



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E
SISTEMAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM COMPUTAÇÃO APLICADA A ENGENHARIA
AEROESPACIAL

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA O
SISTEMA AUTOMÁTICO DE COMBATE A PRINCÍPIO DE
INCÊNDIO DO PRÉDIO DEPÓSITO DE PROPULSORES DO CLA.**

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

por

ERYCK DE ARAUJO OLIVEIRA

Professor Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado Da Silva
Orientador

São Luís - MA
2019

ERYCK DE ARAUJO OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA O
SISTEMA AUTOMÁTICO DE COMBATE A PRINCÍPIO DE
INCÊNDIO DO PRÉDIO DEPÓSITO DE PROPULSORES DO CLA.**

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação e Sistemas, da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Computação e Sistemas.

Orientador: Professor Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado Da Silva

Coorientador: Professora Dr^a. Emília Villani

São Luís – MA
2019

Oliveira, Eryck de Araújo.

Desenvolvimento de um sistema supervisor para o sistema automático de combate a princípio de incêndio do prédio depósito de propulsores do CLA / Eryck de Araújo Oliveira. – São Luís, 2019.

102 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Computação e Sistemas, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva.

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Emília Villani

1.Sistema supervisor. 2.Sistema de combate a incêndio. 3.Linguagem ladder. 4.Controlador lógico programável. I.Título

CDU: 004.4'242:614.84

ERYCK DE ARAUJO OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA O
SISTEMA AUTOMÁTICO DE COMBATE A PRINCÍPIO DE
INCÊNDIO DO PRÉDIO DEPÓSITO DE PROPULSORES DO CLA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Computação e Sistemas.

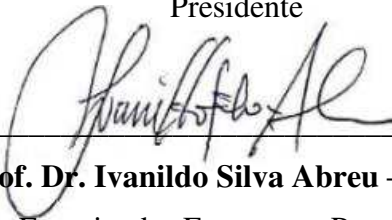
APROVADO EM: 03 / 10 / 2019

BANCA EXAMIDADORA:



Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva - UEMA

Presidente



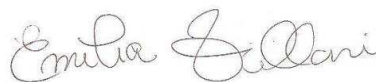
Prof. Dr. Ivanildo Silva Abreu – UEMA

Examinador Externo ao Programa



Prof. Me. Henrique Mariano Costa do Amaral - UEMA

Examinador Interno



Profª. Drª. Emilia Villani – ITA

Examinadora Externa à Instituição

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde diária e por suas bênçãos durante toda essa jornada, por sempre me dar forças nos momentos difíceis não deixando desistir jamais e por conduzir minha vida aos melhores caminhos.

À meus pais Antônio Cavalcante de Oliveira e Maria Edileusa de Araujo Oliveira pelo imenso esforço e sacrifício para prover a oportunidade de constituir uma vida melhor longe de casa, me permitindo uma educação digna e ensinamentos essenciais que edificaram-me como uma pessoa melhor, agradeço pelo amor e carinho demonstrados durante toda a vida e por mostrar os caminhos da verdade, honestidade e humildade.

Aos meus irmãos e aos avós, que sempre estiveram comigo durante essa jornada no meio acadêmico, se tornando peças essenciais nos momentos difíceis, me dando apoio e sempre disponíveis dando conselhos, mostrando companheirismo e afeto, por ser a base estruturante do meu crescimento, essa conquista dedico a vocês.

À minha namorada Ravenna Lima responsável pelo incentivo essencial para esta jornada, ajudando sempre em todas as questões relacionadas ao andamento dos estudos deste curso, sempre me mostrando o lado positivo de cada situação mesmo que adversa e nunca me deixando desistir de meus objetivos.

Aos mestres e doutores, em especial ao meu orientador Leonardo Henrique Gonsioroski e à minha coorientadora Emilia Villani, pelos ensinamentos técnicos, pela paciência no tratamento das dificuldades do projeto, ensinamentos e conselhos que possibilitaram-me vir a ser um profissional em prol da sociedade.

Por fim agradeço à UEMA, à FAPEMA e ao corpo docente do curso de Mestrado Profissional em Engenharia de Computação e Sistemas, pela oportunidade de aqui me desenvolver pessoal e profissionalmente, agradeço pela educação, pelos conhecimentos passados e pelas experiências vividas que me tornaram um ser humano mais confiante e um profissional melhor.

*“Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são as nossas dúvidas e hesitações de hoje.
(Franklin Roosevelt)*

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisão, controle e aquisição de dados capaz de gerenciar e executar as funções do Sistema Automático de Combate a Princípio de Incêndio (SACI) do Prédio Deposito de Propulsores (PDP) do Centro de Lançamento de Alcântara. O sistema automático de detecção e combate a princípio de incêndio é um sistema integrado e disposto de forma planejada com o intuito de detectar os estágios iniciais de um incêndio. Além da detecção, o sistema deve ser capaz de executar comandos de alarme, por meio de sinalização audiovisual a qualquer sinal de perigo de incêndio além de atuar no processo de extinção das chamas, na proteção da vida e patrimônio. Portanto a aplicação de um sistema de supervisionamento e controle em tempo real no prédio de propulsores mantém as instalações protegidas contra estes incidentes. A metodologia de pesquisa utilizada foi de natureza qualitativa e caráter exploratório, tendo como base uma revisão bibliográfica sobre as normas de implantação de sistemas de combate a incêndio e artigos científicos sobre a produção e integração dos softwares do sistema supervisorio. Para a proposta de desenvolvimento do sistema utiliza-se o software MATLAB® por meio da ferramenta GUIDE para a produção da parte gráfica do sistema, para o sistema de controle da aplicação emprega-se no desenvolvimento da estrutura principal a linguagem *Ladder* por meio do software de programação RsLogix 5000 e para a comunicação destes softwares utiliza-se o protocolo OPC. Assim, como resultado principal deste estudo tem-se o protótipo do sistema desenvolvido, sendo este apto nas funções de supervisão, controle e aquisição de dados do sistema de detecção e combate a princípio de incêndio do PDP do Centro de Lançamento de Alcântara, constatando-se a eficiência no emprego e na integração de todas as ferramentas e softwares de construção para este protótipo. Deste modo conclui-se que a utilização de um sistema supervisorio para controle e supervisão de um sistema de detecção e combate a princípio de incêndio pode permitir a execução de todas as funções essenciais ao funcionamento do sistema físico, sendo que este atua de forma integral e satisfatória desempenhando as ações de acordo com as suas condições de ativação estabelecidas pelas estratégias de controle obtidas no estudo deste projeto. De tal modo, este sistema tem a capacidade de prover máxima segurança ao setor no tratamento de eventuais acidentes com incêndio, com a supervisão em tempo real das operações e promove ainda a redução de custos na operação do sistema.

Palavras-chave: Sistema de Combate a Incêndio. Sistema Supervisorio. Controlador Lógico Programável. Linguagem *Ladder*.

ABSTRACT

This paper presents the development of a supervision, control and data acquisition system capable of managing and executing the functions of the Alcântara Launch Center's Propulsion Building (PDP) Automatic Fire Fighting System (SACI). The automatic fire detection and firefighting system is an integrated system designed to detect the early stages of a fire. In addition to detection, the system shall be capable of executing alarm commands by means of audiovisual signaling to any fire hazard signal in addition to acting in the process of flame extinguishing, protection of life and property. Therefore, the application of a real time supervision and control system in the thruster building keeps the facilities protected from these incidents. The research methodology used was qualitative and exploratory, based on a bibliographic review on the rules for the implementation of firefighting systems and scientific articles on the production and integration of supervisory system software. Using MATLAB® software for the system development proposal through the GUIDE tool for the production of the graphic part of the system, for the application control system, the developing of main structure using the Ladder language through the RsLogix 5000 programming software and for the communication of these software the used it OPC protocol's. Thus, the main result of this study is the prototype of the developed system, which is capable of supervising, controlling and acquiring data from the detection and firefighting system of the PDP of the Alcântara Launching Center, the efficiency in the use and integration of all construction tools and software for this prototype. Thus, concluding it that the use of a supervisory system for control and supervision of a fire detection and firefighting system may allow the performance of all functions essential to the operation of the physical system. The latter acts fully and satisfactorily, performing the actions according to their activation conditions established by the control strategies obtained in the study of this project. Thus, this system has the capacity to provide maximum safety to the sector in the treatment of eventual fire accidents, with real time supervision of the operations and promotes the cost reduction in the system operation.

Keywords: *Firefighting system. Supervisory system. Programmable logical controller. Ladder Language.*

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
CFTV	Circuito Fechado de Câmeras e TV
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara
CLP	Controlador Lógico Programável
EIA	<i>Electronics Industry Association</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit's</i>
SCADA	Sistema Supervisório de Controle e Aquisição de Dados
SACI	Sistema Automático de Detecção e Combate a Princípio de Incêndio
UAC	Unidade de Aquisição e Controle de Dados
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Topologia de controle e monitoramento na automação industrial.	16
Figura 2 – Níveis de abstração da automação industrial.	22
Figura 3 – Arquitetura básica de um CLP.	24
Figura 4 – Estrutura de proteção contra incêndio.	27
Figura 5 – Fases de evolução de um incêndio.	28
Figura 6 – Detectores de fumaça do tipo ótico e iônico.	30
Figura 7 – Área máxima de cobertura de um detector pontual de fumaça.	31
Figura 8 – Detector de temperatura fixa e termovelocimétrico.	32
Figura 9 – Detectores de chama e Gás.	32
Figura 10 – Sensibilidade do detector de chama em função do ângulo de visão.	33
Figura 11 – Acionadores manuais do tipo quebra vidro e do tipo alavanca.	34
Figura 12 – Estrutura básica de um sistema SCADA e seus componentes.	38
Figura 13 – Tela de edição da ferramenta GUIDE.	42
Figura 14 – Meios de transmissão em redes de comunicação industriais.	48
Figura 15 – Arquitetura do protocolo de comunicação OPC.	50
Figura 16 – Interface OPC Toolbox do MATLAB®. Com a aba <i>Server Namespace</i> e a aba <i>OPC Toolbox Objects</i>	51
Figura 17 – Vista Frontal do Prédio Depósito de Propulsores do Setor de Preparação e Lançamento.	55
Figura 18 – Vista superior da planta com a disposição dos módulos do sistema de estocagem de motores.	57
Figura 19 – Vista aérea da rede de sprinklers distribuída dentro do PDP.	59
Figura 20 – Seleção do agente extintor de acordo com a classificação do fogo.	61
Figura 21 – Diagrama estrutural das estratégias de controle dos sistemas integrados do SACI.	67
Figura 22 – Fluxograma da rotina principal de funcionamento do SACI.	68
Figura 23 – Tela inicial do software RsLogix Emulate 5000.	69
Figura 24 – Tela inicial do software RsLinx com os drivers do CLP virtual configurados.	70
Figura 25 – Configuração driver OPC no software Rslinx.	71
Figura 26 – Integração dos softwares utilizados para o desenvolvimento da solução.	72
Figura 27 – Configuração do controlador do sistema.	73

Figura 28 – <i>Controller Tags</i> , seção de criação e monitoramento das <i>tags</i> do CLP.	74
Figura 29 – Módulo contendo as instruções JSR para chamar as sub-rotinas.....	75
Figura 30 – Linhas de controle do módulo programa principal para ativação do combate por água nas Alas 1 e 2.	76
Figura 31 – Linhas de controle do módulo programa principal para ativação do combate por água nas Alas 3 e 4.	77
Figura 32 – Linhas do sistema de controle referentes à estratégia de combate a incêndio por N2.	78
Figura 33 – Detecção de aumento de temperatura, chamas e fumaça por meio de linhas cruzadas.	79
Figura 34 – Retardo de ativação dos exaustores.....	80
Figura 35 – Acionamento do sistema de exaustão de gases.	81
Figura 36 – Liberação de acesso à área atingida.	82
Figura 37 – Linha referente ao bloqueio do sistema através de um botão físico.	83
Figura 38 – Acionamento da unidade reserva de N2 caso necessário.....	83
Figura 39 – Estratégia de ativação do sistema de pressurização do fluxo de água.	84
Figura 40 – Módulo de alarmes do sistema, indicação de lâmpada de acesso e alarmes visual e sonoro.	85
Figura 41 – Alarmes visual e sonoro para o acionamento dos exaustores e alarme de acionamento manual do sistema.	86
Figura 42 – Alarmes referentes ao bloqueio do sistema, desligamento dos equipamentos elétricos e à porta de acesso.....	86
Figura 43 – Objetos de construção de interfaces gráficas por meio do editor de <i>layout</i> GUIDE.	88
Figura 44 - Projeto GUIDE tela de supervisão do sistema SACI.....	89
Figura 45 – Blocos de configuração da ferramenta <i>OPC Toolbox</i>	90
Figura 46 – Configuração do <i>OPC Toolbox</i> através do bloco <i>OPC Config Real Time</i>	91
Figura 47 – Configuração das <i>tags</i> dos elementos do sistema com o bloco <i>OPC Read</i>	92
Figura 48 – Configuração do bloco <i>OPC Write</i>	93
Figura 49 – Tela principal do Sistema Supervisório SACI.	95
Figura 50 – Tela do painel de acionamentos dos comandos do sistema.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comandos para a comunicação do protocolo OPC no MATLAB®.....	52
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	17
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	21
2.1. GRAUS DE AUTOMAÇÃO	21
2.2. SENSORES E ATUADORES	22
2.3. CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS.....	23
2.4. REDE DE COMUNICAÇÃO	24
2.5. SUPERVISÃO	24
2.6. GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES E DADOS.....	25
3. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETECÇÃO E COMBATE A PRINCÍPIO DE INCENDIO.....	26
3.1. TIPOS DE SISTEMAS DE DETECÇÃO.....	28
3.2. DISPOSITIVOS DE ENTRADA.....	29
3.3. MÓDULOS DE CONTROLE E ALARME	34
3.4. DISPOSITIVOS DE SAÍDA.....	35
4. SISTEMAS SCADA	36
4.1. COMPONENTES DO SISTEMA.....	38
4.2. FUNÇÕES DO SISTEMA SCADA	39
4.3. A FERRAMENTA GUIDE DO MATLAB®	40
5. REDES DE COMUNICAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS.....	43
5.1. PADRÕES DE COMUNICAÇÃO	44
5.2. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	45
5.3. MEIOS DE TRANSMISSÃO	47
5.4. PROTOCOLO OPC (OLE FOR PROCESS CONTROL).....	49
5.4.1. Arquitetura OPC	49
5.4.2. OPC TOOLBOX	51
6. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE CONTROLE E SUPERVISÃO.....	54

6.1. COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE O OBJETIVO DE CONTROLE E OS SISTEMAS ENVOLVIDOS	54
6.2. DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE PARA MODELAGEM	63
6.3. MODELAGEM ESTRUTURAL DO SACI	66
6.4. DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS PARA DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE..	68
6.4.1. Comunicação do servidor OPC com o sistema de controle	69
6.4.2. Desenvolvimento do software de controle	72
6.4.3. Projeto da interface	87
6.4.4. Conexão entre sistema e servidor OPC e funcionamento do sistema	89
7. ENSAIOS E RESULTADOS	94
8. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	97
REFERÊNCIAS	100

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Com a constante necessidade de obtenção da melhor forma de tratar todas as tarefas e trabalhos do dia-a-dia, e para uma melhor forma de interagir com o constante desenvolvimento eletrônico para o seu conforto, comodidade e segurança, o ser humano vem se aprimorando nos métodos e práticas relacionados ao bem-estar pessoal, à acessibilidade e segurança nos ambientes comerciais e industriais. Nesse contexto temos em destaque a automação de sistemas, que tem funcionado como a inteligência central dos vários setores onde são empregados, permitindo, gerenciar controles de acesso a ambientes, sistemas de segurança, dispositivos contra incêndio, sistemas elétricos, hidráulicos, mecânicos, ar-condicionado, iluminação, etc.

A Automação em seu uso moderno, pode ser definida como uma tecnologia que utiliza comandos programados e/ou operações mecânicas para operar um dado processo, combinados com a constante troca de informação para determinar que os comandos sejam executados corretamente, frequentemente utilizada em processos antes operados por seres humanos (DORF & BISHOP, 2001). Esta palavra tem origem no grego *autómatos* que significa *mover-se por si* ou *que se move sozinho*. Entre outros benefícios, quando aplicada a um sistema, a automação proporciona economia de energia, redução de custos de operação e manutenção, otimização de vida útil dos equipamentos, controle e qualidade dos mecanismos e segurança na operação.

No setor industrial a automação tem se destacado com o avanço das tecnologias aplicadas, proporcionando uma melhor distribuição e qualidade de uso dos recursos, redução de custos na produção, agilidade nos processos e confiabilidade das operações. Historicamente, a automação industrial vem evoluindo os seus sistemas de modo que os processos automatizados passam a utilizar técnicas através dos controladores e algoritmos de controle, que proporcionam o armazenamento de informações sobre os processos, calculam os valores desejados para tais informações e no fim por meio dos atuadores para a melhora do processo tomam ações de finalização e/ou correção do processo físico controlado. A topologia de controle na automação industrial permite então o alto nível de precisão no monitoramento, supervisionamento e gerenciamento dos dados utilizados no processo físico monitorado.

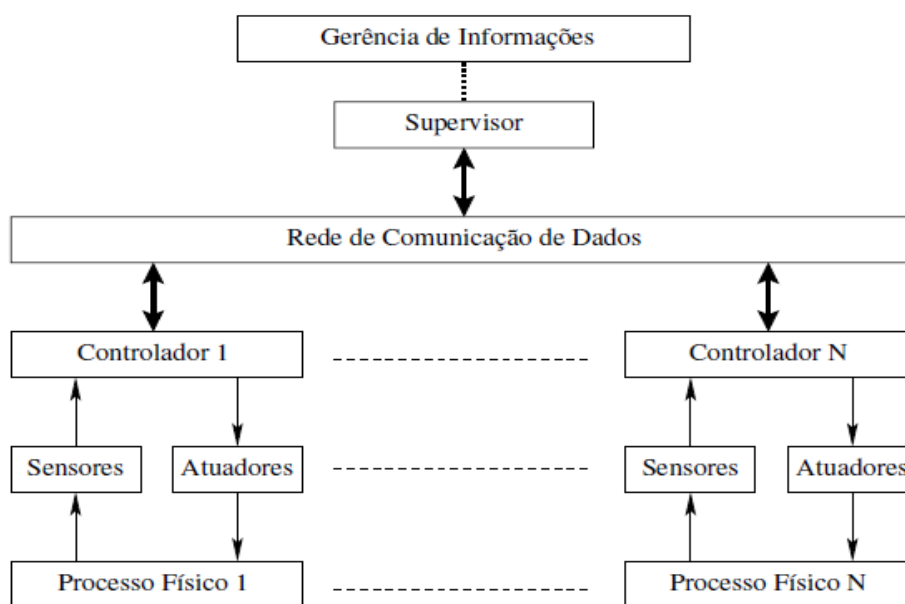


Figura 1 – Topologia de controle e monitoramento na automação industrial.

Fonte: (SOUZA, 2005).

Uma das técnicas que tem ganhado destaque é o uso de Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados ou abreviadamente SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) que são denominados sistemas compostos por softwares para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos sensores/atuadores de um sistema de controle em tempo real, através de uma rede de dados integrada. As aplicações da tecnologia SCADA alcançam praticamente todo o espectro do setor produtivo, já que são de importância estratégica dentro de uma indústria. Portanto um dos sistemas primordiais que devem ser controlados dentro do meio industrial é o Sistema Automático de Detecção e Combate a Princípio de Incêndio (SACI), pois a eficiência do seu funcionamento afeta diretamente a segurança das instalações, patrimônio e sua atuação como fator de prevenção de vidas.

As tecnologias empregadas nos sistemas de detecção e alarme de incêndio são alvo da constante evolução da área de segurança contra incêndios, assim ela recebe uma maior atenção devido à sua grande importância na proteção de vidas humanas e diminuição de perdas patrimoniais. Os SACIs são designados como um conjunto de dispositivos atuantes, interligados e estruturados de forma que consigam informações relacionadas com o princípio de um incêndio e que de forma instantânea possam controlar os equipamentos de segurança responsáveis pelo combate automático desse foco de incêndio, assim permitindo a indicação de saídas e rotas de fuga em meio às áreas de perigo. Além disso, ultimamente os sistemas tem um contato maior com tecnologias cada vez mais avançadas permitindo maior eficácia em sua

atuação, maior disponibilidade de sensores/atuadores e maior gama de sistemas interligados a ele, tornando-o um sistema robusto e tolerante a falhas capaz de controlar sistemas de exaustão de ar, sistemas de iluminação de emergência, sistemas hidráulicos e etc.

Tendo em vista que as operações principais do centro estão ligadas diretamente a estocagem de motores e propulsores dos veículos lançadores de satélite, constante manipulação de sistemas aeroespaciais e manipulação de combustíveis altamente inflamáveis, entende-se então que o nível de exigência de segurança para os sistemas interligados ao Setor de Preparação e Lançamentos (SPL) do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) se mostra elevado, assim por agrupar vários sistemas essenciais ao centro e pelo valor excessivo dos equipamentos utilizados no mesmo, percebe-se a importância da implantação de um sistema seguro e a prova de falhas mediante a possibilidade de acidentes com incêndio. Portanto um sistema de monitoramento e controle local e remoto em tempo real do sistema automático de detecção de princípios de incêndio no prédio de propulsores mantém as instalações protegidas contra estes incidentes.

Deste modo este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisor para o sistema automático de combate a princípio de incêndio (SACI) do prédio depósito de propulsores (PDP) do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) com o objetivo de controlar e monitorar todo o sistema de combate a incêndio deste prédio.

1.2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Segundo a (NBR17240, 2010) o projeto de sistemas de detecção e alarme de incêndio deve conter todos os elementos necessários ao seu completo funcionamento, de forma a garantir a detecção de um princípio de incêndio, no menor tempo possível e da maneira mais eficiente extinguir o princípio de um incêndio para a manutenção do patrimônio e segurança a vida humana.

Considerando as várias vertentes aplicadas ao início de um foco de incêndio, percebe-se que todos tem uma distinção observando suas características intrínsecas. Cada uma das características presentes em um incêndio tem natureza bastante diversa. Assim sendo, a proteção adequada de determinada área ou equipamento somente será possível após cuidadoso estudo de todas as particularidades, visando o emprego dos componentes e sistemas mais eficazes para cada caso (NBR17240, 2010). Deste modo todos os itens aplicados ao sistema de combate devem ser definidos levando em consideração o tipo de sistema de detecção, quais

suas respectivas funções e abrangência e também o tipo de detector apropriado para cada ambiente a ser protegido, levando-se em consideração a sensibilidade do detector e o tempo de resposta do sistema, para que o sistema se adeque a cada situação particular de ocorrência de acidente com incêndio.

Deste modo, considerando a grande complexidade envolvida em um SACI, tem-se a necessidade primordial de uma modelagem dos sistemas envolvidos que permita verificar toda sua dinâmica e possibilidade de integração com os outros sistemas envolvidos no processo, pois a modelagem reúne todo o conhecimento de como esses sistemas funcionam e também facilita a obtenção de uma análise funcional do sistema implantado, fato que permite o emprego de simulação para a representação do sistema e o aproxima do sistema real, deste modo permite a realização de testes das funcionalidades e ações pretendidas pelo sistema a ser implantado, assim como a interação entre as tarefas realizadas (KANESHIRO, 2006).

Assim a ferramenta que nos dá a segurança e eficiência para o controle e monitoramento do sistema automático de detecção e combate ao incêndio é o sistema SCADA (Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados), sistemas SCADA são designados como um sistema centralizado de supervisão, controle e aquisição de dados, que tem como requisito garantir a segurança e legitimidade na comunicação de diversos dispositivos sensores e atuadores que ao mesmo tempo permitem prover escalabilidade, facilidade de integração e segurança aos processos controlados (SILVA & SALVADOR, 2005).

No Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) encontra-se o Prédio de Depósito de Propulsores (PDP) localizado no SPL onde são alocados os motores dos veículos lançadores de satélites e os motores dos veículos de treinamento, portanto a criticidade das atividades desenvolvidas neste local em relação ao centro deve obter uma atenção especial. Para prover melhor segurança e agilidade no combate a acidentes com incêndios, a elaboração e a aplicação de um sistema automático de combate a princípio de incêndio que por meio do sistema SCADA é requerida, pois o mesmo provê supervisionamento da área de forma ágil e segura, trabalhando com os sistemas local e remotamente.

Portanto a integração destes sistemas é essencial às atividades do CLA sendo possível a adição de serviços de automação eletroeletrônica dos sistemas de combate a princípio de incêndio, detecção e alarme de intrusão, monitoramento das condições ambientais interna,

exaustão de gases, irrigação de superfície, monitoramento das centrais de energia e controle térmico do Prédio de Estocagem de Motores.

Assim o presente trabalho objetiva desenvolver um sistema supervisor de controle e aquisição de dados capaz de gerenciar e executar as funções do sistema automático de combate a princípio de incêndio do prédio de propulsores do Centro de Lançamento de Alcântara. Para tanto de maneira específica para o desenvolvimento deste trabalho pode-se enumerar os seguintes objetivos:

1. Modelar e simular os sistemas presentes no sistema automático de proteção a princípio de incêndio para a correta produção dos softwares;
2. Desenvolver os *softwares* necessários ao controle dos módulos do sistema automático de combate a incêndio por meio de linguagem *ladder*;
3. Desenvolver o software supervisor por meio da ferramenta de interface gráfica *GUIDE* do MATLAB[®] contendo uma representação gráfica do sistema e objetos para monitoramento e atuação locais e também integrá-lo ao sistema de controle vigente;
4. Avaliar a relação custo benefício envolvida com a instalação do projeto e simular a integração dos softwares.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Apresenta-se aqui uma descrição do conteúdo dos capítulos que compõem este trabalho.

No Capítulo 1, uma breve introdução aos sistemas de detecção e combate a incêndio, relacionados estes conceitos com sistemas supervisórios, apresentam-se então as justificativas para a elaboração deste projeto, bem como, os objetivos para o desenvolvimento do trabalho que podem ser vistos na Seção 1.2.

No Capítulo 2 tem-se a fundamentação teórica da pirâmide da automação industrial e dos níveis da pirâmide utilizados neste projeto; a definição de sensores e atuadores, bem como a descrição dos controladores lógico programáveis e conceitos sobre as redes de comunicação, supervisão e gerenciamento de dados no meio industrial.

No Capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica conceituando parte importante da teoria envolvida para o desenvolvimento desse trabalho. São explorados conceitos sobre os sistemas de detecção e combate a princípio de incêndio quais os objetivos de sua implantação, definição dos parâmetros a serem seguidos para alcançá-los, funções e características destes sistemas, ressaltando também a importância da integração entre outros diversos sistemas de um prédio. Apresentam-se os tipos de sistemas de detecção, sistemas de alarme e os dispositivos de entrada e saída que compõem o sistema central, abordando sua importância em ambientes críticos, tais como, em centros de lançamentos.

No Capítulo 4 é realizada uma breve revisão de conceitos sobre sistemas supervisórios (SCADA) em meio industrial, conceituando suas partes principais e quais técnicas são relevantes à sua aplicação em um sistema de controle, a partir deste estudo considera-se a ferramenta GUIDE do software MATLAB® para a elaboração da interface gráfica do projeto.

No Capítulo 5 demonstra-se conceitos pertinentes à elaboração do projeto, sobre as redes de comunicação e controle de processos industriais, estes conceitos apresentados demonstram quais protocolos e padrões de comunicação são essenciais para que os sistemas de controle e supervisão possam se comunicar de forma correta, demonstrando que o protocolo OPC cumpre de forma satisfatória este requisito.

No Capítulo 6 a metodologia utilizada para o desenvolvimento da modelagem e simulação das estratégias de controle do sistema é exposta, determinando os passos a serem seguidos para que o projeto seja obtido de forma aceitável. Apresenta a modelagem das estratégias de controle do sistema, modelos funcionais das estratégias, desenvolvimento da lógica de controle do CLP, comunicação entre o MATLAB® e a plataforma Rockwell, criação da interface gráfica que compõem o sistema.

No Capítulo 7 apresentam-se os resultados da integração entre o sistema de controle e o sistema supervisórios desenvolvidos neste trabalho, bem como testes de viabilidade do sistema supervisório em conformidade com as estratégias de controle desenvolvidas anteriormente.

No Capítulo 8 evidencia-se as observações finais e as principais conclusões obtidas, bem como sugestões para realização de trabalhos futuros.

2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo (PEREIRA, 2010), “a automação trata de sistemas desenvolvidos para execução automática de atividades repetitivas ou quando da ocorrência de determinados eventos”. Já segundo (BOLZANI, 2004) automação “é o conceito de tornar atividades repetitivas em automáticas, utilizando dispositivos que colem dados e atuem nos processos, diminuindo a necessidade da interferência humana.”, resultando assim em maior velocidade nas operações, redução de erros e fidelidade de informações, que são elementos cruciais para melhor administração de um processo.

Automação é o conceito de controle de processos automáticos. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições. O conceito de automação varia com o ambiente e experiência da pessoa envolvida (RIBEIRO, 2001). Assim os processos ligados a automação foram evoluindo ao longo do tempo e então ela em suas funções está intimamente ligada à instrumentação. Os diferentes instrumentos são usados para realizar a automação de forma rápida e automática, pois, a automação industrial busca a aplicação de técnicas em conjunto com os softwares e/ou equipamentos específicos em um processo industrial, com o objetivo de aumentar a sua eficiência, maximizar a produção com o menor consumo de insumos, menor emissão de resíduos do processo, melhores condições de segurança ao operador.

Com o aumento da complexidade dos processos, tamanho das plantas, proteção do meio ambiente, além do controle automático do processo, apareceu a necessidade de monitorar o controle automático. Dessa necessidade de monitoramento foram surgindo novos aspectos envolvendo a automação e assim surgindo novas denominações da mesma no setor industrial, como os graus em que a automação é aplicada e como deve ser aplicada ao setor para que seu funcionamento se dê do melhor modo.

2.1. GRAUS DE AUTOMAÇÃO

Durante a história a automação vem evoluindo e nos dando mais comodidade segurança e melhoria dos processos físicos controlados e monitorados com a automação, essa evolução veio de um passo histórico da humanidade ao começar a energizar as ferramentas manuais dentro do seu trabalho, com isso veio a ideia de se quantificar a energia utilizada nos

processos o que deu início ao processo de sensoriamento de variáveis e logo após instrumentos para que esse trabalho fosse concluído.

Em seguida passou-se a priorizar o controle dessas variáveis medidas, pensando-se de que forma poderiam utilizar esses dados para a melhor forma de se lidar com o processo estudado e aplicado ao meio industrial, então surgiram e foram aprimoradas as várias técnicas de controle lógico, programável, calculável em máquina, adaptativo, indutivo e por último e mais recente a técnica de aprendizado de máquina utilizando-se técnicas e conceitos advindos da inteligência artificial em conjunto com o setor industrial.

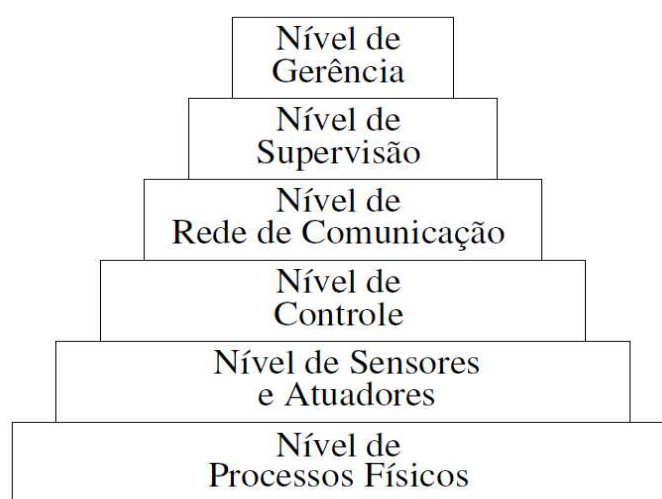


Figura 2 – Níveis de abstração da automação industrial.

Fonte (SOUZA, 2005).

2.2. SENSORES E ATUADORES

Sensores são peças instrumentais que tem a função de capturar as informações do estado atual do processo físico industrial estudado, além de transmitir ao controlador essas informações, para que o mesmo possa manipular o processo da melhor forma. Portanto eles são elementos com a função de detectar uma grandeza física, transformá-la em sinal elétrico e depois enviar esse sinal para o tratamento adequado a cada projeto.

Podem ser classificados em três grandes grupos:

- Sensores Mecânicos;
- Sensores Eletrônicos Analógicos;
- Sensores Eletrônicos Digitais.

Sensores mecânicos dependem de uma força mecânica para seu acionamento, como por exemplo um botão de ação manual. Já os sensores eletrônicos são separados de acordo com o sinal transmitido ao controlador, sensores analógicos transmitem a sua grandeza física por meio de sinais analógicos e possuem interfaces internas que transitem a grandeza em forma de sinais variáveis correspondentes aos valores medidos, já os sensores digitais transmitem a grandeza por meio dos sinais digitais quando essa grandeza atinge um certo valor limite estipulado por um circuito eletrônico interno do sensor (BEZERRA, 2012).

Há também uma outra forma de classificação dos sensores que os diferenciam em medidores e detectores. Detectores são propensos a capturar e sinalizar as informações representando-as somente nos estados ON/OFF e medidores são capazes de detectar e transmitir as informações representando-as em conjuntos de estados de valores medidos de números muito grandes (SOUZA, 2005).

Atuadores convertem o sinal elétrico em uma condição física, portanto eles executam no processo físico a função das ações ordenadas pelo controlador de acordo com a programação pré-estabelecida. São exemplos de atuadores os relés, os contadores, os conversores eletrônicos, variadores de frequência, sprinklers e etc.

2.3. CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS

O Controlador Lógico Programável (CLP) surgiu de uma necessidade da indústria visando diminuir os altos gastos de recursos com a mudança de lógica dos painéis de circuitos de controle dos sistemas eletrônico digitais.

O CLP então é definido pela IEC (*International Eletrotechnical Commission*) como:

Um sistema eletrônico, projetado para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável interna armazenando instruções orientadas onde o usuário pode implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem, seleção, para controlar, através de entradas e saídas digitais e analógicas, vários tipos de máquinas e processos industriais.

Sua programação inicial básica se deu por meio das lógicas dos diagramas elétricos a relés, seu funcionamento se dá através de um diagrama de operação cíclico simples entre as entradas e saídas do processo, coletando as informações das entradas, realizando o processamento de acordo com o programa desenvolvido pelo usuário e armazenado na memória, por fim enviando os dados aos cartões de saída.

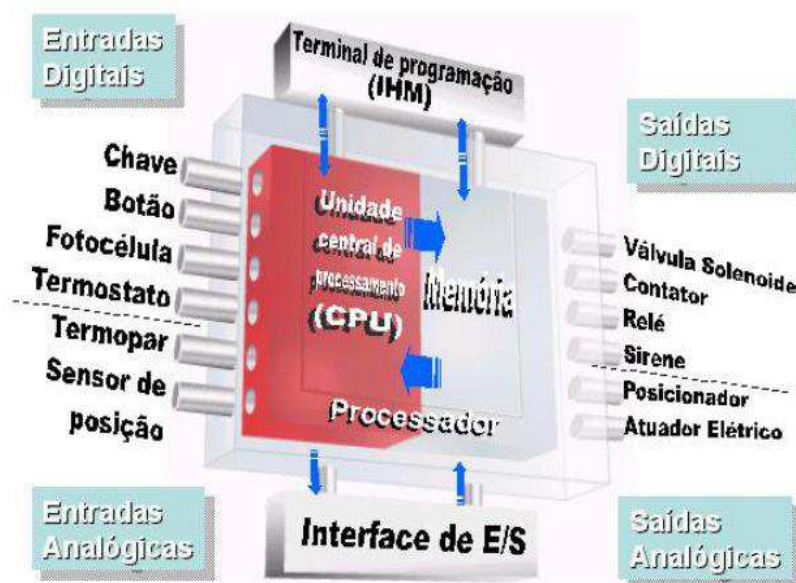


Figura 3 – Arquitetura básica de um CLP.

Fonte: (BEZERRA, 2012).

Essa ferramenta essencial ao meio industrial atualmente traz consigo todo o aparato e as vantagens de sua aplicação como: interfaces de operação e programação facilitadas ao usuário, robustez e qualidade no tratamento de variáveis do processo e instruções aritméticas, redes de comunicação e integração a outros CLPs, confiabilidade, portabilidade, flexibilidade e velocidade de operação.

2.4. REDE DE COMUNICAÇÃO

Uma das facilidades atuais no tratamento do processo industrial está na possibilidade de o processo, os controladores e os dispositivos integrados no objetivo de na automação serem utilizados juntamente com os PCs (Computadores Pessoais). Assim, com o advento dos computadores no processo, pode-se conseguir uma intercomunicação de todos os elementos da estrutura de automação a ser controlada através de um meio físico de transmissão adequado dos dados, fazendo com que esse sistema interaja em rede trocando dados e compartilhando recursos entre si, melhorando o estado do processo industrial consideravelmente (SOUZA, 2005).

2.5. SUPERVISÃO

Os sistemas de controle e supervisão, são sistemas independentes e integrados. Os sistemas de controle são responsáveis por controlar máquinas e/ou processos, através de

interfaces com os equipamentos de campo. Os sistemas de supervisão são responsáveis por promover a interface entre os sistemas de controle, os usuários e outros sistemas, bem como realizar operações como registro de dados e exibição de alarmes. Basicamente, um sistema supervisório destina-se a capturar e armazenar em um banco de dados, informações sobre um processo de produção, informações essas advindas dos sensores e dos processos controlados.

2.6. GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES E DADOS

O nível de gerência de informações e aquisição de dados da automação industrial é responsável pela manutenção e manipulação dessas informações sobre o planejamento, coordenação e as vendas de uma empresa (SOUZA, 2005). A manipulação dessas informações e dados coletados por meio dos dispositivos sensores do processo industrial e processados pelo sistema de supervisão instalado, implica em um beneficiamento da gerência das tarefas aplicadas ao processo, gera um melhor planejamento e coordenação das ações a serem tomadas no controle da produção, estabelecendo por fim uma nova gestão do conhecimento e melhoramento do negócio. Além de possibilitar o acesso aos dados em tempo real e posteriormente esse acesso em meio eletrônico por meio da internet, facilitando processos de troca de informações na empresa e com os clientes.

3. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETECÇÃO E COMBATE A PRINCÍPIO DE INCENDIO

O projeto de sistemas de detecção e alarme de incêndio deve abranger todas as técnicas possíveis a serem aplicadas para a integração e completo funcionamento de todos os seus elementos, de maneira que possa assegurar a detecção de um princípio de incêndio no menor tempo possível, e com uma ação de gerar um alarme ou uma ação automática pré-programada de extinção deste incêndio quando ocorrer um alerta dessa possibilidade.

Um sistema de detecção e alarme de incêndio tem por objetivo evitar que o fogo passe do seu estágio inicial, para tanto ele necessita de fontes de alimentação externa, detectores automáticos de incêndio, acionadores manuais, painel de processamento por meio da Interface Homem-Máquina (IHM), sinalização (sonora e visual) e infraestrutura local adequada, um sistema de detecção, portanto tem três operações básicas: detecção, processamento e sinalização (PEREIRA, 2010).

Os sistemas de detecção de incêndio são classificados em dois tipos: proteção contra incêndio preventiva e proteção contra incêndio defensiva (Figura 4). Onde os aspectos tecnológicos, organizacionais e estruturais do sistema são de domínio da proteção preventiva e a parte de combate e resgate é de domínio da proteção defensiva (KANESHIRO, 2006). Além desta classificação, os sistemas de detecção e combate a incêndios ainda podem ser classificados quanto a sua forma de acionamento podendo ele ser manual ou automático, sendo o sistema automático o escopo inicial do projeto. Assim, o modo em que são posicionados os elementos integrantes do sistema determina se os mesmos podem atuar de forma fixa, semimóveis ou móveis (BEZERRA, 2012).

Geralmente mais de 90% dos incêndios iniciam-se por pequenas áreas e seu crescimento dependerá dos materiais disponíveis e sua distribuição na atmosfera afetada (SEITO et al., 2008). No que tange o estudo sobre as causas e fases de incêndios pode-se identificar fases distintas de propagação e evolução do mesmo (Figura 5). A primeira fase é identificada como o incêndio em fase de latência, tendo-se um crescimento lento, esse primeiro estágio, em casos muito particulares, pode durar até horas dependendo das condições do ambiente acometido pelo incêndio, ainda nessa etapa, verifica-se a efetiva deflagração de chama aberta (ou ignição), onde se inicia a segunda fase, caracterizada pelas chamas que começam a crescer aquecendo o ambiente com grande geração de fumaça e calor. O sistema de detecção

de fumaça e alarme deve operar na primeira fase, pois as chances de controle, combate a incêndio e consequente extinção tem grande probabilidade de sucesso.

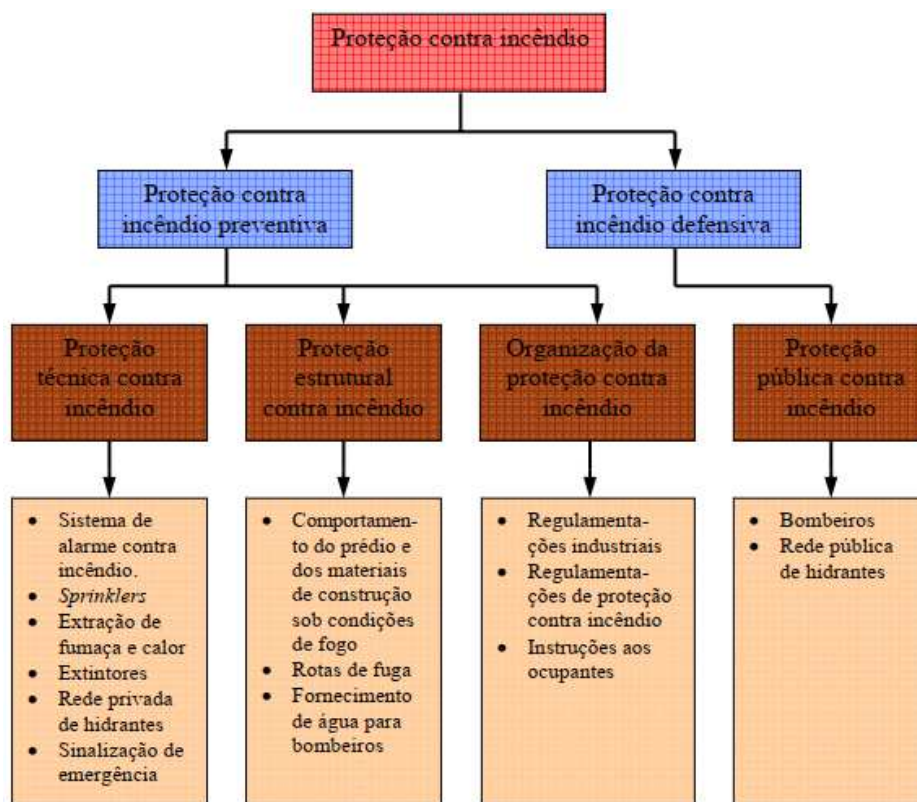


Figura 4 – Estrutura de proteção contra incêndio.

Fonte: (KANESHIRO, 2006).

Quando a temperatura dos gases alcança valores superiores a 600°C, toda a área afetada é tomada por gases e vapores combustíveis desenvolvidos a partir da pirólise dos combustíveis sólidos ou mesmo pela vaporização dos líquidos combustíveis até atingir a inflamação generalizada (ou *flashover*) quando esse ambiente é inteiramente tomado por grandes labaredas. Após a inflamação generalizada tem-se o incêndio desenvolvido, ou terceiro estágio, sendo este o mais crítico de todos onde a maioria dos materiais combustíveis do ambiente entrarão em queima e provavelmente haverá propagação dos gases e do fogo por meio das aberturas internas, fachadas e cobertura (SEITO et al., 2008).

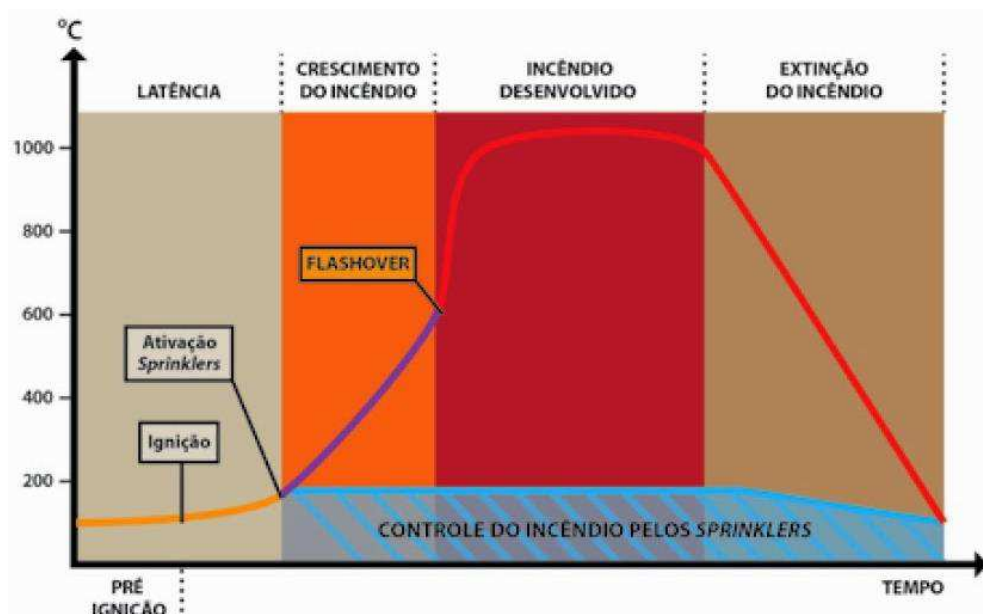


Figura 5 – Fases de evolução de um incêndio.

Fonte (SEITO et al., 2008).

Em seguida vem o quarto e último estágio do incêndio, ou extinção do fogo, quando há a diminuição de intensidade em razão da redução da disponibilidade de material combustível para queima, essa extinção se dá por meio da eliminação dos elementos essenciais para a manutenção do fogo. Portanto o sistema de proteção e combate a incêndio preventivo é um dos principais sistemas a serem estruturados e mantidos ao qual compõem uma empresa do meio industrial, pois a eficiência do seu correto funcionamento afeta diretamente a segurança dos patrimônios e das pessoas envolvidas no processo de trabalho.

3.1. TIPOS DE SISTEMAS DE DETECÇÃO

Os sistemas de detecção, combate e alarme contra incêndio são constituídos pelos circuitos dos dispositivos de entrada, modulo de controle de alarme, circuito dos dispositivos de saída e a fonte de energia, para que possa cumprir seu objetivo inicial de evitar que o fogo passe de um estágio primário provocando perdas patrimoniais e de vidas. Portanto o projeto desses sistemas deve possuir as características necessárias à sua atuação em caso de falhas pontuais em seus equipamentos, prevenção de eventos catastróficos e falta de energia, assim são definidos tipos de sistemas de detecção utilizados atualmente.

- **Sistema de detecção convencional**

Sistema composto por um ou mais circuitos de detecção. Cada circuito de detecção é instalado em uma determinada zona ou área protegida. Quando atuado um dispositivo de detecção, a central identifica somente a área protegida pelo circuito de detecção onde o dispositivo está instalado, portanto gerando a necessidade de instalação de várias centrais de detecção e alarme para a cobertura do perímetro. Este sistema não permite o ajuste do nível de alarme dos dispositivos de detecção via central de alarme, ela obedece somente a uma programação fixa advinda dos seus dispositivos (NBR17240, 2010).

- **Sistema de detecção endereçável**

Sistema composto por um ou mais circuitos de detecção, normalmente aplicados em formação paralela. Cada dispositivo de detecção recebe um endereço que possibilita à central identificá-lo particularmente, assim podendo fazer sua ação sem desperdício de insumos. Quando acionado um dispositivo de detecção, a central identifica a área protegida e o dispositivo em alarme, fazendo o combate eficiente em cada área. Este sistema não permite o ajuste do nível de alarme dos dispositivos de detecção via central (NBR17240, 2010).

- **Sistema de detecção analógico**

Sistema de detecção endereçável no qual a central monitora continuamente os valores (temperatura e fumaça) dos dispositivos de detecção, comparando-os com os previamente definidos para aquela instalação e permite o ajuste do nível de alarme dos dispositivos de detecção via central, possibilitando assim o emprego do sistema em áreas distintas e em ambientes diferentes no mesmo sistema.

- **Sistema de detecção automático**

Sistema de detecção analógico no qual os detectores possuem um ou mais critérios de avaliação de medições do ambiente em função do tempo, cujos sinais são comparados por um circuito de lógica pré-programada para ativar o alarme. Os detectores monitoram continuamente os valores de seus elementos sensores (por exemplo, temperatura, fumaça, gás), são capazes de realizar tomadas de decisões e de se comunicar com a central, informando seu estado de alarme, pré-alarme e/ou falha, entre outros, estes sistemas permitem a supervisão eficiente do local por meio das IHM's e sistemas SCADA.

3.2. DISPOSITIVOS DE ENTRADA

Os dispositivos de entrada são compostos por detectores, acionadores manuais e outros dispositivos sensores com a função de identificar os fenômenos físicos e químicos que precedem o princípio dos focos de incêndio e enviar os sinais às centrais de processamento do sistema. A seleção do tipo e do local de instalação dos detectores deve ser efetuada com base nas características mais prováveis de um princípio de incêndio e do julgamento técnico, considerando-se todos os parâmetros envolvidos no processo de início do incêndio.

- **Detectores pontuais de fumaça**

São detectores de incêndio utilizados para monitorar basicamente todos os tipos de ambientes contendo materiais, cuja característica no início da combustão é a geração de fumaça. Em ambientes com presença de vapor, gases ou muitas partículas em suspensão, onde os detectores de fumaça estariam sujeitos a alarmes indesejáveis, alternativas com outros tipos de detectores de incêndio devem ser analisadas pelo projetista. Os detectores pontuais de fumaça mais utilizados são dos tipos óptico (fotoelétrico) e iônico.



Figura 6 – Detectores de fumaça do tipo ótico e iônico.

Fonte: (SOUZA, 2011).

O detector do tipo óptico é um sensor que detecta quando há concentração de fumaça no local. Seu princípio de funcionamento se baseia na reflexão e dispersão de luz infravermelha, mas sua eficiência pode ser comprometida pela presença de fumaça muito espessa (fumaça preta).

Os detectores iônicos de fumaça são os mais utilizados em sistemas de alarme de incêndio, devido ao baixo custo e por detectarem situações de emergência muito mais rápido, além de detectar a fumaça e até gases inerentes à formação do fogo. Estes sensores possuem

duas câmaras ionizadas por uma fonte de baixa radiação, sendo uma de referência e outra de amostragem. Quando a fumaça ou outros gases entram em contato com o ar dentro das câmaras, ocorre a interrupção ou diminuição do fluxo de corrente entre elas, assim acionando o alarme.

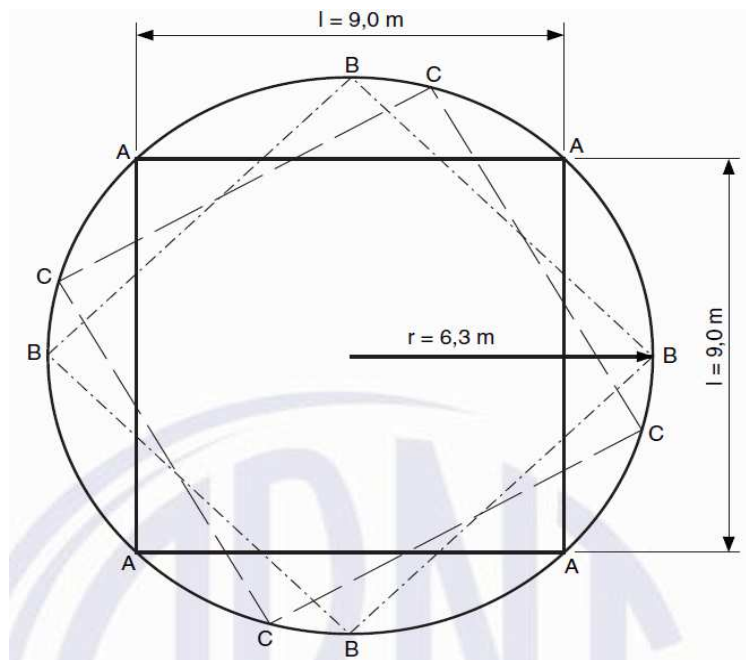


Figura 7 – Área máxima de cobertura de um detector pontual de fumaça.

Fonte: (NBR17240, 2010).

• Detectores térmicos e termovelocimétricos

São detectores em que a grandeza física medida é a temperatura ambiente, que tende a aumentar significativamente em caso de incêndio de tal modo ultrapassa o limite pré-estabelecido no sensor, provocando o acionamento do alarme. São complementares aos detectores de fumaça ópticos nas centrais térmicas. Há duas classes de detectores térmicos: temperatura fixa e termovelocimétricos.

Detectores térmicos de temperatura fixa produzem um sinal de alarme quando a temperatura do elemento interno de detecção alcança sua temperatura nominal de atuação. Tiras bimetálicas ou discos e elos fusíveis são normalmente usados como elementos de detecção. Já os detectores termovelocimétricos gerarão um sinal de alarme quando a temperatura do ar que cerca os detectores se elevam numa taxa superior a uma taxa pré-selecionada (geralmente 15° F por minuto).

Estes dispositivos são mais responsivos do que os detectores de temperatura fixos porque o retardo térmico não é um fator relevante na operação dos detectores

termovelocimétricos. Uma desvantagem destes dispositivos é que são sujeitos a alarmes falsos quando expostos a temperaturas rapidamente crescentes não causadas pelo fogo. Entretanto, isto pode ser minimizado pela aplicação apropriada do detector.



Figura 8 – Detector de temperatura fixa e termovelocimétrico.

Fonte: (SOUZA, 2011).

- **Detectores de chama e gás**

São aplicados em ambientes onde se deseja detectar o surgimento de uma chama. Sua instalação deve ser executada de forma que seu campo de visão não seja impedido por obstáculos, para assegurar a detecção do foco de incêndio na área por ele protegida (NBR17240, 2010). São ideais para locais onde uma chama pode ocorrer rapidamente.



Figura 9 – Detectores de chama e Gás.

Fonte: (SOUZA, 2011).

O sensor de gás é constituído por grânulos de dióxido de estanho (SnO_2) sintetizado em torno de um filamento metálico. Quando o filamento está em presença de oxigênio, existe uma barreira de potencial semelhante à do diodo, que deixa passar uma corrente elétrica muito

baixa. Na presença de outros gases, a barreira diminui, e a corrente no filamento aumenta. Essa nova corrente é utilizada para medir a incidência de gases e acionar o alarme.

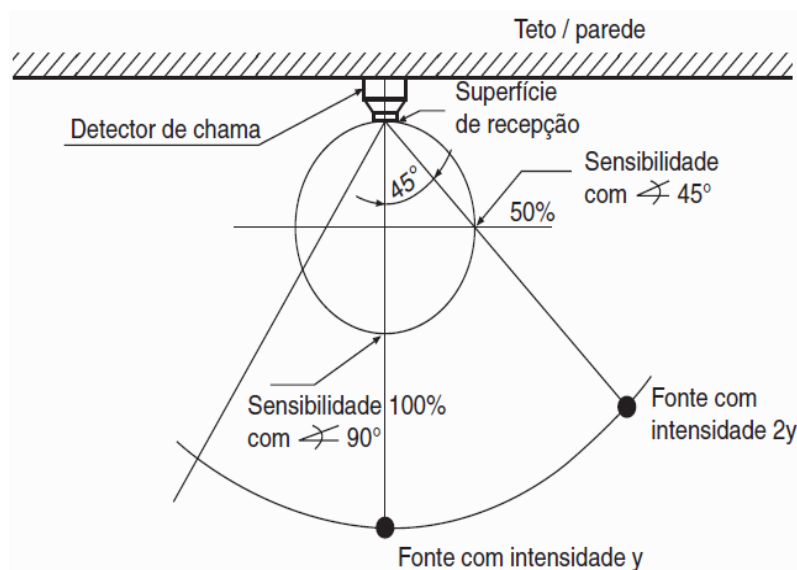


Figura 10 – Sensibilidade do detector de chama em função do ângulo de visão.

Fonte: (NBR17240, 2010).

O detector de chama utiliza um tubo detector ultravioleta que absorve luzes ultravioletas de intensidade muito baixa, tais como as emitidas por uma chama; isto é detectado como um trem de pulsos de descarga criando uma corrente. O circuito eletrônico no corpo do detector traduz esta ação em um sinal de alarme.

- **Acionadores Manuais**

Os comandos manuais são dispositivos destinados a transmitir a informação de um princípio de incêndio quando acionados por meio de uma ação humana, devem ser instalados em locais de trânsito de pessoas em caso de emergência, como saídas de áreas de trabalho, áreas de lazer, corredores, saídas de emergência para o exterior etc.



Figura 11 – Acionadores manuais do tipo quebra vidro e do tipo alavanca.

Fonte: (SOUZA, 2011).

3.3. MÓDULOS DE CONTROLE E ALARME

O módulo de controle e alarme do sistema é a parte central e mais importante do sistema. Onde neste módulo está contido a parte de fornecimento de energia para o funcionamento do SACI e todas as funções de proteção dos circuitos elétricos do sistema. Os módulos de controle são equipamentos que detêm dispositivos lógicos destinados a processar os sinais vindos dos detectores instalados e dos comandos manuais atrelados ao sistema, ainda tem a função de converter estes sinais em dados indicadores, e acionar os componentes do sistema de combate a incêndio e podem ainda interagir com outros sistemas prediais.

O módulo confronta os dados recebidos com os dados prefixados em sua memória, verifica estes dados se os mesmos estão corretos e compara-os com os parâmetros estabelecidos para o alarme de incêndio de acordo com a programação instalada no mesmo. Um alarme de incêndio é determinado quando se verifica uma das seguintes ocasiões:

- O cruzamento dos dados das leituras dos detectores indica uma ou mais alterações dos níveis predeterminados;
- As leituras dos dados de fumaça/calor indicam um aumento acima de um valor pré-estabelecido, e que permaneça em pelo menos três leituras sucessivas;
- As leituras dos dados indicam um incremento que supera os valores prefixados em mais de vinte leituras consecutivas.

Portanto a combinação de um ou mais destes fatores é uma condição suficiente para possíveis focos de incêndio. Assim a função do módulo a partir deste momento é de acionar seus notificadoros e os componentes de combate ao incêndio.

Outra função importante do modulo central é de verificar constantemente sua fonte primária de energia, a sua fonte reserva de energia, a rede de conexões dos componentes, os dispositivos de detecção e comandos manuais e os dispositivos de monitoração do sistema e os de atuação. Observa-se então a necessidade de um sistema de supervisão bem programado e robusto, capaz de acionar os operadores em meio a falhas no sistema do módulo central.

3.4. DISPOSITIVOS DE SAÍDA

Os dispositivos de saída podem ser classificados em dois tipos: dispositivos de alerta e dispositivos de atuação.

Os avisadores sonoros e/ou visuais tem a função de dar o alarme para os ocupantes de determinados setores ou de toda a área controlada. Os dispositivos de alarme devem ser instalados em quantidades suficientes, nos locais que permitam sua visualização e/ou audição, em qualquer ponto do ambiente no qual estão instalados. São exemplos destes dispositivos: indicadores sonoros, visuais, painéis repetidores e marcadores telefônicos (NBR17240, 2010).

Os dispositivos de atuação são os dispositivos finais do sistema, que tem como função extinguir o fogo em caso de incêndios, acionam os módulos exaustores, as unidades de CO₂, válvulas solenoides de fluxo de água. O SACI deve conter os circuitos necessários ao acionamento das portas de emergência e portas corta fogo, assim como modificar o processo normal de operação de certos equipamentos em caso de incêndio.

4. SISTEMAS SCADA

Um sistema supervisório é conceituado como um software que demonstra eventos por meio de telas, que são configuradas segundo as entradas e saídas destinadas ao CLP. Deste modo o supervisório inspeciona tudo que o CLP está recebendo do campo, ou seja, todos os sinais que o controlador lógico receber ele informa pelo supervisório por meio de telas de configuração. Com a comunicação correta entre o supervisório e o CLP tem-se a possibilidade de ligar e desligar qualquer sistema automatizado, desta forma o objetivo dos sistemas supervisórios é uma comunicação de alto nível entre o operador e o processo, que facilitam a visualização do contexto atual do processo, a aquisição e tratamento de dados e a gerência de relatórios e alarmes internos do sistema.

Um sistema SCADA é um sistema de automação ou de controle industrial, que através de protocolos de comunicação pode monitorar, controlar e se comunicar com sensores, atuadores, IEDs (*Intelligent Electronic Devices*), efetuando leituras de informações, ou mesmo enviar comandos para estes (STREHL, 2012). Os protocolos utilizados na comunicação são variados, em função da multiplicidade de dispositivos presentes neste tipo de sistema. Os sistemas SCADA viabilizam a visualização dos dados recolhidos da comunicação com os componentes do sistema, além de permitir previsões e tendências de processo com base em valores recolhidos e valores parametrizados pelo operador, bem como gerar gráficos e relatórios relativos a dados atuais e históricos por meio dos backups de dados.

Para permitir isso, os sistemas SCADA identificam os *tags*, que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas incluídas na aplicação, possibilitando executar aplicações computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou *strings*, etc) ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado. Neste caso, representam as variáveis do processo real (temperatura, nível, vazão, entre outros) se comportando como a ligação entre o controlador e o sistema (AZEVEDO, 2013).

Dos sistemas monolíticos iniciais, da década de 60, baseados em mainframes, de arquiteturas fechadas, subordinados a fabricante e isolados, os sistemas SCADA estão evoluindo para sistemas abertos e com uma arquitetura profundamente baseada em conectividade. É cada vez mais comum, nesse novo modelo, a interligação das redes SCADA com as intranets corporativas e, em consequência, com a própria Internet (STREHL, 2012).

Esta conectividade traz ganhos de potencialidade e de comunicação com softwares variados, a fim de tornar o processo de negócios ágil e efetivo para as empresas. Mas esta conectividade e troca de dados do sistema em tempo real traz consigo alguns problemas relacionados com segurança que podem alterar ou interromper a operação de processos críticos que são supervisionados e controlados pelos sistemas SCADA, estes problemas advêm das vulnerabilidades dos dados expostos a rede mundial de computadores (PRAMOD & SUNITHA, 2013).

Logo para que o sistema seja seguro, confiável e controlável este deve obedecer à alguns padrões de projeto e segurança de sistemas. Estes padrões asseguram suas operações e medidas para que os sistemas possam manter sua operação e para que não ocorram falhas de segurança críticas que possam parar suas operações e gerar danos graves e catastróficos (PIRES et. al., 2004). Assim um sistema deve ter como aspectos de segurança:

Confiabilidade: é a garantia de que o sistema e seus componentes atingirão suas funções sob determinadas condições pelo tempo em que essas condições forem sustentadas. Garantindo que se bem manipulados seus condicionantes, o sistema e seus componentes realizarão as funções para as quais foram projetados de forma correta.

Confidencialidade: é o padrão que tem como prerrogativa que as informações só podem ser compartilhadas por pessoas autorizadas. A confidencialidade pressupõe a classificação prévia dos usuários para níveis de acesso a dados, e das informações a serem protegidas dentro do sistema e além disso exige a adoção de mecanismos confiáveis de identificação e autenticação de usuários, com uso senhas criptografadas.

Integridade: como a comunicação é essencial em todos os diferentes níveis de sistemas SCADA, as informações geradas, transmitidas, exibidas e armazenadas no sistema devem ser genuínas. Garantindo que os dados sejam fidedignos aos que estão sendo controlados pelo sistema, mantendo a precisão dos dados buscados para operações de análise do processo. A informação disponibilizada não pode sofrer nenhum tipo de modificação seja ela acidental, deliberada ou maliciosa. Neste conjunto estão incluídas as garantias de que a informação foi gerada por uma fonte íntegra e confiável.

Disponibilidade: é a prerrogativa de que a informação é acessível no momento em que ela for necessária. Os componentes de um sistema SCADA oferecem diferentes níveis de

dispositivos sensores e atuadores, dispositivos de campo, etc. Portanto os resultados computados e informações como leitura de sensores, comandos do controlador e estados dos atuadores devem estar sempre disponíveis ao sistema.

4.1. COMPONENTES DO SISTEMA

Em geral, os sistemas SCADA são compostos por uma unidade central de processamento, chamada de Estação Central ou de MTU (*Master Terminal Unit*) e de estações remotas, chamadas de RTU (*Remote Terminal Unit*) que são interligadas com os CLP's para fornecer o controle dos elementos do sistema. O operador interage com todo o sistema através da unidade de visualização gráfica disponível na Estação Central. Essa interface, conhecida como IHM, é atualizada em tempo real a partir de dados recolhidos nas plantas pelas RTUs. Todos estes componentes trocam informações através de um meio de comunicação. Os meios de comunicação podem ser *links* através de satélite, *links* de rádio, cabos metálicos ou fibras ópticas.

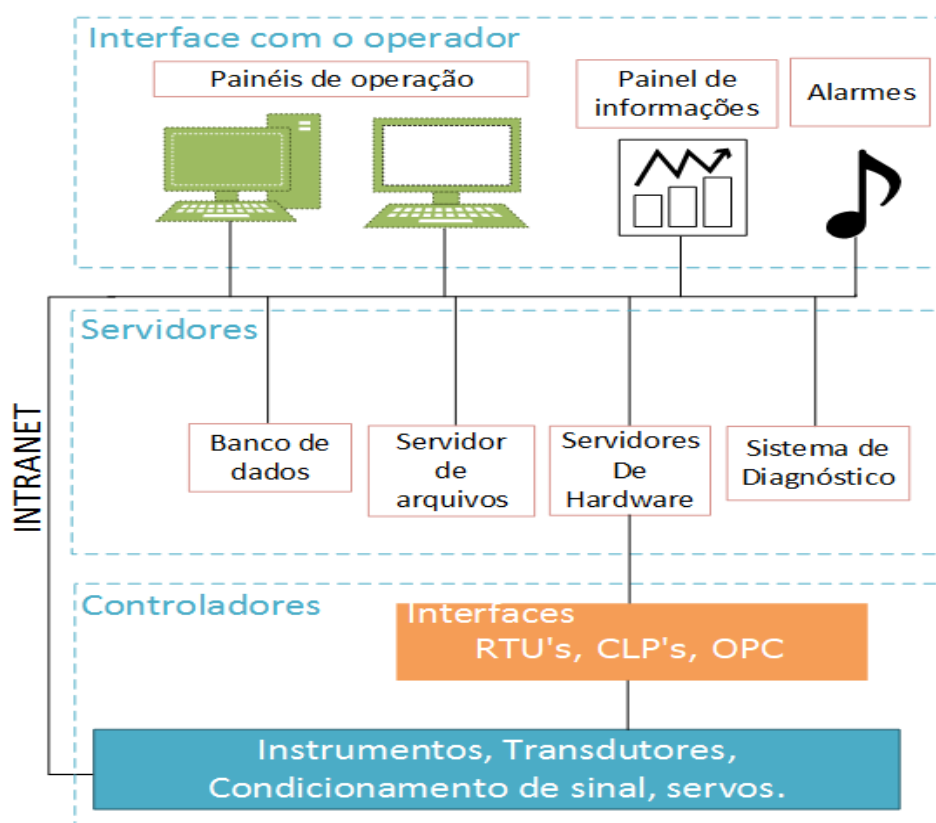


Figura 12 – Estrutura básica de um sistema SCADA e seus componentes.

Fonte: (STREHL, 2012).

- **MTU**

As estações de monitoração central são as unidades principais dos sistemas SCADA. Estes são os responsáveis por recolher a informação gerada pelas estações remotas, agir em conformidade com os eventos detectados e pela interface com os operadores do processo. Podem ser centralizadas num único computador ou distribuídas por uma rede de computadores, de modo a permitir o compartilhamento das informações coletadas (AZEVEDO, 2013).

- **RTU**

Os equipamentos denominados *Remote Terminal Unit* (RTU) convertem os sinais eletrônicos, recebido de outras interfaces (sensores), e convertem esse sinal em dados representativos para um formato que o sistema possa compreender (protocolo) para posteriormente enviar (comunicação) para o SCADA. RTUs e outros equipamentos de campo se comunicam usando protocolo serial, normalmente um canal analógico ou via rede IP (STREHL, 2012).

- **CLP**

De acordo com o IEC 61131-1, o CLP é um sistema eletrônico, projetado para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável interna armazenando instruções orientadas onde o usuário pode implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem, seleção, para controlar, através de entradas e saídas digitais e analógicas, vários tipos de máquinas e processos industriais.

A diferença entre os CLPs e as RTUs é que os primeiros possuem mais flexibilidade na linguagem de programação e controle de entradas e saídas, já as RTUs possuem maior precisão e sequenciamento dos eventos controlados.

- **IHM**

Uma IHM é um hardware industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para a navegação, ou inserção de dados, que utiliza um software proprietário para sua programação. Com isso é possível para o operador interagir com os elementos do sistema de maneira remota.

4.2. FUNÇÕES DO SISTEMA SCADA

No âmbito geral o funcionamento de um sistema SCADA parte dos processos de comunicação com os equipamentos de campo, cujas informações são enviadas para o núcleo principal do software. As tecnologias computacionais utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas SCADA têm evoluído bastante nos últimos anos, de forma a permitir que aumente sua confiabilidade, flexibilidade e conectividade (AZEVEDO, 2013).

As funções principais de um sistema SCADA podem ser divididas em três:

- Funções de supervisão: abrange todas as funções de monitoramento do processo controlado, como por exemplo, gráficos de tendências das variáveis controladas, relatórios de *logs* da rede e alertas de variações com anomalias.
- Funções de operação: contém a ação direta sobre os atuadores do sistema podendo enviar comandos aos equipamentos de forma a mudar o modo de operação individual dos elementos ou grupo de elementos, ligar e desligar equipamentos, utilizar controles automáticos e proporcionais aos elementos.
- Funções de controle: possibilita a atuação do sistema de forma automática em alguns aspectos de controle pré-programados de acordo com a necessidade de se ter esse automatismo sobre o processo supervisionado.

4.3. A FERRAMENTA GUIDE DO MATLAB®

O MATLAB® (abreviatura de *Matrix Laboratory*) é um software interativo de alta performance pensado para o cálculo numérico ou simbólico que oferece ao usuário um ambiente de programação excelente para aprimoramento de conhecimento e pesquisa nas diversas áreas de estudo como engenharia, física, cálculo, economia etc. Um dos aspectos mais poderosos desta ferramenta é o fato de permitir a construção de suas próprias ferramentas e reutilizá-las quando necessário, através da escrita de funções e programas estruturados conhecidos como arquivos .m, assim ele integra análise numérica, cálculo por meio de matrizes, sendo capaz também de produzir protótipos de sistemas reais integrando modelagem e simulação para a confecção de poderosas ferramentas de ambiente computacional, oferece também processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente de programação (MATHWORKS, 2019).

Em contrapartida das linguagens de programação como C e *Python*, no ambiente MATLAB® a programação ocorre dinamicamente, ou seja, variáveis podem ser declaradas sem

a definição de tipo, podendo seu valor vir de variáveis globais, de constantes calculadas anteriormente e também como saída de funções previamente programadas no software, assim o usuário tem liberdade de escrita para os elementos utilizados no desenvolvimento de rotinas, sem preocupação com itens como alocação de memória, utilização de ponteiros e outras tarefas habituais em linguagens de programação tipificadas.

Além dessa excelente alternativa para programação o software ainda dispõe de diversas opções de extensões específicas (chamadas *toolboxes* ou *blocksets*), onde estas extensões agregam coleções de funções cujo objetivo é de resolver problemas de áreas específicas (como processamento de sinais, sistemas aeroespaciais, *cloud computing*, *big data*, *data analytics* e etc).

Existe um ambiente interativo dentro do próprio MATLAB que permite a construção de uma interface gráfica de interação com o usuário, é nele que se torna possível unir o programa escrito em linguagem .m com uma interface para a interação com o usuário final. Essas interfaces para aplicativos personalizados são desenvolvidas em um ambiente com características próprias dentro do software, este ambiente é conhecido como GUIDE (*Graphical Users Interfaces Development Environment*) e é ativado por meio de um comando (digitando GUIDE) na janela de programação do software MATLAB®. Usando o editor de *layout*, é possível projetar graficamente uma interface, pois o editor contém objetos como gráficos, textos, botões, barras deslizantes, menus dentre outros objetos para se construir um *software* interativo.

Recomenda-se que antes de construir uma interface gráfica o programador deve ter um esboço previamente desenhado que atenda às necessidades do sistema alvo do projeto desenvolvido para que não cause prejuízos a formulação da proposta de interface com onerosidade de tempo. Após estudo e análise de várias ferramentas de programação de sistemas supervisórios optou-se então pelo uso da ferramenta GUIDE do *software* MATLAB® para criar a interface gráfica do sistema SCADA do presente trabalho.

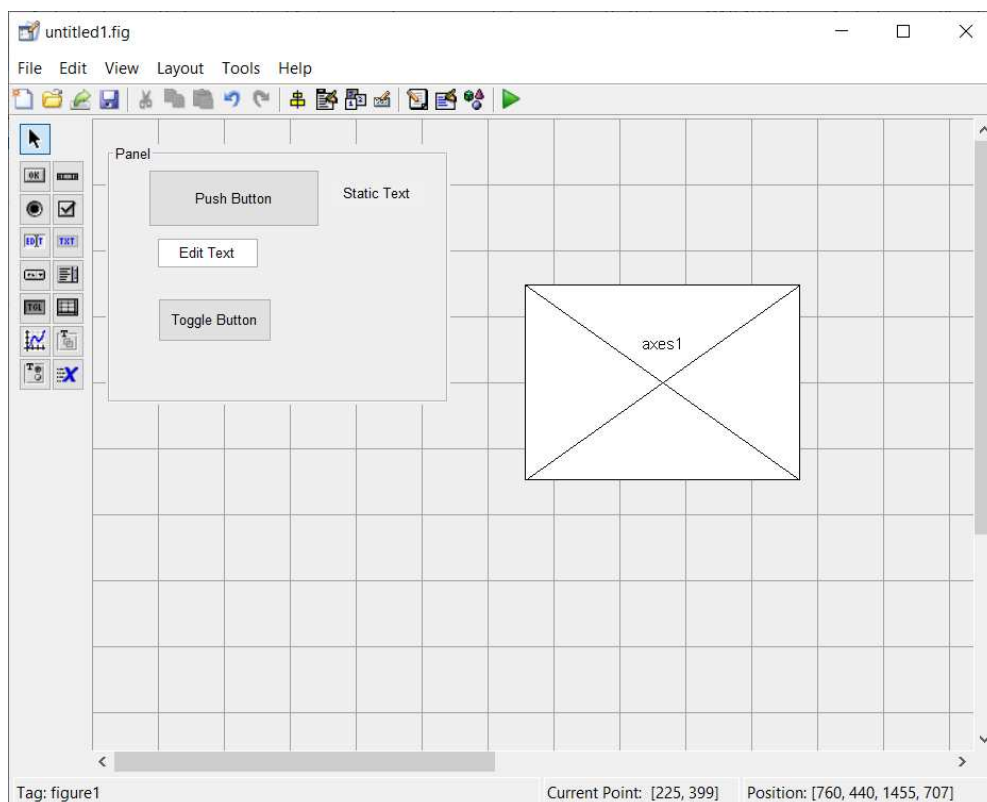


Figura 13 – Tela de edição da ferramenta GUIDE.

Fonte: Adaptado de MATLAB®.

Após criada a interface, o GUIDE, então, gera automaticamente o código no MATLAB® criando dois arquivos editáveis, um arquivo de extensão .fig (onde se encontra o desenho da interface) e um arquivo .m (onde se encontra toda a parte funcional da interface), para construir a interface do usuário, permitindo ao usuário modificar a parte funcional da interface para que o aplicativo se comporte conforme o intuito inicial da aplicação. Portanto esta interface integrará toda a parte gráfica responsável pelo monitoramento, aquisição de dados e por comandos remotos ao sistema de controle do SACI.

5. REDES DE COMUNICAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS

As redes de comunicação e troca de dados existem para que dados possam ser enviados de um lado ao outro sem que se tenha perda e que garantam a rapidez de envio e recebimento desse dado. Com o desenvolvimento e aperfeiçoamento das tecnologias, hoje os dados são enviados e trocados de forma extremamente rápida e dentre locais imensamente distantes.

Para que haja essa comunicação dos dados, estes precisam estar navegando em uma rede de computadores, que é segundo (FOROUZAN, 2006) um conjunto de dispositivos conectados por meio de *links* de comunicação podendo enviar e/ou receber dados gerados por outros nós dentro da rede, trocando informações de diversos tipos.

Dentre os itens em que se podem classificar uma rede de computadores destacam-se duas dimensões principais: o tipo de tecnologia de transmissão de dados e a escala utilizada. Segundo (TANENBAUM, 2003) há dois tipos de tecnologias de transmissão de dados em uso disseminados: redes de difusão (*broadcast*) e redes ponto-a-ponto (*peer-to-peer*). Em redes de difusão o pacote é enviado por uma máquina e recebido por todas as máquinas na rede, mas somente é interpretado por aquela em que foi endereçado. Já nas redes ponto-a-ponto as máquinas são conectadas por pares individuais com outras máquinas, assim o pacote enviado será transmitido para o receptor final obedecendo a um caminho previamente estabelecido, necessitando do roteamento na rede para que possa atingir seu destino.

Deste modo para se obter a melhor integração entre o sistema de controle e o sistema de supervisão, o local apreciado com o sistema deve-se dispor de uma arquitetura de rede industrial bem formulada, com os protocolos de comunicação bem estabelecidos e apropriado aos elementos de controle do sistema.

A rede de comunicação é a plataforma por onde as informações fluem dos CLPs/RTUs para o sistema SCADA e, levando em consideração os requisitos do sistema e a distância a cobrir, pode ser implementada através de cabos Ethernet, fibras ópticas, linhas dial-up, linhas dedicadas, rádio modems, etc. (SILVA & SALVADOR, 2005).

De modo que a arquitetura de rede é estabelecida de forma que a comunicação permita o acesso aos dados do sistema de forma límpida em relação ao *hardware* de controle e que o *software* de supervisão seja capaz de se comunicar na rede por meio do padrão de comunicação utilizado no sistema.

As redes de comunicação industrial em sua maioria utilizam dois modos de comunicação denominados como redes de padrão *polling* ou de padrão *peer-to-peer*. Sistemas mais antigos empregavam quase que em sua totalidade os meios de comunicação *polling* designado também de *Master/Slave*, que possui um controle centralizado das comunicações numa estação principal (*Master*), sendo que a mesma executa sequencialmente a leitura dos dados das estações remotas (*Slave*), onde estas só respondem a estação central após a requisição de um chamado, caracterizando uma iteração de comunicação em *broadcast* (AZEVEDO & COELHO, 2014).

Atualmente, a maioria dos softwares do tipo SCADA, usam protocolos *peer-to-peer* em nível de gerenciamento e dividem o *link* de comunicação de forma equivalente entre todos os controladores, assim a estação remota analisa os valores de entrada dos controladores e ao identificar alterações expressivas ou valores discrepantes dos limites definidos, inicia a comunicação com a estação central e a consequente transferência de dados. Deste modo evita transferência de informação desnecessária atenuando o tráfego na rede e conseguindo uma rápida detecção de informação urgente se necessário.

5.1. PADRÕES DE COMUNICAÇÃO

A comunicação RS-232 (*Recommended Standard* – Padrão Recomendado) foi um dos primeiros padrões para comunicação serial entre computadores e periféricos e é a forma mais popular de comunicação entre um CLP e um dispositivo externo, tendo sido introduzido em 1962. RS-232 é um método assíncrono de comunicação e utiliza o sistema binário para transmitir dados em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), portanto tendo em vista que a maioria dos CLPs de mercado possuem porta serial, onde estas são utilizadas para transmitir/receber dados em forma de tensão (-5 e -15 volts representam “0” lógico; +5 e +15 volts equivalem ao “1” lógico), vemos a importância de tal padrão de comunicação. Este padrão permite uma transmissão unidirecional, uma faixa de operação entre 0 e 20Kbps e uma distância máxima recomendada de 15m.

O padrão RS-422 é um padrão de comunicação diferencial para linhas de transmissão balanceadas, unidirecional, de forma que permite uma conexão entre 1 transmissor e ainda 10 receptores, com as características de uso:

- Sinal de saída entre faixas +2V a +6V e -2V e -6V;

- 0,4V mínimo de sinal diferencial;
- Limites de 10Mbps para distancias de até 13m, ou então distância máxima de 1300m para velocidades de até 100Kbps.

O padrão RS-485 É um padrão de comunicação serial, também denominado EIA-485 por ser desenvolvido pela EIA (*Electronics Industry Association*), é baseado na transmissão diferencial de dados, através de um par de fios, que é ideal para transmissão em altas velocidades, longas distâncias e em ambientes propícios a interferência eletromagnética. Ele permite a comunicação entre vários elementos participantes em uma mesma rede de dados. Permitindo a comunicação de até 32 transmissores e 32 receptores, mantendo todas as especificações físicas do padrão RS-422.

O padrão de comunicação amplamente utilizado na indústria hoje é a ethernet, que se mostra como uma arquitetura de interconexão para redes locais baseadas no envio de pacotes. Essa estrutura define o meio físico de conexão do cabeamento e sinais elétricos para o controle de dados da camada física, determinando o formato dos quadros (*frames*) da informação e protocolos para o controle de acesso ao meio. A Ethernet foi padronizada pelo *IEEE* como 802.3. A partir dos anos 90, ela vem sendo a tecnologia de LAN mais amplamente utilizada. O padrão Ethernet é baseado na ideia básica de pontos da rede enviando mensagens, no que é essencialmente semelhante a um sistema de rádio, cativo entre um cabo comum ou canal de transmissão.

Os padrões atuais do protocolo Ethernet são determinados como:

- **10Mbps** ou chamado de *Base-T Ethernet* (IEEE 802.3);
- **100Mbps** ou *Fast Ethernet* (IEEE 802.3u);
- **1Gbps** ou *Gigabit Ethernet* (IEEE 802.3z);
- **10Gbps** ou *10 Gigabit Ethernet* (IEEE 802.3ae).

5.2. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

O protocolo de comunicação é um elemento essencial na configuração do SCADA, devido ao volume de dados transferidos de um ponto a outro e da possibilidade de os controladores distribuídos terem informações interdependentes, pois podem atuar em áreas diferentes.

Os protocolos, portanto, são tidos como uma descrição do modo de como a informação deve ser transmitida entre dois equipamentos numa rede, independente do *hardware* utilizado, são regras estabelecidas para essa comunicação entre os processadores, como regras gramaticais aplicadas para que os computadores organizem e transmitam os dados binários codificando a informação em padrões específicos e assim sem eles uma rede não funciona.

Destaca-se a princípio o protocolo IEC 870-5 que define as regras para a comunicação de equipamentos usados na automação de sistemas elétricos. Temos algumas derivações desse protocolo que determinam aplicações específicas do mesmo como a IEC 870-5/101 que detalha a comunicação de um Sistema Central com uma Unidade de Aquisição e Controle de Dados (UAC) sendo amplamente empregado hoje, sendo capaz de fazer a aplicação de várias estações em uma instalação interconectada para supervisionar os equipamentos de um sistema elétrico distribuído. O protocolo IEC 870-5/103 é destinado para o uso em transmissão de dados entre os computadores de controle e os reles digitais do sistema, conseguindo unir dispositivos de proteção de fabricantes diferentes e de gerações diferentes.

Um protocolo derivado desta norma IEC 870-5 é o protocolo DNP que define a comunicação de um Sistema de Controle Central com uma UAC, por meio dos padrões abertos foi desenvolvido para alcançar a total interoperabilidade entre os sistemas industriais, ele pode ser implementado em qualquer sistema SCADA, para a comunicação entre os computadores da subestação, os CLP's, os receptores de dados e estações mestres.

O PROFIBUS (*ProcessFieldBUS*) se caracteriza por ser um padrão aberto de rede de comunicação industrial e é largamente utilizado. Tem sua utilidade amplamente difundida pois com esse protocolo de comunicação os mais variados dispositivos de fabricantes distintos podem se comunicar sem dificuldades. O PROFIBUS tem como característica relevante a diferenciação de seus dispositivos entre mestres e escravos e utiliza as camadas 1 (nível físico) que irá definir as características físicas da transmissão e 2 (*data link layer*) que define o protocolo de acesso ao meio e a 7 (*application layer*) que determinará as funções da aplicação do sistema.

O MODBUS suporta a integração entre dispositivos instalados no campo. Faz comunicação através de mensagens sem restrição de autenticação, é um dos mais antigos protocolos utilizados na comunicação entre CLP's para a aquisição de sinais. O MODBUS é um protocolo de mensagem de camadas de aplicação, isso significa que funciona na camada 7

do modelo OSI. Permite comunicações eficientes entre dispositivos interconectados baseados na metodologia de requisição/resposta.

O protocolo TCP/IP é o protocolo de rede mais amplamente utilizado atualmente. Seu nome faz referência a dois protocolos distintos, o TCP (*Transmission Control Protocol* – Protocolo de Controle de Transmissão) e o IP (*Internet Protocol* – Protocolo de Internet). O protocolo TCP/IP é formado por uma camada de protocolos agrupados em pilha sobre o qual a internet e a maioria das redes atuais funcionam. O mesmo faz com que cada uma dessas camadas resolva um grupo de problemas durante a transmissão, fornecendo um serviço de transmissão confiável e bem definido para as camadas superiores.

5.3. MEIOS DE TRANSMISSÃO

O meio de transmissão, chamado também de canal, de uma rede de dados caracteriza-se por ser uma conexão física entre as estações da rede por onde são transmitidas as ondas eletromagnéticas levando os dados ou sinais enviados. A escolha do meio de transmissão adequado a cada aplicação é de extrema importância, pois essa escolha define não só os custos relacionados com a interface de rede, mas também a velocidade da conexão do sistema, limitação geográfica da rede, imunidade a ruído, disponibilidade e confiabilidade dos componentes. Podemos então subdividir os cabos utilizados para a conexão das redes em dois grupos: cabos elétricos e cabos ópticos.

- **Cabos elétricos**

Os cabos elétricos ou condutores metálicos são representados pelos cabos de par trançado e cabo coaxial. O cabo par trançado é caracterizado pela espiral de dois condutores metálicos enrolados de forma a reduzir o ruído e mantendo constante as propriedades elétricas do meio em toda sua extensão. Tem sua transmissão de forma analógica e digital, em geral este cabo pode chegar até dezenas de metros mantendo a taxa de transmissão em alguns megabits por segundo.

O cabo coaxial é basicamente formado por um fio de cobre condutor revestido por um material isolante, e ainda rodeado por uma blindagem. Em virtude de sua blindagem adicional, o cabo coaxial possui vantagens em relação aos outros condutores usados em linhas de transmissão, como proteção contra fenômenos da indução, que é causado por interferências

elétricas ou mesmo magnéticas externas. Maiores distâncias sem perda de sinal, mas velocidade baixa poucos megabits/segundo.

- **Cabos ópticos**

Estes cabos são feitos por feixes de “fios de vidro” extremamente puros que foram revestidos em duas camadas de plástico reflexivo. Uma fonte de luz é ligada e desligada rapidamente a uma extremidade do cabo de transmissão de dados digitais, esse feixe pode ser emitido por diodos emissores de luz (LED) ou por *lasers*. A luz viaja através dos fios de vidro e de forma contínua reflete fora do interior dos revestimentos plásticos espelhados em um processo conhecido como reflexão total interna.

Essa tecnologia permite taxas de transmissão altíssimas, na faixa de bilhões de bits por segundo. Por sua característica de unidirecionalidade de transmissão, o mais usual em uma aplicação é o uso de duas fibras na rede (uma para cada sentido de transmissão). Este cabo possui imunidade eletromagnética por sua blindagem do sinal enviado, uma das desvantagens da fibra é seu custo elevado em relação aos outros cabos citados.

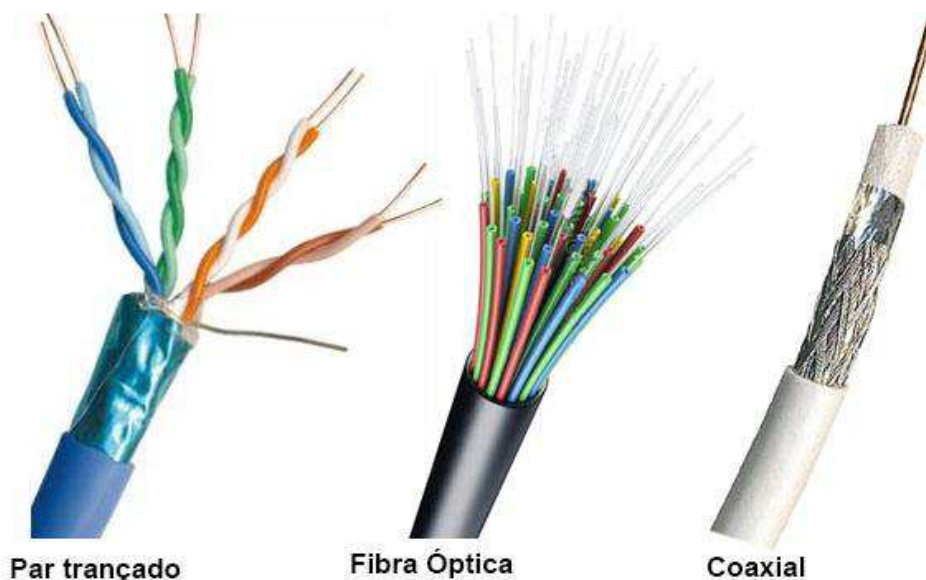


Figura 14 – Meios de transmissão em redes de comunicação industriais.

Fonte: (AZEVEDO & COELHO, 2014).

Para a interligação das redes, os equipamentos básicos para essa função são o *hub*, o *switch* e o roteador.

5.4. PROTOCOLO OPC (OLE FOR PROCESS CONTROL)

O OPC (*OLE for Process Control*) é a versão da indústria de automação para o OLE (*Object Linked Embedded*). A especificação OPC é voltada para a indústria de automação e as suas necessidades únicas em comunicação de dados. Em 1995, um grupo de algumas empresas se reuniu com o objetivo de desenvolver um padrão para acesso a dados em tempo real de redes industriais no sistema operacional *Microsoft Windows* baseado na tecnologia OLE/DCOM. O grupo fundou a *OPC Foundation*, uma entidade sem fins lucrativos para reger as regras do protocolo OPC, tais como estabelecer os padrões a serem desenvolvidos em sistemas para comunicação dos dispositivos de campo como sistemas de monitoração, supervisão e gerenciamento, garantindo comunicação universal e assim não somente registrar dados passando de um programa para outro, onde é possível controlar também as taxas de transferência para os dados solicitados, qualificar os dados recebidos e registrar o tempo da operação do processo.

As vantagens oferecidas pelo padrão OPC DA (*Data Access*) para comunicação com equipamentos são:

- *Interfaces* de comunicação de dados em tempo real entre servidores e clientes padronizada;
- Eliminação da necessidade de *drivers* proprietários, tornando possível a comunicação entre sistemas de diversos fabricantes;
- Desempenho e otimização da comunicação entre dispositivos melhorada;
- Integração com sistemas de gerenciamento tais como MES, ERP e também com aplicações do *Windows*;
- Redução de custos e tempo para desenvolvimento e implantação de *interfaces* e *drivers* de comunicação, reduzindo o custo de integração dos sistemas.

5.4.1. Arquitetura OPC

A Figura 14 mostra os três objetos considerados essenciais na arquitetura OPC: servidor (*server*), grupo (*group*) e item. Onde o cliente é tido como um elemento do sistema que faz a requisição de acesso para um servidor que detém a estrutura que armazena os grupos

e estes armazenam os grupos. Os itens não são especificamente valores, mas um meio de acesso a valores representando, deste modo, conexões a pontos de entrada ou saída. Os grupos reúnem o conjunto de itens que interessam ao cliente assumindo, então, o papel de interação entre cliente-servidor.

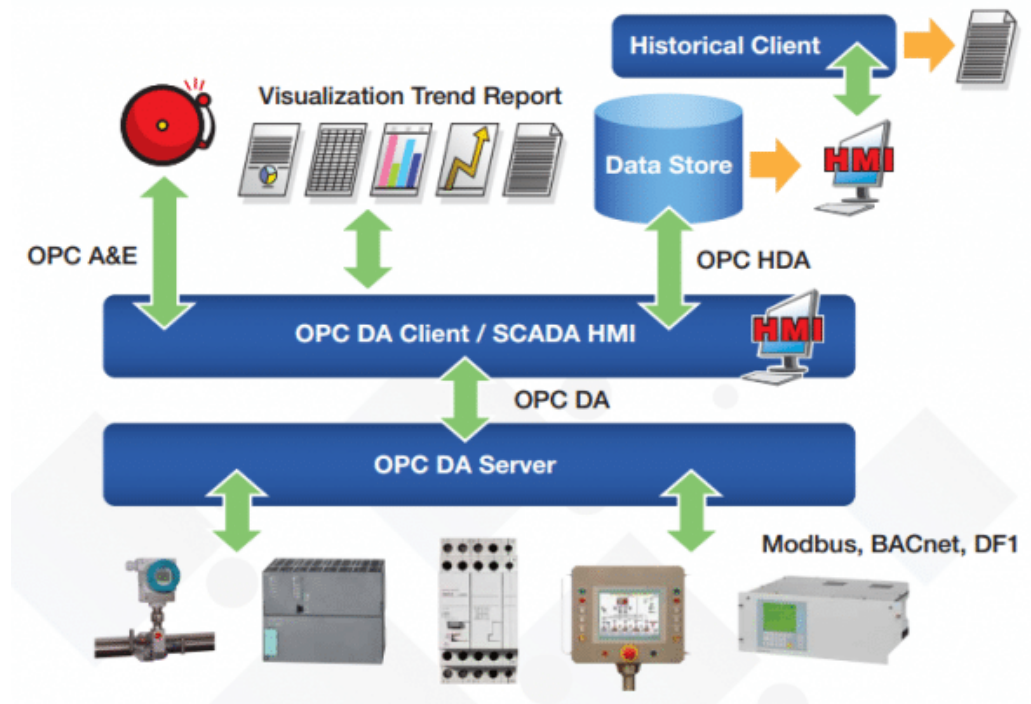


Figura 15 – Arquitetura do protocolo de comunicação OPC.
Fonte: (LEHNHOFF et al, 2011).

O OPC Clássico possui três especificações:

- DA (*Data Access*): para troca de dados em tempo real. Determinando o valor dos dados incluídos no cliente e no servidor de operação;
- A&E (*Alarm and Events*): dados e mensagens de eventos de estados. Onde os eventos de estado nos dão a informação que exibe a qualidade do dado com três possibilidades:
 1. *Good*: Dado Válido;
 2. *Bad*: Problemas na comunicação com dispositivo de campo;
 3. *Uncertain*: Dispositivo de campo fora de operação.
- HDA (*Historical Data Access*): dados para análise histórica de eventos, que fornece um elemento ***Time Stamp*** (Fornecido pelo servidor por intermédio da leitura do *time stamp*

dos dispositivos de campo). *Time Stamp* é um termo usado para descrever o tempo que é impresso em um arquivo para controlar o momento em que os dados são adicionados, removidos, enviados, recebidos etc.

5.4.2. OPC TOOLBOX

O *OPC Toolbox* é uma poderosa ferramenta do *software* MATLAB® que fornece conexão com servidores OPC DA (*OPC Foundation Data Access*), podendo acessar dados em tempo real e histórico de dados diretamente do MATLAB® ou por meio do *Simulink*. A Figura 16 ilustra a *interface* da ferramenta *OPC Toolbox* no MATLAB®.

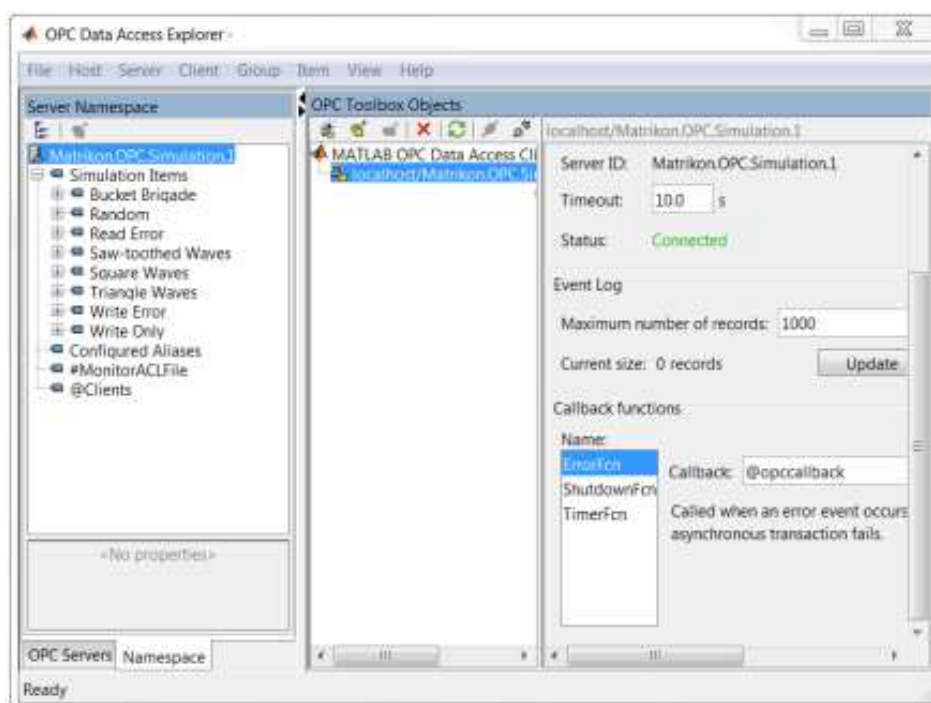


Figura 16 – Interface OPC Toolbox do MATLAB®. Com a aba *Server Namespace* e a aba *OPC Toolbox Objects*.

Fonte: (MATHWORKS, 2019).

Com o *OPC Toolbox*, o programador tem a capacidade de ler, escrever e registrar dados OPC de dispositivos, tais como, sistemas de controle distribuídos, controle de supervisão, sistemas de aquisição de dados e controladores lógicos programáveis, que estejam em conformidade com o padrão *OPC Foundation DA*. Este *Toolbox* permite o trabalho com servidores ativos e com dados históricos de operações realizadas. Além disso o software inclui blocos *Simulink* que permitem modelar o controle de supervisão on-line e realizar testes de controlador sobre hardware em cadeia.

Quando usado no MATLAB®, o *Toolbox* emprega uma estrutura de objetos hierárquica e intuitiva para ajudá-lo a gerenciar conexões com servidores OPC e coleções de itens de servidor ou *tags*. Para que haja a conexão dos objetos OPC aos servidores de aplicação deve-se criar um objeto *OPC Data Access Client* no servidor de conexão para isto, deste modo esta conexão permite procurar o *namespace* do servidor, recuperar e controlar as propriedades de cada item armazenado dentro de um grupo de dados no servidor (MATHWORKS, 2019).

Quando usado com o *Simulink* este emprega blocos de configuração para especificar os clientes do *OPC Data Access* a serem usados no modelo, define os blocos para o comportamento de erros da aplicação, de disparo de eventos e do comportamento em tempo real da aplicação. Durante a simulação do sistema o modelo é executado em pseudo tempo real, ajustando automaticamente o tempo da aplicação com o *clock* do sistema para que este seja o mais próximo possível da aplicação real durante a simulação.

Para efetuar a comunicação com o protocolo OPC por meio de linhas de comando no MATLAB®, existem algumas funções disponibilizadas pelo software por meio de uma documentação oficial do software para esse fim.

Tabela 1 - Comandos para a comunicação do protocolo OPC no MATLAB®.

Sequência de Comandos	Comandos OPC para a comunicação
1	opcda: Cria um objeto de acesso a dados. O primeiro parâmetro do comando faz referência à localização do Servidor OPC em interesse podendo ser local ou remoto. O segundo parâmetro define qual servidor no host especificado será utilizado. Sintaxe de exemplo: <i>cliente = opcda ('localhost', Saci.hseoleserver.0')</i> ;
2	connect: Conecta o cliente OPC ao servidor. Sintaxe de exemplo: <i>connect (cliente)</i> ;
3	addgroup: Adiciona um grupo de acesso aos dados para o objeto. Sintaxe de exemplo: <i>grupo = addgroup(cliente)</i> ;
4	additem: Adiciona um item de acesso aos dados para o grupo especificado. Na sintaxe deste item encontra-se um exemplo da inserção de um posicionador de válvula da planta didática como item do grupo 1. Sintaxe de exemplo: <i>item1=additem(grupo, 'FY31_A01.OUT.VALUE')</i> ;
5	read: Executa a leitura dos itens adicionados. Sintaxe de exemplo: <i>variavel_auxiliar = read(item1)</i> ;

6	write: Atribui um valor ao item. Sintaxe de exemplo: <i>write (item1,50);</i>
---	---

Fonte: Autor.

6. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE CONTROLE E SUPERVISÃO

Neste capítulo é apresentado o processo de modelagem, escolha dos processos de controle e determinação das estratégias de controle para o Sistema Automático de Combate a Princípio de Incêndio. Aborda-se as técnicas de modelagem instituídas para a análise do sistema vigente no Prédio Deposito de Propulsores, define-se todos os instrumentos de controle a serem integrados ao projeto bem como toda a análise do local do sistema a ser controlado e todas as técnicas referentes à integração do sistema de controle do SACI e a produção do sistema supervisório proposto por meio das interfaces gráficas de interação com o usuário.

Para que esta integração possa ocorrer de maneira mais coesa, as estratégias de controle são modeladas e analisadas para que o fluxo de funcionamento do sistema ocorra de forma natural e a prova de falhas. Dada à relevância que o SACI apresenta para o PDP as técnicas de modelagem são requeridas para eleger as melhores alternativas de implementação, integração e políticas de operação dos sistemas controlados para que possam garantir a segurança das pessoas que acessam o local e para proteção do patrimônio do CLA.

Deste modo, evidencia-se a aplicação de um procedimento de modelagem e análise de estratégias de implantação e controle de processos que permita verificar a dinâmica de funcionamento do sistema aplicado bem como legitimar sua integração com outros sistemas modulares aplicados ao setor de depósito de propulsores, ocasionando ainda uma facilidade na aplicação da análise funcional do mesmo (KANESHIRO, 2006; VILANI, 2000).

O procedimento sugerido tem por objetivo ser uma ferramenta de apoio e orientação para o projeto do SACI. Com a aplicação deste procedimento o desenvolvimento dos modelos de simulação e estratégias de controle fundamentais ao funcionamento do SACI serão aplicados de forma eficiente observando toda a integração entre este e os demais sistemas do PDP. O procedimento para a modelagem e análise de um SACI é composto de algumas etapas, detalhadas em seguida.

6.1. COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE O OBJETIVO DE CONTROLE E OS SISTEMAS ENVOLVIDOS

Nesta fase inicial da modelagem das estratégias de um SACI, procura-se identificar as características funcionais da edificação através de uma pesquisa sobre as informações de todos

os sistemas vigentes e as formas de uso destes sistemas dentro do escopo do Setor de Preparação de Lançamento.

Este levantamento é elaborado de modo que uma análise preliminar das informações possa ser aperfeiçoada e assim determinar dados e ações relevantes do sistema. Com estas informações a caracterização dos elementos que compõem o sistema tanto no nível qualitativo quanto no quantitativo podem ser definidos.

As informações do SACI então são colhidas por meio da revisão da documentação inicial de formação do Prédio Depósito de Propulsores, com esta documentação se tem uma ideia dos sistemas integrados ao SACI, além destes dados uma revisão deve ser realizada sobre as normas relacionadas à proteção contra princípios de incêndio, estocagem de motores e proteção da vida humana em ambientes suscetíveis a explosão, também uma pesquisa em relatórios, plantas e manuais técnicos é requerida.



Figura 17 – Vista Frontal do Prédio Depósito de Propulsores do Setor de Preparação e Lançamento.

Fonte: Autor.

O Prédio Depósito de Propulsores fica localizado no Centro de Lançamento de Alcântara fazendo parte do Setor de Preparação e Lançamento, sua função é a de fazer o estoque dos motores dos veículos lançadores de satélite que estão em campanha de lançamento durante uma operação, bem como manter nas dependências onde são processadas atividades com explosivos ou foguetes um sistema de combate bem delineado de forma tal que todas as dependências estejam providas com água e extintores adequados aos materiais ali manipulados.

Este prédio conta com uma área construída de aproximadamente 650 m², dividido em blocos sendo estes o Prédio de Estocagem de Motores de Foguete onde ficam armazenados os motores dos foguetes; a Casa de Máquinas que comporta a sala de controle de operações do sistema, máquinas de refrigeração interligadas ao prédio de estocagem, sistema de exaustão e bombas de pressurização que mantém o fluxo de água para a rede de sprinklers; a Casa de Cilindros de Nitrogênio para atendimento ao Prédio de Estocagem de Motores de Foguete do Setor de Preparação e Lançamento do CLA.

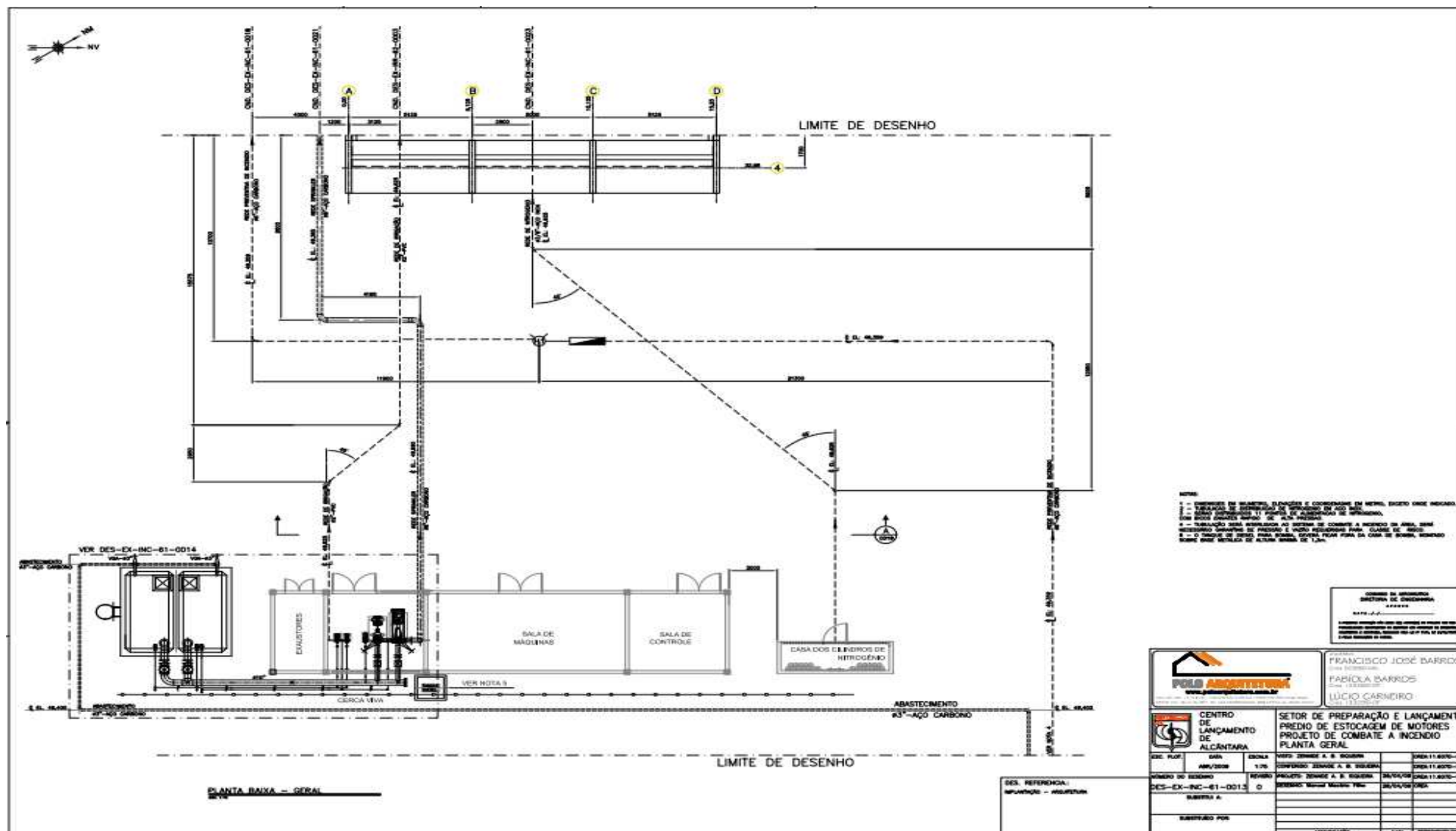


Figura 18 – Vista superior da planta com a disposição dos módulos do sistema de estocagem de motores.

Fonte: (CLA, 2009).

Sistema automático de combate a princípio de incêndio do PDP

O sistema automático de combate a princípio de incêndio (SACI) é um sistema integrado e disposto de forma planejada com o intuito de detectar os estágios iniciais de um incêndio. Além da detecção, executa comandos de alarme, por meio de sinalização audiovisual, e atua no processo de extinção das chamas. As ações de comando podem ser tanto manuais como automáticas, estas ações ocorrem de maneira simultânea às ações de iluminação de emergência, extinção de incêndios e aos outros sistemas interligados à central de controle do edifício.

O módulo de controle do sistema está localizado na casa de máquinas, que fica paralela ao prédio de estocagem de motores, este módulo está instalado em um quadro composto de dois rack's de CLP Allen Bradley tipo SLC500 de 10 slot cada para automatização dos instrumentos e sensores assim como tomadas de decisões. Além do módulo de controle este local também abriga os sistemas de refrigeração do prédio, o sistema de exaustão de gases e as bombas de água para a pressurização do sistema de combate a incêndio. Este módulo recebe os sinais de todos os dispositivos sensores e atuadores de detecção e alarme de incêndio dentro do PDP, além de controlar e monitorar os outros sistemas integrados ao prédio.

O sistema conta com uma malha de Sprinklers determinando o caráter preventivo do sistema atuando por meio de resfriamento caso a temperatura ambiente ultrapasse os níveis ideais, e é constituído de 40 (Quarenta Sprinklers). Dentro do prédio, sua distribuição se faz da seguinte forma: Um Header principal de DN. 6", e 10 (dez) ramais com 4 Sprinklers cada. Cada ramal monitorará a temperatura e trabalhará de maneira individual controlado por uma Solenoide colocada no começo do ramal. Essa malha de Sprinklers será alimentada com água através de uma tubulação que sairá de um reservatório de 85.0000 litros de água localizado na parte externa do edifício. Este sistema de combate é programado de maneira que este seja manuseado como um sistema de pré-ação, conjugados a um sistema solenoide de detecção por irradiação mais sensíveis que o detector bulbo do sprinkler. Pelo fato de a solenoide aplicar o controle de ação sobre a malha dos Sprinklers, estes ficam inertes até que um comando oriundo do sistema de controle seja executado assim primordialmente eles ficam sem função de detecção.

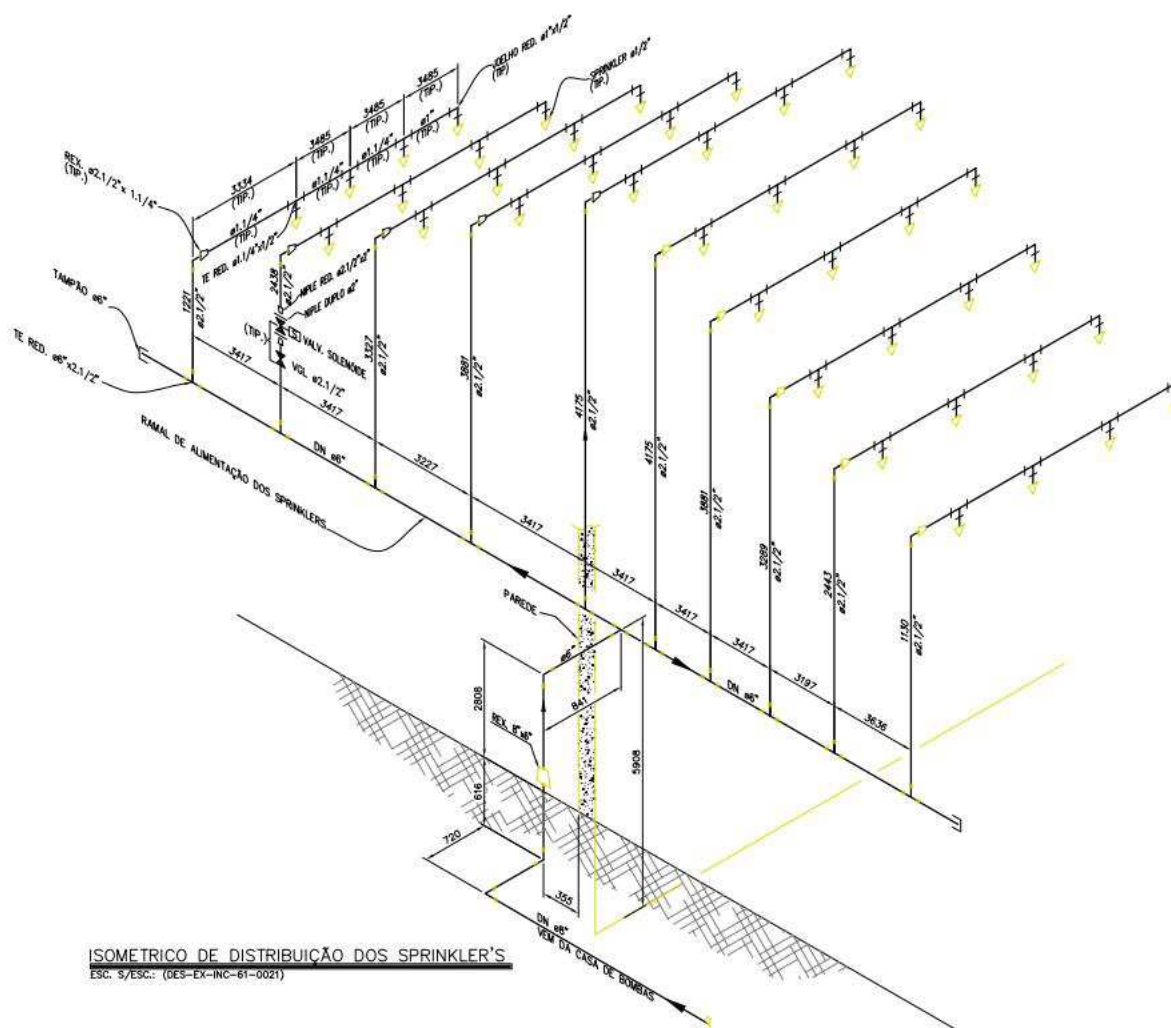


Figura 19 – Vista aérea da rede de sprinklers distribuída dentro do PDP.

Fonte: (CLA, 2009).

Este sistema atua diretamente ligado ao sistema de sensores térmicos, este sistema de monitoramento térmico é composto de dois sensores térmicos por unidade de motores dispostos em linha posicionados sobre os motores estocados no local, compondo um sistema de braço tipo cancela em alumínio com movimento horizontal de forma que se possa retirá-lo de sobre os motores no momento em que houver qualquer necessidade de movimentação dos motores. Este sistema atua em um modo chamado linha ou laço cruzado que representa o acionamento do sistema de combate caso duas linhas ou laços de detecção que supervisionam uma área estejam ativados por sensores independentes, ou seja, o sinal dos sensores é cruzado por meio do software de controle e havendo essa pontualidade de acionamento o sistema será ativado.

Para o monitoramento térmico será utilizado ainda um sistema com câmera de imagem térmica infravermelha que será comandada por sistema com servo mecanismo pelo CLP, com seu acionamento obedecendo a lógica seguinte: o sensor ou conjunto de sensores que aumentar

o nível temperatura pré-ajustado em valores mínimos e máximos irá ser percebido pelo CLP comandado por uma entrada analógica de 4-20mA e este comandará a câmera para direcionar sua imagem ao local do acionamento e assim acompanhar de modo automático a evolução da temperatura, ao atingir um valor máximo predefinido do sensor de temperatura um acionamento de segurança crítica será comandado pelo CLP e o acionamento da linha de bicos do sistema sprinkler será ativado. Este sistema torna o acionamento do sistema de combate a incêndios pontual evitando-se assim desnecessário o acionamento geral dos demais bicos.

Para a iluminação interna ao prédio de estocagem dos motores foi adotado um sistema moderno já utilizado para ambientes onde não deve existir sobreaquecimentos e geração de centelhamentos elétricos. Este sistema consiste de refletores a Led com alimentação em 12Vcc que são interligados na parte externa ao prédio e utiliza caixa anti explosão e rede de eletrodutos para áreas classificadas, permitindo a iluminação das saídas normais tão logo ocorra falta de energia e seu acionamento executa-se no prédio casa de máquinas na sala de controle através de disjuntor localizado dentro do quadro de iluminação e para isto utiliza-se uma fonte de corrente contínua instalada na sala de controle e interligada ao painel de iluminação Vcc conforme projeto.

Sistema manual de extinção de incêndio

Todos os equipamentos de combate a incêndio estão sinalizados de tal forma que usuário saiba o tipo e a maneira de uso do equipamento. Também são alocados extintores de incêndio em toda a área a ser protegida do prédio da casa de bombas e máquinas de acordo com a natureza do fogo e dos riscos de incêndio à área protegida, conforme especificado pela Norma NBR12693/2013. Os extintores foram dimensionados levando-se em consideração a classe de fogo A, B, e C de incêndio distribuídos considerando-se 1(uma) unidade extintora para cada 150m² de área comum da edificação respeitada a distância máxima de qualquer operador para o extintor será de 15 (quinze) metros. As unidades extintoras estão colocadas em locais de fácil acesso e sinalizadas de forma a impedir o bloqueio ao seu acesso.

TIPO DE MATERIAL INFLAMÁVEL		AGENTES EXTINTORES
CLASSE A	MADEIRA PAPEL LIXO GRAMA ETC.	ÁGUA, ESPUMA
CLASSE B	ÓLEO GASOLINA TINTA GRAXA, ETC.	CO ₂ , PÓ QUÍMICO SECO ESPUMA, TETRACLORETO DE CARBONO
CLASSE C	EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	CO ₂ , PÓ QUÍMICO SECO, TETRACLORETO DE CARBONO

Figura 20 – Seleção do agente extintor de acordo com a classificação do fogo.

Fonte: (NBR 12693, 2013).

Para o sistema de Sistema de Proteção a Descargas Atmosféricas (SPDA) foi adotado um anel inferior interligando todas as hastes enterradas e uma malha aérea com postes formando sistema gaiola de Faraday em vão livre no sentido longitudinal autossustentada e com dois postes de 16 metros. O aterramento dos equipamentos é provido através de um sistema de carretel auto retrátil dispostos dentro e fora do prédio com distâncias de 15 metros.

Sistema de bombas e rede preventiva de hidrantes

Este sistema serve de apoio ao sistema de combate a incêndio tendo como pressuposto a manutenção automática da rede de pressurização no módulo da rede de sprinklers, portanto este sistema se encontra adjacente ao reservatório de armazenamento de água do sistema assim essa água passará através de uma tubulação que passa pela casa de bombas contendo uma bomba elétrica centrifuga contra incêndios de 40CV, e uma eletrobomba Jockey de ¾" CV. Essas bombas serão controladas por pressostato e manômetro interligados ao CLP, que fará a leitura da pressão da rede e enviará um comando automático à bomba solicitada para a regularização constante da pressão do sistema.

A rede preventiva de hidrantes é constituída de 02 (duas) colunas de hidrante duplos, sendo que cada um fornecerá uma vazão de 1000 l/min. Os hidrantes estão localizados nas laterais do Prédio de Estocagem de Propulsores. A rede está aplicada por meio de tubos de aço carbono com diâmetro de 6" e 4", em trechos horizontais e verticais que alimentam os hidrantes localizados nas laterais do prédio. Estão instalados também abrigos para mangueiras. Os abrigos

são metálicos com as dimensões de 1,20x0,90x0,30cm – altura, largura e profundidade – com portas com visor de vidro de 3mm com inscrição “INCÊNDIO”, em letras vermelhas com traço de 1cm em moldura de 7cm de largura, montadas em bases de concreto.

Sistema de combate a incêndio por nitrogênio

Além do sistema de combate a incêndio por meio de água, o prédio de estocagem de propulsores conta com um sistema de supressão de incêndio por meio de gás nitrogênio, este sistema visa estabelecer as condições ideais de preservação do ambiente através da Pressurização dos Propulsores, já que oferecem as propriedades de serem secos, incolores, não condutores de eletricidade, além de não reagir ou alterar as propriedades dos materiais em que entram em contato. O sistema de supressão de incêndios se dá por meio de cilindros contendo o gás sob pressão, fazendo-o entrar em sua fase líquida, minimizando, assim, o espaço para armazenagem.

A rede de combate encontrar-se distribuída em dutos de aço inox com diâmetro de 3/8” a qual partirá do abrigo dos cilindros composta por uma bateria principal de 12 (doze) cilindros de nitrogênio com capacidade nominal de 9,00m³ (nove metros cúbicos) cada e contará com bateria reserva de igual dimensão, os dutos interligam os cilindros aos bicos nebulizadores distribuídos no interior do PDP, assim tão logo o sistema de detecção seja acionado por um incêndio ainda incipiente, o agente é distribuído e descarregado no ambiente por meio de uma malha de tubos e bicos nebulizadores, dimensionados de modo a proporcionar uma distribuição uniforme e para obter a correta concentração do agente extintor na área protegida.

É importante destacar que o sistema supressão por gás inerte, embora conte com estas características, atuam sobre o fogo ao reduzir o oxigênio no ambiente para um nível abaixo do ponto de sustentação de combustão. A partir daí, uma série de benefícios pode ser alcançada pelos usuários. Na linha de alta do sistema, o mesmo é composto por equipamentos responsáveis pela comutação das baterias de cilindros quando necessário e também conta com um alarme para a falta de agente supressor. Na linha de baixa, os pontos de consumo, dentro do prédio Principal, (Prédio de Propulsores) foram arranjados de forma a atender a todos os artefatos e será provido de reguladores de posto o que possibilitará o controle da pressão exata requerida pontualmente. Na saída de cada ponto são instaladas mangueiras em aço inox, diâmetro de 1/4” equipadas com conexões do tipo engate rápido.

6.2. DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE PARA MODELAGEM

Esta etapa é requerida para que as informações coletadas sobre o objetivo do sistema sejam utilizadas para definir os requisitos do mesmo em caso de incêndio e sua interação com os outros sistemas de proteção do PDP, levando em consideração as normas relacionadas aos SACIs. Consequentemente, estes requisitos que foram obtidos, são modelados e aprimorados com a finalidade de obter-se uma visão das estratégias que devem ser empregadas para a solução de cada situação ocorrida.

A partir desta etapa são geradas as informações necessárias sobre as estratégias para atender os princípios básicos das normas vigentes sobre detecção, alarme e combate de incêndios, e também quais os dispositivos utilizados em cada estratégia para sua conclusão. Para sua definição cada estratégia deve conter uma descrição detalhada de forma sequencial que define as ações requeridas, sobre quais equipamentos do sistema ela atua, em que condições específicas ela é efetivada e em que condições ela deixa de ser realizada.

As estratégias essenciais ao funcionamento primordial do sistema de detecção e combate de incêndio devem ser consideradas, deste modo, para a finalidade do objetivo de controle e simulação via software do sistema instalado no PDP, foram consideradas as seguintes estratégias de funcionamento do SACI em conformidade com as normas NBR 17240/2010 e NBR IEC 60079-0/2007:

- Funcionamento do sistema de detecção e combate por água;
- Funcionamento do sistema de pressurização de água contra incêndio;
- Detecção e combate a incêndio por sistema de gás Nitrogênio;
- Ativação do sistema por uma estação manual de alarme.

Estratégia de funcionamento do sistema de detecção e combate por água

Para esta estratégia, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na norma NBR 17240/2010 obtém-se as condições de ação da estratégia. Assim ao receber um sinal de alerta de algum detector térmico do sistema, deve-se gerar no módulo de controle um sinal audiovisual de alarme indicando uma ocorrência na zona de emergência, com essa detecção caso haja presença de pessoas na zona de perigo e ocorra a elevação de temperatura além do limite

preestabelecido e/ou detecção de chama para os dois laços cruzados de sensores juntamente com a comparação do sinal vindo da câmera térmica, o sistema deverá então acionar um alarme de perigo para evacuação da área, e acionar a válvula solenoide ativando o ramal de sprinklers da zona atingida.

A desativação do alarme de evacuação da área, somente acontecerá, quando não houver mais pessoas presentes na área protegida e não houver a detecção de nenhuma anormalidade para os dois laços de detecção em conjunto com a câmera térmica. Quando não houver mais pessoas na área, o que implicará no sinal negativo de presença enviado pela câmera, um temporizador é acionado retardando a ativação da unidade de N₂ por um período de tempo hipotético de 30 segundos para prover as condições mínimas para que as pessoas tenham tempo de abandonar a área antes de se iniciar o combate com gás.

Após terminado o tempo de retardo, o sistema aciona a unidade de N₂, interrompe o combate pelo ramal de sprinklers, trava a porta de acesso e abre a porta de emergência. O sistema de gás fica ativo por volta de 30 segundos para que ocorra a redução da taxa de oxigênio na zona de perigo e assim a extinção da chama seja completa, após este tempo a unidade de N₂ é desativada, após essa desativação o sistema de exaustores e seu respectivo alarme é acionado para a correta retirada dos gases advindos da reação química da chama e do sistema de combate.

Portanto com o acionamento completo do sistema os níveis de oxigênio no local de perigo voltam a aumentar após a interrupção do combate com gás nitrogênio e alcançam níveis satisfatórios à manutenção da vida humana no local do incêndio, após um período de tempo hipotético de 20 segundos para a retirada de acúmulos de N₂ presentes no local e aumento da concentração de O₂, o sistema de exaustores é desligado, ocasionando a liberação da porta de acesso e o fechamento da porta de emergência do PDP.

Estratégia de funcionamento do sistema de pressurização de água

Através da bomba *jockey* que gera uma capacidade de vazão de aproximadamente 20 l/min, esta parte do sistema sustenta a pressão estimada na rede de água contra incêndio, compensando constantemente pequenos decaimentos de pressão e evitando acionamentos desnecessários da eletrobomba principal poupando recursos. A bomba *jockey* é acionada automaticamente quando a pressão na linha de fluxo desce à 10 bar (146 psi), assim ela pressuriza a linha e desliga quando alcança 10,75 bar (156 psi). No caso de uma emergência, a

demanda de água solicitada por qualquer dispositivo contra incêndio deve resultar numa queda de pressão na linha que indicará ao controlador da bomba principal a necessidade do seu acionamento quando a pressão do sistema cair para 9,75 bar (140 psi).

Estratégia de funcionamento do sistema de combate por gás Nitrogênio

O sistema considera a detecção por linhas cruzadas que representa a ativação do sistema de combate caso duas linhas ou laços de detecção que supervisionam a mesma área ou local estejam ativados por detectores independentes, sendo que, a área supervisionada pelos dois detectores é a mesma área supervisionada por um detector em sistemas convencionais.

Neste caso, uma ativação de um sensor de fumaça ou temperatura num ambiente gera no módulo de controle apenas um sinal de alarme. Somente com a ativação de um segundo sensor na linha adjacente no mesmo ambiente é que se dá início à condição de pré-alarme e posterior ativação do sistema, satisfeita esta condição em seguida a câmera térmica deverá ser direcionada ao local indicado pela linha de sensores, havendo a confirmação da presença de chamas no local o sistema é acionado. O sistema de detecção por linhas cruzadas determina o acionamento do sistema de combate, isto é, esta redundância se faz necessária devido ao alto custo do agente (N_2), por isso, o sistema demanda uma ativação pontual dos bicos de injeção de N_2 para o combate a incêndio.

O módulo de controle do sistema é do tipo unidade de controle local conectado a dois “laços”, ou seja, dois circuitos, um relacionado a detecção de presença de fumaça e temperatura (estrutura multisensores) e outro relacionado ao sensoriamento térmico apontado pela câmera, o cruzamento destes sinais que deverá identificar e sinalizar, através de LED, os seguintes status:

- **Alarme:** quando um dos sensores de temperatura e fumaça detectarem temperatura de 50°C ou presença de fumaça, o módulo de controle deverá acionar o indicador de “alarme” no módulo de controle, sem dar início à sequência de eventos para ativação do sistema de combate a incêndio (a condição de alarme não dispara a descarga de N_2). A atuação do segundo sensor de temperatura e fumaça junto com a confirmação visual da câmera térmica deverá acionar o indicador de pré-descarga no módulo de controle, ativar o alarme de pré-descarga e iniciar a sequência de temporização de aborto.

- **Pré-descarga:** o acionamento do sistema pode ser abortado em até 30s após o disparo do alarme, porém o sistema de estanqueidade de ar externo é imediatamente acionado através de saídas lógicas controlando o fechamento dos *dampers* dos dutos de captação de ar exterior.
- **Alarme de evento em progresso:** Após ocorridos 30s do acionamento da pré-descarga, o sistema de extinção de incêndio por gás N₂ entra em ação, sem possibilidade de ser interrompido. A sinalização de restrição à entrada de pessoas no ambiente deverá ser acionada e as portas trancadas por fora e liberadas por dentro (barras antipânico). Após a ativação do combate com gás é esperado certa sobrepressão pelo fato de áreas que usam sistemas de combate automático apresentarem estanqueidade contra o vazamento do gás. Esta condição de sobrepressão quando não devidamente controlada, pode colocar em perigo outras instalações ou o pessoal de segurança na área, sendo necessário, portanto, realizar por meio de exaustores a sucção do gás de combate após a extinção do incêndio.
- **Finalização do evento:** após 30 minutos da descarga do N₂ (30s para efeito de simulação), o módulo de controle deverá ativar o sistema de exaustão de ar do ambiente que deverá funcionar por 30 min no mínimo. O módulo de controle envia sinal para o solenoide das válvulas de controle dos cilindros de gás e faz com que as válvulas dos cilindros se abram automaticamente após a confirmação da presença de fogo.

Estratégia de ativação por estação manual de alarmes

Ao receber um sinal de alerta de alguma estação manual de alarme, o módulo de controle deve gerar: um sinal audiovisual de alarme, uma indicação da zona de emergência e ativação das lâmpadas de emergência e sinalização na zona onde se ativou o alarme, em consequência desta ação o sistema segue para as rotinas de ativação de extinção de incêndio.

6.3. MODELAGEM ESTRUTURAL DO SACI

Partindo da formulação das estratégias de controle do sistema em caso de incêndio desenvolvidos na etapa anterior, são desenvolvidos nesta etapa os modelos estruturais das estratégias do SACI. Os módulos dos dispositivos que compõem as diferentes estratégias do SACI são identificados considerando-os dentro de contexto do Prédio de Estocagem de Motores.

Seguindo uma abordagem modular para a modelagem da interação dos dispositivos, divide-se inicialmente o modelo em 6 módulos, assim, uma vez que o módulo de controle recebe os sinais de comando e de alarme procedentes dos dispositivos de entrada (comandos manuais e/ou detectores de incêndios), este módulo processa os sinais e executa um programa pré-estabelecido, acionando os dispositivos de saídas previstos (dispositivos de atuação e notificação), bem como outras medidas adicionais, que são possíveis em virtude da interação com outros sistemas prediais.

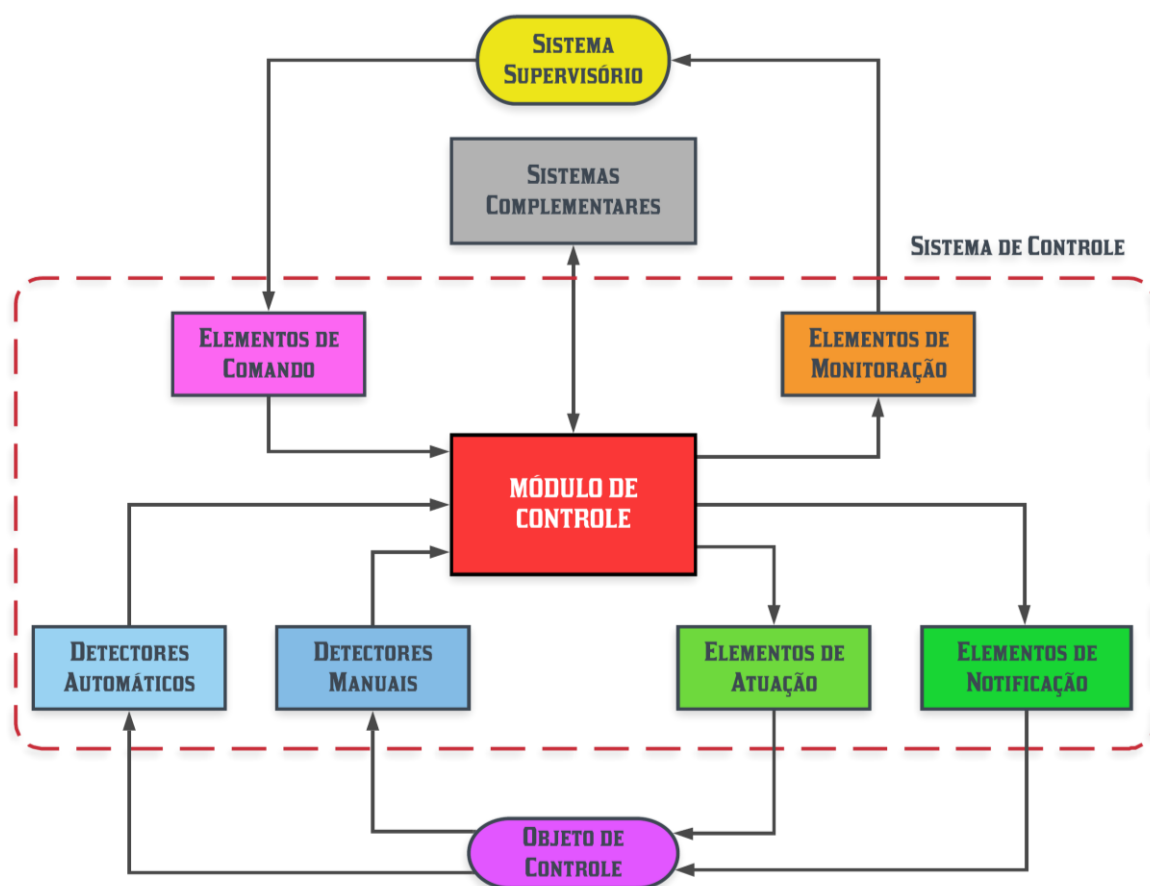


Figura 21 – Diagrama estrutural das estratégias de controle dos sistemas integrados do SACI.

Fonte: Adaptado de (KANESHIRO, 2006).

Partindo desta modelagem geral do sistema, pode-se então definir os parâmetros necessários para uma modelagem modular de cada estratégia de controle do sistema. Portanto para o melhor entendimento da lógica de funcionamento e processo de desenvolvimento dos módulos do sistema de detecção e combate a princípio de incêndio formulou-se fluxogramas que representam as ações requeridas pelo sistema. Estes fluxogramas demonstram cada etapa do sistema que foi simulado, desempenhando um importante papel no desenvolvimento do software para o controle do sistema. A Figura 21 demonstra este funcionamento.



Figura 22 – Fluxograma da rotina principal de funcionamento do SACI.

Fonte: Autor.

6.4. DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS PARA DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento da aplicação de controle e supervisão do processo automático de detecção e combate a princípio de incêndio no prédio depósito de propulsores do Centro de Lançamento de Alcântara, após uma revisão de ferramentas e tecnologias de desenvolvimento dos softwares necessários, optou-se pelas tecnologias integradas utilizando os softwares *RsLogix 5000* para a confecção do ambiente de controle da aplicação, os softwares *RsLinx* e *RsLogix Emulate* para a integração e simulação do sistema de controle simulando o funcionamento de um CLP real para os comandos da aplicação, a ferramenta GUIDE do software MATLAB® para o desenvolvimento do sistema de supervisão da aplicação sendo este integrado ao software de controle por meio do protocolo de comunicação industrial OPC que é disponibilizado pelo *OPC Toolbox* função integrada ao MATLAB®. Deste modo, as etapas a

seguir demonstram o desenvolvimento da aplicação a partir da modelagem das estratégias de controle do processo estudado.

6.4.1. Comunicação do servidor OPC com o sistema de controle

Com o sistema de controle desenvolvido, define-se as ferramentas de integração deste sistema para com um CLP simulado por meio do software *RsLogix Emulate 5000*, software que permite o desenvolvimento de algoritmos e controles para a plataforma *RSLogix*, sem a necessidade imediata de um hardware real de Controlador Programável (CP). O *RSLogix Emulate 5000* simula o comportamento de controladores da linha *ControlLogix* dentro do próprio computador pessoal do engenheiro, permitindo a criação e a depuração de programas no *RSLogix 5000*, em um ambiente controlado e seguro, sem a presença de um controlador físico ou de seus cartões de entrada e saída.

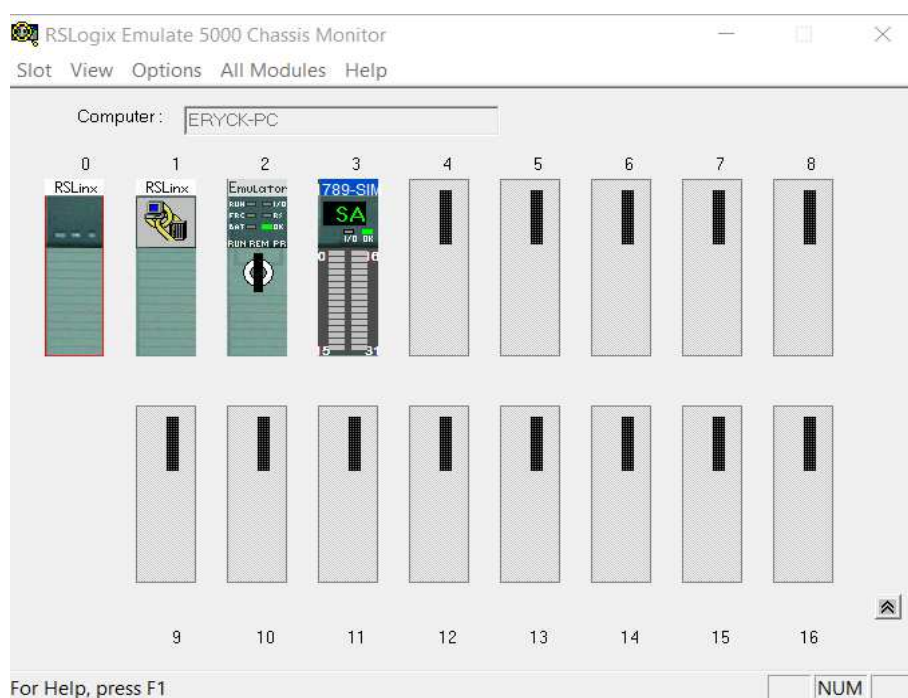


Figura 23 – Tela inicial do software RsLogix Emulate 5000.

Fonte: Autor.

O usuário pode criar um rack virtual de um controlador, com uma ou mais CPUs e um ou mais cartões de entrada e saída digital, conforme a aplicação. Oferecendo então um suporte primordial ao desenvolvimento de sistemas críticos sem a necessidade do teste em campo, com a simulação e testes virtuais para a segurança da aplicação (MELO, 2016).

Essa tela (Figura 23) apresenta uma representação gráfica, que nos mostra de forma semelhante à realidade uma estrutura de cartões e slots do rack de um CLP real. Nessa interface, os dois primeiros slots já estarão ocupados previamente por elementos mandatórios para o funcionamento do emulador: o *RSLinux software* (slot 0) e o *RSLinux Communication Adapter* (slot 1). Estes elementos fazem parte do software *RsLinx Classic*, que é uma solução de comunicação abrangente para integração de todos os dispositivos dos sistemas da plataforma *Rockwell Automation*.

Este software ao mesmo tempo, permite a navegação e visualização de dispositivos em várias redes. Com o *RSLinx Classic*, você pode ver todas as suas redes ativas através de uma única janela e pode executar qualquer combinação de aplicações suportados simultaneamente, através da mesma ou de diferentes redes de comunicação, além de incorporar técnicas avançadas de otimização de dados e contém um conjunto de diagnósticos. Este software ainda disponibiliza um servidor de comunicação completo que possibilita encontrar dispositivos disponíveis em sua rede, gerencia a comunicação e a troca de dados entre CLP e IHM (Interface Homem Máquina) e os demais dispositivos na rede (ALOOMIAN, 2013).

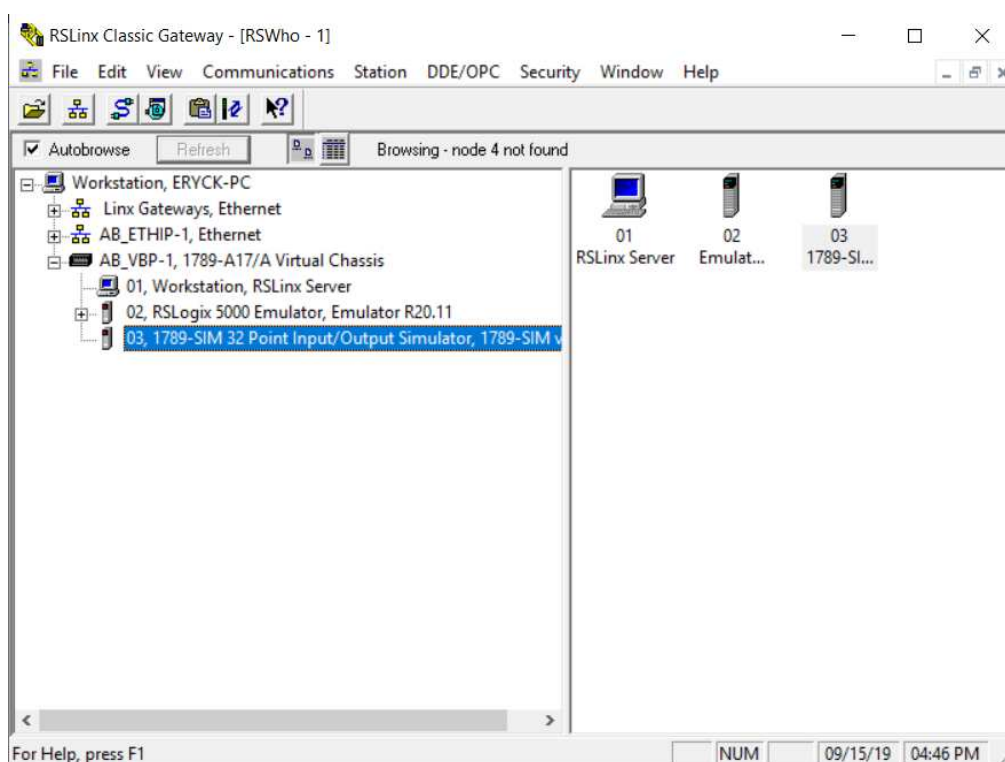


Figura 24 – Tela inicial do software RsLinx com os drivers do CLP virtual configurados.

Fonte: Autor.

Para estabelecer a comunicação entre o CLP virtual e a interface gráfica do sistema deve-se então acessar o software *RsLinx Classic* navegar até a barra de tarefa *Communications* e clicar na opção *Configure Drivers* para criar um drive de comunicação do tipo *Virtual Backplane* (Softlogix58xx, USB), que corresponde ao drive que comunica o *RSLogix Emulate 5000* com o software *RSLogix 5000* (que permite o desenvolvimento da lógica de programação do CLP).

Após configurar o driver de comunicação virtual entre as plataformas, o usuário deve indicar ao software slot da placa de comunicação do CLP virtual indo até a janela *RSWho-1*, expandir o nó *AB_VPB1, 1789-A17/A Virtual Chassis* para visualizar a arquitetura de comunicação do CLP simulado. Para realizar a comunicação OPC do CLP simulado com outros dispositivos de automação, basta clicar com botão direito no objeto cujo nome é *SACI_CLA* (CLP Simulado) e depois clicar na opção *Configure New DDE/OPC Topic*.

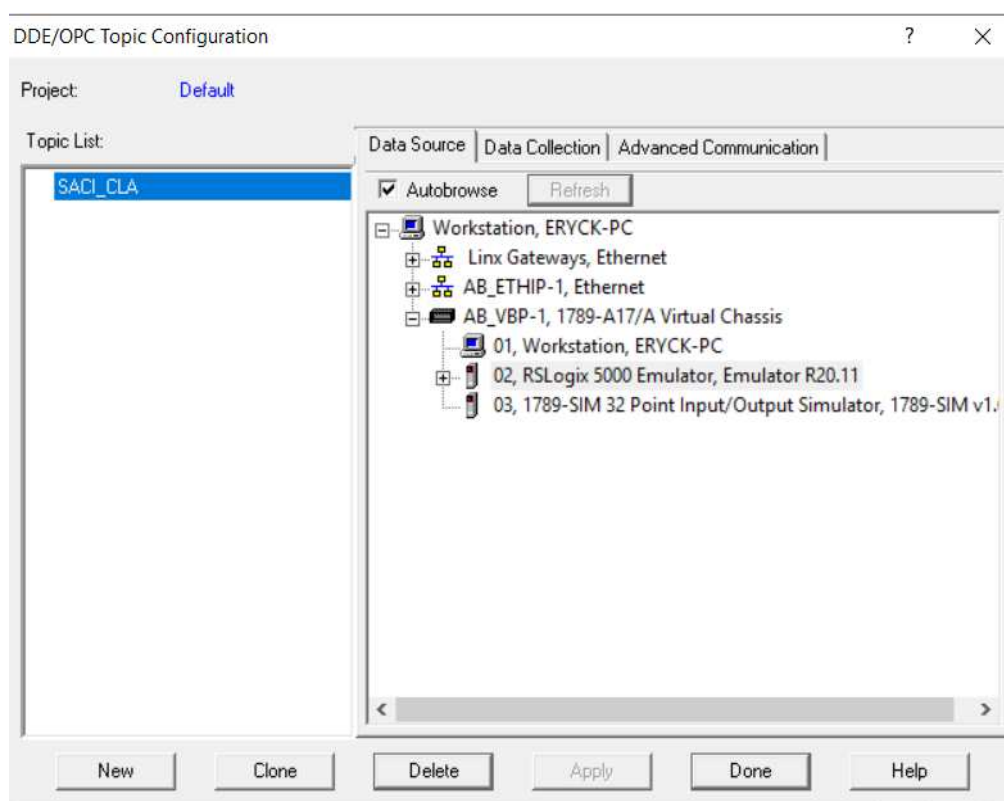


Figura 25 – Configuração driver OPC no software RsLinx.

Fonte: Autor.

É nesta opção que é criado um tópico DDE/OPC necessário para realizar a integração entre os softwares (*RSLogix 5000*, *Matlab/Simulink*) utilizando o padrão de

comunicação OPC. Foi criado um tópico DDE/OPC também com o nome SACI_CLA a fim de padronizar o projeto.

Portanto esta configuração é parte essencial ao desenvolvimento da lógica do programa de controle e responsável pela integração dos softwares componentes do sistema supervisorio, como ilustrado na Figura 26.

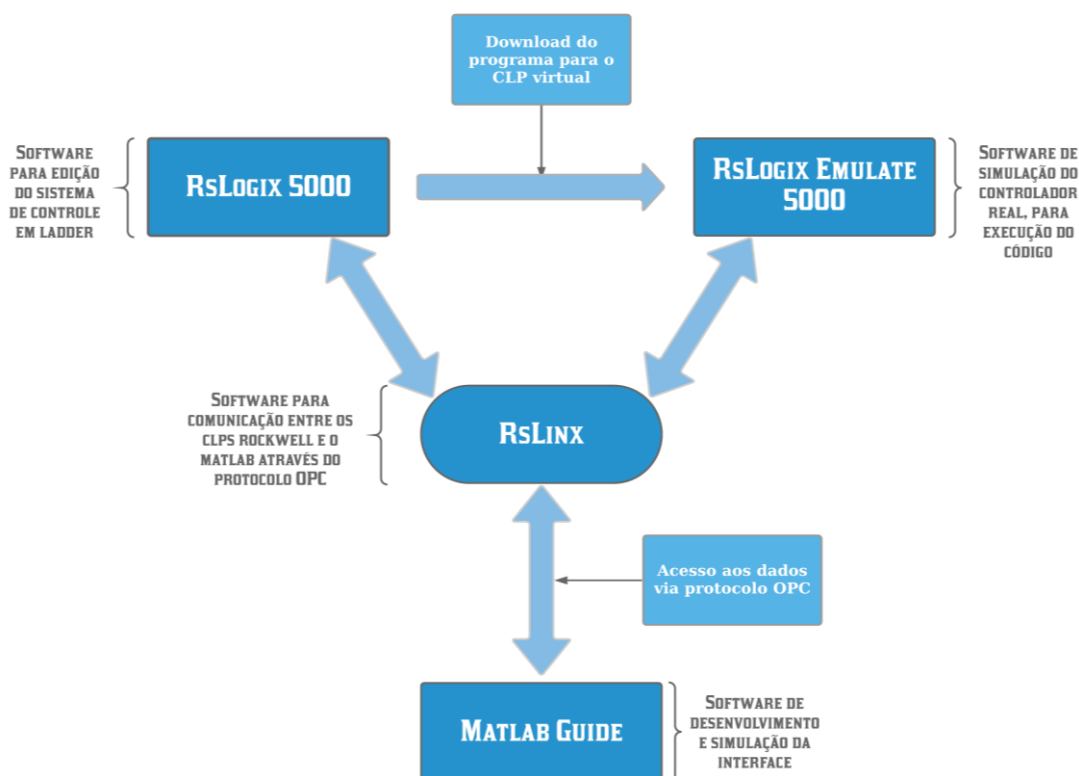


Figura 26 – Integração dos softwares utilizados para o desenvolvimento da solução.

Fonte: Adaptado de (MELO, 2016).

6.4.2. Desenvolvimento do software de controle

Neste trabalho, o sistema de controle da aplicação será desenvolvido no software *RsLogix 5000*. O *RsLogix 5000* é um software para configurar e programar controladores da família Logix5000 como *CompactLogix* e *ControlLogix*. Este software é utilizado para criar e gerenciar projetos para CLP, além de armazenar a lógica, a configuração, os dados e toda a documentação necessária de um projeto de controle. Este poderoso software oferece um pacote de ferramentas para desenvolvimento em lógica discreta, processos, lotes, movimento, segurança e aplicativos baseados em unidade.

Além de oferecer uma interface compatível com IEC61131-3, nos dando acesso a importantes estruturas, matrizes e um conjunto de instruções abrangentes que dão suporte a vários tipos de aplicativos de programação simbólica. Ainda fornece todo suporte à lógica de programação *ladder* em ambiente escada, texto estruturado, diagrama de blocos de função e editores de gráficos de função sequencial para o desenvolvimento do programa. Com o *RSLogix 5000*, pode-se ter acesso em tempo real a informações primordiais dos processos controlados, além de facilitar a criação e o desenvolvimento de um programa para qualquer lógica complexa e aplicação.

Para a criação do projeto de controle do sistema no software *RsLogix 5000* deve-se seguir a parte inicial do software e na janela de escolha do controlador acessar a aba “*New Controller*”, em seguida escolher o tipo de controlador “*Emulator RSLogix Emulate 5000 Controller*”, revisão 20, que representa o controlador simulado da aplicação. Deve-se atentar que a CPU do emulador foi instalada no slot 2 do rack, então o projeto do controlador deve atender ao mesmo slot para que haja a comunicação.

The image shows the 'New Controller' dialog box in the RSLogix 5000 software. The dialog is titled 'New Controller' and has a close button (X) in the top right corner. It contains the following fields and options:

- Vendor:** Allen-Bradley
- Type:** Emulator RSLogix Emulate 5000 Controller (dropdown menu)
- Revision:** 20 (dropdown menu)
- ☐ Redundancy Enabled
- Name:** SACI_CLA
- Description:** Sistema de Controle do Sistema Automático de Combate a Princípio de Incêndio do Prédio Depósito de Propulsores do CLA.
- Chassis Type:** 1756-A10 10-Slot ControlLogix Chassis (dropdown menu)
- Slot:** 2 (dropdown menu) Safety Partner Slot: <none>
- Create In:** C:\RSLogix 5000\Projects (text field) Browse... button
- Security Authority:** No Protection (dropdown menu)
- ☐ Use only the selected Security Authority for Authentication and Authorization

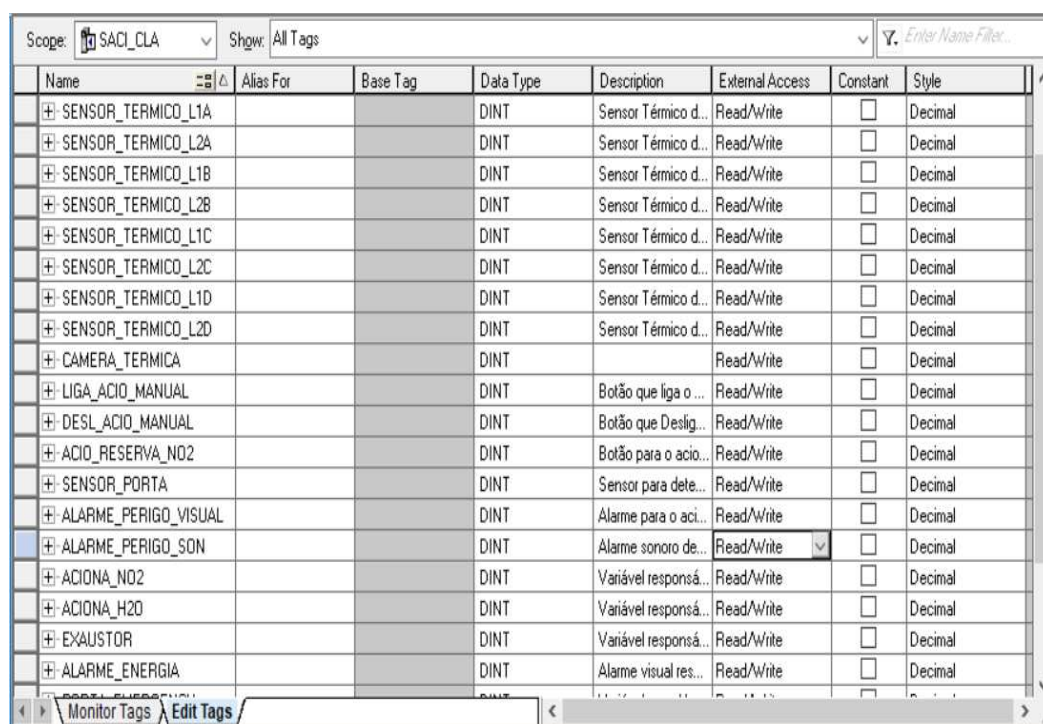
Buttons: OK, Cancel, Help.

Figura 27 – Configuração do controlador do sistema.

Fonte: Autor.

Para o prosseguimento da programação do sistema de controle no software RsLogix 5000, a primeira ação a ser tomada é a de definir no programa todas as *tags* (variáveis presentes na lógica de programação responsáveis por trocar dados via protocolo OPC com o MATLAB® e o sistema SCADA) a serem criadas e seu tipo de dados através do *Controller Tags*.

As *tags* representam os endereços físicos e de memórias utilizados pelo CLP para enviar e receber dados dos dispositivos de automação integrados no sistema de controle. Assim neste projeto as *tags* são usadas para compartilhar informações entre o CLP, o sistema SCADA (MATLAB®). Para o sistema SCADA executar a leitura e escrita dos dados das *tags* do bloco CLP simulado, através do *RSLink*, estas devem estar escritas no módulo *Controller Tags* do *RsLogix 5000* e desta mesma forma devem ser escritas para que os itens no supervisório do MATLAB® possam fazer compartilhamento de informações com o CLP e assim controlar as ações do sistema de controle.



Name	Alias For	Base Tag	Data Type	Description	External Access	Constant	Style
SENSOR_TERMICO_L1A			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L2A			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L1B			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L2B			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L1C			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L2C			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L1D			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_TERMICO_L2D			DINT	Sensor Térmico d...	Read/Write	☐	Decimal
CAMERA_TERMICA			DINT		Read/Write	☐	Decimal
LIGA_ACIQ_MANUAL			DINT	Botão que liga o ...	Read/Write	☐	Decimal
DESL_ACIQ_MANUAL			DINT	Botão que Deslig...	Read/Write	☐	Decimal
ACIO_RESERVA_N02			DINT	Botão para o acio...	Read/Write	☐	Decimal
SENSOR_PORTA			DINT	Sensor para dete...	Read/Write	☐	Decimal
ALARME_PERIGO_VISUAL			DINT	Alarma para o aci...	Read/Write	☐	Decimal
ALARME_PERIGO_SON			DINT	Alarma sonoro de...	Read/Write	☐	Decimal
ACIONA_N02			DINT	Variável responsá...	Read/Write	☐	Decimal
ACIONA_H20			DINT	Variável responsá...	Read/Write	☐	Decimal
EXAUSTOR			DINT	Variável responsá...	Read/Write	☐	Decimal
ALARME_ENERGIA			DINT	Alarma visual res...	Read/Write	☐	Decimal

Figura 28 – Controller Tags, seção de criação e monitoramento das tags do CLP.

Fonte: Autor.

Após a definição das *tags* de endereçamento dos objetos de controle do sistema, partiu-se para a programação das estratégias de controle modeladas anteriormente em linguagem *ladder*. A fim de organizar a lógica de programação e facilitar entendimento da mesma, o programa foi dividido em 4 módulos de tarefas (MainRoutine, Rotina_Principal,

Sistema_Pressão e Alarmes) que por sua vez são subdivididas em rotinas e sub-rotinas que compõem a lógica de controle do sistema.

Ao se iniciar a descrição da lógica de programação do sistema de controle do projeto, para efeitos de simulação no software de supervisão do projeto alguns componentes presentes no modelo foram acionados manualmente, porém na prática, na aplicação do sistema real, se ativariam automaticamente, como é o caso da câmera térmica para detecção de movimento, sensores térmicos, sensor de pressão e sensor de porta de emergência. Por meio projeto elétrico real do sistema temos uma gama de 10 ramais de 4 splinkers cada para o combate ao incêndio no prédio, para efeitos de simulação e supervisão serão utilizados 4 ramais de spinklers comandados pela rede de sensores térmicos em laço cruzado para a determinação de sua ativação.

A seguir, tem-se na Figura 29 o primeiro módulo do programa em linguagem *Ladder* desenvolvido com o software *RSlogix 5000*, que é responsável por chamar as rotinas do sistema para que possam atuar.

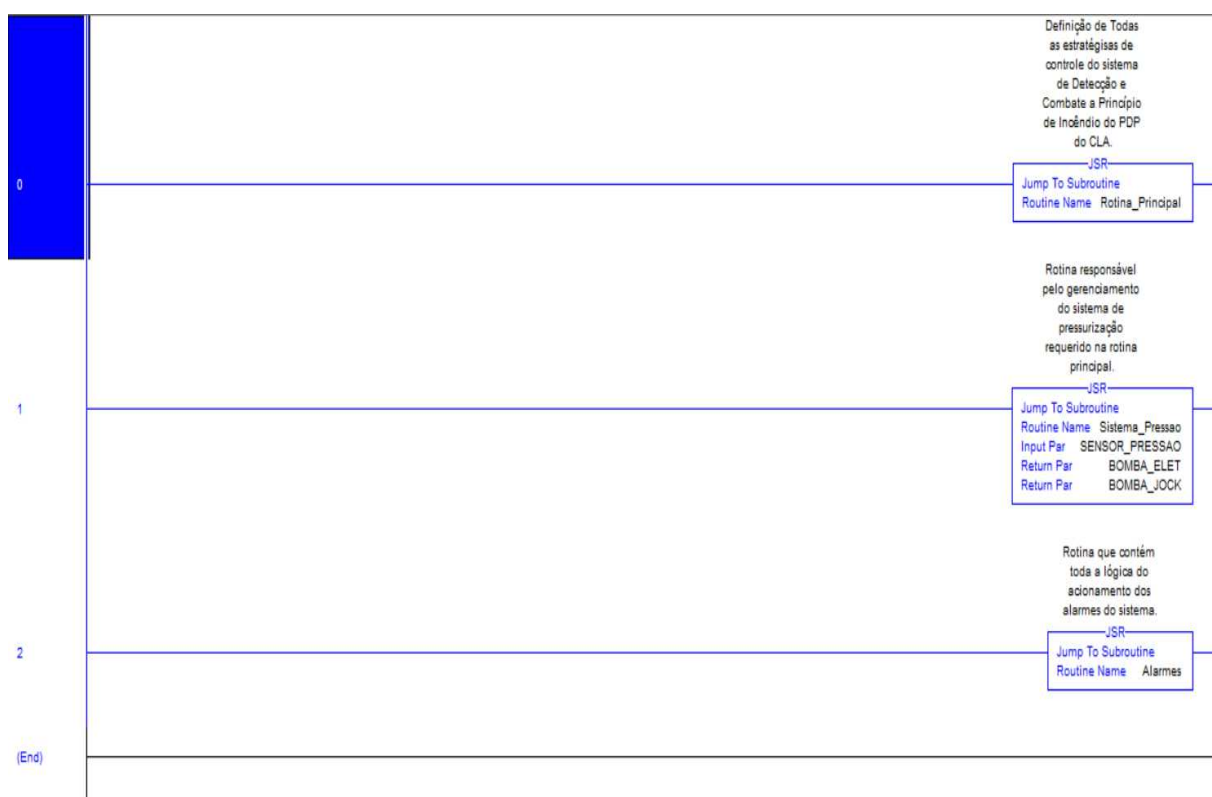


Figura 29 – Módulo contendo as instruções JSR para chamar as sub-rotinas.

Fonte: Autor.

Para a Estratégia de funcionamento do sistema de detecção e combate por água descrita na Seção 6.2, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na norma NBR 17240/2010 obtém-se assim a seguinte programação da estratégia, por determinação da norma no caso de combate por meio de unidade de água, as pessoas não se encontram imediatamente em perigo, contudo há a necessidade de desligamento da alimentação elétrica de todos os equipamentos e instalações para evitar novos focos de incêndio que possam surgir em decorrência de curtos-circuitos gerados pela água de combate. Assim caso seja detectado a presença de pessoas na área e seja detectada presença de fumaça, elevação de temperatura e/ou chama, deve-se realizar o desligamento da alimentação elétrica de todos os equipamentos, para que então se possa acionar os ramais de sprinklers.

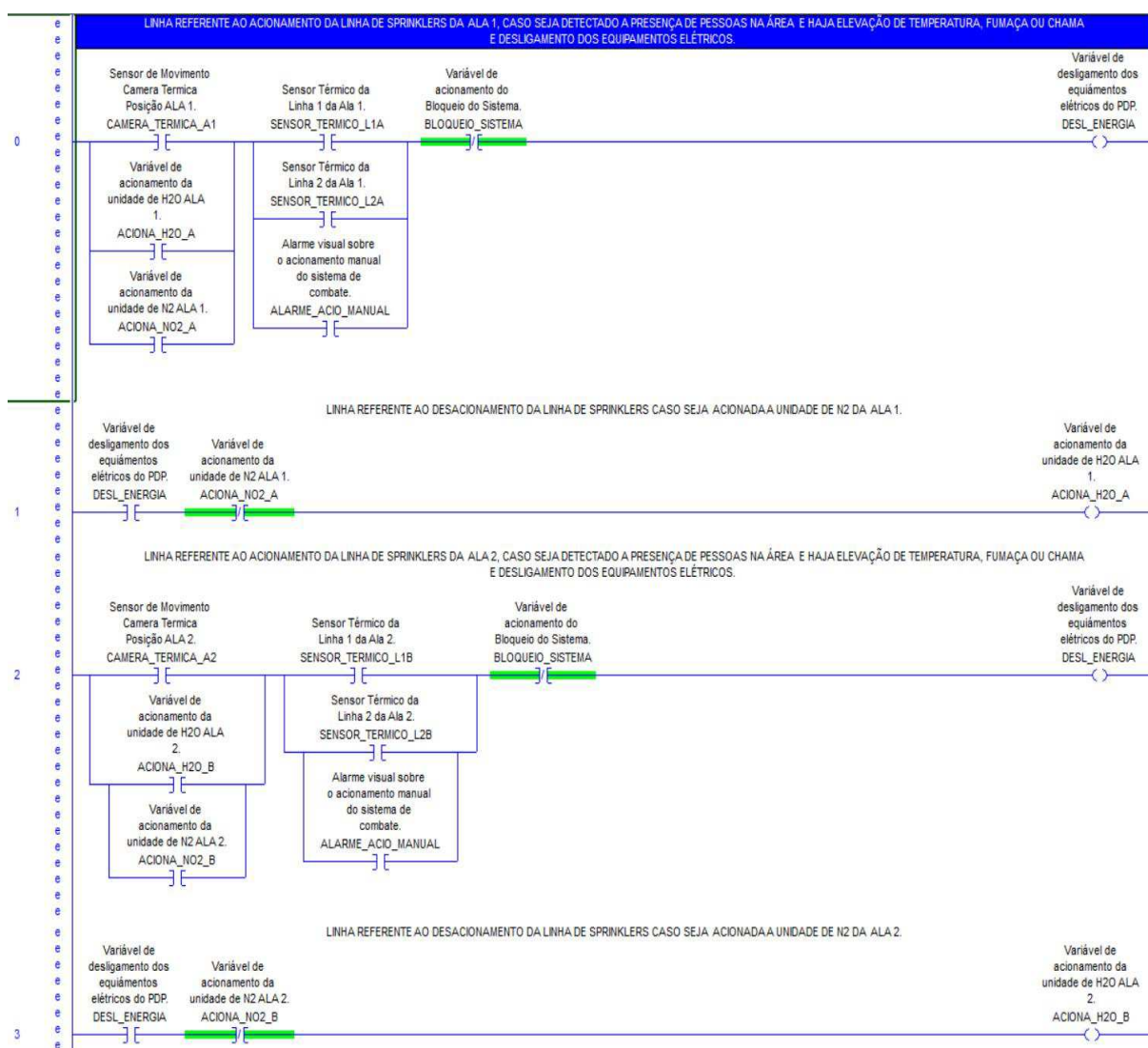


Figura 30 – Linhas de controle do módulo programa principal para ativação do combate por água nas Alas 1 e 2.

Fonte: Autor.

Portanto para a representação desta estratégia de acionamento dos ramais de combate a água temos programadas as linhas 0, 2, 4 e 6 representando as 4 linhas de sprinklers a serem ativadas. O contato fechado da Unidade de N₂ nas linhas 1, 3, 5 e 7 representam a condição para que não ocorra o acionamento simultâneo de ambas as unidades, ou seja, caso o combate com gás inerte seja iniciado, automaticamente o combate com água é interrompido.

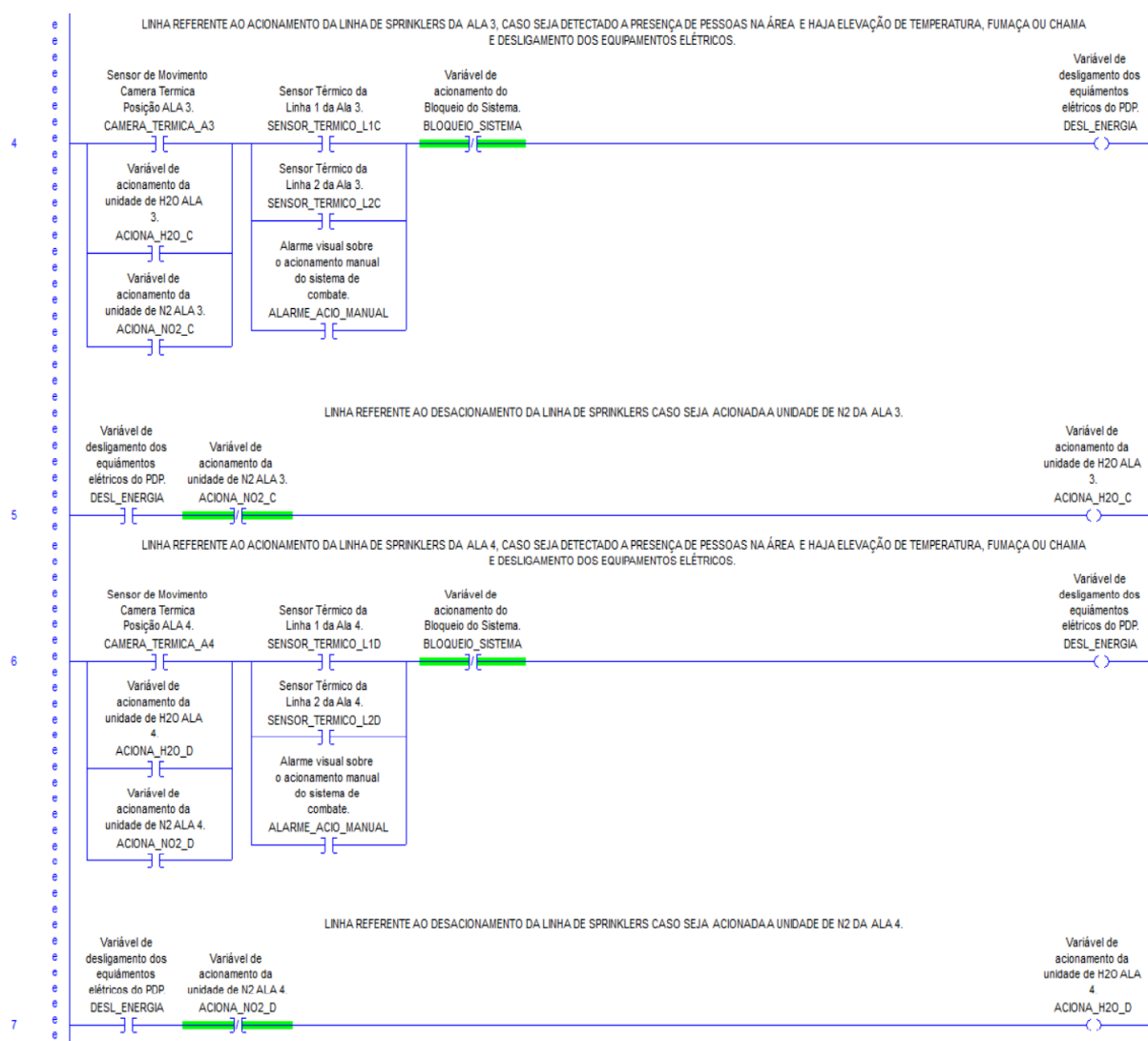


Figura 31 – Linhas de controle do módulo programa principal para ativação do combate por água nas Alas 3 e 4.

Fonte: Autor.

Para a condição de não haver pessoas no local detectadas pela câmera térmica, e houver a captura presença de fumaça, elevação de temperatura e/ou chama, dá-se início à estratégia de controle de funcionamento do sistema de combate por gás Nitrogênio. Para este evento, tem-se nas linhas 8 a 11 do código *Ladder*, a lógica de programação implementada. Os contatos em paralelo presentes nesta linha estão relacionados a preparação do sistema de combate, na qual

estão relacionados os alarmes de pré-descarga e os temporizadores responsáveis pelo retardo de ativação do combate por gás inerte, que tem a função de proteção da vida humana no área que será combatido o incêndio, explicitado na sessão 6.2.

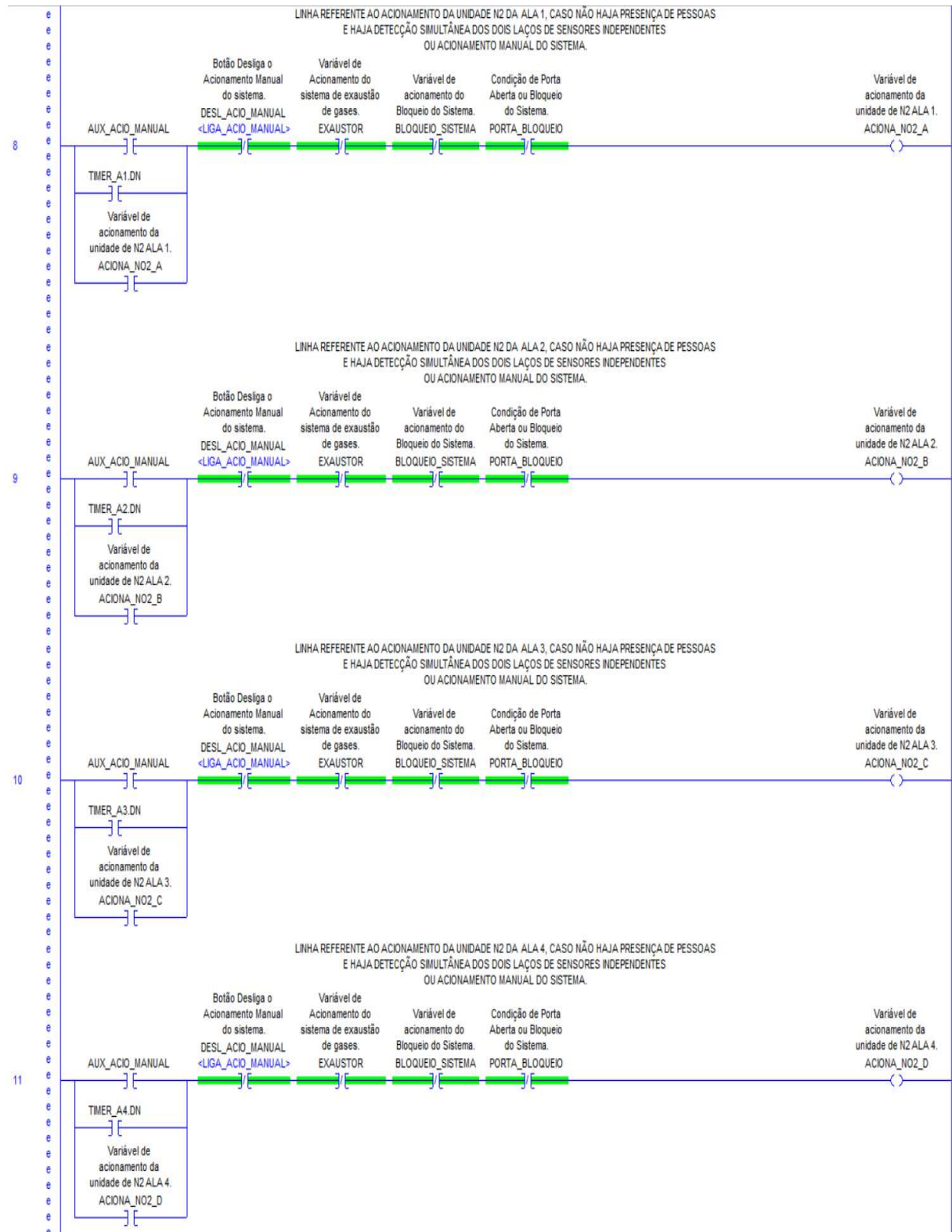


Figura 32 – Linhas do sistema de controle referentes à estratégia de combate a incêndio por N2.

Fonte: Autor.

Nas linhas seguintes há a ativação do alarme de evacuação e preparação para que o sistema de combate automático entre em operação, como definido na estratégia de controle a ativação ocorre somente no caso de duas linhas de detecção independentes serem acionadas simultaneamente (laços ou linhas cruzadas). Para tanto, na programação lógica foram implementados dois laços denominados L1 e L2, contendo cada um os sensores térmicos responsáveis pela detecção. Quando acionados os detectores o alarme de pré-descarga é ativado e a sequência de tempo é disparada para a ativação do sistema de combate por gás.

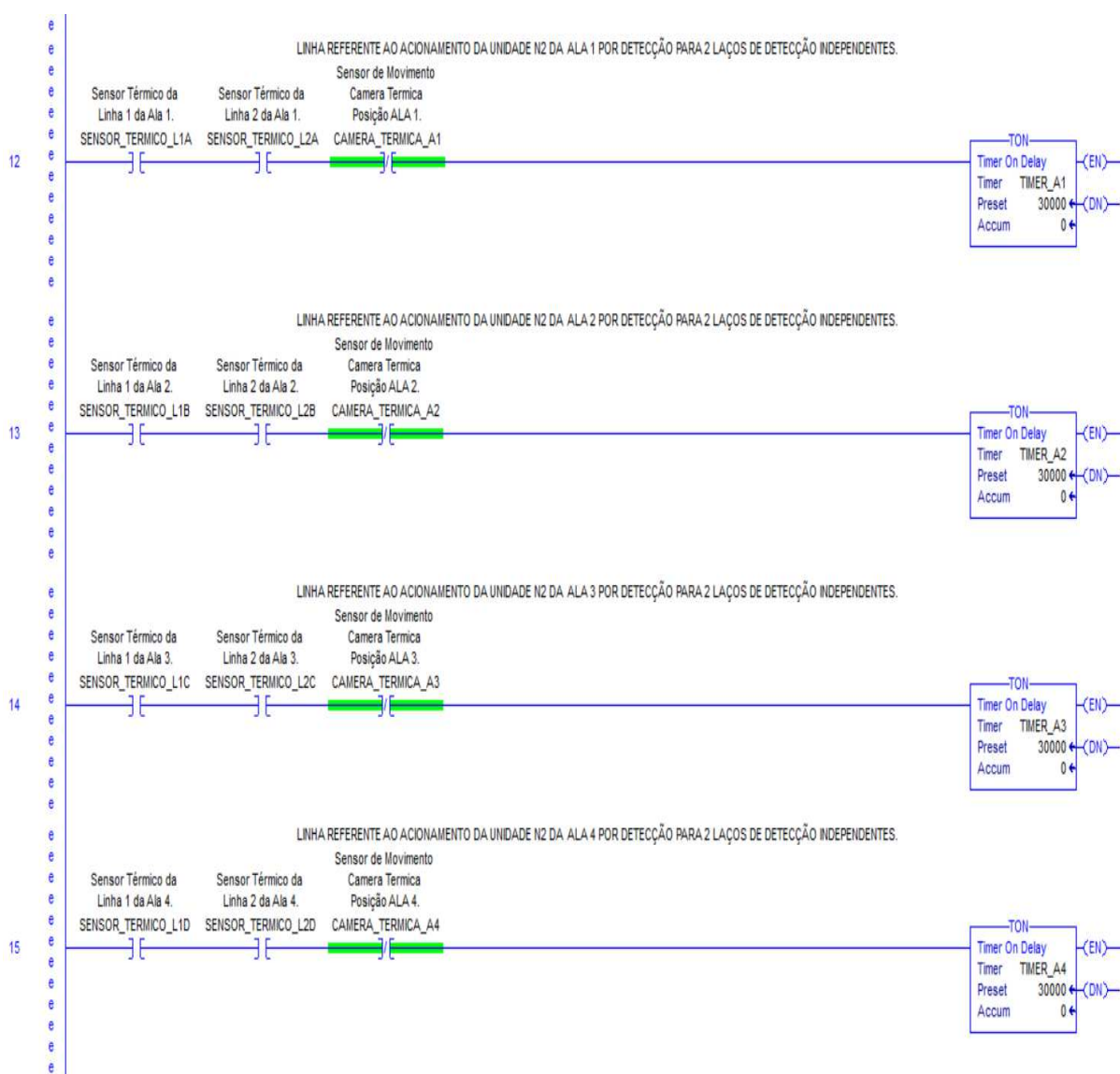


Figura 33 – Detecção de aumento de temperatura, chamas e fumaça por meio de linhas cruzadas.

Fonte: Autor.

Após a ativação do sistema de combate com Nitrogênio é esperado uma certa sobrepressão no local, pois a ativação destes sistemas acarreta a ativação de um sistema de estanqueidade contra o vazamento do gás, para não afetar outras áreas no entorno. Esta sobrepressão quando não devidamente controlada, pode colocar em perigo outras instalações ou o pessoal de segurança na área, sendo necessário, portanto, realizar por meio de exaustor a sucção do gás de combate após a extinção do incêndio.

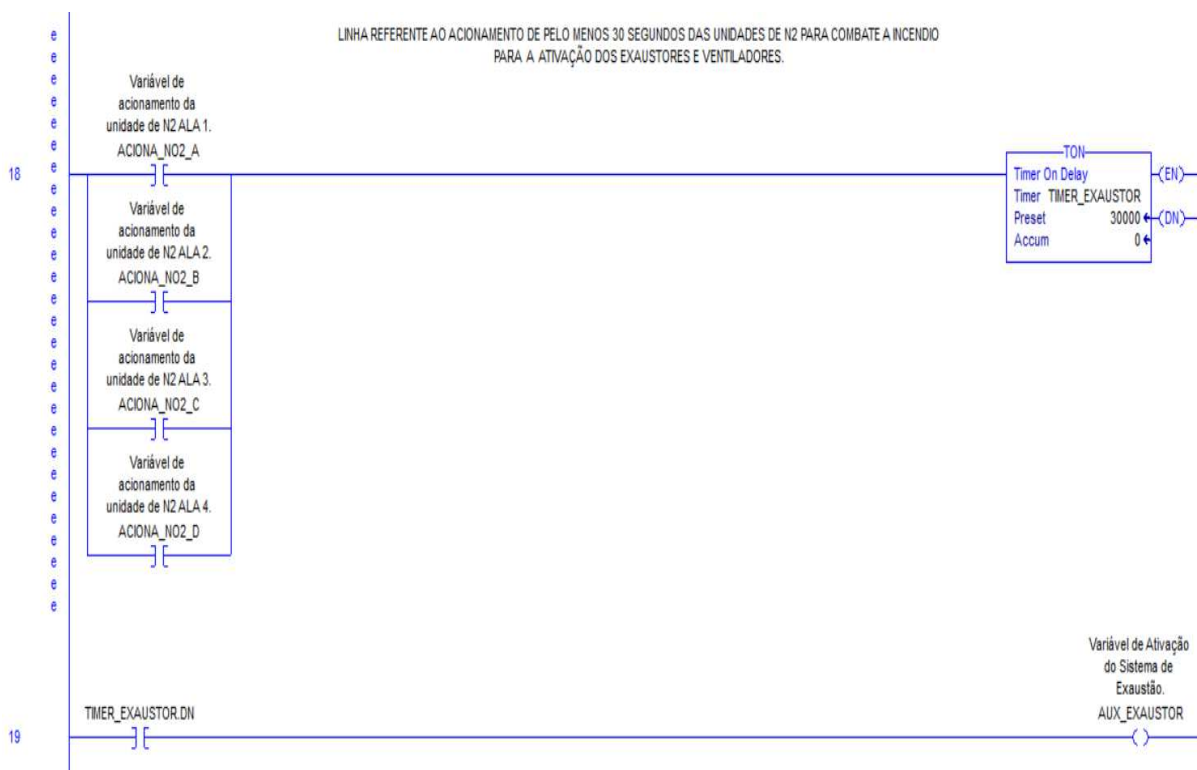


Figura 34 – Retardo de ativação dos exaustores.

Fonte: Autor.

A implementação do acionamento do alarme para evacuação e disparo do sistema de combate com N₂ na área protegida, bem como a ativação do exaustor e ventilador para redução da sobrepressão e extinção do acúmulo de gás nas áreas protegidas, estão presentes nas linhas 1 (módulo alarme), 20 e 21 (módulo programa). Para que essa ativação ocorra foi instaurado na programação da estratégia, que ao se iniciar o combate por gás inerte um temporizador é acionado para garantir que o mínimo 30 s de combate ao incêndio seja ativado, após essa contagem de tempo o sistema de exaustores e ventiladores é ativado, disparando um novo temporizador de contagem decrescente que mantém o sistema em funcionamento durante os 30 s requeridos para que haja a dispersão dos gases no local atingido e assim a posterior liberação de acesso à área atingida.

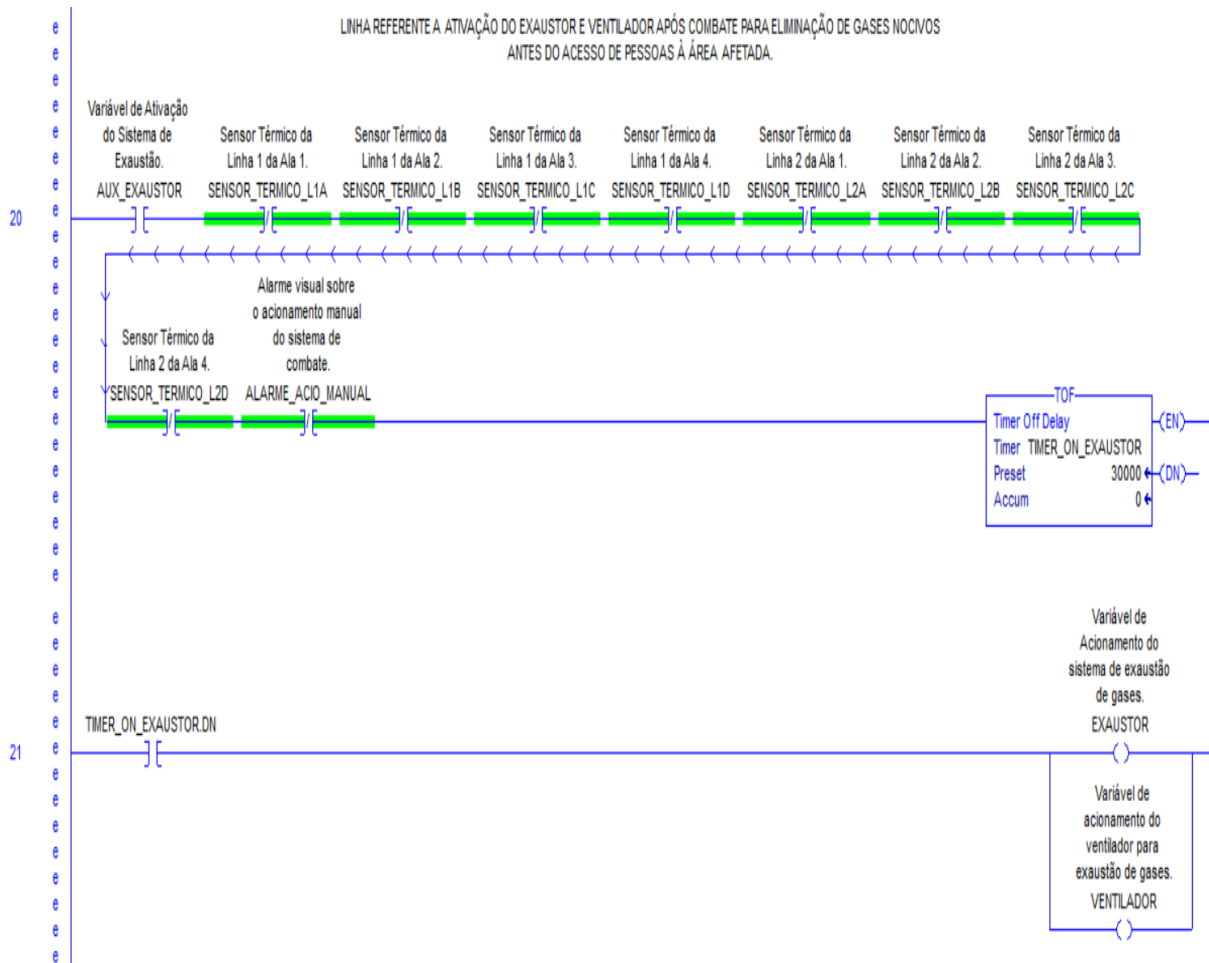


Figura 35 – Acionamento do sistema de exaustão de gases.

Fonte: Autor.

Para sinalizar que a área está com o acesso liberado, que o sistema só será iniciado após a verificação de que não há nenhuma ocorrência ou anormalidade e que, o processo de ventilação e exaustão foi finalizado, ilustrados nas linhas 24, 25 e 26 (módulo programa) e na linha 0 (módulo alarme) para ativar uma lâmpada de acesso após o período de tempo estipulado pelo temporizador anterior.



Figura 36 – Liberação de acesso à área atingida.

Fonte: Autor.

Pela NBR 17240/2010, tem-se a sessão que determina que para áreas fechadas com possibilidade de presença humana em caso de manutenção, a lógica de controle programada para o sistema deverá prever um bloqueio (desativação temporária) do sistema na forma de um acionador manual restrito, que irá impedir o combate com gás quando pessoas estiverem presentes. Esse acionador desliga o sistema por um período de tempo determinado, chamado assim de trava do sistema. Portanto ao prosseguir com o acionamento do botão de bloqueio, este aciona a saída DN do temporizador `TIMER_BLOQUEIO` que ativa o bit auxiliar presente nas linhas 8, 9, 10 e 11 impedindo o acionamento das unidades de N_2 . Quando o sistema for desbloqueado este contador inicia um retardo de 30 s para que possa haver a saída das pessoas da área protegida e assim ao termino desta contagem o sistema volta a ficar ativo e pronto para o acionamento das unidades de N_2 .

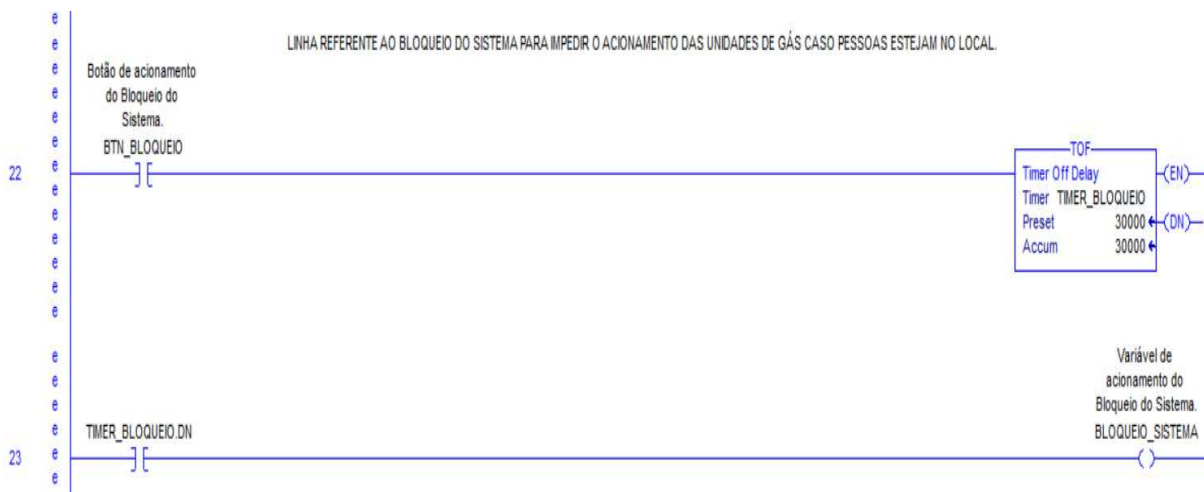


Figura 37 – Linha referente ao bloqueio do sistema através de um botão físico.

Fonte: Autor.

De acordo com a norma NBR 17240/2010 em áreas amplas tem-se a necessidade de prolongar o tempo de concentração do gás em cada área específica para a extinção das chamas e consequentemente resfriar o ambiente evitando o ressurgimento do fogo. Diante disso, após o disparo da unidade de gás principal o sistema de detecção e combate deve permitir o disparo manual da reserva de gás parcialmente ou, na ocorrência de defeito do sistema de detecção, toda a reserva ou parte dela deve ser disparada manualmente no local em questão.

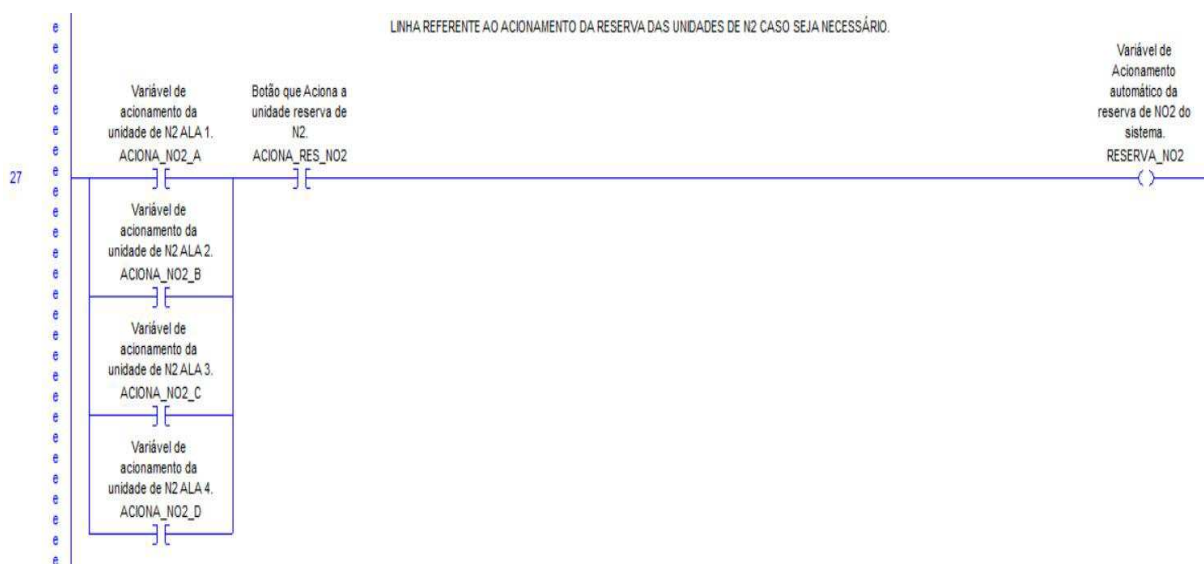


Figura 38 – Acionamento da unidade reserva de N2 caso necessário.

Fonte: Autor.

Para que o sistema de combate com água possa ter sempre sua constância de distribuição e a pressão devida, o sistema de pressurização deve ser programado de acordo com sua estratégia de controle, que nos fornece os dados para tal programação. Assim de acordo

com a estratégia a bomba *jockey* deve ser acionada automaticamente quando a pressão na linha de fluxo de água desce à 10 bar (146 psi), assim ela pressuriza a linha e desliga quando alcança 10,75 bar (156 psi). No caso de uma emergência, a demanda de água solicitada por qualquer dispositivo contra incêndio deve resultar numa queda de pressão na linha que indicará ao controlador da bomba principal a necessidade do seu acionamento quando a pressão do sistema cair para 9,75 bar (140 psi).



Figura 39 – Estratégia de ativação do sistema de pressurização do fluxo de água.

Fonte: Autor.

Para esta estratégia então temos as variáveis que atendem os valores de acionamento da bomba jockey e da bomba principal, uma estrutura de comparação é aplicada à programação realizada a fim de comparar os valores das variáveis e a partir deste resultado acionar a bomba jockey ou a bomba principal, mostrando que ambas não podem ser acionadas ao mesmo tempo.

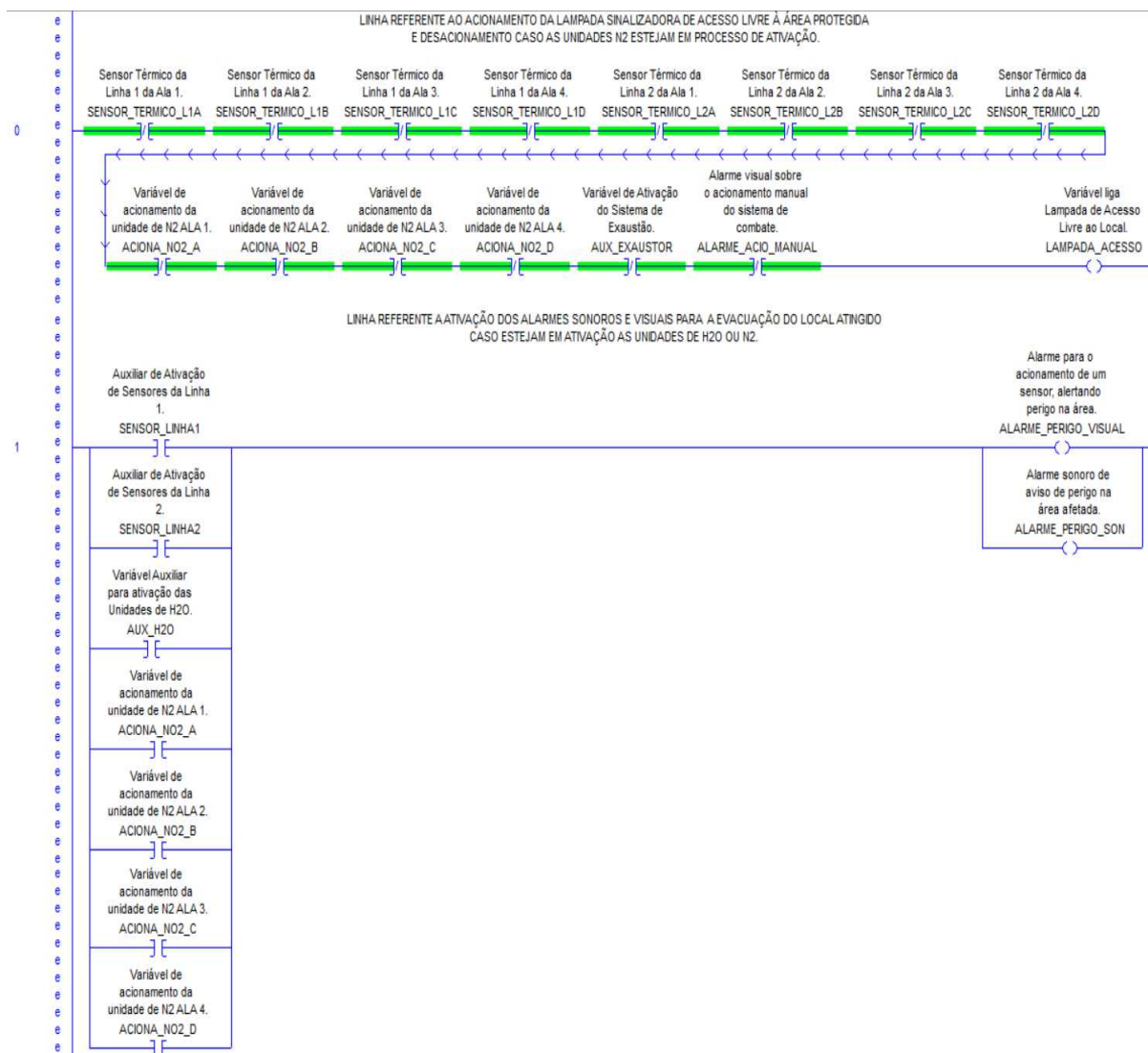


Figura 40 – Módulo de alarmes do sistema, indicação de lâmpada de acesso e alarmes visual e sonoro.

Fonte: Autor.

Por fim demonstra-se o módulo de alarme responsável por toda a sinalização do modelo do sistema de detecção e combate a princípio de incêndios do PDP, sendo, portanto, o módulo que contém os alarmes que serão ativados na ocorrência dos eventos programados. Na linha 0 demonstra-se a ativação da advertência visual implementada pela lâmpada de acesso ao local, este acesso só será liberado caso não haja nenhuma anormalidade no local. Na linha 1 tem-se demonstrado as ações que implementam os alarmes sonoro e visual a partir da detecção de qualquer um dos sensores do sistema e a partir do momento da ativação das unidades de H2O ou N2 do sistema.

Nas linhas 5 e 6 tem-se a programação dos módulos de alarme para os exaustores e para o acionamento manual do sistema.

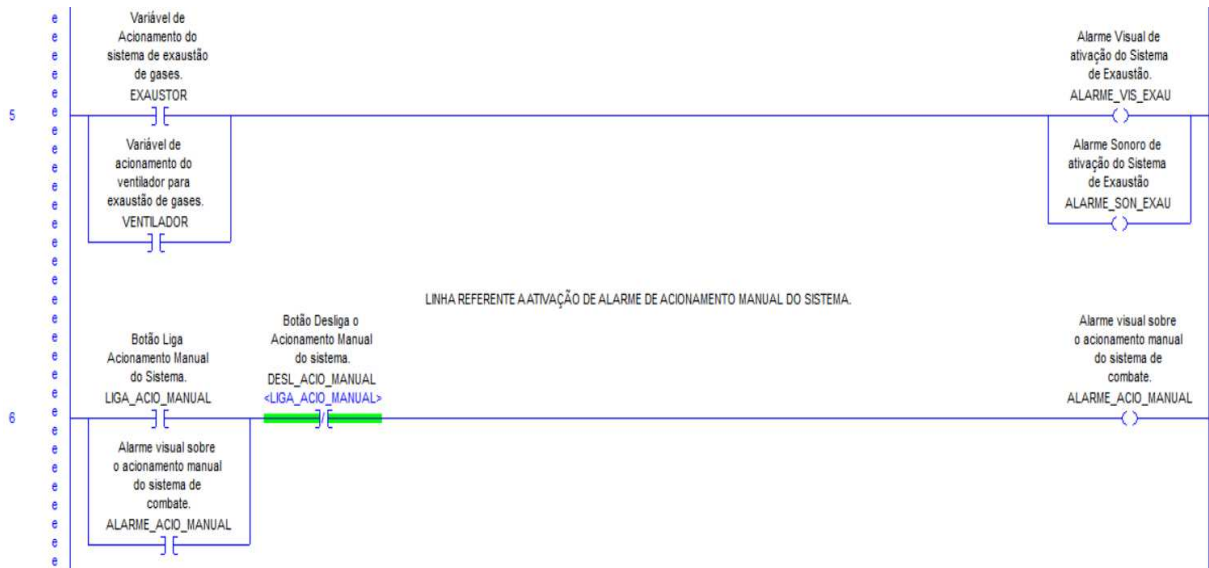


Figura 41 – Alarmes visual e sonoro para o acionamento dos exaustores e alarme de acionamento manual do sistema.

Fonte: Autor.

Nas linhas 7, 8 e 9 respectivamente temos os alarmes referentes ao bloqueio do sistema, ao alarme visual de sinalização para o desligamento dos equipamentos elétricos da área atingida e alarme visual de sinalização de porta de acesso aberta.



Figura 42 – Alarmes referentes ao bloqueio do sistema, desligamento dos equipamentos elétricos e à porta de acesso.

Fonte: Autor.

Assim temos definida toda a programação necessária para o controle e implementação das estratégias de controle do sistema de detecção e combate a princípio de incêndio do PDP do Centro de Lançamento de Alcântara.

6.4.3. Projeto da interface

Com as estratégias de controle do sistema definidas, programadas e aplicadas no sistema de controle, parte-se para a produção da tela do sistema supervisorio que fará o controle das variáveis e dos elementos que compõem o sistema, para tanto foi definido que o sistema teria uma tela gráfica, que por sua vez consegue trazer em seu escopo todos os itens manipulados neste projeto. Para criar uma tela utilizando o editor de layouts de interface no MATLAB® deve-se digitar o comando *guide* na janela *command window*. Uma tela denominada *GUIDE Quick Start* será inicializada, para que uma nova interface possa ser criada selecionamos um *template Blank GUI* (default) no campo *GUIDE templates* pela aba *Create New GUI*. A tela de edição da interface criada é então exibida, podendo inicializar o desenvolvimento do projeto (CARMO, 2017).

Ao salvar o projeto com o nome do sistema supervisorio, arquivos com a extensão *.fig* e *.m* são criados. Os arquivos do tipo *.fig* contém toda a estrutura desenhada para a interface, ele contém todos os elementos gráficos programados. Já os arquivos cuja extensão é *.m* criam automaticamente as funções padrão para a correta inicialização das interfaces, neste arquivo estão contidos os códigos responsáveis pelas manipulações das variáveis com os comandos *get* e *set* para que as mesmas venham a atuar de modo análogo ao sistema de controle no CLP.

Existem objetos disponíveis para a estruturação das interfaces *GUIDE*. Dentre eles os objetos empregados na estruturação deste projeto foram:

- **Push button:** São botões que são utilizados para acionar algum evento que compreendem: ligar e desligar as bombas, acionar manualmente o sistema, acionar o travamento das portas de emergência, acionar o sistema de reserva de NO₂, etc.
- **Edit text:** Por meio destes objetos é possível visualizar o valor das variáveis em tempo real. Eles também são utilizados para inserir valores dos objetos como, por exemplo, valores de pressão do sistema de pressurização do prédio.

- **Static Text:** São simples blocos de texto utilizados para nomear partes da interface. Utilizados aqui para nomear os objetos utilizados e algumas funções do sistema.
- **Pop-up menu:** Com este objeto, o usuário pode escolher uma determinada função a ser executada.
- **Axes:** Estes objetos são de grande importância ao desenvolvimento da solução pois, por meio destes *axes*, as figuras que representam os objetos de controle do sistema podem ser exibidas.
- **Panel:** Estes objetos basicamente agrupam outros que tenham funções conjuntas como, por exemplo, o *edit text*, o *static text* e o *push button* para acionamento da porcentagem de abertura de uma válvula.

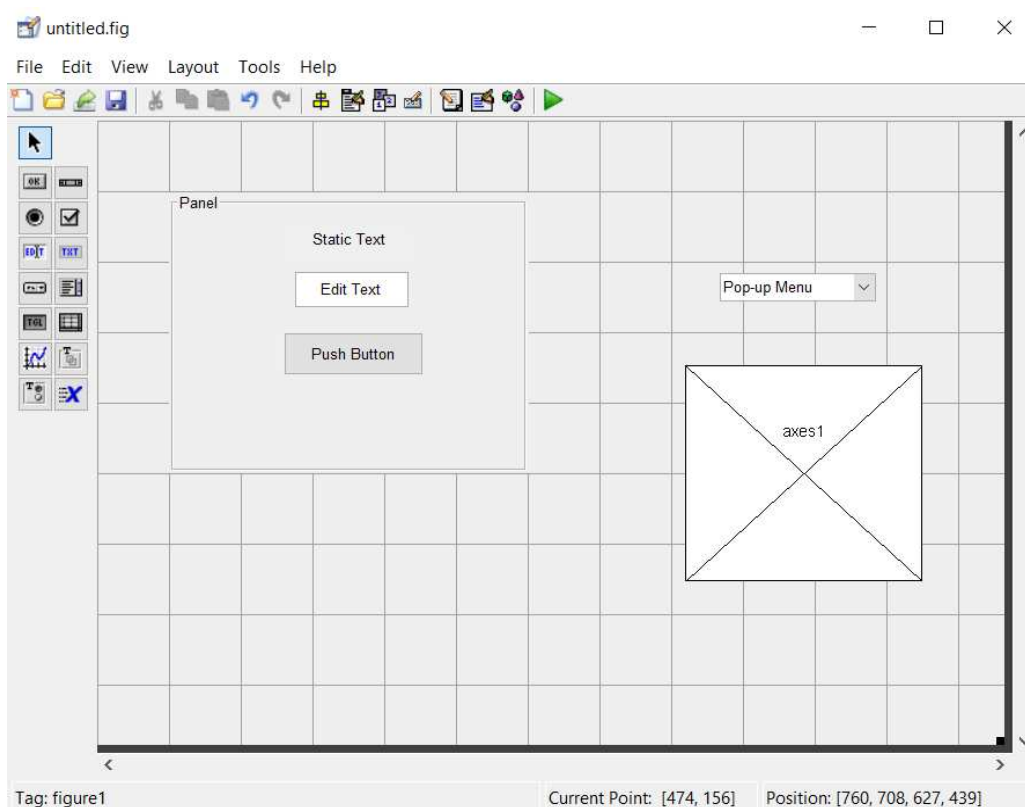


Figura 43 – Objetos de construção de interfaces gráficas por meio do editor de *layout* GUIDE.

Fonte: Autor.

Como previsto inicialmente, elaborou-se um sistema de supervisão e controle utilizando como ferramenta o GUIDE do software MATLAB®, para simular o sistema de controle e as estratégias de controle aplicadas no funcionamento de um sistema de detecção e alarme de incêndios, por meio de sua extensa biblioteca de recursos esta ferramenta

disponibiliza animação de objetos e recursos gráficos que facilitam a simulação das estratégias e ativação dos módulos de controle, permitindo dessa forma, o acionamento dos sensores térmicos, acionador manual, unidades de N2, unidades de H2O, exaustor, ventilador e os alarmes para sinalização das ocorrências na área protegida.

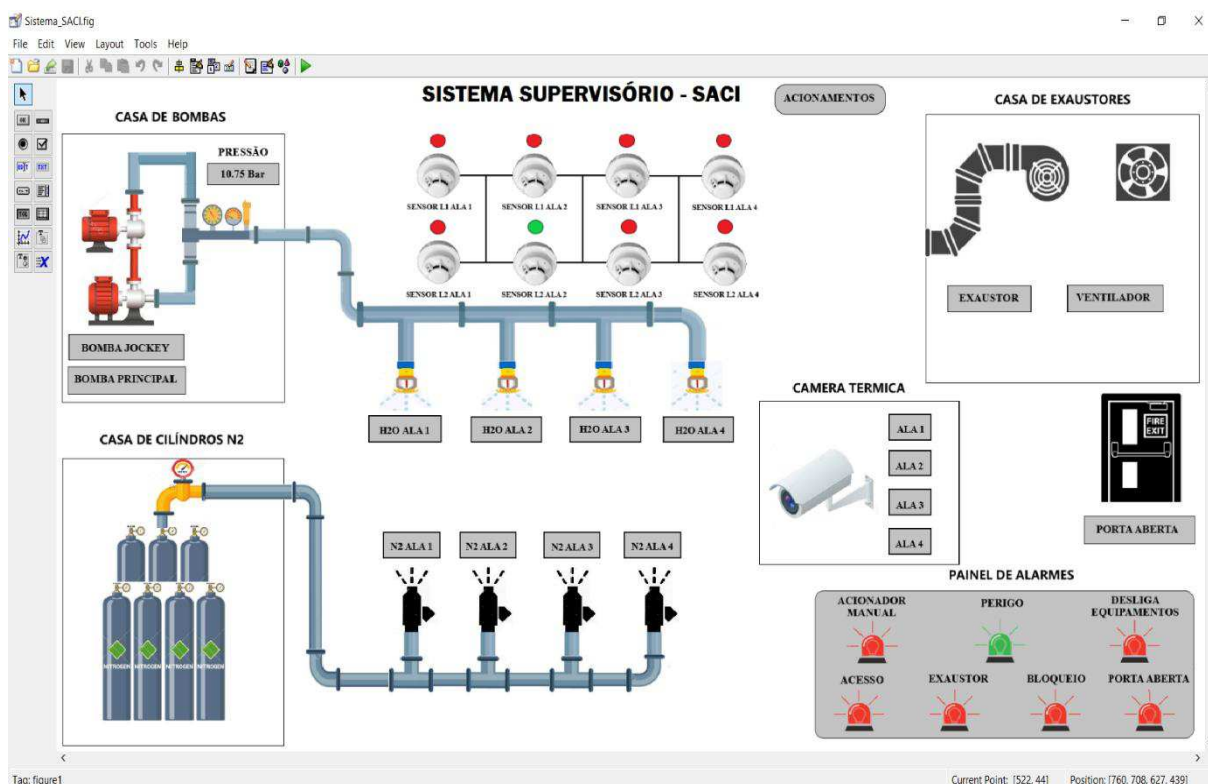


Figura 44 - Projeto GUIDE tela de supervisão do sistema SACI.

Fonte: Autor.

A representação do sistema de combate a princípio de incêndio do PDP pode então ser obtida por meio dos objetos gráficos oferecidos pelo GUIDE, oferecendo interatividade desta interface com o sistema de controle programado previamente. Peças essenciais para esta interatividade são os *axes* e os *push buttons*, os *axes* são responsáveis pela integração de todas as figuras que representam os objetos do sistema que simulam o sistema real instalado no PDP, estes objetos simulam os sensores, atuadores contra incêndio, bombas, câmera térmica, alarmes visuais e encanamentos criando assim um desenho esquemático da planta do prédio, já os *push buttons* são adicionados à tela para executar os acionamentos dos atuadores e para mostrar o status dos elementos do sistema. Após a inserção dos objetos mencionados, a tela é apresentada pela Figura 44.

6.4.4. Conexão entre sistema e servidor OPC e funcionamento do sistema

O procedimento realizado no software MATLAB[®] para que possa haver a troca de dados com os dispositivos de automação utilizados no sistema é feito através do OPC Toolbox, ferramenta que permite a comunicação do MATLAB[®] com servidores OPC dos mais variados fabricantes que desenvolvem softwares utilizados na indústria, sendo assim através desta ferramenta tornou-se possível a supervisão das variáveis existentes no sistema de controle do sistema de combate a incêndio através da interface gráfica desenvolvida na ferramenta GUIDE e além da aplicação das estratégias de controle desenvolvidas para estes sistema utilizando o software *RSLogix 5000*. Neste projeto, o *RSLinx* é empregado como um servidor OPC que gera os dados da aplicação e o *OPC Toolbox* é um cliente OPC que consumirá e retornará dados ao servidor.

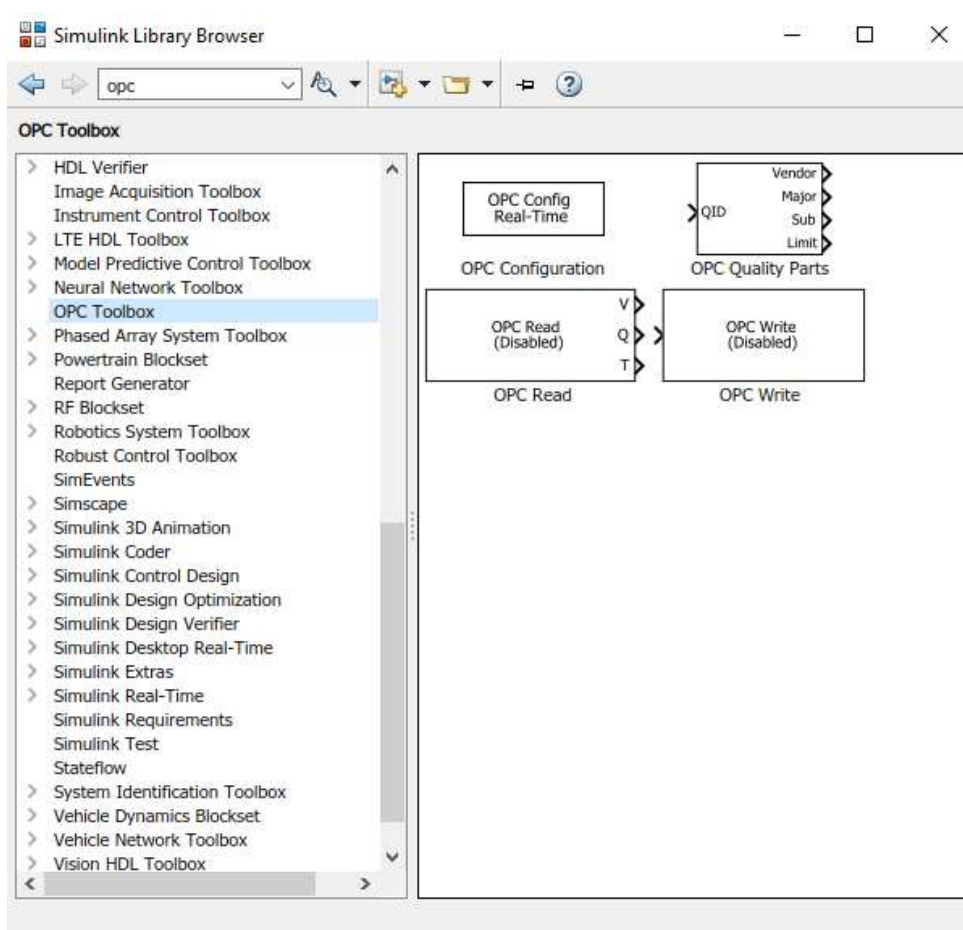


Figura 45 – Blocos de configuração da ferramenta *OPC Toolbox*.

Fonte: Autor.

Para a correta comunicação do MATLAB[®] com servidores OPC, algumas configurações devem ser realizadas, inicialmente deve-se adicionar o bloco *OPC Configuration* no modelo de planta simulada do *Simulink*. Ao adicionar este bloco de configuração da conexão

e clicar sobre ele, em seguida irá abrir uma janela para configuração do mesmo na qual encontra-se o botão *Configure OPC Clients*, este botão ao ser clicado abrirá outra janela na qual permite adicionar como cliente OPC o *RSLink OPC Server* do *localhost*.

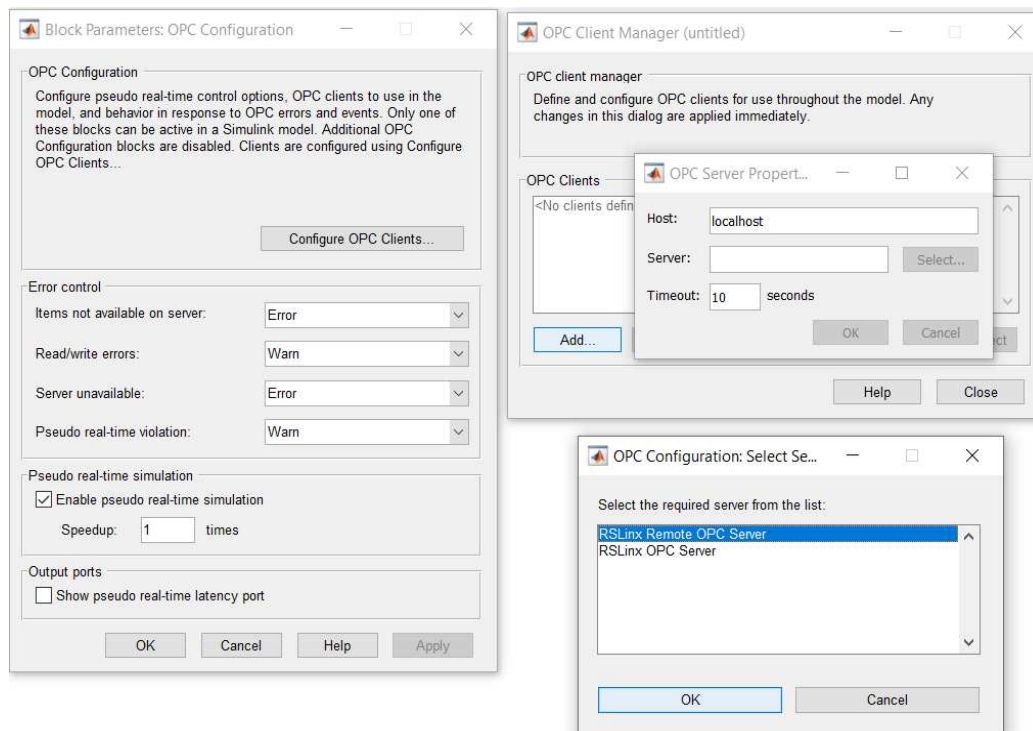


Figura 46 – Configuração do OPC Toolbox através do bloco OPC Config Real Time.

Fonte: Autor.

Da biblioteca *OPC Toolbox*, temos a ser utilizados os blocos *OPC Read* e *OPC Write*. O *OPC Read* é o bloco usado pelo *Simulink* para efetuar a leitura dos valores das variáveis do CLP, toda variável que é lida ou escrita pelo OPC é chamada de 'Item'. Para acessar todos os itens no OPC, o ID dessa variável deve ser inserido como o formato seguinte “[Nome do Servidor OPC] Nome da Variável”, assim todas as tags obtidas pelo servidor através do software RsLogix 5000 serão lidas para o modelo da interface gráfica.

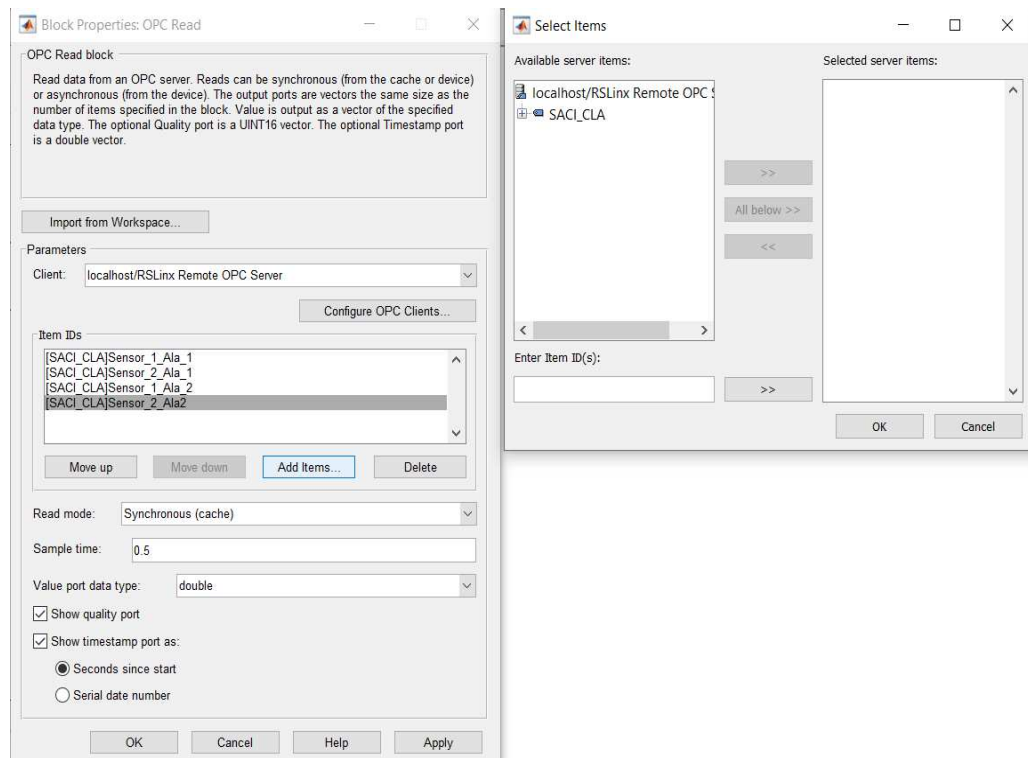


Figura 47 – Configuração das tags dos elementos do sistema com o bloco OPC Read.

Fonte: Autor.

O OPC Write é o bloco usado para escrever os valores das variáveis do *Simulink* para o CLP. Através desse bloco o CLP pode iniciar uma comunicação em tempo real com o modelo no *Simulink* e também é atualizado a cada varredura do modelo. Para configurar este bloco, é necessário adicionar o ID dos itens, conforme descrito nos parágrafos anteriores. Assim as variáveis que são lidas e escritas pelo OPC do MATLAB[®] são tratadas de forma simples e podem ser exploradas no projeto do sistema.

Com a conexão bem-sucedida, basta ao sistema receber os parâmetros requisitados pelo usuário, processá-los e retornar ao usuário pelos objetos criados. Dois comandos do MATLAB[®] são utilizados para esse fim:

- **Get:** Através desse comando, os parâmetros pedidos pelo usuário são lidos na propriedade desejada de tal objeto. No exemplo abaixo, a variável *pressão_bomba_1* recebe o valor requisitado pelo usuário no objeto *edit_pressão_bomba_1* que está localizado na propriedade *string* deste objeto:
pressão_bomba_1 = get(handles.edit_presão_bomba_1, 'String');

- **Set:** Utilizando o comando *set*, os valores de saída calculados ou tratados no código fonte podem ser expostos nos devidos objetos, como os *edit texts* ou os *axes*. No exemplo abaixo a propriedade *string* do objeto *edit_aberturaaquecimento* recebe o valor contido na variável *valor_fy31*. `set(handles.edit_aberturaaquecimento, 'String', valor_fy31);`

Portanto, com o sistema adequado para receber os pedidos dos usuários, basta tratar as informações necessárias e enviar aos usuários as solicitações. A manipulação das *tags* adicionadas para enviar, comandos para os atuadores ou leitura dos dados da planta do sistema é feita pelos comandos dos blocos *OPC Read* e *Write* onde são instanciados todas as entradas e saídas do sistema, com os comandos *get* e *set*.

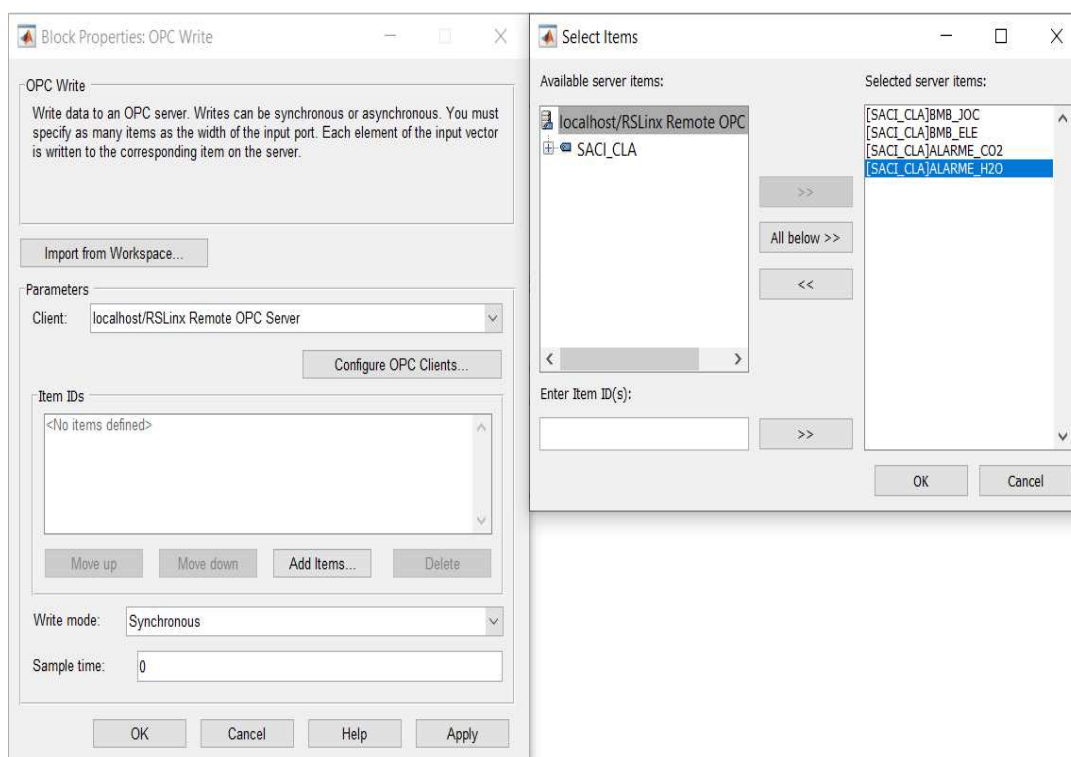


Figura 48 – Configuração do bloco OPC Write.

Fonte: Autor.

7. ENSAIOS E RESULTADOS

Como previsto inicialmente, após a integração do sistema de controle e da interface gráfica de comandos do sistema, temos o protótipo do sistema desenvolvido capaz de prover as funções de supervisão e controle do sistema de detecção e combate a princípio de incêndio do PDP do CLA, este sistema deverá garantir detecção e informação, nas áreas por ele abrangidas, de forma que qualquer princípio de incêndio e/ou de anormalidade dos processos por ele monitorados seja detectado e informado às pessoas que monitoram a área, no menor espaço de tempo possível, com orientações seguras do local afetado, do grau de abrangência e dos procedimentos a serem adotados, para sanar a anormalidade.

Este sistema foi desenvolvido utilizando como ferramenta o software GUIDE do MATLAB® para simular por meio da animação de objetos e recursos gráficos presentes na biblioteca do software o funcionamento do modelo de um sistema de detecção e alarme de incêndios do prédio, permitindo dessa forma, o acionamento dos sensores térmicos, acionador manual do sistema, unidades de N₂, unidades de H₂O, exaustor, ventilador e os alarmes para sinalização das ocorrências na área protegida. Deste modo estas ações de controle efetuadas pelo sistema corroboram com os objetivos estipulados para este trabalho.

A tecnologia do protocolo de comunicação OPC serviu de base para a comunicação dos sistemas de controle e supervisão, demonstrando sua interoperabilidade dentre os mais diversos sistemas, por meio dos blocos OPC *read* e OPC *write* a comunicação dos elementos constantes neste projeto foi devidamente alcançada e efetivada, provendo as ações necessárias aos comandos internos de controle e supervisão do sistema automático de detecção e combate a princípio de incêndio do PDP do Centro de Lançamentos de Alcântara.

Para a simulação do sistema foram desenvolvidas duas telas para controle e supervisão dos processos estudados neste projeto, onde a programação lógica executará os eventos previstos pelas estratégias de controle elaboradas inicialmente, visando avaliar a viabilidade da instalação deste software no ambiente real do prédio. A primeira tela denominada Sistema SACI, possui os sensores, as bombas de pressurização do sistema, as unidades de combate com H₂O e as unidades de combate com N₂, além de um painel com todos os alarmes usados na sinalização visual e eventos sobre as portas de acesso.

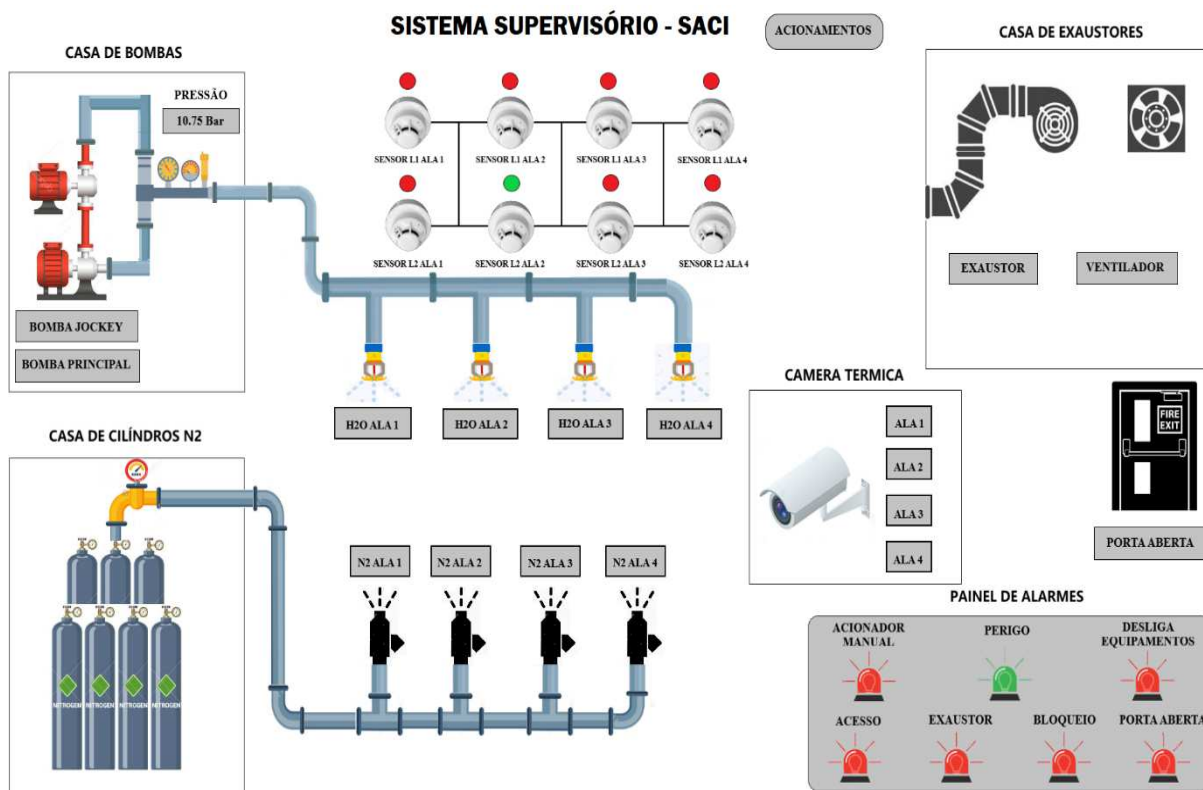


Figura 49 – Tela principal do Sistema Supervisório SACI.

Fonte: Autor.

Nesta tela do sistema são supervisionados todos os comandos referentes ao sistema de controle programado, por meio dos *push buttons* foram verificados os status de ativação dos elementos que compõem o sistema, deste modo as estratégias de controle foram verificadas e validadas diante de sua aplicação em um sistema de controle e supervisionamento do sistema automático de detecção e combate a princípio de incêndio do Prédio Depósito de Propulsores do Centro de Lançamento de Alcântara.

A segunda tela corresponde ao painel de acionamento contendo todos os botões utilizados para ativação manual e teste das estratégias de controle na simulação do projeto, esta tela é responsável pelo acionamento dos sensores térmicos, da condição de porta aberta, além dos botões para ligar e desligar o acionador manual, condição de bloqueio e disparo da reserva de N2.

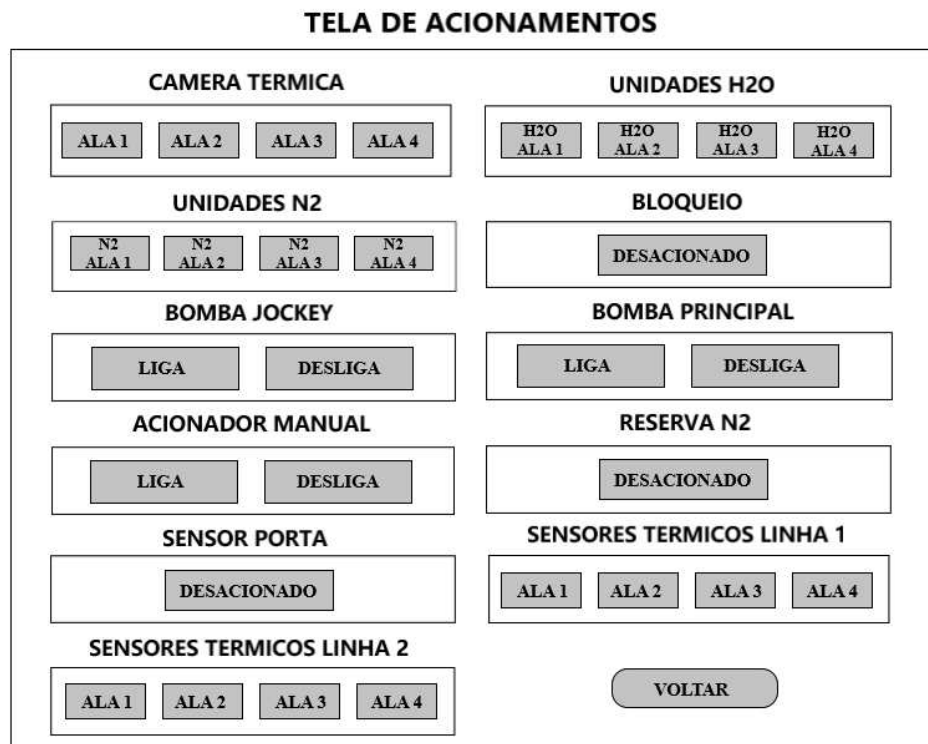


Figura 50 – Tela do painel de acionamentos dos comandos do sistema.

Fonte: Autor.

A taxa de resposta do sistema para os comandos realizados pelos elementos do sistema de controle na interface gráfica seguiu de forma satisfatória como esperado, corroborando com as hipóteses propostas pelas estratégias de controle do sistema de detecção e combate a princípio de incêndio do PDP. Os comandos enviados por meio do CLP simulado neste trabalho foram integrados por meio da tecnologia do protocolo OPC com os softwares *RsLinx* e *GUIDE* provendo a solução completa do sistema de combate, o que concretiza os objetivos iniciais deste trabalho de integrar o software de controle à uma interface gráfica de supervisão das estratégias de controle do sistema.

8. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo e desenvolvimento de toda a teoria envolvida neste projeto, partindo-se dos conceitos mais primordiais ao trabalho como as características dos sistemas de detecção, alarme e combate a incêndios, características de sistemas automatizados no meio industrial e aspectos da automação industrial, sistemas supervisórios SCADA e os meios de comunicação viáveis a incorporação desse sistema aos sistemas vigentes no ambiente a ser controlado, pode-se chegar a conclusões particularmente esperadas.

O Centro de Lançamento de Alcântara por meio do Setor de Preparação e Lançamento detém vários sistemas integrados essenciais para o pleno funcionamento do Prédio Depósito de Propulsores, dentre estes serviços, este trabalho considerou o foco em um sistema primordial para o prédio, o sistema de detecção e combate a incêndio, cuja importância é incontestável no sentido que a eficácia do seu funcionamento aflige diretamente a segurança das pessoas e do patrimônio do prédio.

Neste contexto, a metodologia apresentada no presente trabalho visa, através da simulação, fornecer dados para a análise do ambiente e uma visão sobre a utilização de um sistema supervisório para aquisição e controle de dados referentes a um sistema de detecção e combate a princípio de incêndio dentro das imediações do Prédio Depósito de Propulsores do CLA considerando estratégias de controle cuja evolução depende, entre outras coisas, da ocorrência de eventos em outros sistemas.

Percebeu-se ao longo do trabalho que o desenvolvimento de uma metodologia para a implementação segura e robusta do sistema supervisório integrado ao sistema de automático de combate a incêndio é uma tarefa complexa, tanto no nível técnico quanto no nível gerencial de negócio, por meio de poucas referências reais na área, buscou-se o aprimoramento e a constante evolução das técnicas aplicadas a este trabalho para empregar o sistema de forma segura, observando as necessidades requeridas no projeto.

Com a aplicação da solução entende-se que a utilização da ferramenta GUIDE do MATLAB® para o desenvolvimento do sistema supervisório da aplicação foi adequado aos objetivos requeridos inicialmente, pois além de tornar possível a produção de uma interface amigável para controle das ações do sistema com um layout que descreve todos os dispositivos

sensores e atuadores presentes no sistema, apresenta ainda diversas técnicas, ferramentas e métodos do MATLAB® que facilitam a implementação das ações requeridas pelo sistema.

Onde entende-se que os objetivos do projeto foram alcançados de maneira total em relação ao desenvolvimento do sistema supervisorio para o sistema automático de combate de princípio de incêndio, e para atingir estes objetivos os estudos conduzidos mostraram que o sistema necessitaria de uma modelagem eficiente das estratégias de controle para a sua melhor integração, assim foram introduzidos modelos conceituais e funcionais das estratégias do sistema, estas estratégias se mostraram eficientes a medida em que facilitaram à construção de um modelo global do SACI considerando sua integração com os outros sistemas do prédio, para sua posterior implementação.

A partir dos modelos funcionais de funcionamento as estratégias de controle foram desenvolvidas em CLP com código em linguagem *ladder*. Este código foi testado e verificado através de uma conexão baseada no protocolo OPC entre esses dois objetos, MATLAB® e CLP (virtual). Uma das vantagens desse tipo de experimento é que quem está desenvolvendo o código pode obter uma melhor compreensão e percepção do comportamento do sistema e acaba implementando um projeto de controle otimizado e eficiente. O uso da comunicação OPC entre os softwares *RsLogix*, *RsLinx* e *RsLogix Emulate* e o *MATLAB® GUIDE* traz uma abordagem moderna que faz uma conexão confiável e estável.

Portanto demonstra-se que a utilização de um sistema supervisorio para controle e supervisão de um sistema de detecção e combate a princípio de incêndio pode permitir a execução de todas as funções essenciais ao funcionamento do sistema físico, pois o sistema atua de forma integral e satisfatória entrando em funcionamento de acordo com as suas condições de ativação estabelecidas pelas estratégias de controle obtidas no estudo deste projeto.

Assim, o mesmo tem a capacidade de prover máxima segurança ao setor com a supervisão em tempo real das operações e promove ainda a redução de custos na operação do sistema, contando com uma enorme flexibilidade na mudança das ações pré-programadas inicialmente, disponibilizando também o reparo dos módulos de acionamento do sistema quando necessários por meio de componentes plugins, promove a facilidade de mudança da lógica do sistema e integração de novos módulos por meio da sua grande interoperabilidade e abrangência de sistemas operacionais diversos.

Por meio da experiência adquirida durante a elaboração deste trabalho propõe-se sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Aprofundamento na elaboração das estratégias de controle do sistema, fazendo com que haja a combinação de várias técnicas como controle automático, sistemas orientados a eventos e sistemas híbridos, para que estas sejam elaboradas a cada subsistema de controle do procedimento geral de projeto de sistemas supervisórios para detecção e combate de incêndio.
- Expansão do sistema de controle e supervisão aos outros sistemas integrantes do Prédio Depósito de Propulsores como o sistema de irrigação predial, sistema de monitoramento patrimonial, monitoramento da central UPS (*Uninterruptible Power Supply*) dos sistemas de automação, sistema de monitoramento de temperatura e umidade e etc.
- Adaptação do procedimento utilizado para gerar especificações das estratégias do módulo de controle para outros sistemas do CLA;
- Adaptação da metodologia proposta para a implementação de um sistema de eficiência energética;

REFERÊNCIAS

- [1] ALBUQUERQUE, P. U. B.; ALEXANDRIA, A. R. **Redes industriais: Aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. Editora Ensino Profissional. 2a edição, 2009.
- [2] ALOOMIAN, Maxim. **Hil Experiment Using PLC and Matlab OPC Toolbox**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Course of Master of Science in Electrical Engineering, California State University Of Northridge, Los Angeles, 2013.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR17240 - Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2010.
- [4] _____. **NBR 12693 - Sistemas de proteção por extintores de incêndio**. Rio de Janeiro. 2013.
- [5] _____. **NBR IEC 60079-17 - Atmosferas explosivas - Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas**. Rio de Janeiro. 2014.
- [6] _____. **NBR ISO 14625 - Sistemas espaciais - Equipamentos de apoio para uso em lançamento, aterrissagem ou locais de recuperação - Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2017.
- [7] AZEVEDO, Philipe Kretzer e C. **Desenvolvimento de um sistema supervisor e lógicas de CLP no ambiente de geração de energia**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- [8] AZEVEDO, André Luís G.; COELHO, Thiago F. L. **Projeto e implementação de sistema supervisor para gerador eólico**. 59 f. Monografia (Tecnologia em Eletrotécnica – Modalidade: Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- [9] AZEVEDO, Marcelo T. de. **Cibersegurança em sistemas de automação em plantas de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Eletrônicos), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 136 p.
- [10] BARROS, Tiago M. **Supervisor inteligente de processos na indústria do petróleo e gás: aplicação em uma coluna de destilação simulada integrada a instrumentação real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- [11] BEZERRA, João Vitor R.; RIGHO, Roger B. **Proposta de utilização de CLP na automação de sistemas de detecção e alarme de incêndios**. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Campo do Goytacazes, 2012.
- [12] CARMO, Flávio H. P. do. **Implementação de um sistema supervisor via Matlab® para planta SMAR PD3-F**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2017.

- [13] CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA – CLA. **Plantas do projeto de combate a incêndio do prédio de estocagem de motores**. São Luís, 2009.
- [14] DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8.ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2001.
- [15] FOROUZAN, Behrouz A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- [16] IEC. **Programmable controllers**. *International Standard*, v. 2. Ed, 2003.
- [17] KANESHIRO, Percy J. I. **Modelagem de sistemas de proteção contra incêndio em prédios inteligentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- [18] LEHNHOFF, S. et al. **IEC 61850 based OPC UA Communication - The Future of Smart Grid**. In 17th Power Systems Computation Conference, Stockholm Sweden, p.1-9, 2011.
- [19] MATHWORKS. **OPC Toolbox**. 2019. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/opc/getting-started-with-opc-toolbox.html>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- [20] MATHWORKS. **Create apps with graphical user interfaces in MATLAB**. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>>. Acesso em: 25 jul. 2019.
- [21] MELO, Rafael B. **Controle e supervisão de um reator CSTR simulado no Matlab®/Simulink® usando a plataforma Rockwell Automation**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), UFBA – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
- [22] MORA, Jorge A. Alvarado. **Modelagem e simulação de planta-piloto de vazão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- [23] MOTTA, Adauto Gouveia. **Segurança no manuseio de foguetes INPE-11476-RPQ/777**. INPE, São José dos Campos, 2004. 115 p.
- [24] NOGUEIRA, Thiago Augusto. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- [25] PEREIRA, Breno M. Mathias. **Automação de sistemas de detecção e alarme de incêndios utilizando controladores lógicos programáveis**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Cuiabá, 2010. 45p.
- [26] PIRES, Paulo S. M. et. al. **Aspectos de segurança em sistemas SCADA uma visão geral**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2004.

- [27] PRAMOD, T. C. SUNITHA, N. R. **IEEE-31661 An Approach to Detect Malicious Activities in SCADA Systems**. In 4th International Conference on Computer Communication and Networking Technologies. Tiruchengode, India, 2013.
- [28] RIBEIRO, Marco A. **Automação Industrial**. Tek Treinamento & Consultoria Ltda. 4ª ed. Salvador, 2001.
- [29] ROCKWELL AUTOMATION. **Logix 5000 Controllers General Instructions Reference Manual**. Milwaukee. 2018. 907p.
- [30] ROCKWELL AUTOMATION. **RSLinx Classic Getting Results Guide**. Milwaukee. 2019. 79p.
- [31] ROCKWELL AUTOMATION. **Studio 5000 Logix Emulate Getting Results Guide**. Milwaukee. 2019. 71p.
- [32] SEITO, Alexandre I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- [33] SILVA, A. P. G. da; SALVADOR, M. **O que são sistemas supervisórios?** p. 1–5, 2005. Disponível em: <http://www.wectrus.com.br/artigos/sist_superv.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- [34] SOUZA, Rodrigo B. **Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 71. 2005.
- [35] SOUZA, Eduardo Augusto de A. **Automação predial: dispositivos contra incêndio**. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade São Francisco, Campinas, 2011.
- [36] STANKOV, Stanko; MITIC, Dejan. **Supervisory and control of HVAC systems**. University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, Serbia, 2010.
- [37] STREHL, Luiz C. **Prospecção de tecnologias para aumentar a segurança em sistemas SCADA**. 64 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- [38] TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2011.
- [39] VILLANI, E. **Abordagem híbrida para modelagem de sistemas de ar condicionado em edifícios inteligentes**. 2000. 154p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- [40] VILLANI, E. **Modelagem e análise de sistemas supervisórios híbridos**. São Paulo, 2004. 339p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.