inicialmente em acrílico) disposta na saída do feixe para incidir o feixe em um único plano. O sistema de alinhamento do laser foi desenvolvido para ajustar o correto posicionamento dos feixes, ou seja, alinhar coincidentemente os dois planos gerados pelas lentes cilíndricas com os sensores de recepção do localizado nas placas de recepção. Estas estão fixas em posições perpendiculares uma da outra e opostas aos lasers. A primeira está localizada na parte lateral do sistema recebendo o feixe do laser lateral, e a outra está na parte inferior recebendo o feixe do laser superior. Desde modo, temos uma malha de feixes de lasers se encontrando no centro do anteparo. O suporte destes dois equipamentos foi construído com perfis de alumínio de 50x50mm, e este possui rasgos para facilitar a sua montagem e seus componentes. Como o sistema

todo ficou leve, dois contrapesos foram adaptados nas partes inferiores do suporte para evitar balanços ou quedas.

A terceira parte é o suporte elevado para o projetor LCD, feito de tubo metalom com seção 100x100mm. Este é sustentado com um contrapeso de ferro como base e na ponta encontra-se um regulador angular para o projetor LCD.

Por fim, foi desenvolvido um sistema simples de disparo com o intuito de verificar o funcionamento da malha com um projétil próximo ao real e em alta velocidade. Este projétil deverá passar obrigatoriamente pela região definida pela malha a laser para verificar a pontaria do usuário. Para evitar acidentes, o sistema de disparo do projétil foi desenvolvido sem uso de pólvora ou de qualquer outro material explosivo. Assim, uma mola foi utilizada para impulsionar e um pequeno tubo para direcionar o projétil na direção da malha, atingindo o anteparo.

Para a confecção desse projétil, foram feitos diversos moldes em latão com formato de um projétil real de arma de fogo calibre 38. O molde foi construído em duas partes para facilitar a extração do projétil (Figura 8). Após alguns testes, foi decidido moldar o projétil em silicone devido à facilidade construtiva, rapidez na confecção e ser um material reaproveitável.

Figura 8 – Moldes da confecção do projétil em duas partes e projeteis feitos de silicone.



Fonte: Próprio autor.

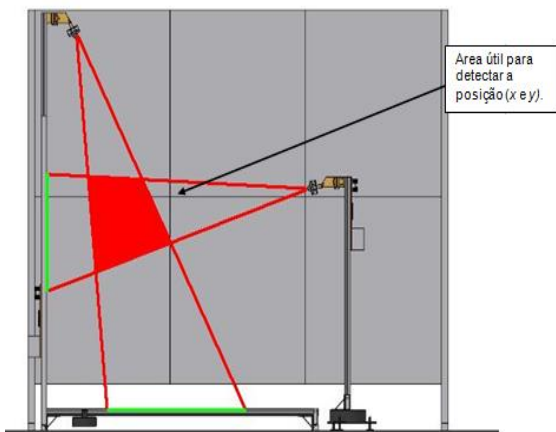
**A. Testes da funcionalidade da malha laser**

Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo funcional para uma área menor para testar e validar o conceito do sistema de captura do disparo por meio de uma malha laser. O tamanho desta área útil onde pode ser detectada a posição  $(x, y)$  pode ser observado na Figura 9. Para o teste da funcionalidade da malha foi criado um programa que lê da placa Arbiter e escreve na tela do computador, a posição  $x$  e  $y$  da posição que o disparo atingiu. Para isto, ele utiliza o cálculo matemático que é apresentado na seção seguinte.

É importante salientar que a posição apresentada na tela do computador é a posição real em centímetros referente ao suporte mecânico desenvolvido. Na Figura 10 é possível observar a posição  $(0,0)$  desse plano cartesiano de onde a posição  $(x, y)$  estão relacionadas.

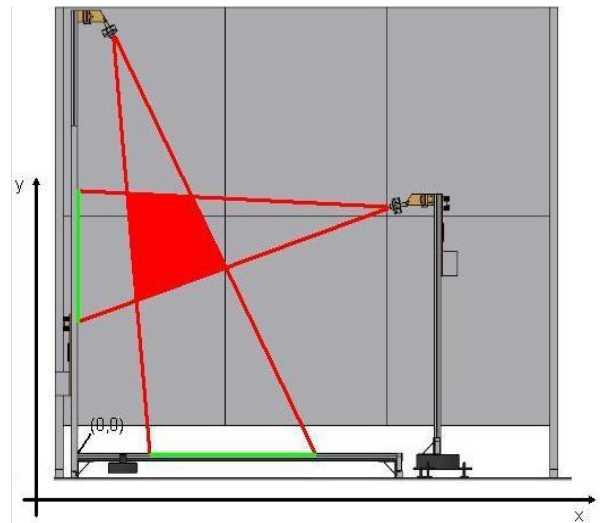
A partir dos resultados obtidos nos testes do protótipo foi permitido levantar os requisitos que para gerar um sistema de hardware com a finalidade de aumentar o desempenho do funcionamento dos lasers e dos detectores e a otimização da produção do sistema do sistema de treinamento em escala comercial (Engenharia de Produto).

Figura 9 – Área útil onde pode ser detectada a posição  $(x, y)$ .



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 – Área útil onde pode ser detectada a posição  $(x, y)$ .



Fonte: Próprio autor.

**B. Cálculo da posição  $x$  e  $y$**

Para o cálculo da posição  $(x, y)$  foi utilizado uma rotina matemática baseada na posição dos lasers. Na Figura 11 são apresentadas as relações de distâncias e ângulos utilizados na dedução da equação aplicada. Dessa figura, temos:

- $L1$ : ângulo formado entre a normal ao chão e a reta do laser 1 ao objeto;
- $L2$ : ângulo formado entre a normal ao chão e a reta do laser 2 ao objeto;

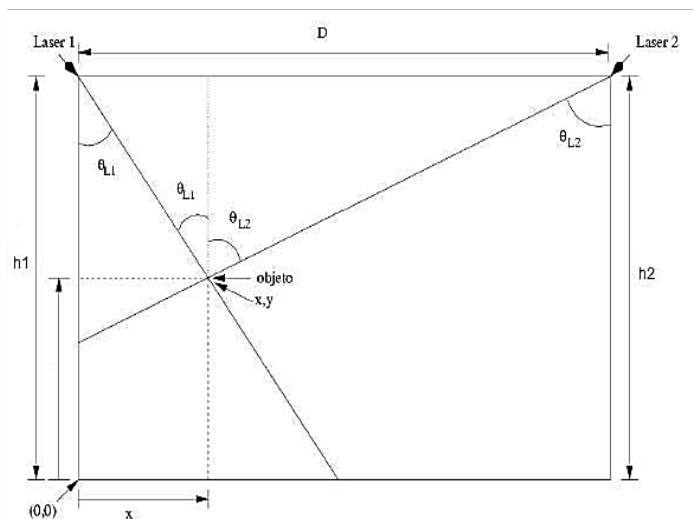
$x$ : valor da abscissa;       $y$ : valor da ordenada;

$D$ : largura da projeção;

$h1$ : altura da colocação do laser 1;

$h2$ : altura da colocação do laser 2;

Figura 11 – Sistema de coordenadas para determinação dos objetos.



Fonte: Próprio autor.

$$tg\theta_{L1} = \frac{x}{h_1 - y} \quad (3.1)$$

$$tg\theta_{L2} = \frac{D - x}{h_2 - y} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{tg\theta_{L1}h_1 + tg\theta_{L2}h_2 - D}{tg\theta_{L1} - tg\theta_{L2}} \quad (3.3)$$

$$x = tg\theta_{L1}(h_1 - y) \quad (3.4)$$

Por meio das equações 3.3 e 3.4 são determinadas as posições  $(x, y)$  do disparo.

### C. Calibração do referencial absoluto das coordenadas

Quando o usuário em treinamento efetua um disparo contra a cena, a malha laser deve gerar uma interrupção nas placas receptoras, calcular uma posição  $(x, y)$  e enviar para o módulo de controle que utilizará esta posição para verificar o ponto de interação. No entanto, o sistema de captura da posição atingida pelo projétil necessita de calibração, pois a estrutura de lasers, o anteparo e o projetor não são fixos, de forma que o ponto físico de interrupção não será igualmente o ponto correspondente no vídeo com uma resolução específica.

Para isto, foi desenvolvido um método de calibração para garantir a fidelidade do treinamento. A calibração se encontra dentro do módulo de Controle como uma de suas funcionalidades. Basicamente, são apresentados ao usuário uma tela com dois pontos numerados (Figura 12). O sistema pede ao usuário que utilize um objeto de espessura fina para interromper a malha laser exatamente nestes pontos.

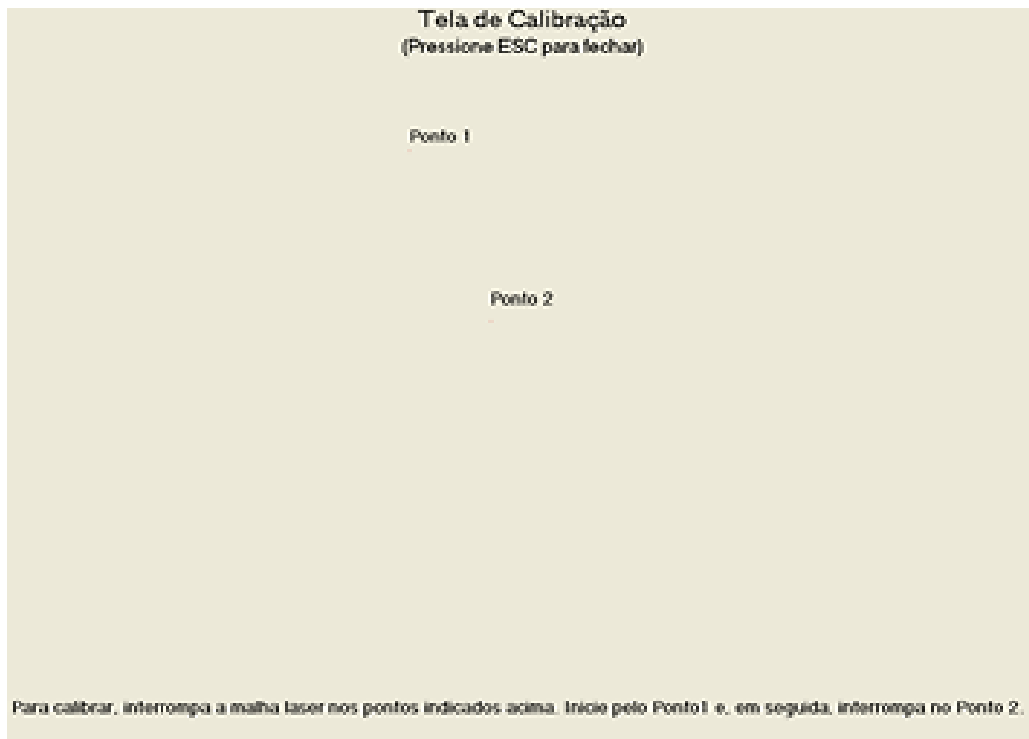
Tendo a correspondência entre os dois pontos físicos e os referentes ao vídeo, é possível calcular um fator para  $x$  e para  $y$  (Equação 3.5), de forma que a correspondência para qualquer ponto seja feita apenas multiplicando-se a posição recebida pelo fator calculado.

O fator é dado por:

$$Fator(i) = \frac{P_{v_{i1}} - P_{v_{i2}}}{P_{m_{i1}} - P_{m_{i2}}} \quad (3.5)$$

onde  $i = \{x, y\}$ ,  $P_{v_1}$  e  $P_{v_2}$  são os pontos exibidos no vídeo e  $P_{m_1}$  e  $P_{m_2}$  são os pontos correspondentes na malha laser.

Figura 12 – Tela para calibração.



Fonte: Próprio autor.



## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados com o protótipo demonstram que o projeto está caminhando adequadamente. As principais alterações que deverão ser realizadas para tornar o protótipo em um produto são:

Na placa Receptor deverá ser retirada a característica de alteração de ganho dos fotodetectores, visto que a potência do laser já foi definida e será mantida constante durante a operação do equipamento. Também serão revistas as posições de alguns componentes, principalmente o microcontrolador MSP430, objetivando a redução do tamanho da placa, facilitando assim a montagem mecânica e melhorando o aspecto visual do sistema. Será modificada a comunicação serial entre as placas Receptor e a placa Arbiter, atualmente RS-485 para RS-232 que apresenta vantagens para comunicação entre placas do mesmo tipo.

Será aprimorado o *hardawre* responsável pela comunicação entre o microcomputador que fará o processamento da posição do usuário e o momento do disparo e a placa Arbiter. Na placa Arbiter será modificada a comunicação serial entre as placas Receptor. Além disso, serão produzidas placas suficientes para atender a nova malha laser que terá dimensões de 2,5 x 4,0 metros.

A partir dos resultados obtidos nos testes do primeiro protótipo, na fase de desenvolvimento do produto serão realizadas mudanças no projeto mecânico que passará por uma revisão construtiva utilizando o programa CAD. Este programa tem como facilidade o desenvolvimento dos componentes separadamente da montagem completa do protótipo (*assembly*) e possibilita montar e visualizar todos os componentes do protótipo em 3D. Com esse programa pode-se prever, corrigir e evitar erros de desenvolvimento, de concepção, de montagem e interferência dimensional entre os componentes. Portanto, qualquer erro no projeto será corrigido ainda na concepção do projeto por meio da visualização completa.

Em paralelo ao desenvolvimento em CAD, peças e componentes do projeto serão pesquisadas e simuladas para verificar sua empregabilidade neste projeto. Além disso, peças similares ou complementares serão pesquisadas para verificar seu emprego e benefícios de sua substituição no projeto com a meta de aprimorar o projeto. As peças que serão fabricadas por terceiros deverão ser cuidadosamente dimensionadas e verificadas para facilitar e diminuir o custo de sua produção. Nesta etapa, possíveis fornecedores serão pesquisados e/ou desenvolvidos para tornarem-se fornecedores destas peças.

Inicialmente, a malha laser deverá passar por um processo de ampliação, para que possa cobrir toda a área proposta originalmente (2,5m x 4,0m), pois na fase de viabilização técnica foi implementado um protótipo de bancada com uma área menor para realização de testes e validação do conceito do sistema de malha laser. Desse modo, será construído um novo anteparo feito com

placas de aço e com estrutura de metalon para suportar o impacto dos projeteis durante o treinamento. Essa estrutura será construída em módulos para facilitar o seu transporte.

O suporte das placas dos sensores de captação da malha laser será construído separadamente para que seja evitada a vibração proveniente do impacto do projétil com o anteparo, podendo causar danos à placa receptora ou até um desalinhamento dos lasers. As placas receptoras serão montadas ao redor das laterais e da parte superior do anteparo. Para proporcionar uma área útil, ampla e sem obstáculos rentes ao chão evitará a montagem dessas placas na parte inferior do anteparo, o contrário do que foi desenvolvido no protótipo anterior. Além disso, as placas receptoras devem ser protegidas de um possível impacto direto do projétil ou recocheteamento deste.

Com relação ao projétil a ser usado, o mesmo passará por testes detalhados com materiais e formatos antes de serem confeccionados. Esta preocupação com os materiais e formato é consequência do uso dos projéteis em armas de fogo reais, calibre 38. Também, seu comportamento em altas velocidades será levantado para evitar desvios de rotas, forte impacto com o anteparo e recocheteamento do projétil, pois este deve atingir velocidade próxima ao do projétil real. Já o suporte do projetor LCD de imagens passará por pequenas alterações para facilitar o ajuste na sua altura e no ângulo de incidência da imagem projetada.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio financeiro do CNPq por meio do programa RHAÉ Pesquisador na empresa e PIPE FAPESP. Além do programa de subvenção da FINEP.

## REFERÊNCIAS

- [1] DONATO NETO, J. M. **O uso do simulador de tiro na formação e adestramento do agente de segurança da presidência da república**, Trabalho de conclusão de curso, Especialização em Gestão Integrada da Segurança Pública, 2015.
- [2] VILLAREJO, C. A. **Simulador de tiro con captura láser**. Dissertação de mestrado, Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC, 2015.
- [3] DA ROSA, A. J. P.; PAVANATI, I. A utilização da realidade virtual e aumentada na formação dos policiais militares em Santa Catarina. *Revista Ordem Pública*, v. 7, n. 2, p. 37-51, 2015.
- [4] ALVES, J. B. M. **O emprego da realidade virtual no treinamento policial para o enfrentamento de criminosos com ênfase nos chamados encontros mortais: uma abordagem baseada na teoria geral de sistemas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- [5] GOMES, P. **A simulação nos desafios do futuro para a operacionalidade das Forças de**

- Segurança: o seu emprego na Guarda Nacional Republicana**, Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação, Instituto Universitário Militar, Portugal, 2016.
- [6] VALERIO NETTO, A. Application of Interactive Technology for Training in the Security Area. In: *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2015 XVII Symposium on IEEE*, 2015. p. 127-132, 2015.
- [7] VALERIO NETTO, A. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento e desenvolvimento de produto. *Gestão e Produção (UFSCar)*, São Carlos - SP, v. 5, n.2, p. 104-116, 1998.
- [8] RIBEIRO, J. B. **RPG Digital e Segurança Pública: uma proposta de aplicação pedagógica para instrução policial militar**. Tese de doutorado, 2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufba.br:8080/ri/handle/ri/20299>>. Acesso em: 27/09/2017.
- [9] DALL'AGNOL, R. P. *et al.* Mapeamento tecnológico de patentes de simuladores de tiro. *Cadernos de Prospecção*, v. 9, n. 1, p. 70, 2016.
- [10] FURUIE, L. M. A. **Melhoria na segurança pública com treinamento continuado do policial militar em estande de tiro modelo: Elaboração de modelo de avaliação e melhoria da qualidade**. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 2013.
- [11] VALERIO NETTO, A. Desenvolvimento de um sistema de treinamento baseado em multimídia interativa para área de segurança, *IEEE Latin America Transactions*, v.4, n.5, sep. 2006.
- [12] FENAVIST, Federação Nacional das Empresas de Segurança e Transporte de Valores. Disponível em: <<http://www.fenavist.com.br/>>. Acesso em: 10/09/2016.
- [13] DALE, E. **Audio-Visual Methods in Teaching**, New York: International Thomson Publishing, January, 1969.