

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO  
APLICADA E SISTEMAS

**MARCO ANTONIO DE SOUZA**

**SISTEMA ESPECIALISTA ANTICOLISÃO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS  
USANDO IMAGEM 3D**

São Luís  
2013

**MARCO ANTONIO DE SOUZA**

**SISTEMA ESPECIALISTA ANTICOLISÃO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS  
USANDO IMAGEM 3D**

Dissertação do Curso de Mestrado em Engenharia da Computação Aplicada e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Computacional.

Prof. Ms. José Pinheiro de Moura

São Luís

2013

**MARCO ANTONIO DE SOUZA**

**SISTEMA ESPECIALISTA ANTICOLISÃO DE EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS  
USANDO IMAGEM 3D**

Aprovada em:        /        /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Ms. José Pinheiro de Moura** (Orientador)  
Universidade Federal do Maranhão

---

**Prof. Dr. Ivanildo Silva Abreu** (Orientador)  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Dr. Sofiane Ben El Hedi Labidi** (Examinador)  
Universidade Federal do Maranhão

---

**Prof. Ms. Henrique Mariano Costa do Amaral** (Examinador)  
Universidade Estadual do Maranhão

Souza, Marco Antônio de

Sistema especialista anticolisão de equipamentos portuários usando imagem 3D / Marco Antônio de Souza. – São Luís, 2013.

90 f .

Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Maranhão, 2013.

Orientador: Prof. Msc. José Pinheiro Moura.

1. Sistema especialista. 2. Anticolisão. 3. Imagens gráficas tridimensionais. 4. Lógica aplicada. 5. Inteligência artificial. I. Título.

CDU: 004.92:627.3

A minha família Carla, Amanda, Luana,  
Natalia e Nayara, meus pais Carmelina e  
Albejo (*em memória*).

## **AGRADECIMENTOS**

Faço um agradecimento especial ao meu orientador, o Professor Mestre José Pinheiro de Moura, por todo o apoio, dando conselhos, orientações e sugestões para o desenvolvimento do trabalho, além do apoio e voto de confiança durante a elaboração deste, meu grande amigo que incentivou no início do curso nas publicações dos artigos desenvolvidos juntos contribuindo bastante com sua vasta experiência na área educacional e mineração .

Gostaria de agradecer também aos meus amigos da UEMA, em especial a meus orientadores Prof. Dr. Ivanildo Abreu que mesmo distante sempre esteve participando das definições do trabalho, em nosso coordenador do mestrado Prof. MS. Henrique Mariano onde acreditou nesta primeira turma do curso de Mestrado profissionalizante em Engenharia de Computação e nos meus nobres amigos de curso que dividimos tempos entre o trabalho e o Mestrado que foram mais do que fundamentais para minha formação.

Agradeço também aos colegas de trabalho da VALE, Bruno Eduardo, Denis Anderson, Daniel Perez, Hugo carneiro, Rodrigo Lamounier e Pinheiro Moura, pois o aprendizado que tive durante o período de convivência profissional certamente foi determinante para a consecução do meu objetivo.

Agradeço a empresa de consultoria Momento Automação a seu Diretor Eduardo Bastos e seus colaboradores Gabriel, desenvolvedor em computação gráfica responsável em elaborar as imagens tridimensionais, Eduardo Bartolo desenvolvedor de comunicação de sistemas, Daymyson desenvolvedor de sistemas de supervisão e Vinicius Mendes de sistema de controle que ajudaram na consultoria técnica.

Agradeço Prof. Dr. Labidi, padrinho da primeira turma de Processamento de Dados do Uniceuma, incentivando em desenvolvimento de projetos e trat educacionais, onde iniciou toda motivação para novas idéias.

“No que diz respeito ao desempenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita, ou não faz”.

Ayrton Senna

## RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema especialista anticolisão de equipamentos portuários com visualização de imagens digitalizadas tridimensionais através de informações retiradas de instrumentos instalados nos equipamentos moveis. Este trabalho foi desenvolvido para um terminal portuário de exportação de minério. Esse sistema consiste de um grupo de sensores instalados nas máquinas que visa coletar dados de posicionamento de todas as partes móveis das máquinas e calcular a distância de segurança entre essas partes e outras de máquinas adjacentes. Também visa calcular a distância de segurança entre cada máquina e as pilhas de minérios e através deste sistema obter imagens gráficas tridimensionais destes equipamentos para monitoramento e tomada de decisão. Neste trabalho é aplicado o principio de técnicas de inteligência artificial para auxiliar na tomada de decisão durante o processo produtivo, onde abordado o problema de colisões entre equipamentos do Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM) devido a grandes dimensões dos equipamentos e dos pátios de estocagem. Utilizar sistema especialista para proteção de equipamentos portuários possibilitará um monitoramento seguro e em tempo real a distancia.

Palavras chaves: Sistema especialista. Anticolisão. Imagens gráficas tridimensionais. Lógica aplicada. Inteligência Artificial.



## **ABSTRACT**

This paper presents an expert system for collision avoidance port equipment with digital images three-dimensional visualization using information taken from instruments installed in the equipment. This work was performed for a port terminal ore export. This system consists of a group of sensors installed on the machines that aims to collect positioning data from all moving parts of machines and calculate the safety distance between these parts and other machinery parts adjacent s. It also aims to calculate the safety distance between each machine and stacks of ores and through this system to obtain three-dimensional graphic images such equipment for monitoring and decision making. In this work we applied the principle of artificial intelligence techniques to aid in decision making during the production process, which addressed the problem of collisions between devices Port Terminal Ponta da Madeira (TPPM) due to large equipment and patios storage. Using expert system for equipment protection port monitoring enable secure and real-time distance.

Keywords: Expert system. Collision avoidance. Images graphics dimensional. Applied logic. Artificial Intelligence.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Terminal Portuário Ponta da Madeira .....	20
Quadro 1	- Equipamentos do TPPM (Exceto Transportadores) .....	23
Quadro 2	- Novos Equipamentos e Estruturas do Projeto CLN150 .....	24
Quadro 3	- Novos Equipamentos e Estruturas do Projeto S11D .....	26
Figura 2	- Layout do TPPM com expansões .....	26
Figura 3	- Matriz de automação tecnológica .....	27
Figura 4	- Rede de servidores .....	28
Figura 5	- Janela de supervisão e controle Empilhadeira .....	29
Figura 6	- Janela de supervisão e controle Recuperadora .....	30
Figura 7	- Sala Operacional dos Viradores de Vagões .....	31
Figura 8	- Servidores CCO .....	32
Figura 9	- Tela de supervisão e controle do TPPM .....	33
Figura 10	- Tela de Monitoramento do PIMS .....	34
Figura 11	- Arquitetura de rede .....	35
Figura 12	- O teste de Turing .....	39
Figura 13	- Modelagem do pátio .....	47
Figura 14	- Máquina modelada .....	48
Figura 15	- Distância entre máquinas .....	50
Figura 16	- Distância de máquinas .....	51
Figura 17	- Máquina modelada .....	52
Figura 18	- Vista lateral da lança .....	53
Figura 19	- Cota horizontal .....	54
Figura 20	- Cota vertical .....	55
Figura 21	- Colisão entre truck .....	55
Figura 22	- Colisão fim de pátio .....	56
Figura 23	- Colisão com pilha .....	58
Figura 24	- Fluxo de dados PLC Central .....	62
Figura 25	- Informações sobre bloqueio da translação .....	63
Figura 26	- Informações sobre bloqueio do giro .....	64
Figura 27	- Arquitetura proposta .....	66
Figura 28	- Visão aérea da Comunicação .....	67
Figura 29	- Segmentação da rede .....	68

Figura 30 - <i>Common Industrial Protocol</i> .....	30
Figura 31 - Desenvolvimento protótipo .....	70
Figura 32 - Desenvolvimento protótipo .....	71
Figura 33 - Desenvolvimento protótipo – animação .....	71

## LISTA DE SIGLAS

CCO	Centro de Controle Operacional
CLN	Capacitação Logística Norte
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CN	Carregadores de Navios
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EOS	Estações de Operação e Supervisão
EP	Empilhadeira
ER	Empilhamento e Recuperação
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Homem Máquina
PIMS	Historiador
PLC	Controlador Lógico Programável
RP	Recuperadora
TPPM	Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TPPM)
VV	Viradores de Vagões

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1</b>	<b>Objetivo</b>	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b>	16
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b>	17
<b>1.4</b>	<b>Caracterização do Problema</b>	17
<b>1.5</b>	<b>Definições do problema</b>	18
<b>1.6</b>	<b>Organização do trabalho</b>	19
<b>2</b>	<b>TERMINAL PORTUÁRIO DE PONTA DA MADEIRA</b>	20
<b>2.1</b>	<b>Estrutura</b>	20
<b>2.2</b>	<b>Operações</b>	20
2.2.1	Viradores de vagões	21
2.2.2	Transportadores de correia	21
2.2.3	Empilhadeiras de minério	22
<b>2.3</b>	<b>Recuperadoras de Minério</b>	23
<b>2.4</b>	<b>Carregadores de navios</b>	24
<b>2.5</b>	<b>Resumo dos principais equipamentos</b>	23
<b>2.6</b>	<b>Expansões futuras</b>	24
<b>2.7</b>	<b>CLN 150</b>	24
<b>2.8</b>	<b>CLNS11D</b>	25
<b>2.9</b>	<b>Sistemas de automação do TPPM</b>	27
2.9.1	Arquitetura da rede de servidores	28
2.9.2	Arquitetura de rede Sistema de Automação	34
2.9.3	Automação dos viradores de vagões	35
2.9.4	Automação nas máquinas de pátio	36
2.9.5	Automação nos carregadores de navios	37
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	38
<b>3.1</b>	<b>Inteligência artificial</b>	38
3.1.1	Sistemas baseados em conhecimento	41
3.1.2	Aprendizado Indutivo	41
3.1.3	Sistemas especialistas	43

3.1.3.1	<i>Classificação dos sistemas especialistas</i>	45
<b>4</b>	<b>SISTEMAS ANTICOLISÃO</b>	47
<b>4.1</b>	<b>Modelo do pátio</b>	47
4.1.1	Modelo das máquinas	47
4.1.2	Vetores	49
4.1.3	Número de pontos do modelo de cada máquina	51
4.1.4	Colisão Truck com Truck (T/T)	57
4.1.5	Colisão com fim do pátio	56
4.1.6	Colisão com a pilha	57
<b>4.2</b>	<b>Sinalização</b>	59
4.2.1	Inter travamentos anticolisão	60
<b>4.3</b>	<b>Interfaces de controle do sistema anticolisão</b>	61
4.3.1	Controladores Lógicos Programáveis (CLP)	61
4.3.1.1	Controlador CENTRAL_CPU1	61
<b>4.4</b>	<b>Sistema de supervisão</b>	63
4.4.1	IHM embarcada na máquina	63
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ANTICOLISÃO USANDO IMAGEM 3D</b>	65
<b>5.1</b>	<b>Interface</b>	65
<b>5.2</b>	<b>A janela 3D View</b>	69
<b>6</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA</b>	72
<b>6.1</b>	<b>Elaboração das regras</b>	72
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	74
	<b>REFERÊNCIAS</b>	75
	<b>ANEXO A - Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)</b>	80
	<b>ANEXO B - Common Industrial Protocol</b>	86

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema especialista para anticollisão de equipamentos portuários foi concebido usando princípios básicos de Inteligência Artificial (IA) para proteger as máquinas moveis contra possíveis colisões entre elas durante o processo operacional. O sistema funciona com uma proteção lógica, desenvolvida no controlador lógico programável (PLC) de cada máquina e uma instrumentação, utilizando sensores elétricos ou eletrônicos e um sistema de imagem tridimensional.

Com o aumento da produção do terminal faz com que ocorra uma movimentação grande de carga e grandes deslocamentos dos equipamentos para suprir esta demanda. Os incidentes de colisão podem causar paralisações nas operações do terminal ocasionando perdas no volume descarregado e embarcado. Este trabalho propõe uso de técnicas de inteligência artificial na padronização dos instrumentos de campo, utilizando uma lógica aplicada para tomada de decisão e um monitoramento preciso automatizado.

Com todo crescimento e aumento do numero de correias transportadoras, máquinas moveis (elétrica), dois pátios de estocagem com capacidade de estocagem de 5.000.000T de minério cada pátio quando em produção total. Todo este aumento traz uma preocupação na segurança de suas operações, com maior capacidade o numero de operações simultâneas e redução no tempo de carregamento de navios e descarga de minério para o pátio de estocagem será um grande desafio. Um dos pontos mais críticos será na gestão operacional dos pátios para evitar problemas como as “Anti Colisões” de equipamentos com equipamentos, mas também com pilhas de minério. Estas colisões trazem prejuízos operacionais e estruturais do equipamento, sendo necessário muito tempo para reparo causando fila de navios.

O estudo e desenvolvimento de técnicas que facilitem a modelagem de objetos 3D do mundo real têm despertado um grande interesse nos últimos anos, especialmente para os objetos da natureza cuja geometria apresenta maior complexidade. Dentre estes objetos, destacam-se as imagens de profundidade, que vêm se aplicando nas áreas de Computação Gráfica e Visão Computacional. Uma grande vantagem destas imagens é que, além de poder empregar as técnicas tradicionais do processamento de imagens (processamento 2D), pode-se também

usar conceitos e ferramentas matemáticas mais elaboradas, como os conceitos clássicos de geometria diferencial e topologia.

Além disso, atualmente, o crescimento das atividades de modelagem e animação de equipamentos em ambientes industriais em geral, contribuiu para que muitas técnicas de animação 3D sendo desenvolvidas, principalmente por empresas que trabalham com engenharia de projetos elaborando filmes de animação das atividades que serão executadas.

Com isso, espera-se que este trabalho possa contribuir para as pesquisas envolvendo o trabalho com imagens de profundidade utilizando o *software Blender*, bem como, fortalecer o Grupo de Pesquisa em Computação Gráfica, Processamento de Imagens e Visão Computacional.

Este Sistema de Anticolisão para as máquinas operacionais do pátio haverá integração do software de computação gráfica com o chão de fábrica, ou seja, instrumentação mais robusta e precisa, controle lógico inteligente, sinalizações de áreas de pré alarme e alarme real. Obtendo as informações de posicionamento da máquina no espaço (x, y, z) disponíveis no CLP poderemos através desta leitura extrair dados para animação gráfica tridimensional. Criar um sistema especialista para anticolisão de equipamentos portuários utilizando imagens tridimensionais remotamente, podendo ter um monitoramento “*on line*” de todo pátio do terminal de forma digital tendo um monitoramento do posicionamento dos equipamentos facilitando na tomada de decisão.

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Desenvolver e programar um sistema anticolisão utilizando técnicas de inteligência artificial e imagens tridimensionais.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Proteger equipamentos portuários do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira de colisões entre eles;



- b) Monitorar visualmente o posicionamento dos equipamentos do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira;
- c) Auxiliar à tomada de decisão do operador durante o processo de produção do terminal marítimo de ponta da madeira.

## **1.2 Motivação**

Nos terminais portuários de empresas mineradoras existem pátios de estocagem de material em grandes dimensões e equipamentos robusto de grande porte para possibilitar suas operações. No Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TPPM) de responsabilidade da empresa Vale S/A situado na cidade de São Luís estado do Maranhão tem suas operações de embarque de minério de ferro como seu principal produto. A área de estocagem tem capacidade de estocar 5.000.000ton. De minério distribuído em nove pátios identificados por letras de “A” até “I”. A estocagem é a parte do processo de descarga do produto que depois será embarcado conforme planejamento e programação operacional.

A maioria dos Sistemas de Anticolisão de máquinas móveis desenvolvidos possibilita sinalizar nas estações de operação de supervisão e controle das máquinas com intertravamento na lógica de controle evitando colisões. Estes dispositivos não oferecem um desempenho ótimo possibilitando erros e poucos pontos de monitoramento.

Desta forma, tem-se um problema, que é alto risco de colisão entre equipamentos móveis, porque a operação em sua maioria das vezes é feita de forma simultânea, isto é, vários equipamentos móveis operam muito próximos podendo ocasionar colisão entre eles.

Neste processo é necessário que tenha um planejamento operacional cruzado com o de manutenção para que possa determinar uma logística de embarque para atender a demanda do mercado internacional e nacional.

Para isso nos últimos anos o pátio de estocagem do TPPM sofreu várias ampliações para aumento do volume de estoque e foram adquiridos vários equipamentos.

Este aumento de capacidade fez com que as operações no pátio tornassem um risco maior em determinados pátios, possibilitando riscos de colisão de máquinas no mesmo caminho de rolamento (trilhos de deslocamentos), máquinas

em pátios adjacentes com possibilidades de colisão de lança com lança, lança com contra peso e contra peso com contra peso.

### **1.3 Justificativa**

O TPPM é um dos maiores terminais portuários de movimentação de minério de ferro do mundo. As dimensões de suas operações exigem que o terminal opere com a maior eficiência possível, visto que o terminal tem uma elevada taxa de ocupação e uma grande fila de navios. Desta forma, problemas que impeçam o carregamento de navios acarretam em prejuízos financeiros, tanto devido ao pagamento de multas quanto ao não faturamento das receitas.

Como as operações portuárias sofrem interferências de diversas variáveis, como correntes de maré, altura da maré, altura das ondas, velocidade do vento, colisão de máquinas moveis, dentre outros, o tempo de porto parado não necessariamente será igual ao tempo perdido pela operação, ou seja, o tempo em que não houve carregamento de navios. Por exemplo, navios de grande porte, que dependem de fluxo de produção maior. No entanto, o tempo de espera por parada de colisão pode ocasionar atrasos significativos no carregamento.

Baseado no que foi exposto pode-se inferir que é de suma importância que problemas sejam resolvidos no menor tempo possível, para reduzir os impactos nas operações do terminal. Isto é, considerando o problema de colisão de equipamentos portuários, onde todos os carregamentos de navios e descargas de trens são interrompidos, com isso, a redução de tempo de porto parado pode gerar retornos significativos na produção.

### **1.4 Caracterizações do problema**

No Porto de Minério, colisões entre máquinas de pátio e destas com pilhas estão sujeitas a ocorrer, podendo causar sérios danos às pessoas e equipamentos envolvidos nas suas operações.

Atualmente nenhum tipo de sistema que evite colisões encontra-se implementado no terminal. Existem umas séries de instrumentos que são fundamentais para este tipo de sistema que estão instalados, porém não estão funcionando adequadamente.

Este projeto propõe um controle visual no painel de visualização gráfico instalado no Centro de Controle Operacional (CCO) do Terminal Portuário Ponta da Madeira e Ferrovia Carajás, imagens em tridimensionais dos equipamentos de pátio informando o posicionamento em tempo real das máquinas movem, provendo a operação de informação dos equipamentos para tomada de decisão.

### **1.5 Definições do problema**

Falta de um sistema visual usando imagem 3D que auxilie na operação do Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM) para tomada de decisão durante o processo produtivo, isto é, a falta de identificação do posicionamento real e geométrico do equipamento portuário móvel de maneira a proporcionar maior disponibilidade e segurança.

Atualmente o TPPM conta com 16 máquinas moveis (Recuperadoras, Empilhadeiras, Empilhadeiras-Recuperadoras e Carregador de Navios), o custo destes equipamentos esta na ordem de grandeza de dezenas de milhões de reais. Os tempos de reparos estruturais são muito grandes diminuindo a disponibilidade produtiva do equipamento. Uma Empilhadeira que faz a estocagem de material no pátio tem a capacidade de trabalho de 16.000t de minério por hora produzindo em um dia até 384.000t, havendo impacto também no embarque, pois uma recuperadora de minério tem capacidade de recuperar até 10.000t por hora produzindo assim em um dia 240.000t, se houver material estocado em seu pátio. Desta forma ocorre uma indisponibilidade física de material nos pátios.

As instrumentações disponíveis nas maquinas moveis são insuficiente para auxiliar a operação, instrumentação discreta (sem inteligência ) com recursos limitados sem muitos detalhes para disponibilizar no sistema de supervisão e controle. As informações de “*status*” (Funcionando/Parado/Defeito e indicação de pátio) sem animação e definição estrutural que possa orientar com segurança o posicionamento dos equipamentos portuários.

A falta de uma sistemática padronizada que auxilie o operador na tomada de decisão durante o processo produtivo operacional acarreta em maiores perdas para um sistema operacional produtivo, isto é, a falta de identificação de posicionamento visual e de um sistema para auxílio na tomada de decisão.

## **1.6 Organizações do trabalho**

O capítulo 2 Processo Operacional e Caracterização do Problema apresentam uma breve descrição do TPPM, evidenciando a situação atual. Além disso, faz-se uma breve descrição da situação da automação no terminal.

O capítulo 3 Referencial Técnico mostra alguns conceitos acerca do sistema de anticollisão necessários ao entendimento deste trabalho. Descrevem-se, ainda, alguns instrumentos utilizados no sistema de proteção.

O capítulo 4 Sistema Anticollisão mostra modelo do pátio conceitos geométricos utilizados, tipos de colisões. Descreve modelo lógico aplicados.

O capítulo 5 Desenvolvimento do Sistema apresenta o problema objeto de estudo deste trabalho. Neste capítulo serão mostradas a situação atual, a situação desejada e uma descrição do sistema operacional do TPPM.

O capítulo 6 Implementação do Protótipo, apresenta a solução proposta. Nele será apresentada a solução de maneira geral, evidenciando os produtos gerados e as áreas envolvidas.

O capítulo 7 apresenta as conclusões tiradas baseado nos estudos feitos no decorrer do trabalho.

## 2 TERMINAL PORTUÁRIO DE PONTA DA MADEIRA

Neste capítulo será feita uma breve descrição do Terminal Portuário de Ponta da Madeira de forma a apresentar o ambiente no qual o presente trabalho está envolvido. As descrições se darão em linhas gerais, visto que um aprofundamento nos conceitos aqui apresentados foge ao escopo do trabalho.

O Terminal Portuário de Ponta da Madeira (figura 1) está localizado na margem leste da Baía de São Marcos, na Ilha São Luís. Está situado a 8 km ao sul do centro da cidade de São Luís, capital do Estado do Maranhão, à qual está ligado por rodovia (AVELINO; COSTA, 2012).

Figura 1 - Terminal Portuário Ponta da Madeira



Fonte: Vale (2013)

### 2.1 Estrutura

Pelo TPPM é escoado aproximadamente 86% de toda a carga portuária movimentada no estado do Maranhão. Esse é composto por quatro píeres, com profundidade de 23m (Píer I um dos mais profundos do mundo), 18m (Píer II), 21m (Píer III) e 25m (Píer IV).

### 2.2 Operações

A VALE é uma empresa de mineração detentora de grande parte da cadeia logística na qual o minério de ferro está envolvido. Em resumo, a VALE opera na

extração do minério, no transporte ferroviário, no armazenamento em área portuária, no embarque do minério nos navios e, mais recentemente, também na navegação.

Em se tratando do Terminal Portuário, objeto deste estudo, pode-se dividir basicamente em dois subsistemas: Descarga e Embarque. O processo da descarga consiste em receber o minério da ferrovia, descarregá-lo dos trens e estocá-lo nos pátios. O embarque, por sua vez, consiste em retomar o minério estocado e embarcá-lo nos navios.

Em ambos os subsistemas existem vários equipamentos envolvidos no processo para realizar a atividade fim. Sendo assim, nas subseções a seguir apresentar-se-ão as descrições resumidas de cada um desses equipamentos.

### 2.2.1 Viradores de vagões

Os viradores de vagões são equipamentos utilizados na descarga de minério de ferro de vagões. Esses equipamentos giram até 180° e são descarregados de dois em dois em um ciclo de operação automatizado contínuo (MOURA, 2003).

Os vagões são conjugados, isto é, entre um vagão e outro existe um engate fixo, chamado de barra fixa, e nas extremidades de cada par de vagões os engates são móveis, permitindo o giro dos vagões durante a descarga sem a necessidade de desacoplá-los (CARNEIRO, 2009).

### 2.2.2 Transportadores de correia

Os transportadores de correia (*conveyorbelts*) realizam o transporte do minério dos viradores de vagões até as empilhadeiras e das recuperadoras até o carregador de navio. No TPPM os transportadores operam em média com velocidade de 3,5 m/s e possuem capacidades de 2.000 t/h (toneladas/hora) com correia de 0,90 m, 8.000 t/h com correia de 1,8 m, 16.000 t/h com correia de 2,20 m. Os transportadores possuem sistema de partida direta sem carga, ou seja, o motor parte em vazio. (MOURA, 2003; CARNEIRO, 2009).

### 2.2.3 Empilhadeiras de minério

Após o processo de descarga nos viradores de vagões e a passagem pelos transportadores de correia, o minério chega às empilhadeiras de minério, também conhecidas como *stacker*, ou nas empilhadeiras/recuperadoras, conhecidas também como *stacker/reclaimers*, para realizar o processo de empilhamento e estocar o material.

O empilhamento de minério é um processo de estocagem a céu aberto, que visa corrigir algumas características físicas e químicas do material, como também atender uma logística operacional.

As empilhadeiras são equipamentos com grandes estruturas de aço que operam ao longo da extensão do pátio sobre bermas e são responsáveis pela formação das pilhas de minério no pátio. É constituída de duas partes, uma que faz o movimento de translação e outra que faz os movimentos de giro e elevação da lança. Sua alimentação é de média tensão 4,16KV, utilizada para acionar os transportadores da lança e trailer. Possuem também um transformador que rebaixa a tensão para 440 v, para serem utilizados nos inversores de frequência no controle dos movimentos de giro, translação e elevação (CARNEIRO, 2009).

### 2.3 Recuperadoras de minério

O processo de recuperação de minério pode ser executado por dois equipamentos diferentes, as recuperadoras ou *reclaimers* (RP's) ou pelo equipamento chamado empilhadeira/recuperadora também conhecido como *stacker/reclaimers* (ER's). Esses dois tipos de equipamentos possuem o mesmo princípio de funcionamento. Sua diferença está nas empilhadeiras/recuperadoras que são equipamentos mais modernos e que fazem a mesma função das recuperadoras, além da função da empilhadeira de minério, ora executando o processo de recuperar minério, ora o processo de empilhar minério. As recuperadoras e as empilhadeiras / recuperadoras são equipamentos móveis de grande porte que operam ao longo da extensão do pátio sobre bermas. É constituída de duas grandes estruturas, uma que faz o movimento de translação e outra que faz os movimentos de giro e elevação da lança. Possuem também uma roda de caçamba localizada na ponta da lança para fazer a recuperação de minério dos pátios (CARNEIRO, 2009).

## 2.4 Carregadores de navios

Após a recuperação do minério, o mesmo alcança os carregadores de navios (CNs) através dos transportadores. No TPPM existem quatro CNs para o embarque de minério de ferro, sendo: um, com capacidade nominal de 16.000 t/h e outros três com capacidade de 8.000 t/h (CARNEIRO, 2009).

## 2.5 Resumos dos principais equipamentos

O quadro 1 mostra os equipamentos do TPPM exceto os transportadores, pois estes existem em quantidade muito elevada:

Quadro 1 - Equipamentos do TPPM (Exceto Transportadores)

Equipamento	Tipo	Taxa Nominal
CN-321K-01	Carregador de Navios	16.000 ton./h
CN-325K-01	Carregador de Navios	8.000 ton./h
CN-325K-02	Carregador de Navios	8.000 ton./h
CN-325K-03	Carregador de Navios	8.000 ton./h
EP-313K-02	Empilhadeira	16.000 ton./h
EP-313K-03	Empilhadeira	8.000 ton./h
EP-313K-04	Empilhadeira	16.000 ton./h
ER-313K-01	Empilhadeira/Recuperadora	8.000 ton./h
ER-313K-02	Empilhadeira/Recuperadora	8.000 ton./h
ER-313K-03	Empilhadeira/Recuperadora	8.000 ton./h
ER-313K-04	Empilhadeira/Recuperadora	8.000 ton./h
RP-313K-02	Recuperadora	8.000 ton./h
RP-313K-03	Recuperadora	8.000 ton./h
RP-313K-04	Recuperadora	8.000 ton./h
VV-311K-01	Virador de Vagões	8.000 ton./h
VV-311K-02	Virador de Vagões	8.000 ton./h
VV-311K-03	Virador de Vagões	8.000 ton./h
VV-311K-04	Virador de Vagões	8.000 ton./h

Fonte: Carneiro (2009)



## 2.6 Expansões futuras

Para atender a crescente demanda global por minério de ferro, a VALE pretende consolidar de vez o TPPM como seu principal terminal para movimentação desse tipo de material. Sendo assim, para os próximos anos estão sendo planejadas expansões arrojadas. Nas seções seguintes mostrar-se-á um resumo dessas expansões.

## 2.7 CLN 150

O Projeto CLN150 pretende expandir a capacidade de movimentação de carga do TPPM para 150mi toneladas por ano a partir ano de 2012. Para isso existem várias expansões que contemplam, além do porto, mina e ferrovia.

Em se tratando de Porto, para atender a essa capacidade, serão construídos e instalados os seguintes equipamentos/estruturas, segundo o quadro 2:

Quadro 2 - Novos Equipamentos e Estruturas do Projeto CLN150

Quantidade	Equipamento/Estrutura	Capacidade
2	Viradores de Vagões	8.000 ton./h
1	Linha de Descarga	16.000 ton./h
2	Pátios de Estocagem	-
1	Empilhadeira	16.000 ton./h
2	Recuperadoras	8.000 ton./h
1	Linha de Transferência para Embarque	16.000 ton./h
1	Linha de Embarque	16.000 ton./h
1	Pier IV (Berço Sul)	-
2	Carregador de Navios	16.000 ton./h

Fonte: Marco Antonio de Souza

A principal obra deste projeto é a construção do Pier IV. Este Pier será construído em uma plataforma *offshore* através de uma ponte de acesso de 1.584m. Será composto por dois Berços, cada um contendo dois Carregadores de Navios. O calado máximo é de 25m, podendo atracar navios de até 400.000 *Dead Weight* (DWT).

Uma observação importante a respeito do Píer IV é que, apesar de cada um dos berços conterem dois carregadores de navios, estes não operarão simultaneamente, havendo ganhado somente nas trocas de porão, visto que enquanto um dos carregadores se posiciona, o outro se encontra em processo de carregamento, tornando esse processo mais contínuo.

A operação nesse píer será bastante complexa, visto que se encontra fora da área abrigada (protegida pelos molhes norte e sul) e está sujeito a fortes correntes de maré. Para permitir a operação será necessária a aplicação de tecnologias de ponta na amarração de navios e rebocadores, e treinamento intensivo dos práticos do terminal.

## 2.8 CLNS11D

Este projeto corresponde ao maior projeto em terminais portuários da América Latina. O projeto inicia-se com a ampliação da Mina de Carajás, iniciando a extração na Mina S11D. A partir daí, será feita a duplicação da Estrada de Ferro Carajás (EFC) para permitir o escoamento da produção até o TPPM. De forma complementar ao CLN150 (Capacitação Logística Norte – 150 mi toneladas), o CLNS11D visa expandir o terminal a uma capacidade de movimentação de 250mi toneladas por ano, previsto para iniciarem-se as operações em 2016 (quadro 3).

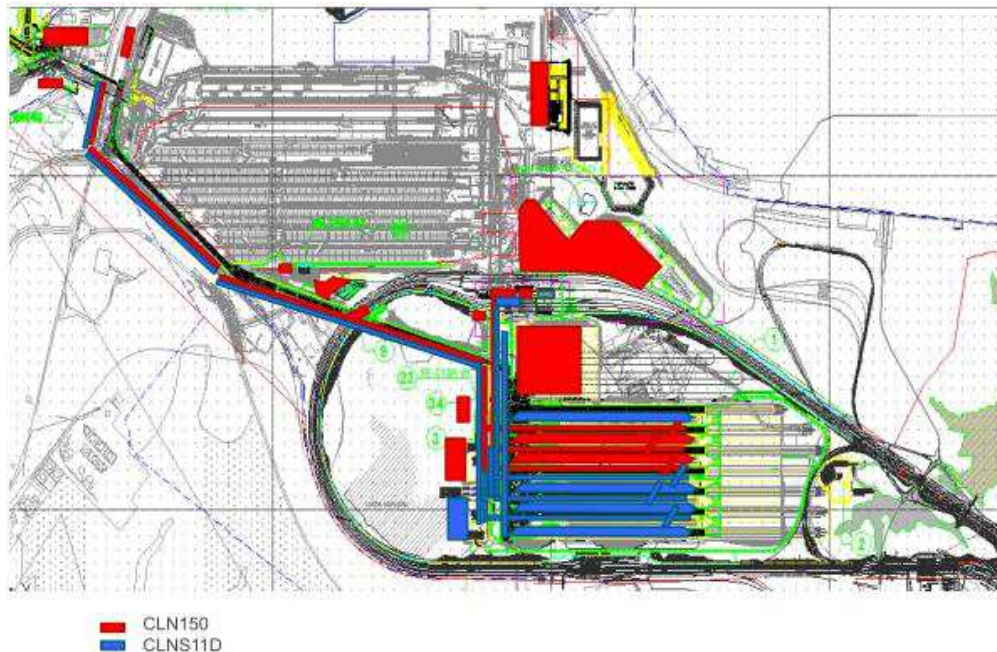
Quadro 3 - Novos Equipamentos e Estruturas do Projeto S11D

Quantidade	Equipamento/Estrutura	Capacidade
2	Viradores de Vagões	8.000 ton./h
2	Linhas de Descarga	16.000 ton./h
4	Pátios de Estocagem	-
1	Empilhadeira	16.000 ton./h
2	Recuperadoras	8.000 ton./h
2	Empilhadeira/Recuperadora	8.000 ton./h
1	Linha de Descarga Direta para Embarque	16.000 ton./h
1	Linha de Embarque	16.000 ton./h
1	Berço Norte do Píer IV	-
1	Carregador de Navios	16.000 ton./h

Fonte: Carneiro (2009)

A figura 2 mostra o Layout do porto contemplando as expansões. Observa-se que os novos pátios serão construídos no interior da Pêra Ferroviária existente e que os novos Viradores de Vagões ficarão próximos aos existentes. Além dos equipamentos, pátio e píer, serão construídos prédios administrativos para acomodar o aumento do efetivo do porto.

Figura 2 - Layout do TPPM com expansões



Fonte: Arquivo Técnico da VALE

## 2.9 Sistemas de automação do TPPM

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira é particularmente estratégico por ser responsável pelo embarque da produção do complexo industrial de mineração mais importante para Vale, Carajás.

É fundamental que o seu desempenho operacional seja alavancado através da aplicação das melhores tecnologias disponíveis.

As tecnologias de automação são imprescindíveis para o aumento de desempenho, sendo aplicadas, por exemplo, para melhoria de produtividade, redução de gastos, controle de qualidade e redução da exposição de trabalhadores a riscos.

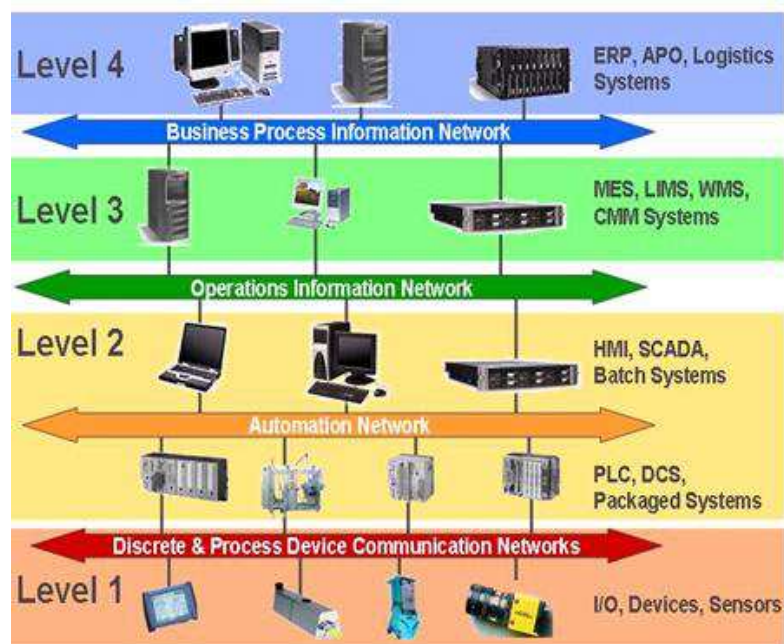
A base existente de ativos de automação é composta principalmente por:

- a) Instrumentação de controle e proteção

- b) Dispositivos de comunicação
- c) Sistema de controle e supervisão
- d) Historiador (PIMS)

Trazendo a base de ativos existentes no terminal podemos afirmar que o TPPM cobre os quatro níveis da matriz tecnológica, conforme figura 3.

Figura 3 - Matriz de automação tecnológica



Fonte: Aguirre (2007)

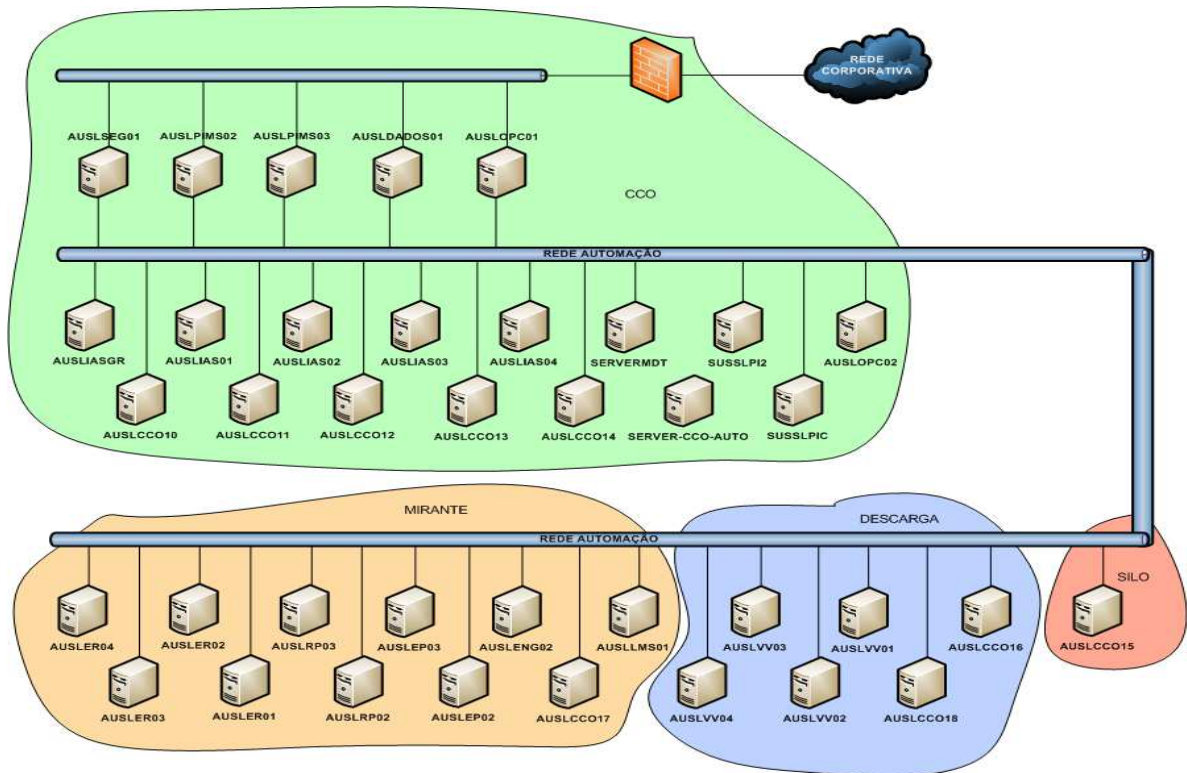
Atualmente o terminal conta com Recuperadoras, Empilhadeiras, Empilhadeiras/Recuperadoras e Viradores de Vagões totalmente automatizados.

Em sistemas industriais a Automação tem assumido um papel cada vez mais importante, visto que promove ganhos em produtividade, na medida em que reduz a influência da subjetividade humana, substituindo-a pela objetividade das medições dos instrumentos de campo. Essa substituição traz consigo não somente ganhos em produtividade, mas também ganhos em segurança operacional e pessoal.

### 2.9.1 Arquitetura da rede de servidores

A rede de servidores indicadas na matriz de tecnologia este presente nas operações do sistema de supervisão e controle de processo do terminal, todo sistema de gerenciamento da informação conhecido como PIMS do Porto (figura 4).

Figura 4 - Rede de servidores



Fonte: Marco Antonio de Souza

O sistema de supervisão e controle de processo é responsável por toda operacionalização do terminal recebendo status operacional, alarmes, diagnóstico e comandando equipamentos para produção através de telas sinóticas.

A rede de servidores interliga as três salas operacionais responsáveis em obter informações dos equipamentos que operam no TPPM.

Na sala de operação do Mirante concentra toda operação do pátio de estocagem de minério. Um total de 10 (dez) máquina e demais servidores de banco de alarmes, diagnósticos de rede, sistema de CFTV armazenadores de imagens.

Na operação de máquina moveis é realizada por estações de operação e supervisão (EOS) para operar remotamente, proporcionando visualização de estado dos acionamentos (Parado, Funcionando, Manutenção e Defeito), diagnósticos e informações operacionais, como pátio selecionado, baliza para estocagem de material, vagões descarregados e método de estocagem. Na figura 5 podemos visualizar a tela operacional de uma empilhadeira que trabalha na estocagem de material.



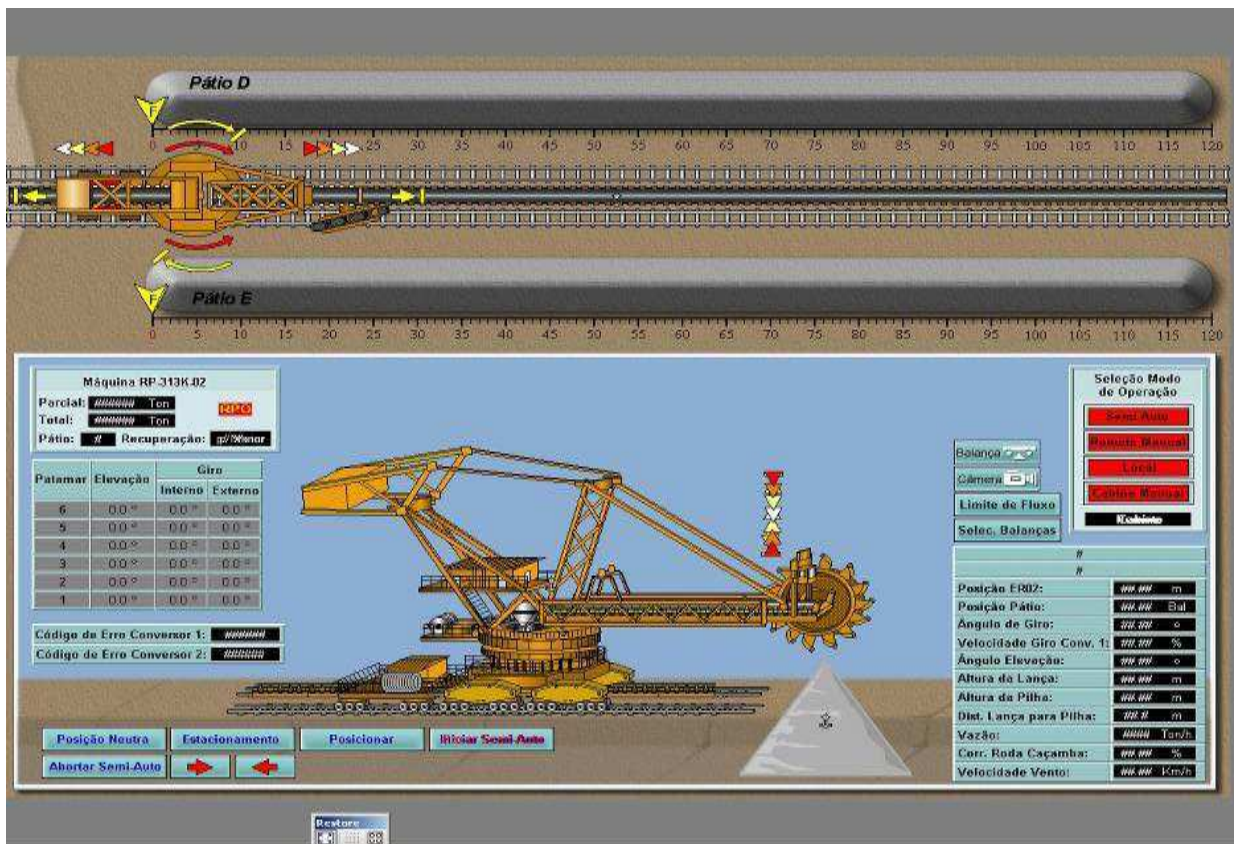
Figura 5 - Janela de supervisão e controle Empilhadeira



Fonte: Criada por Marco Antonio de Souza no Sistema de Supervisão de Controle da Vale

Na operação de embarque existe o mesmo recurso para máquina móvel de recuperação. Como informado anteriormente na EOS proporciona sinalizações necessárias para operação remota deste equipamento de recuperação. Na figura 6 mostra a tela de operação de uma recuperadora.

Figura 6 - Janela de supervisão e controle Recuperadora



Fonte: Criada por Marco Antonio de Souza no Sistema de Supervisão de Controle da Vale

Na sala de operação Descarga é responsável pela operação de descarga dos vagões oriundos da mina de Carajás. Um total de 04 (quatro) viradores de vagões virando dois vagões por vez (figura 7).

Figura 7 - Sala Operacional dos Viradores de Vagões



Fonte: Carneiro (2009)

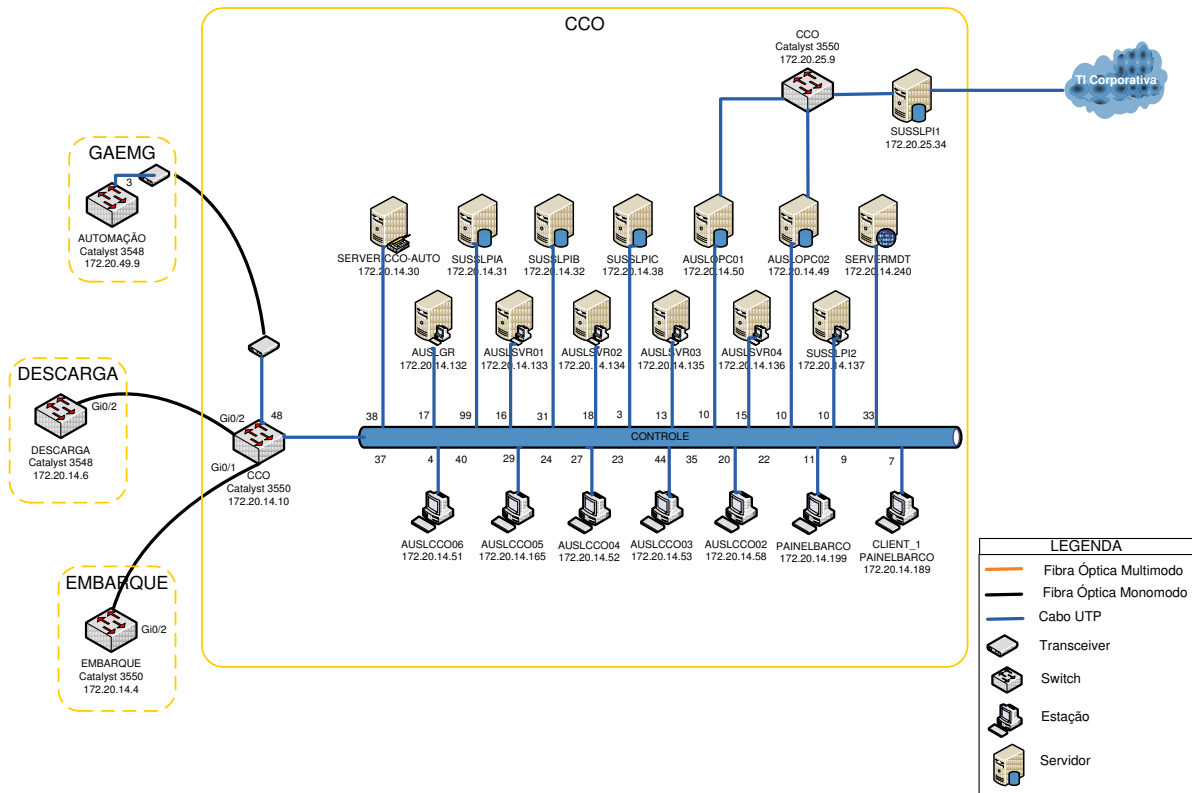
No Centro de Controle Operacional (CCO) esta grande parte dos servidores, sendo o principal CPD da automação do TPPM.

Neste centro de controle concentrasse informações relevantes para tomada de decisão de novas programações de descarga de vagões de minério e embarque de navios, conforme demandas de manutenção e operação. Um dos recursos disponíveis para operação do terminal são estações de operação e controle, com informações disponíveis em telas de maneira que possa obter sinalizações de estado dos equipamentos portuários (transportadores, maquinas moveis, descarregador de vagões).

Na figura 8 são mostrados os servidores instalados no CCO.



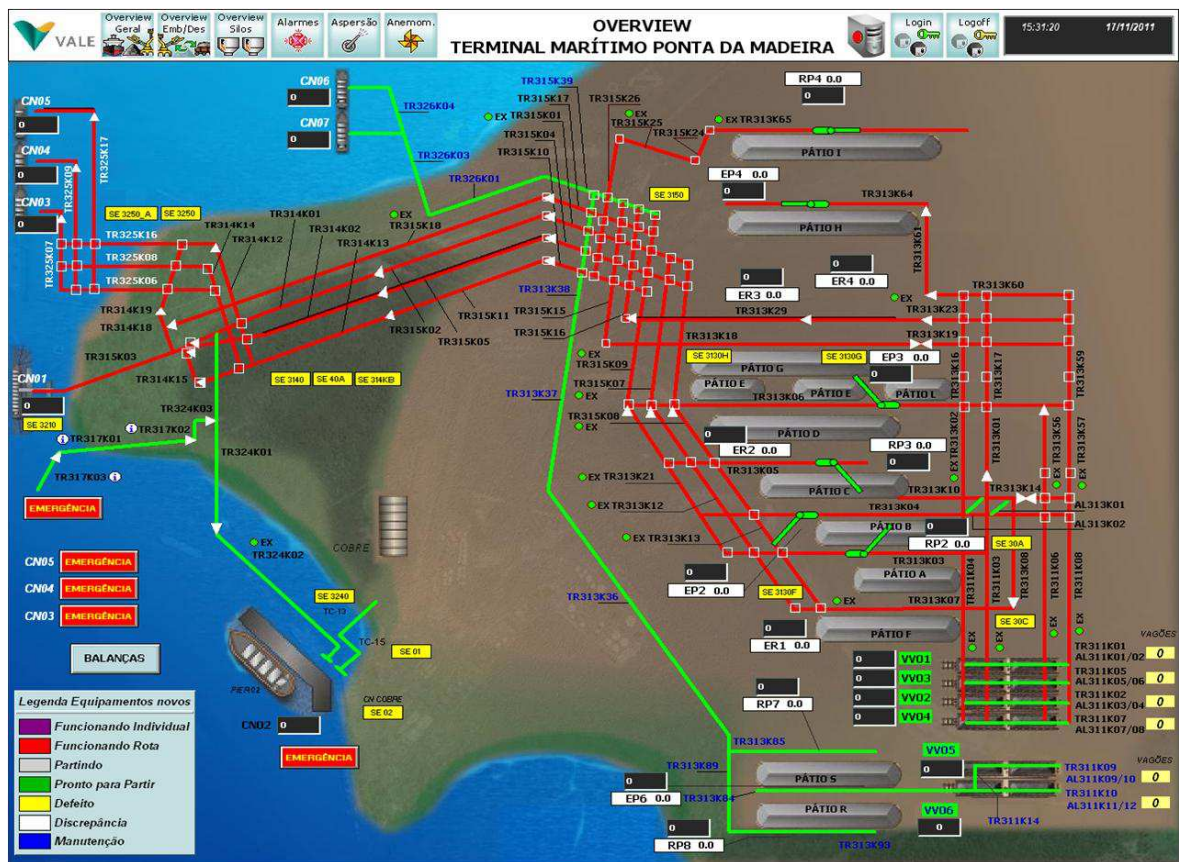
Figura 8 – Servidores CCO



Fonte: Criada por Marco Antonio de Souza no Sistema de Supervisão de Controle da Vale

Já informado anteriormente para visualização geral dos equipamentos do TPPM existem EOS com sinalização, diagnósticos e uma rotina para seleção de rotas do sistema de operação do TPPM. Na figura 9 mostraremos a tela principal do sistema de operação e controle.

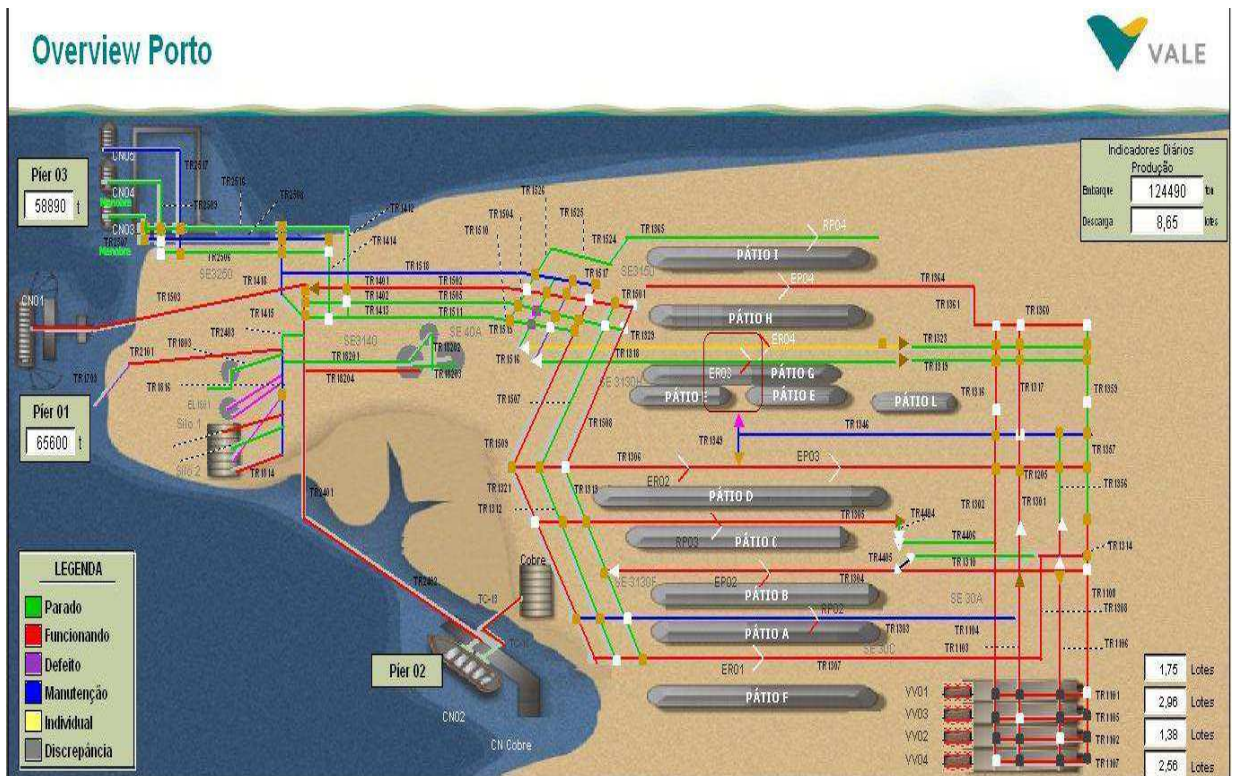
Figura 9 – Tela de supervisão e controle do TPPM



Fonte: Criada por Marco Antonio de Souza no Sistema de Supervisão de Controle da Vale

Para auxílio à manutenção existem servidores de coleta de dados e banco de dados que tem a função de armazenar dados operacionais e manutenção. Este sistema conhecido como PIMS é um compactador de informação por muito tempo que auxilia a manutenção em consultas, monitoramento e dados historiados dos equipamentos. Na figura 10 mostra a tela de monitoramento do PIMS que possibilita informação de estado dos equipamentos.

Figura 10 - Tela de Monitoramento do PIMS



Fonte: Criada por Marco Antonio de Souza no Sistema de Supervisão de Controle da Vale

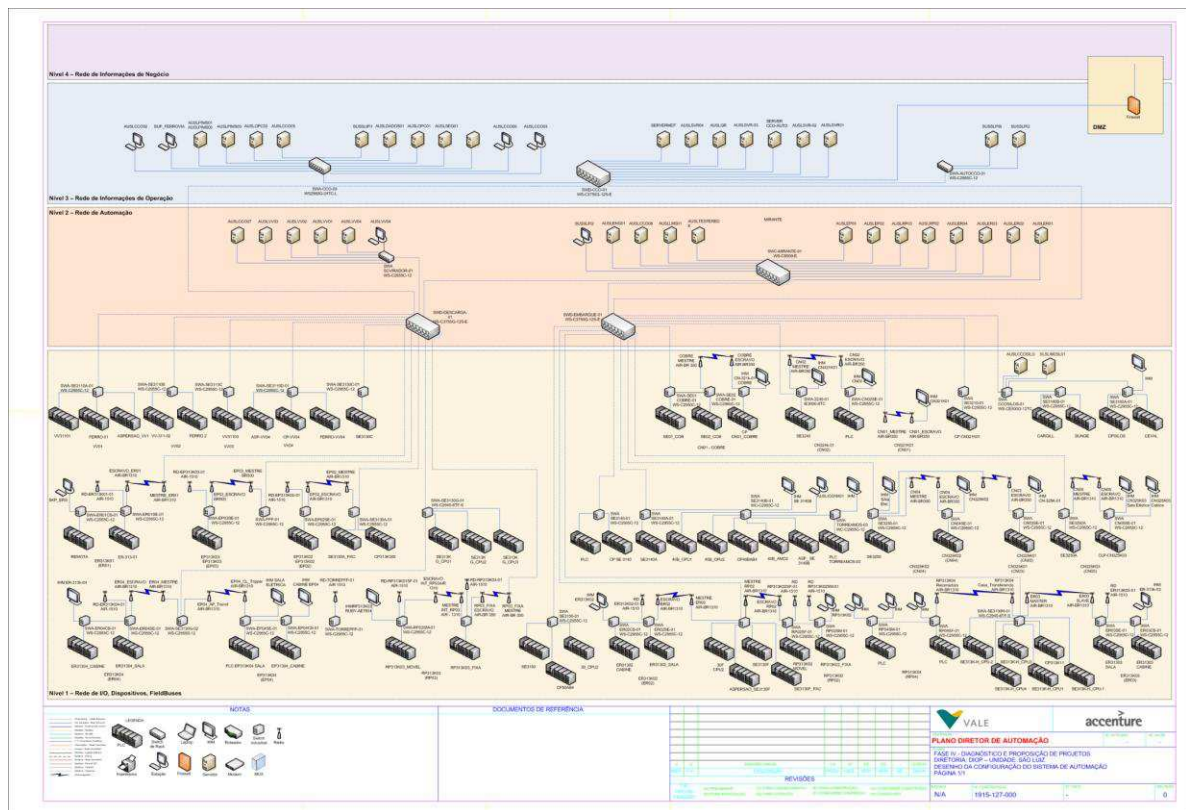
### 2.9.2 Arquitetura de rede Sistema de Automação

Na figura 11 mostramos arquitetura de rede do sistema de automação atual do TPPM, onde mostra as divisões dos níveis de tecnologia da automação implantada no terminal.

Pode-se observar que o nível tecnológico do terminal nos permite trabalhar com informações com segurança garantindo a informação com precisão.



Figura 11 - Arquitetura de rede



Fonte: Arquivo Técnico da Vale

### 2.9.3 Automação dos viradores de vagões

A Automação nos Viradores de Vagões (VVs) já está bastante consolidada. Atualmente, estes equipamentos operam majoritariamente através da operação automática. A automação nos VVs é bastante necessária, tendo em vista que os componentes deste equipamento operam com uma margem de erro bem pequena, não sendo possível contar apenas com a subjetividade dos operadores.

Atualmente, o operador necessita apenas informar alguns parâmetros para o sistema e, a partir daí, tudo ocorre automaticamente. O modo de operação automático conta, também, com alarmes na EOS para informar às falhas que foram detectadas. A partir das falhas, o próprio sistema identifica quando será necessário parar a operação para evitar danos ao equipamento. Através da Estação de Operação e Supervisão (EOS) o operador pode dar comando nos componentes do equipamento individualmente, funcionando em um modo remoto manual. Entretanto,

esse modo é mais utilizado em testes, quando se necessita fazer uma verificação da instrumentação.

#### 2.9.4 Automação nas máquinas de pátio

As Máquinas de Pátio (Recuperadoras, Empilhadeiras e Empilhadeiras/Recuperadoras) encontra-se em um elevado grau de automatismo. Para fins didáticos e para não alongar a discussão a ponto de fugir do foco do trabalho, serão descritos os processos de Empilhamento e Recuperação (ER), em vez das máquinas em si, visto que as ERs possuem os dois modos de operação.

O processo de recuperação opera de três formas: Manual Cabine, Manual Remoto e Remoto Semi-automática. No modo Manual Cabine o operador deve se deslocar até a máquina e operar através de manetes e botoeiras presentes no console de operação situado na cabine. Nesse modo de operação o operador conta com informações na Interface Homem Máquina (IHM) da cabine, provenientes de sensores de campo. No modo Manual Remoto o operador fica na sala de operação de máquinas de pátio do Porto (Mirante) em frente a uma Estação de Operação, de onde ele comanda a máquina. Nesse modo de operação o operador dá comandos na máquina utilizando manetes e botões virtuais com o mouse da estação de operação, além de contar com alarmes provenientes dos sensores instalados em campo. No modo Remoto Semi-automático a situação é semelhante a do modo Manual Remoto, entretanto, em vez de dar comandos através dos manetes e botões virtuais, o operador informa ao sistema alguns parâmetros relevantes para a operação, de forma que o próprio sistema dê comandos à máquina. Esse modo de operação é chamado de Semi-automático porque conta com a interferência do operador durante o processo.

O processo de empilhamento também opera de três formas: Manual Cabine, Manual Remoto e Remoto Automático. Os dois primeiros são semelhantes aos do processo de Recuperação. No modo Remoto Automático o operador deve apenas informar ao sistema as dimensões da pilha e o tipo de pilha. A partir disso o sistema opera a máquina sem a necessidade da supervisão constante do operador. Deve-se ressaltar que nesse modo os dados provenientes da instrumentação de campo são constantemente consultados e, caso haja alguma irregularidade, o processo é interrompido automaticamente.

### 2.9.5 Automação nos carregadores de navios

Os Carregadores de Navios ainda são operados exclusivamente pela cabine. A automação dessas máquinas está presente na instrumentação que dá apoio ao operador durante a operação, garantindo a segurança do equipamento e do próprio operador em caso de erro humano. O operador tem à sua disposição na cabine de operação uma IHM (Interface Homem-Máquina) na qual são mostrados alarmes oriundos da instrumentação de campo.

Uma informação importante a respeito da operação remota dessas máquinas é que, apesar de se assemelharem a empilhadeiras, a operação remota destes ainda não é permitida pelos Capitães dos navios. Portanto, apesar de se ter tecnologias que permitam a operação remota destes equipamentos com segurança e estudos que mostrem que esse tipo de operação é viável ainda não se têm o apoio dos armadores e capitães.

### **3 REENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

Neste capítulo é feita uma descrição e análise de algumas técnicas de inteligência artificial, para escolher a técnica mais adequada de identificar e selecionar a lógica correta para tomada de decisão. Na seção 3.1 é apresentada o princípio da inteligência artificial, na seção 3.1.1 é apresentada técnica de Sistemas Baseados em Conhecimentos, na seção 3.1.2 Aprendizado indutivo, na seção 3.1.3 é apresentada e enfatizada a técnica de Sistema Especialistas. Sistema Especialista foi a técnica escolhida em função do tipo de problema mais comumente ocorrido e também, devido a facilidade de construção e implementação de um sistema inteligente utilizando essa técnica.

#### **3.1 Inteligência artificial**

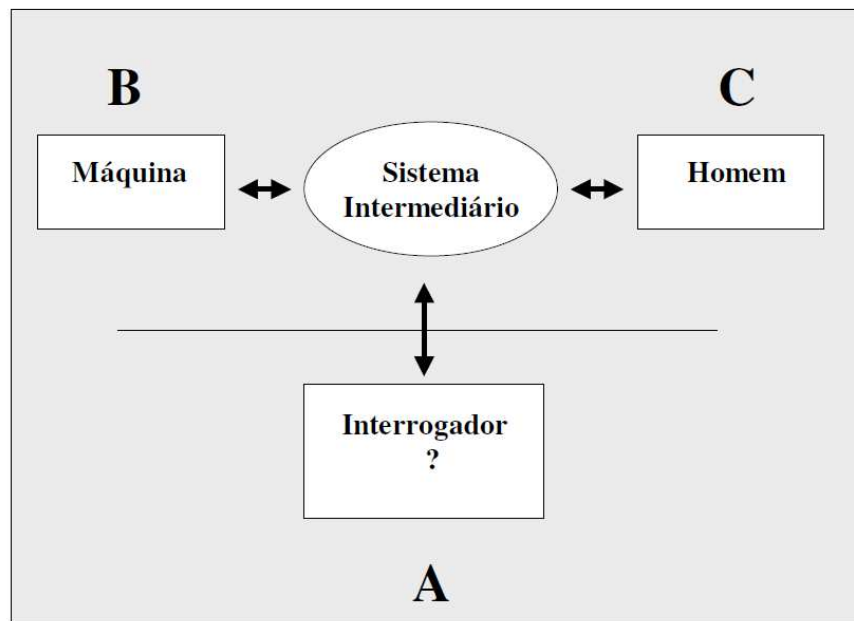
A inteligência Artificial (IA) é um ramo da computação que foi criado e desenvolvido para fazer com que a máquina tome decisões baseadas em fatos e regras (POHL, 1971; FEIGENBAUM; BARR; COHEN, 1982; NILSON, 1986; HOP GOOD, 1993). Isto é, a IA é simplesmente uma maneira de fazer com que o computador pense inteligentemente (RICH, 1990; SCHALKOFF, 1990; IGNIZIO, 1991; SIMON, 1996; MONTENEGRO, 2001). Isto é possível de ser conseguido, estudando como as pessoas pensam quando estão tentando tomar decisões e resolver problemas, dividindo esses processos de pensamentos em etapas básicas e projetando um programa de computador que solucione problemas usando essas mesmas etapas. A (IA) então fornece um método simples e estruturado de se projetar programas complexos de tomadas de decisões.

No renascimento, ressurgem com mais força as ciências, dando ênfase à expansão prática e quantitativa, também surge à mecânica e, com ela, uma nova concepção do homem.

Imprescindíveis para o avanço da IA foram os trabalhos dos matemáticos dos séculos XVII e XIX (LÉVY, 1993; ABEL, 1996) no século XIX, surge à figura de Alan Turing, mas só em 1956 é que a inteligência Artificial começa a ser reconhecida como ciência. Alan Turing desenvolveu um sistema para identificar se um sistema é especialista (inteligente) ou não, o teste de Turing como foi denominado, consiste dos seguintes elementos: máquinas, sistema intermediário e homem. Um

interrogador fará perguntas para o sistema especialista através do sistema intermediário, quando o interrogador não consegue identificar quem está respondendo as perguntas, diz-se que o sistema é especialista. A figura 12 ilustra o teste de Turing.

Figura 12 – O teste de Turing



Fonte: Moura (2003)

O desenvolvimento em IA avança lado a lado com a evolução dos computadores que, ao longo do tempo foram fazendo com que se começasse a encarar essas máquinas como inteligentes alterando mesmo o nosso conceito de inteligência e aproximando os conceitos "máquina", tradicionalmente não inteligentes da "inteligência", capacidade antes consignada exclusivamente ao homem (ISRAEL 1983; BOOSE, 1985; WINSTON, 1988; NAGAO, 1990; IGNIZIO, 1991; HOP GOOD, 1993; TANIMOTO, 1995; ABEL, 1996; LABIDI, 2001).

O objeto de estudo da IA ainda continua indefinido, no sentido em que o homem ainda não conseguiu a definição exata e satisfatória de inteligência e para se compreenderem os processos de inteligência artificial e da representação do conhecimento terão de se dominar os conceitos de inteligência humana e conhecimento.



A máquina será abastecida de uma enorme variedade de dados, teorias de conhecimentos, de crenças, de um universo simbólico superior ou, pelo contrário, basear o estudo da cognição no nível inferior da percepção (GOLEMAN, 1995; DAMÁSIO, 1996; ABEL, 1996).

A tendência geral foi no sentido de conciliar as duas teorias em uma terceira teoria híbrida, segundo a qual a máquina seria capaz de raciocinar utilizando conceitos complexos, e de perceber o seu meio envolvente. Mas para isto, é necessário que se desenvolva um algoritmo que venha atender o objetivo idealizado pelo homem, tornando assim, a máquina com o poder de inteligência, ou seja, tomar decisões baseadas em dados que foram inseridos antes pelo próprio homem.

A ferramenta básica para a criação de teorias, modelos e desenvolvimento de técnicas é o computador. O desempenho de um programa de IA depende da ação inteligente do programa computacional.

Atualmente uma linha de pesquisa para construção de sistemas inteligentes é a linha simbólica e neste contexto estão os sistemas especialistas (SE). Desde o século XX década de 70 os SE estão sendo bastante usados por diversas áreas do conhecimento com muito sucesso. O desenvolvimento e a progressão de IA estão ligados diretamente com a evolução industrial, cada vez mais, as grandes indústrias estão fazendo uso de programas avançados de computador para implementação de técnicas que promova o aumento e a qualidade da produção.

A fundamentação teórica deste trabalho de dissertação envolve conceitos que estão alicerçados nas teorias de inteligência Artificial e, principalmente, de Sistemas Especialistas baseados em conhecimentos (fatos e regras). Este trabalho também se fundamentou em observações realizadas no campo durante (paralelo) as pesquisas bibliográficas e estudos teóricos, para que fosse efetivada uma certeza maior para escolha da técnica mais apropriada o problema proposto (Identificação de Anticolisão de Equipamentos Portuários para tomada de decisão).

A palavra inteligência vem do latim, *inter* (entre) e *legere* (escolher), inteligência significa a faculdade de escolher entre uma coisa e outra. Já a palavra *artificial*, vem também do latim, *artificiale* e significa algo não natural. A definição da palavra inteligência, na língua portuguesa é: faculdade de compreender, ato de interpretar, compreensão, conhecimento profundo, habilidade; e, artificial como: produzido por arte ou indústria, desnatural, que é produzido, não pela natureza, mas com o uso de uma técnica.

### 3.1.1 Sistemas baseados em conhecimento

Sistemas baseados em conhecimento são programas de computador englobando conhecimento sobre um domínio para solução de problema relatado para este domínio, que são (FEIGENBAUM et al., 1990; MATSUMOTO, 1992; FERREIRA, 1998):

- a) Base de conhecimento
- b) Mecanismo de inferência

Métodos de manipulação de conhecimento incluindo o uso de sucessão e restrições ou objeto orientado de sistemas especialistas. Exemplos de casos de processos de sistemas de computadores e adaptações de casos baseados em sistemas especialistas é a aplicação de regras de inferências, numa regra baseada em sistemas especialistas, de acordo com muitos procedimentos de controle e pesquisa estratégica.

Os melhores sistemas especialistas são hoje em dia desenvolvidos usando programas conhecidos como *shells*. Estes são essencialmente sistemas especialistas completos prontos com inferência e armazenamento fácil de conhecimento, mas sem o conhecimento do domínio. Alguns sistemas especialistas sofisticados são construídos com a ajuda de “desenvolvimento do ambiente” (FERREIRA, 1998; SILVA, 2000). Os posteriores são mais flexíveis do que os *Shell*, no que eles também preparam para usos inferiores para programar-lhes suas inferências e métodos de representação de conhecimentos.

Os sistemas especialistas são provavelmente os mais completos, com muitos *Shell* e desenvolvimento de técnicas comerciais vantajosas facilitando sua construção. Conseqüentemente, uma vez que, o domínio do conhecimento para ser incorporado num sistema especialista é relativamente simples a extração do processo de construção. A facilidade com a qual sistemas especialistas podem ser desenvolvidos tem guiado um número muito grande de aplicações desta técnica (WATERMAN, 1986; RUSSEL, 1995; DURKIN, 1998).

### 3.1.2 Aprendizado Indutivo

Aprendizado indutivo é uma técnica de IA que permite a construção de sistemas especialistas através de comportamento indutivo, pôr a aquisição do

domínio de conhecimento dentro da base de conhecimento de sistema especialista é geralmente uma tarefa muito grande. Em muitos casos, isto tem provado um obstáculo no processo de construção de um sistema especialista.

Conhecimento de técnicas de aquisição tem sido desenvolvido para resolver esse problema. Aprendizado indutivo ou extração do conhecimento na forma de “SE – ENTÃO” (IF – THEN) regras ou uma árvore de decisão equivalente é uma técnica automática para aquisição de conhecimento.

Um programa de aprendizado indutivo, embora o processo de divisão e conquista aqui atributos são selecionados de acordo com muitas estratégias. Por exemplo, para maximizar o ganho de informação, para dividir o ponto de exemplo original em sub pontos.

O programa de aprendizado indutivo constrói uma árvore de decisão que classifica corretamente o ponto original. Em outro exemplo conhecido como a cobertura aproximada, o programa de aprendizado indutivo tenta encontrar grupos de atributos unicamente partidos pelos exemplos dados nas classes, formas e regras como “SE” parte daqueles atributos e o “ENTÃO” parte das classes. O programa remove corretamente exemplos classificados para considerações e para onde regras são formadas para classificar todos os pontos dados nos exemplos.

Uma nova aproximação para aprendizado indutivo, “Programação Lógica Indutiva”, é a combinação de indução e programação lógica. Diferente do aprendizado indutivo convencional, o qual usa proposta lógica para descrever exemplos e representar novos conceitos, Programação Lógica Indutiva (DURKIN, 1998) emprego mais poderoso para afirmação lógica para representar exemplos de instalação e afirmações de conhecimento e expressar novo conhecimento. Afirmação lógica permite o uso de diferentes formas de exemplos de instrução e afirmação de conhecimento. Isto torna possíveis os resultados de processo de indução, que é o conceito indutivo, pode ser descrito como classes gerais com variáveis de primeira ordem, e não exatamente como classes propostas de ordem zero, feito pares de valores atribuídos. São dois principais tipos de sistemas PLI, o primeiro baseado no método generalização / especialização “*top-down*” e o segundo, no princípio de resolução inversa.

Um número muito grande de programas de aprendizado indutivo tem sido desenvolvido, muitos programas bem conhecidos, são:

- a) ID3 – o qual divide e conquista um programa.

b) AQ – o qual segue uma cobertura aproximada.

c) FOIL – o qual é um sistema PLI baseado em resolução inversa.

Se bem que, muitos programas somente, em geral, verificam as regras de decisões, algoritmos também têm sido desenvolvidos para produzir regras fuzzy.

Aprendizado indutivo tem encontrado, particularmente, aplicações limitadas na engenharia. Em outras razões, para quantidades pequenas de aplicações, é que aprendizado indutivo é geralmente mais adequado para problemas que têm discretos ou valores simbólicos do que para aqueles com valores contínuos atribuídos como em muitos problemas na engenharia[38].

### 3.1.3 Sistemas especialistas

Edward Feigenbaum, professor da Universidade de Stanford, pioneiro na tecnologia de sistemas especialistas - SEs define como “[...] um programa inteligente de computador que usa conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas que são difíceis o suficiente para que sua solução necessite de um grau significativo de perícia humana.” (FEIGENBAUM; FELDMAN, 1963).

Isto é, um sistema especialista é um sistema de computação que emula a habilidade de tomar decisões de um especialista humano.

O termo emular significa que se pretende que o sistema especialista aja em todos os sentidos como um especialista humano. Uma emulação é muito mais forte que uma simulação. Simulações agem como o elemento real em apenas alguns aspectos.

Uma característica fundamental em sistemas especialistas é que o conhecimento do(s) especialista(s) é armazenado através de regras. Regras, neste contexto, são construções simples na forma: Se alguma condição é verdadeira, Então faça alguma coisa. O uso de regras é interessante em algumas situações tendo em vista que permite a construção da definição de um determinado comportamento de maneira compacta. Se analisado em sua forma mais simples, um determinado comportamento caracteriza-se por um conjunto de ações e um conjunto de condições sob as quais as ações devem acontecer. Um sistema especialista continuamente analisa um conjunto de elementos condicionais (conhecidos como regras) em relação a uma base de fatos (também conhecida como base de conhecimento) para verificar se alguma regra pode ser aplicada para aquele

conjunto de fatos. Se a premissa é verdadeira, então o sistema especialista executa as ações associadas gerando novos fatos na base de conhecimento. Este processo de analisar a base e disparar regras é realizado por um componente denominado: máquina de inferência.

A aplicação desta tecnologia apresenta uma série de vantagens, dentre as quais, algumas são citadas por Gardner (1992) a seguir:

- a) solucionar problemas importantes que, de outro modo, deveriam ser solucionados por um perito humano;
- b) Flexibilidade na integração de novos conhecimentos ao conhecimento já armazenado; auxílio aos usuários na elucidação, estruturação e transferência de conhecimento;
- c) Capacidade de mostrar seu conhecimento de uma forma facilmente compreensível; disponibilização de explicações sobre suas recomendações;
- d) Capacidade de raciocinar com conhecimentos incompletos sobre a natureza de uma tarefa ou como a tarefa deve ser realizada de forma eficiente;

Capacidade de tratar sentenças simples em linguagens naturais. No exemplo do problema sendo considerado, as questões (b), (c) e (e) são aspectos importantes, que se utilizadas adequadamente em uma ferramenta de software, certamente podem contribuir significativamente no apoio ao aprendizado de lógica de programação.

Os SE's diferem dos programas computacionais convencionais (PCC's) devido a sua arquitetura. Os PCC's são constituídos basicamente de um algoritmo, que define todos os passos de execução do programa, e de uma grande massa de dados, especialmente numérica. Já os SE's são constituídos de uma grande massa de conhecimento de um mecanismo de inferência, que usualmente pode trabalhar com diferentes conjuntos de conhecimento [25], [27] e [28]. Em resumo:

PCC = Dado + Algoritmo

SE = Conhecimento + Inferência

A característica mais importante de um SE é que ele depende de uma grande base de conhecimento [50]. Outra característica do SE é a separação entre o conhecimento utilizado para resolver o problema, que deverá ser capaz de crescer e mudar, conforme necessidade surgida pelo operador e o programa código que o

manipula para obtenção da solução. Este programa deverá ter sua execução bastante estável e ser projetado de maneira a poder trabalhar com diferentes conjuntos de conhecimento.

Os sistemas especialistas são construídos a partir de conhecimentos de Especialistas humanos, isto é, o banco de dados de um SE, são conhecimentos adquiridos na maioria das vezes, de vários especialistas humanos. Portanto, fica difícil falar em SE's sem fazer comparações, sejam técnicas ou filosóficas, do desempenho destes sistemas versus aos especialistas humanos.

### 3.1.3.1 Classificação dos sistemas especialistas

Os parágrafos a seguir descrevem uma classificação para SE's tendo por base diversos atributos, tais como: forma de representação do conhecimento, estratégia de controle do mecanismo de inferência e modo de operação.

Um SE, para poder apresentar o desempenho de especialistas humanos, depende de uma grande base de conhecimento (RICH, 1990). O ser humano, durante o processo de aprendizagem, preocupa-se, inicialmente, com aquisição de dados (conhecimento propriamente dito), sem se preocupar com a forma de representação, ou como está sendo feito o armazenamento no cérebro (base de conhecimento). Diferentemente, os SE's, para que se obtenham os resultados esperados com maior desempenho e eficiência e com fácil manutenção, necessitam de uma prévia análise avaliativa, de qual melhor maneira de se estruturar o conhecimento adquirido, maneira esta denominada forma de representação do conhecimento (RC). Define-se RC como *um esquema ou dispositivo usado para capturar os elementos essenciais de um domínio do problema* (SCHALKOFF, 1990).

O conhecimento é representado como uma coleção de fatos estáticos, acompanhados por um conjunto de procedimentos para manipulá-los. Os quadros permitem a herança automática dos atributos, isto é, os nós dos níveis inferiores possuem automaticamente as propriedades dos nós do nível superior da hierarquia. Os quadros podem ser de dois tipos:

- a) Construtores
- b) Instanciados

Os quadros construtores funcionam como esquemas para a construção de outros quadros. Já os quadros instanciados, são específicos, construídos a partir dos quadros construtores.

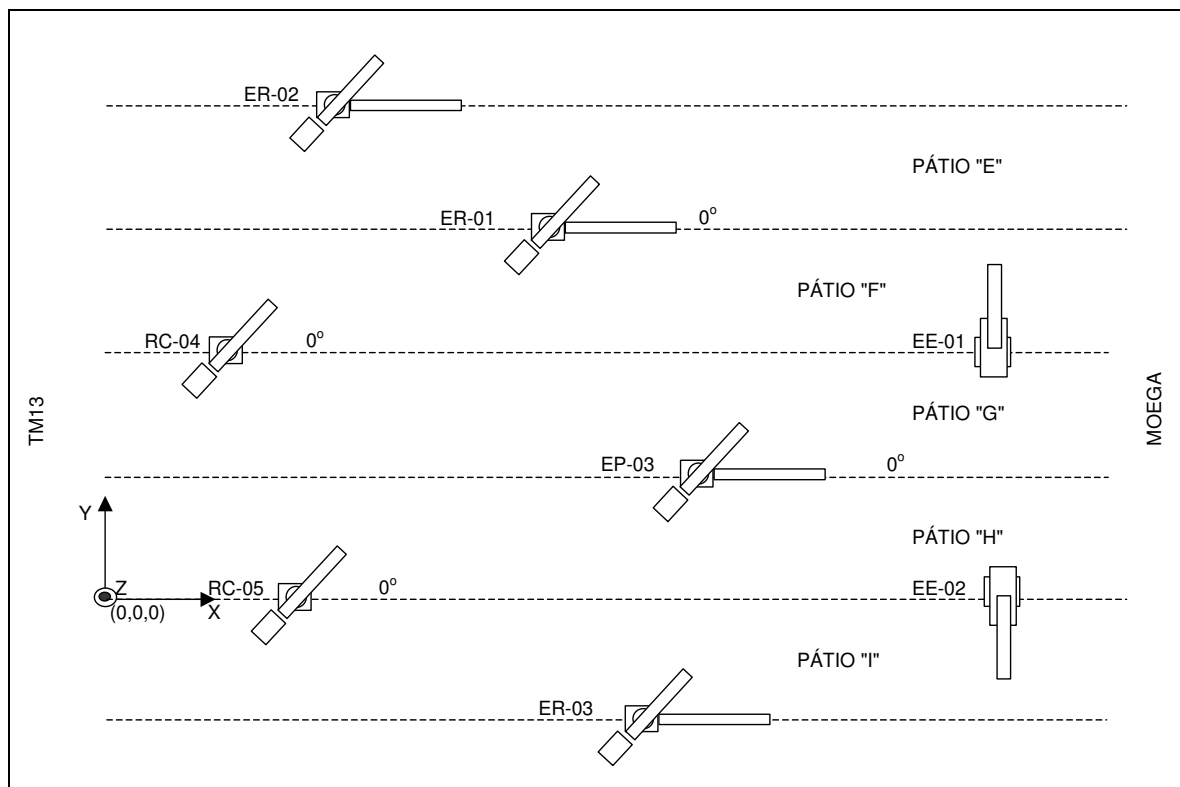
A representação por quadros facilita a estruturação de conhecimentos (fatos), permitindo seu manuseio (adição e ou remoção) sem a necessidade de alterar nem os fatos antigos, nem os procedimentos para manipulá-los. Já como dificuldades, pode-se citar que, por utilizarem mecanismo de inferência por herança, tornam-se mais complexos (maiores e mais caros), além de muitas vezes serem insuficientes para modelarem raciocínio mais complexo, precisando ser combinados com regras de produção. O uso de quadros é indicado em áreas onde a forma e o conteúdo dos dados representa uma condição fundamental na solução do problema, como por exemplo, em compreensão da fala e em interpretação de imagens (RICH, 1990; SCHALKOFF, 1990).

## 4 SISTEMAS ANTICOLISÃO

### 4.1 Modelos do pátio

O pátio será modelado seguindo um sistema de coordenadas cartesianas X, Y, Z, conforme figura 13.

Figura 13 – Modelagem do pátio



Fonte: Moura et al. (2012)

O sistema de coordenadas acima terá origem sobre a correia que passa sob a RC-05 e EE-02 (eixo X), no ponto de translação convencionalizado como "0", e ao nível do solo.

#### 4.1.1 Modelo das máquinas

A partir deste sistema, todas as máquinas envolvidas no sistema anticolisão serão modelos por figuras sólidas (poliedros). Esse modelamento será feito por pontos na superfície das partes móveis (por aproximação). Esses sólidos,





#### 4.1.2 Vetores

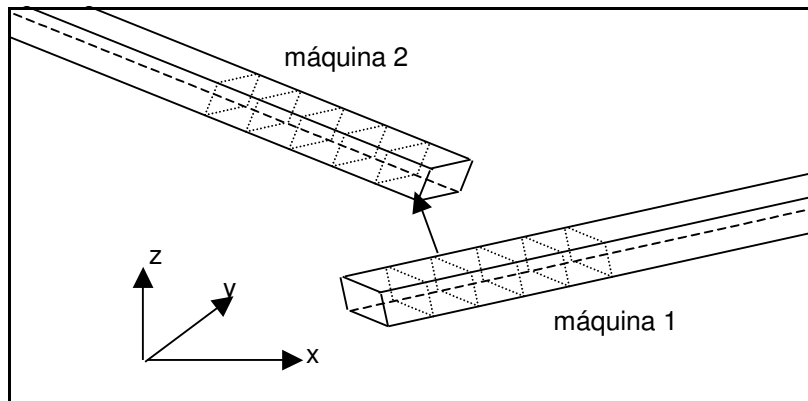
A partir das medidas acima e das cotas levantadas em desenhos mecânicos, cada ponto  $P_n$ , de cada máquina, terá suas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  calculadas em relação à origem do sistema de coordenadas cartesianas do pátio. A partir dessas coordenadas, poderemos gerar o vetor no espaço que vai da origem ao ponto  $P_n$  (ponto localizado na superfície de uma máquina):

$$\vec{OP}_n$$

O número de pontos que comporá o modelo das máquinas dependerá do comprimento de lança e contrapeso a ser protegido (área passível de colisão), da largura e altura da seção transversal do paralelepípedo utilizado para modelar essas partes, e da distância mínima entre as máquinas que deve ser definida no início do projeto a fim de se definir o número de pontos de cada modelo.

A partir dos vetores dos pontos de cada máquina em relação à origem do pátio, para cada tipo de colisão avaliada a partir desse modelo (colisões truck com truck, final de pátio e pilha serão tratados à parte), serão gerados outros vetores, denominados vetores “distância”, que definirão as distâncias entre os pontos de duas máquinas e possibilitará avaliar se essa distância é menor que a mínima distância de segura. Através desses vetores será possível também calcular a posição relativa entre as duas máquinas em rota de colisão, bloqueando os movimentos no sentido da colisão e liberando os movimentos de translação, giro e elevação no sentido contrário (figura 15):

Figura 15 – Distância entre máquinas



Fonte: Moura et al. (2012)

$$\overrightarrow{P_{1n}P_{2n}} = \overrightarrow{OP_{2n}} - \overrightarrow{OP_{1n}}$$

Decompondo esse vetor distância nas três componentes x, y e z terão o módulo da distância, direção e o sentido do vetor, e por consequência a posição relativa entre as mesmas:

Se  $|\overrightarrow{P_{1n}P_{2n}}| < \text{mínimo1}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão e o movimento de translação, giro e elevação na direção e sentido da colisão será reduzida à velocidade mínima.

**IMPORTANTE:** como a lança telescópica da escrava tem velocidade única, seu movimento será bloqueado na ocorrência do evento acima, distância  $< \text{mínimo1}$ , sendo liberado somente o recuo da lança enquanto perdurar a situação.

Se  $|\overrightarrow{P_{1n}P_{2n}}| < \text{mínimo2}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão e o movimento de translação, giro e elevação na direção e sentido da colisão será bloqueada.

O modelo descrito acima será utilizado p/ avaliar os seguintes tipos de colisão:

- a) Colisão lança com lança;
- b) Colisão lança com contrapeso;
- c) Colisão lança com lança/roda de caçamba;
- d) Colisão lança/roda de caçamba com lança/roda de caçamba;
- e) Colisão lança/roda com contrapeso;
- f) Colisão lança com chute de escrava.

#### 4.1.3 Número de pontos do modelo de cada máquina

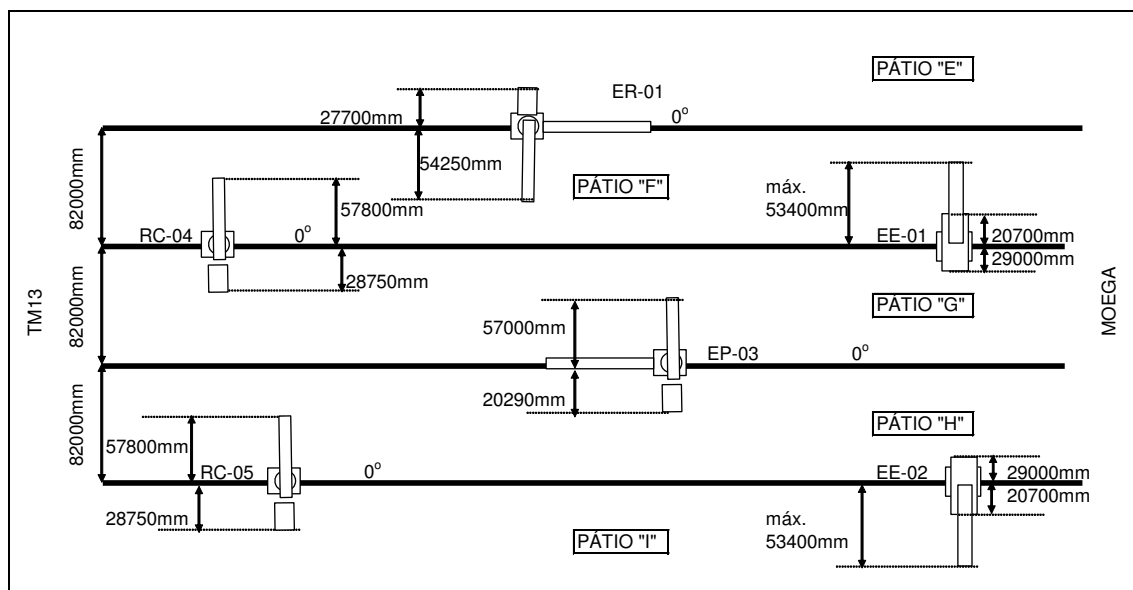
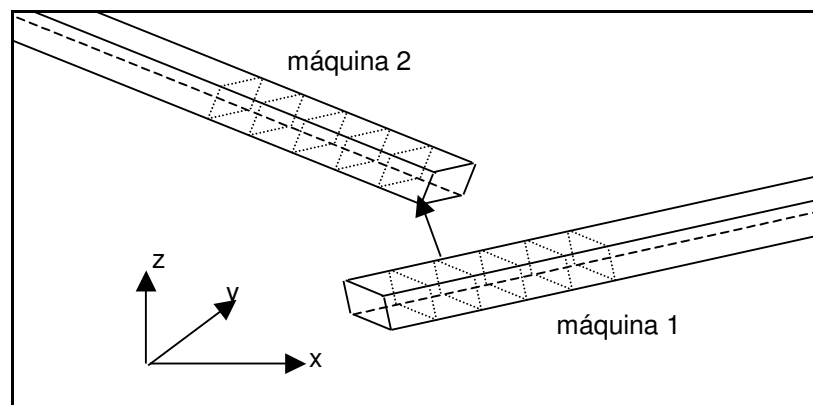
Para definição do número de pontos do modelo a ser desenvolvido para representar cada máquina precisamos antes definir:

Distância mínima de segurança entre as máquinas;

Comprimento de lança e contrapeso (ou chute) que pode colidir com outras máquinas.

De acordo com a figura 16 e certificando-se de que as cotas estão corretas, podemos calcular os comprimentos de lança e contrapeso a ser protegido pelo sistema anticolisão em todas as máquinas.

Figura 16 – Distância de máquinas



Fonte: Moura et al. (2012)

Se o comprimento máximo da lança de uma determinada máquina M1 é Lm1 e o comprimento da lança de outra máquina que trabalha no mesmo pátio, em uma correia adjacente, M2, é Lm2, então o comprimento de lança a ser protegido em M1 é:

$Lm1+Lm2 - (\text{Largura do pátio})$

Por analogia, para o contrapeso de M1, de comprimento Cpm1, temos:

$Cpm1+Lm2 - (\text{Largura do pátio})$

Assim sendo, para as máquinas do nosso pátio deveremos proteger:

Lança da ER-01: 30050 mm;

Contrapeso da ER-01: 3050 mm;

Lança da EP-03: 32800 mm;

Contrapeso da EP-03: não colide;

Lança das RC-04/RC-05: 32800 mm;

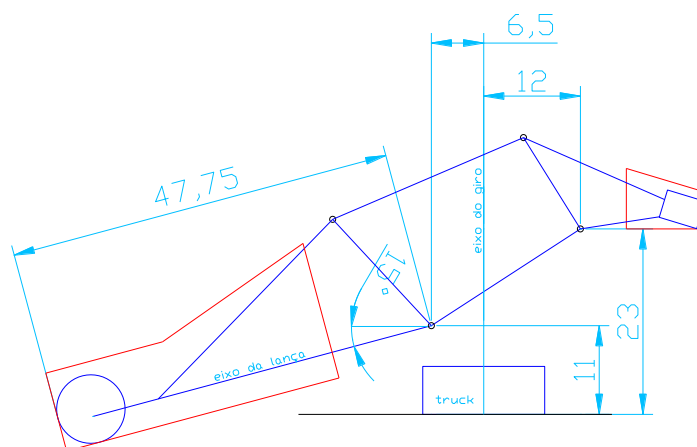
Contrapeso da RC-04/RC-05: 3750 mm;

Lança das EE-01/EE-02: 25650 mm;

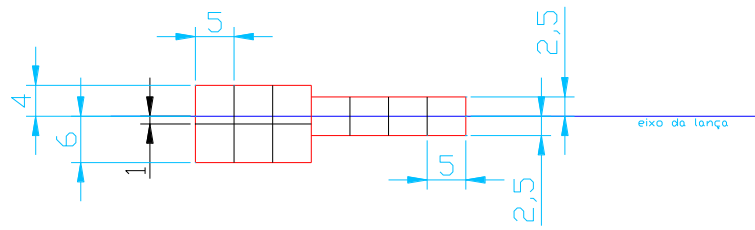
Chute da EE-01/EE-02: 4000mm;

De acordo com o exemplo da figura 17, modelo da ER-01, pode calcular as coordenadas cartesianas de todos os pontos das áreas a serem protegidas na lança e no contrapeso.

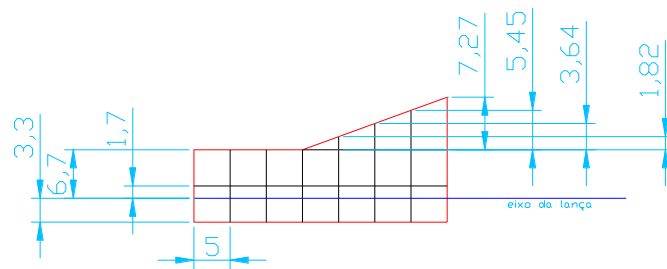
Figura 17 – Máquina modelada



Vista lateral



Área protegida lança -  
vista superior

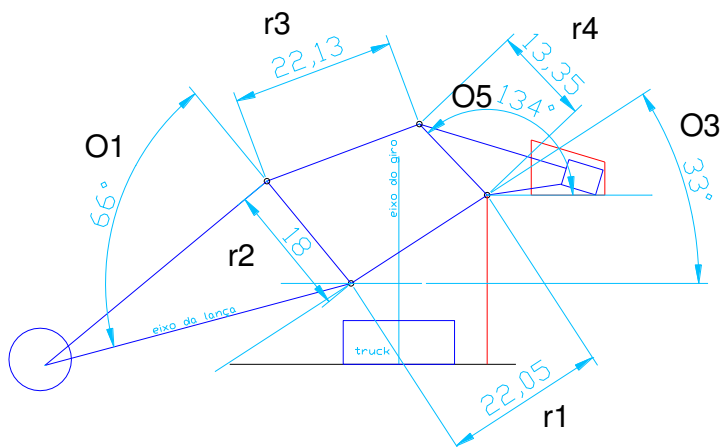


Área protegida lança -  
vista lateral

Fonte: Arquivo Técnico da Vale

Voltando ao modelo do pátio de das máquinas, podemos escrever as coordenadas que qualquer ponto da lança ou do contrapeso em função da translação, do giro e da elevação da máquina (figura 18).

Figura 18 – Vista lateral da lança



Dados p/ cálculo do ângulo  
do contra-peso

Fonte: Arquivo Técnico da Vale

Por exemplo, se a máquina acima for ER-01, as coordenadas de P0(x0, y0, z0), em milímetros, serão:

$$X0 = X_{ER01} + R1_{ER01} \cdot \cos A + L_{ER01} \cdot \cos A \cdot \cos B - w \cdot \sin A - h \cdot \cos A \cdot \sin B$$

$$Y0 = Y_{ER01} - R1_{ER01} \cdot \sin A - L_{ER01} \cdot \sin A \cdot \cos B + w \cdot \cos A - h \cdot \sin A \cdot \sin B$$

$$Z0 = H1 + L_{ER01} \cdot \sin B + h \cdot \cos B$$

Onde:

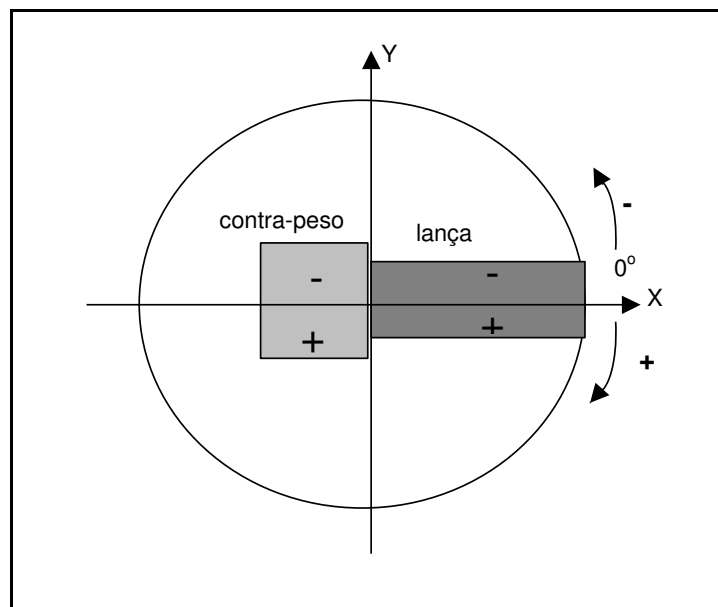
$X_{ER01}$  = coordenada X da ER01 em relação à origem do pátio, em mm;

$Y_{ER01}$  = coordenada Y da ER01 em relação à origem do pátio, em mm;

$L_{ER01}$  = distância que vai do pivô da elevação da lança até a seção transversal onde está o ponto P0, em mm;

$w$  = Cota horizontal, em mm, que vai do eixo da lança (ou contra-peso) até o ponto em questão. Deve-se adotar a seguinte convenção de sinais para  $w$  (figura 19):

Figura 19 – Cota horizontal

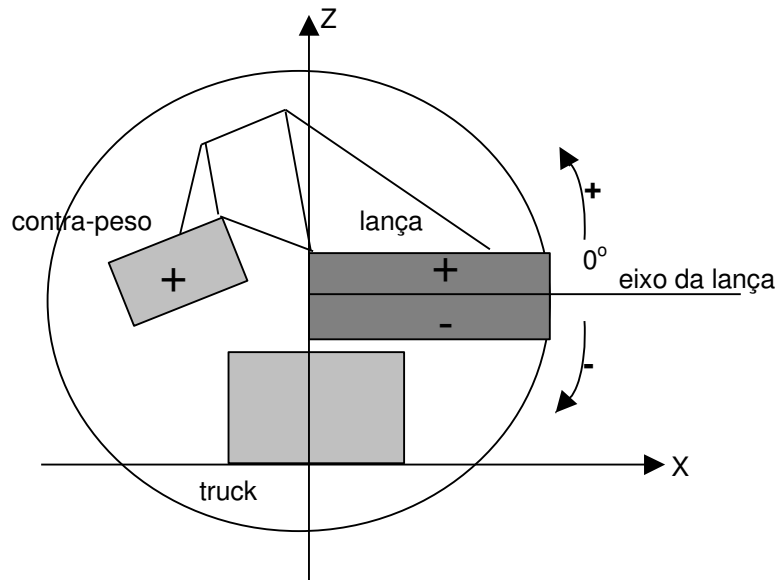


Fonte: Moura et al. (2012)

$B$  = ângulo de elevação da lança. Se o ponto estiver no contrapeso, use  $C$ , ângulo do contrapeso;

$h$  = cota vertical vai do pivô da elevação da lança até o ponto P0 quando a lança está em  $0^\circ$ . Usa-se a seguinte convenção de sinais  $p/h$  (figura 20):

Figura 20 – Cota vertical



Fonte: Moura et al. (2012)

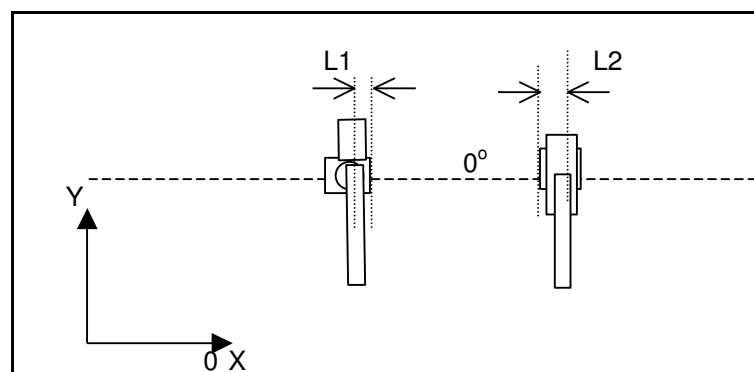
#### 4.1.4 Colisão Truck com Truck (T/T)

Coordenada X da extremidade frontal do truck da recuperadora:  $X + L1$

Coordenada X da extremidade traseira do truck da escrava:  $X - L2$

$D = X_{recuperadora} - X_{escrava} - L1 - L2$  (figura 21).

Figura 21 – Colisão entre truck



Fonte: Moura et al. (2012)



Se  $D < \text{mínimo1}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão

Velocidade de translação da recuperadora no sentido Moega será reduzida ao mínimo

Velocidade de translação da escrava no sentido TM13 será reduzida ao mínimo

Se  $D < \text{mínimo2}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão

Translação da recuperadora no sentido Moega será bloqueada

Translação da escrava no sentido TM13 será bloqueada

#### 4.1.5 Colisão com fim do pátio

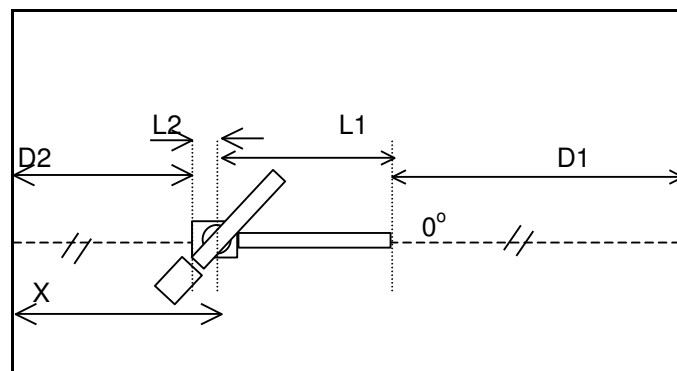
Coordenada X da extremidade frontal do truck:  $X + L1$

Coordenada X da extremidade traseira do truck:  $X - L2$

$D1 = X_{\text{fim do pátio}} - X - L1$

$D2 = X - L2$  (figura 22).

Figura 22 – Colisão fim de pátio



Fonte: Moura et al. (2012)

Se  $D1 < \text{mínimo1}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão com o fim do pátio e a velocidade de translação no sentido Moega será reduzida ao mínimo

Se  $D1 < \text{mínimo2}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão com o fim do pátio e a translação no sentido Moega será bloqueada.

Se  $D2 < \text{mínimo1}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão com o fim do pátio e a velocidade de translação no sentido TM13 será reduzida ao mínimo.

Se  $D2 < \text{mínimo2}$ :

Será emitido um alarme de risco de colisão com o fim do pátio e a translação no sentido TM13 será bloqueada.

#### 4.1.6 Colisão com a pilha

Serão previstos 2 scanners laser bi-dimensionais p/ cada máquina. Esses sensores serão instalados na lança com o objetivo de protegê-las contra colisões com a pilha de minérios.

O scanner tem a capacidade de abrir um feixe laser de  $180^\circ$ , como mostram a figura 23, desenhando no espaço figuras planas que representam a área a ser protegida.

Qualquer objeto que atravessar essa figura será detectado. Essas figuras, totalmente configuráveis, podem ser associadas a saídas digitais do scanner, disponibilizando os seguintes sinais para o plc da máquina:

Objeto detectado na área 1: risco de colisão à direita da lança;

Objeto detectado na área 2: alto risco de colisão à direita e acima da lança. Parada dos movimentos;

Objeto detectado na área 3: alto risco de colisão à direita e abaixo da lança. Parada dos movimentos;

Objeto detectado na área 4: risco de colisão à esquerda da lança;

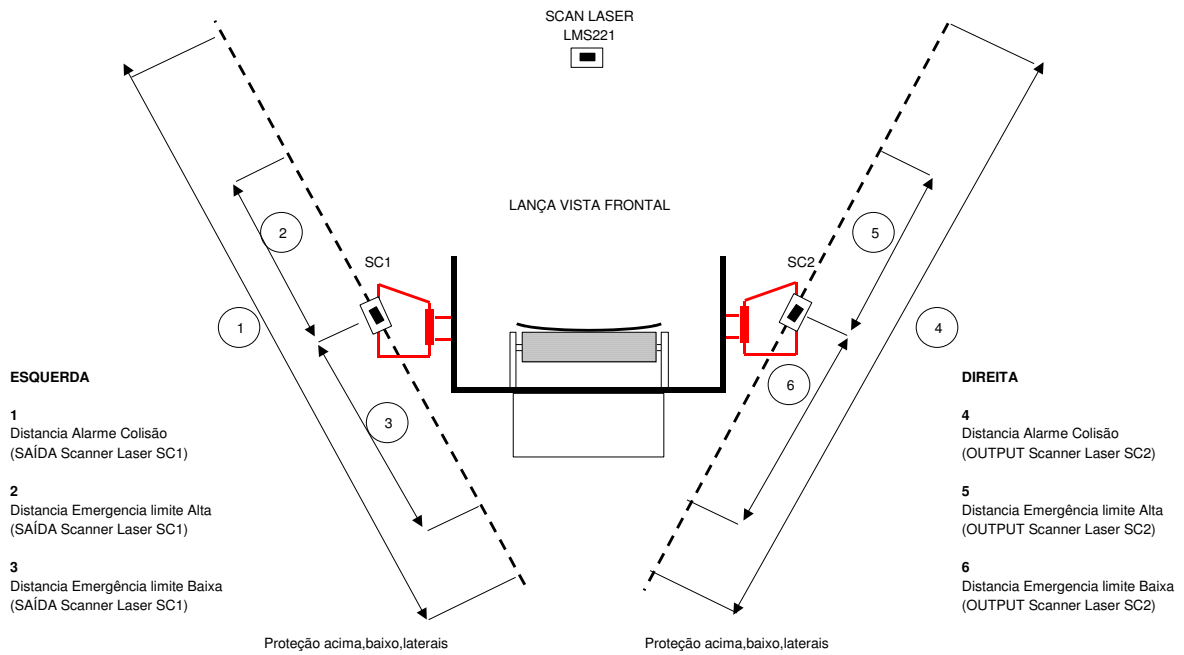
Objeto detectado na área 5: alto risco de colisão à esquerda e acima da lança. Parada dos movimentos;

Objeto detectado na área 6: alto risco de colisão à esquerda e abaixo da lança. Parada dos movimentos;

Além das funções descritas acima, ainda é possível programar filtros nesse sensor a fim de evitar que pássaros atravessando as áreas de proteção sejam detectados. Também podemos filtrar objetos de tamanho reduzido para evitar que

pelotas de minério, por exemplo, caindo da lança possam ser detectadas como risco de colisão (figura 23).

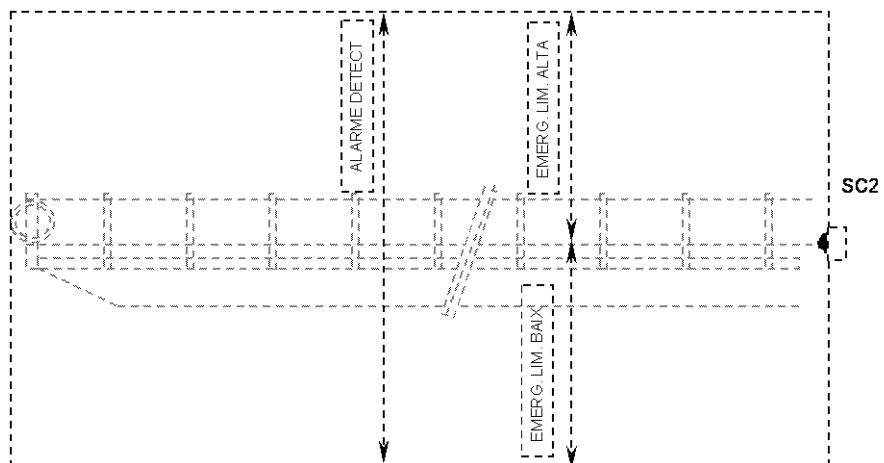
Figura 23 – Colisão com pilha



**LANÇA VISTA LATERAL DIREITA SCANNER-2**

**Distância do flash 25 Metros**

**Altura a confirmar**



Fonte: Moura et al. (2012)

## 4.2 Sinalização

Deverá ser sinalizado tanto na IHM como no sistema de supervisão e controle a posição de translação atual da e o ângulo de giro de acordo com o instrumento de medição (encoder) que estiver selecionado. Deverá ser sinalizado também o ângulo de elevação.

Além da sinalização do posicionamento da máquina em tela de sinótico, serão gerados dois níveis de alarmes p/ cada tipo de colisão possível para a EP-03. Esses alarmes deverão ser sinalizados tanto na IHM como no supervisório:

- a) Risco ALTO de colisão do <componente mecânico> da EP-03 com o <componente mecânico> da <máquina x>. Desacelera os movimentos da máquina na direção e sentido da colisão.
- b) Risco de colisão MUITO ALTO do <componente mecânico> da EP-03 com o <componente mecânico> da <máquina x>. Este segundo alarme deverá obrigatoriamente bloquear, em ambas as máquinas envolvidas, todos os movimentos que levam a diminuir a distância entre os componentes mecânicos e aumentar o risco de colisão.

### 4.2.1 Inter travamentos anticolisão

Para a máquina EP-03 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão da lança da EP-03 com o chute da EE-01;
- b) Colisão da lança da EP-03 com o chute da EE-02;
- c) Colisão da lança da EP-03 com a lança/roda de caçamba da RC-04;
- d) Colisão do contrapeso da EP-03 com a lança/roda de caçamba da RC-04;
- e) Colisão da lança da EP-03 com o contrapeso da RC-04;
- f) Colisão da lança da EP-03 com a lança/roda de caçamba da RC-05;
- g) Colisão do contrapeso da EP-03 com a lança/roda de caçamba da RC-05;
- h) Colisão da lança da EP-03 com o contrapeso da RC-05;
- i) Colisão da EP-03 com a Pilha;
- j) Colisão da EP-03 com o fim do pátio.

Para a máquina EE-01 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão do chute da EE-01 com a lança da EP-03;
- b) Colisão do truck da EE-01 com o truck da RC-04;
- c) Colisão da lança da EE-01 com a lança/roda de caçamba da RC-04;
- d) Colisão da lança da EE-01 com o contrapeso da RC-04;
- e) Colisão da lança da EE-01 com a lança/roda de caçamba da ER-01;
- f) Colisão da lança da EE-01 com o contrapeso da ER-01;
- g) Colisão da EE-01 com o fim do pátio.

Para a máquina EE-02 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão do chute da EE-02 com a lança da EP-03;
- b) Colisão do truck da EE-02 com o truck da RC-05;
- c) Colisão da lança da EE-02 com a lança/roda de caçamba da RC-05;
- d) Colisão da lança da EE-02 com o contrapeso da RC-05;
- e) Colisão da EE-02 com o fim do pátio.

Para a máquina RC-04 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-04 com a lança da EP-03;
- b) Colisão do contrapeso da RC-04 com a lança da EP-03;
- c) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-04 com o contrapeso da EP-03;
- d) Colisão do truck da RC-04 com o truck da EE-01;
- e) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-04 com a lança da EE-01;
- f) Colisão do contrapeso da RC-04 com a lança da EE-01;
- g) Colisão da Lança/roda de caçamba da RC-04 com a lança/roda de caçamba da ER-01
- h) Colisão da Lança/roda de caçamba da RC-04 com o contrapeso da ER-01
- i) Colisão do contrapeso da RC-04 com a lança/roda de caçamba da ER-01
- j) Colisão da RC-04 com a Pilha;
- k) Colisão da RC-04 com o fim do pátio.

Para a máquina RC-05 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-05 com a lança da EP-03;
- b) Colisão do contrapeso da RC-05 com a lança da EP-03;
- c) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-05 com o contrapeso da EP-03;
- d) Colisão do truck da RC-05 com o truck da EE-02;
- e) Colisão da lança/roda de caçamba da RC-05 com a lança da EE-02;
- f) Colisão do contrapeso da RC-05 com a lança da EE-02;
- g) Colisão da RC-05 com a Pilha;
- h) Colisão da RC-05 com o fim do pátio.

Para a máquina ER-01 serão previstos as seguintes proteções contra colisão:

- a) Colisão da lança/roda de caçamba da ER-01 com a lança da EE-01;
- b) Colisão do contrapeso ER-01 com a lança da EE-01;
- c) Colisão da lança/roda de caçamba da ER-01 com a lança/roda de caçamba da RC-04;
- d) Colisão da lança/roda de caçamba da ER-01 com o contrapeso da RC-04;
- e) Colisão do contrapeso da ER-01 com a lança/roda de caçamba da RC-04;
- f) Colisão da ER-01 com a Pilha;
- g) Colisão da ER-01 com o fim do pátio.

### **4.3 Interfaces de controle do sistema anticolisão**

#### **4.3.1 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)**

##### **4.3.1.1 Controlador *CENTRAL\_CPU1***

No contexto do sistema, este controlador recebe informações referentes à baliza atual da máquina, oriunda do controlador programável da máquina, e a posição no pátio da outra máquina existente no mesmo pátio, oriunda do controlador programável. Estes sinais são gerados por instrumentos de medição de

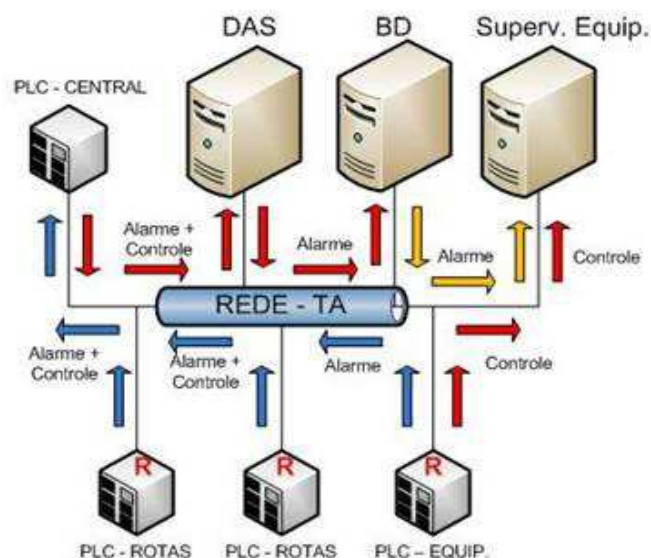
posicionamento conhecidos como encoders, instalados nas máquinas de pátio, e RFID (*Radio Frequency Identification*), instalados nos respectivos transportadores de pátio, que ajustam periodicamente o valor de balizamento enviado.

Se o valor dessa distância for inferior a um número pré-determinado de balizas (valor que pode ser ajustado logicamente), este controlador emitirá um alarme de “Risco de colisão entre as máquinas” tanto para o controlador da máquina quanto para o controlador CENTRAL\_CPU1, sendo que este último retransmitirá tal sinal para o da outra máquina. Tal alarme bloqueará os movimentos de translação no sentido da colisão.

Na máquina de pátio, está instalado no tripper um medidor a laser que verifica a distância entre as máquinas e pilhas. No momento em que o medidor a laser identificar uma distância inferior à distância ajustada para uma operação segura dos equipamentos, será gerado um alarme de risco de colisão, bloqueando o movimento de translação, sentido ré. Ao mesmo tempo, este alarme será enviado ao controlador CENTRAL\_CPU1, que enviará tal sinal para o controlador da máquina e, conseqüentemente, o alarme para o controlador irá bloquear o movimento de translação, sentido frente.

Caso o medidor a laser apresente alguma falha, quaisquer movimentos de translação da máquina serão bloqueados. Na figura 24 mostra o fluxo de dados para o PLC – Central.

Figura 24 - Fluxo de dados PLC Central



Fonte: Marco Antonio de Souza

## 4.4 Sistema de supervisão

Além dos sinais gerados para bloqueio de movimentos dos equipamentos, os diversos sistemas de supervisão apresentam informações aos operadores para indicar que existe um risco de colisão entre os equipamentos. Neste tópico serão apresentadas tais sinalizações.

### 4.4.1 IHM embarcada na máquina

A IHM instalada na cabine de operação da máquina de pátio apresenta as informações referentes ao bloqueio de movimentos em função do sistema anti colisão nas telas de diagnósticos.

A figura 25 apresenta a tela de diagnósticos e condições de partida do movimento de translação da máquina. O alarme referente ao sistema anti colisão existente está localizado na área de condições de partida, cuja descrição é “Risco de Colisão c/ Outras Máquinas”.

A figura 26 apresenta a tela de diagnósticos e condições de partida do movimento de giro da máquina. O alarme referente ao sistema anti colisão existente está localizado na área de condições de partida, cuja descrição é “Scanner Anti Colisão Atuado”.

Figura 25 – Informações sobre bloqueio da translação



Fonte: Accenture – Automation & Industrial Solutions



Figura 26 - Informações sobre bloqueio do giro

The screenshot displays a control panel interface for a crane system, specifically for rotation (GIRO). The interface is divided into two main sections: "DIAGNOSTICO" (Diagnostic) and "CONDICOES DE PARTIDA" (Start Conditions). Both sections list various fault conditions, each preceded by a red circular indicator.

**DIAGNOSTICO**

- FALHA DE COMUNICACAO INVERSOR
- DEFEITO INVERSOR
- GIRO BOTAO DE EMERGENCIA LOCAL
- GIRO FALHA NA PARTIDA HORARIO
- GIRO FALHA NA PARTIDA ANTI-HORARIO
- GIRO FALHA NOS FREIOS
- GIRO FALHA ENCODER
- DISCORDANCIA DE POSICAO DA MANETE
- GIRO FALHA NOS MOTORES

**CONDICOES DE PARTIDA**

- FIM DE CURSO HORARIO ATUADO
- FIM DE CURSO ANTI-HORARIO ATUADO
- FIM DE CURSO EMERG LADO DIREITO ATUADO
- FIM DE CURSO EMERG LADO ESQUERDO ATUADO
- LANCHA NA POSICAO DE TRANSPOSICAO
- FALHA CONDICAOES GERAIS
- CONTATOR DOS INVERSORES DESLIGADOS
- RODA DE CACAMBA DESLIGADA (RECUPERACAO)
- MAQUINA TRAVADA PARA MANUTENCAO
- DISJUNTOR 04DJ88 GRUPO 1 DESLIGADO
- DISJUNTOR 05DJ88 GRUPO 2 DESLIGADO
- DISJUNTOR 05DJ84 FREIOS DESLIGADO
- BOTAO HOME MORTO
- SCANNER ANTI COLISAO ATUADO

At the bottom of the interface, there is a status bar with three lines of text:

- MM/DD/YY 24:00 24:00 -Triggered Alarm- 24:00
- MM/DD/YY 24:00 24:00 -Acknowledged Alarm-24:00
- MM/DD/YY 24:00 24:00 -Cleared Alarm- 24:00

Below the status bar is a row of navigation buttons: GERAL, EMPILHAR, RECUPERAR, COND.GERAL, TRANSLACAO, ELEVACAO, TRANSPORT., R.CACAMBA, HISTORICO, and RESET.

Fonte: Accenture – Automation & Industrial Solutions.

## 5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ANTICOLISÃO USANDO IMAGEM 3D

O conteúdo deste capítulo possui informações sobre a plataforma Blender, utilizada para geração das imagens virtuais do sistema anticolisão e seus principais recursos e os tipos de animações possíveis de serem realizadas por ele. O Blender é a plataforma em que o projeto foi desenvolvido. O fato de ser a plataforma escolhida para a realização deste trabalho se dá por vários motivos que serão tratados no tópico 4.2, sendo que o principal motivo é o fato de ser um aplicativo gráfico *Open Source*, mas esse é apenas um dos motivos conforme será visto no decorrer deste capítulo.

O Software BLENDER apresenta as seguintes vantagens:

- a) O Blender é uma plataforma que permite a criação de conteúdos 2D e 3D.
- b) Possui um amplo conjunto de recursos,
- c) Aplicativos *Open Source* Gráfico 3D
- d) Blender é multiplataforma,
- e) Facilidade de integração com outras plataformas.

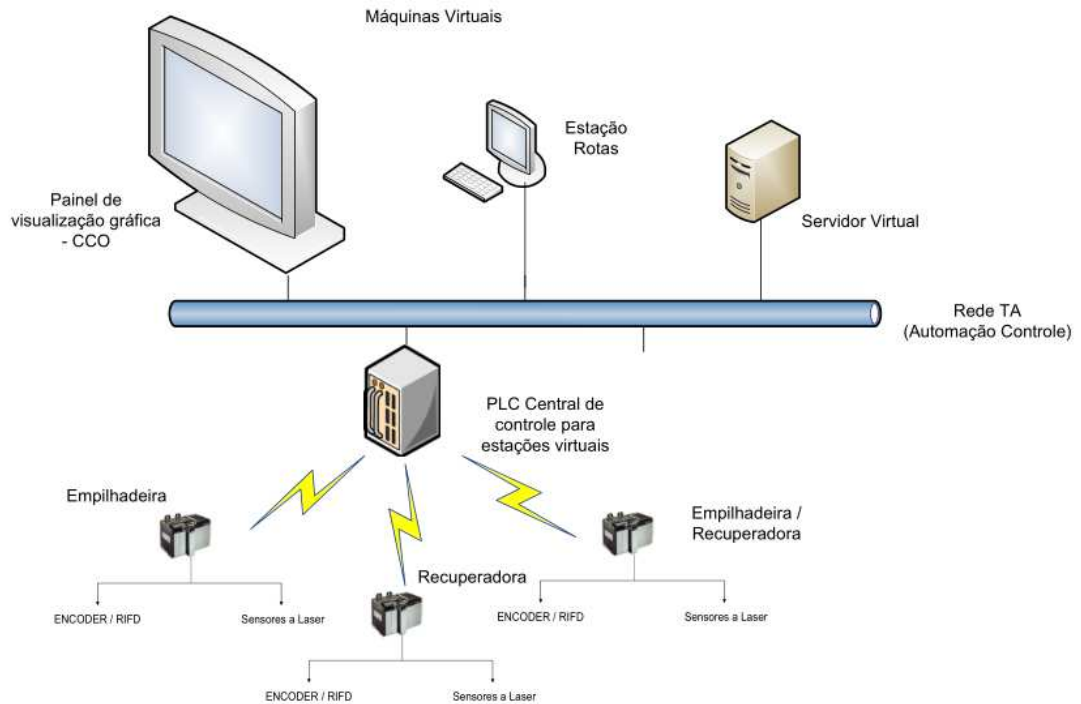
O software BLENDER não apresenta só vantagens, também apresenta algumas desvantagens, tais como:

- f) Utilização de alto processamento;
- g) Pouca utilização na indústria;

### 5.1 Interface

A interface do software BLENDER com o sistema de automação do TPPM é feita de acordo com a arquitetura da figura 27.

Figura 27 - Arquitetura proposta

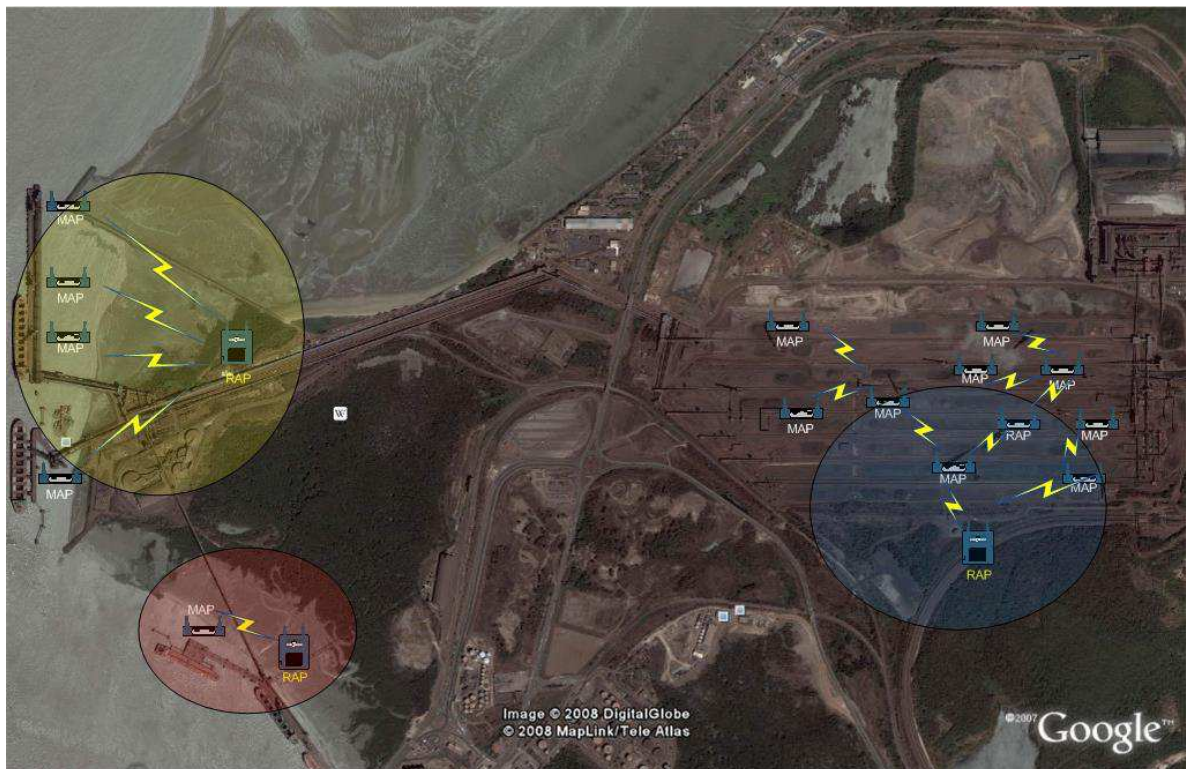


Fonte: Marco Antonio de Souza

A figura 27 ilustra a arquitetura sugerida para o desenvolvimento do trabalho com relação à aquisição de dados reais dos equipamentos. Nesta arquitetura nos mostra o caminho da informação centralizando em único processamento, onde estará processando as regras para tomada de decisão.

Os controladores lógico de cada equipamento se comunicam com o controlador lógico central via rádio trocando informações de leitura e escrita, ou seja, informações de leitura são dados que servirão para tomada de decisão e a informação de escrita é a decisão tomada. Na figura 28 mostra uma visão superior desta comunicação.

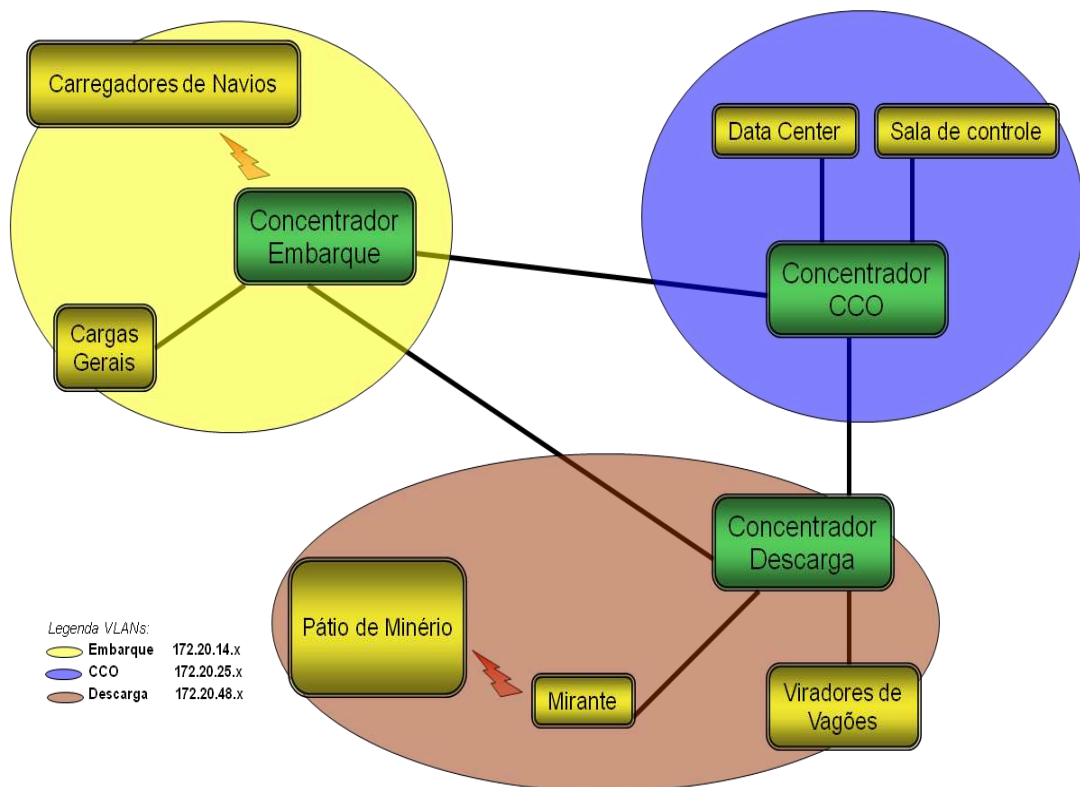
Figura 28 - Visão aérea da Comunicação



Fonte: Google

A rede de comunicação do TPPM é segmentada por área para aperfeiçoar tráfegos de dados, e assim não ocasionar indisponibilidade em segmentos importantes. Na figura 29 como esta segmentada a rede de automação no TPPM.

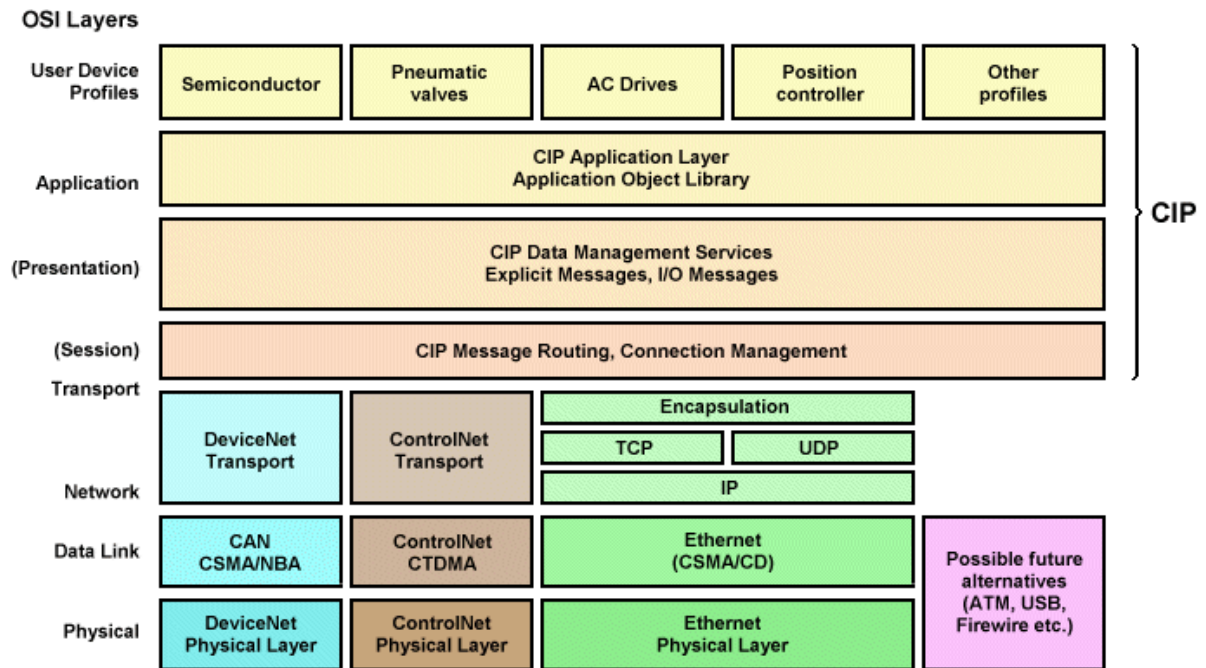
Figura 29 - Segmentação da rede



Fonte: Marco Antonio de Souza

Outra interface é a comunicação do servidor virtual com o controlador central, assim os dados em tempo real das máquinas móveis são atualizados e os operadores podem obter o posicionamento para animação dos objetos criados.

O controlador programável utilizado neste trabalho é um controlador da ROCKWELL, onde o mesmo tem disponível varias interface de rede, na figura 30 mostra seu modelo. Será utilizado o mesmo protocolo de comunicação para troca de dados entre controladores e controladores e servidor que é o CIP.

Figura 30 - *Common Industrial Protocol*

Fonte: Rockwell Automation

CIP fornece uma linguagem orientada a objeto comum para descrever os nós e serviços em uma rede CIP. Objetos de comunicação CIP são utilizados para a troca de mensagens. Cada objeto de comunicação tem um produtor de peças link ou um link parte do consumidor ou de ambos os I/O conexões só podem estar produzindo, consumindo apenas ou ambos. Conexões de mensagens explícitas são sempre produzindo e consumindo

A interface final é o resultado da imagem tridimensional exposta no painel gráfico onde mostra em tempo real as operações do terminal com as máquinas moveis em animação.

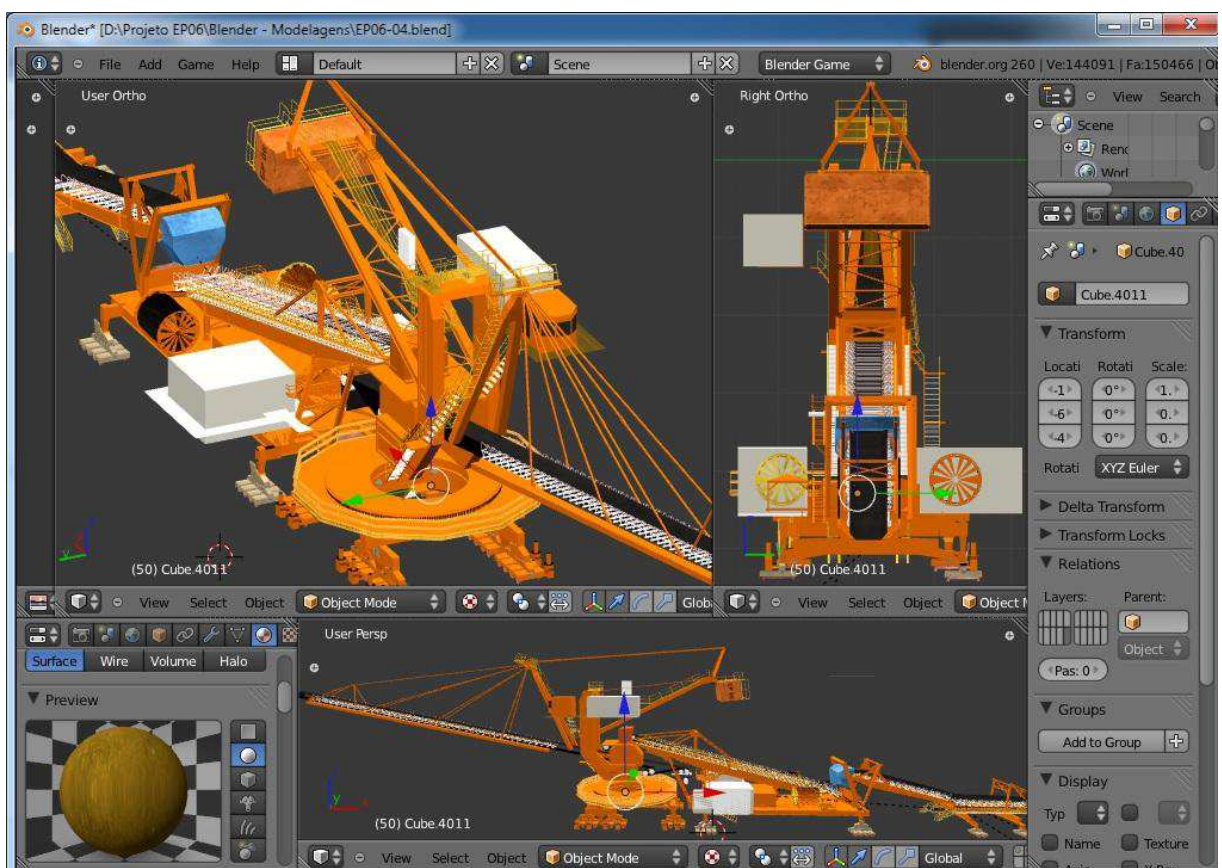
## 5.2 A janela 3D View

A navegação na 3D View é a principal atividade do usuário, pois é onde ele visualiza o seu trabalho na forma como está criando. O Blender permite que se trabalhe em um espaço tridimensional, mas o problema é que os monitores de computador são bidimensionais.



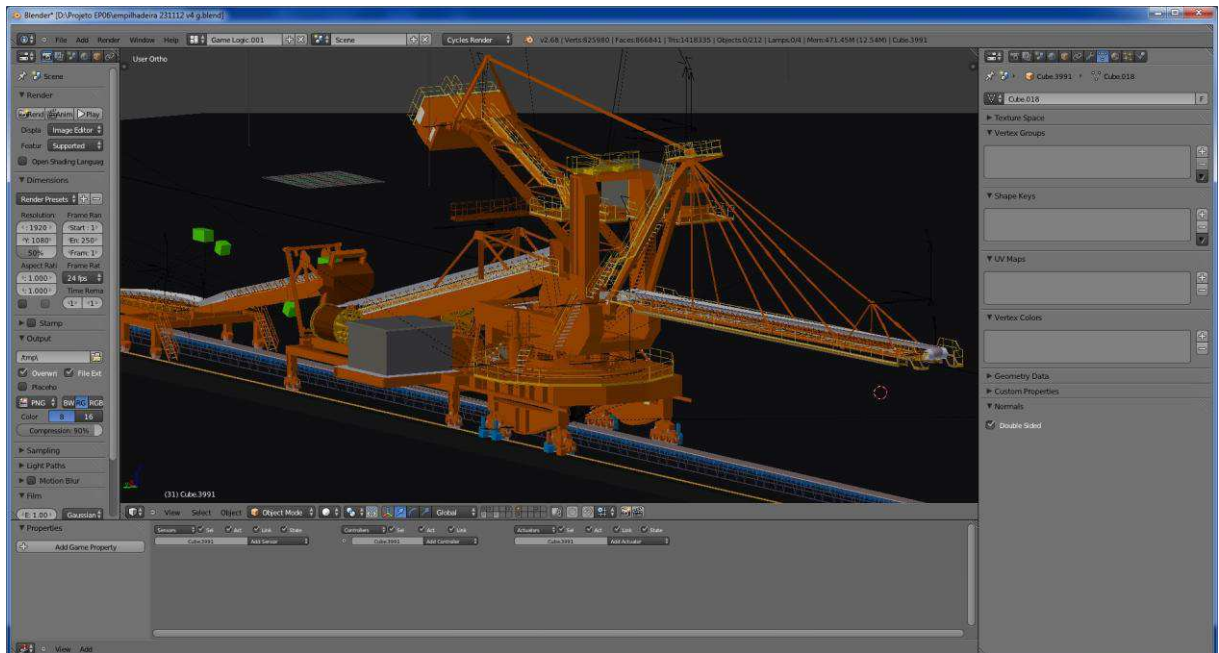
Para que se possa ter uma visualização de todo o trabalho, então, é necessário mudar a visão perspectiva do usuário em relação à cena. O Blender oferece ao usuário três direções de visualização principais, que podem ser vistas nas figuras 31 a 33, sendo eles o Lateral (Side), o Frontal (Front), e o Superior (Top). O interessante, é que todos esses sentidos de visualização possuem uma tecla de atalho específica, para que o usuário possa alternar entre eles.

Figura 31 - Desenvolvimento protótipo



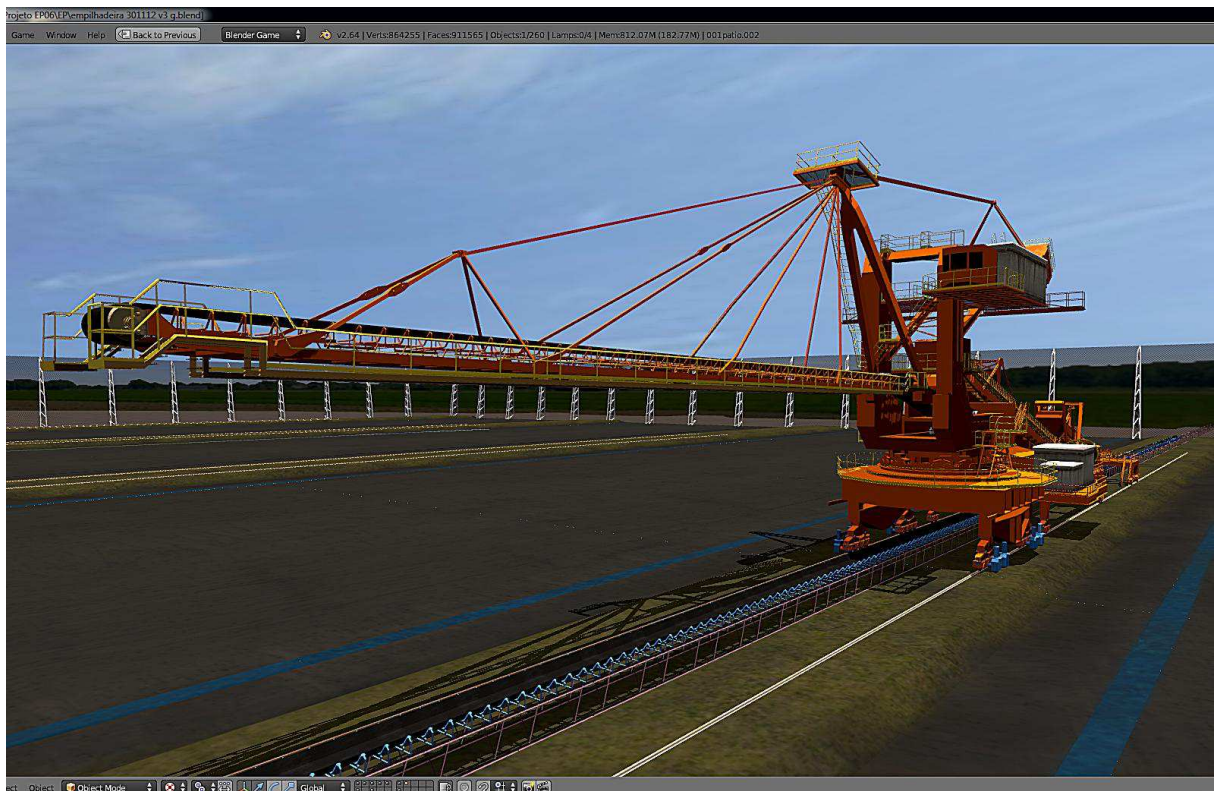
Fonte: Moura et al. (2011)

Figura 32 - Desenvolvimento protótipo



Fonte: Moura et al. (2011)

Figura 33 - Desenvolvimento protótipo - animação



Fonte: Moura et al. (2011)



## 6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema foi concebido de forma que a elaboração das regras de produção do tipo SE - ENTÃO abrangesse a totalidade das possibilidades de colisões possíveis.

### 5.1 Elaboraões das regras

Regra 1: SE Maq1 menor que 1 ENTÃO risco de colisão com fim do pátio;

Regra 2: SE risco de colisão com fim do pátio ENTÃO reduzir velocidade de translação;

Regra 3: SE Lança Maq1 no pátio B e Lança Maq2 no pátio B ENTÃO risco de colisão com Lança;

Regra 4: SE risco de colisão com Lança ENTÃO reduzir velocidade do giro;

Regra 5: SE Lança Maq1 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq1;

Regra 6: SE Lança Maq2 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq2;

Regra 7: SE Lança Maq1 pátio B e Contrapeso Maq2 no pátio B ENTÃO risco de colisão lança contrapeso;

Regra 8: SE risco de colisão Lança com Contrapeso ENTÃO reduzir velocidade do giro;

Regra 9: SE Lança Maq1 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq1;

Regra 10: SE Contrapeso Maq2 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq2;

Regra 11: SE Lança Maq1 pátio B e Lança/Roda de caçambas Maq2 pátio B ENTÃO risco de colisão de lança com roda de caçambas;

Regra 12: SE risco de colisão de lança com roda de caçambas ENTÃO reduzir velocidade do giro e translação;

Regra 13: SE Lança Maq1 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq1;

Regra 14: SE Lança Maq2 menor que 1 ENTÃO parar giro Maq2;

Regra 15: SE Lança/roda de caçambas Maq1 pátio B e Lança/roda de caçambas Maq2 no pátio B ENTÃO risco de colisão Lança/Roda de caçambas;

Regra 16: SE risco de colisão lança/Roda de caçambas menor que 1 ENTÃO parar giro Maq. 1;

Regra 17: SE Objeto detectado na área 1 ENTÃO risco de colisão à direita da lança;

Regra 18: SE risco de colisão a direita da lança ENTÃO parar giro a direita;

Regra 19: SE Objeto detectado na área 2 ENTÃO alto risco de colisão à direita e acima da lança;

Regra 20: SE alto risco de colisão à direita acima da lança ENTÃO parar movimentos;

Regra 21: SE Objeto detectado na área 3 ENTÃO alto risco de colisão à direita e abaixo da lança;

Regra 22: SE alto risco de colisão à direita e abaixo da lança ENTÃO parar movimentos;

Regra 23: SE Objeto detectado na área 4 ENTÃO risco de colisão à esquerda da lança;

Regra 24: SE risco de colisão a esquerda da lança ENTÃO parar giro a esquerda;

Regra 25: SE Objeto detectado na área 5 ENTÃO alto risco de colisão à esquerda e acima da lança;

Regra 26: SE alto risco de colisão à esquerda acima da lança ENTÃO parar movimentos;

Regra 27: SE Objeto detectado na área 6 ENTÃO alto risco de colisão à esquerda e abaixo da lança;

Regra 28: SE alto risco de colisão à esquerda abaixo da lança ENTÃO parar movimentos.

## 7 CONCLUSÃO

Um sistema anticolisão usando imagens 3D é uma inovação tecnológica e é muito mais eficiente, pois, além de se ter informação das posições geográficas das máquinas tem-se a visualização das imagens numa tela, onde chama muito mais atenção do operador durante a operação do processo, tornando-o muito mais seguro. As imagens 3D utilizadas em ambientes industriais possibilitarão o desenvolvimento de novos projetos aplicados em vários processos da indústria com maior riqueza de detalhe na imagem animada, imagem com indicação melhor definida de determinados locais do equipamento e informação mais próxima do real.

Assim, conclui-se que programar um sistema especialista para proteção de equipamentos portuários possibilita um monitoramento em tempo real do local onde eles se encontram operando ou não, utilizando informações da instrumentação (sensores) instalados nos equipamentos moveis, possibilitando maior segurança para as pessoas e os ativos operacionais do terminal. Logo, o sistema anticolisão desenvolvido teve uma aceitação bastante significativa por parte dos usuários, de uma vez que estes são atraídos pelas posições das imagens em painel de visualização gráfica.

O sistema anticolisão apresentado neste trabalho foi concebido usando o princípio de técnicas de IA, o que possibilitou programar um protótipo testado com eficiência. Portanto, os resultados foram alcançados.

## REFERÊNCIAS

- ABEL, M. **Um estudo sobre raciocínio baseado em casos**. 1996. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- AGUIRRE, L. A. **Enciclopédia de automática: controle e automação**. São Paulo: Blucher, 2007. v. 1.
- ALMEIDA JUNIOR, A. B. de; LAMOUNIER JUNIOR, E. A. Associando Realidade Virtual ao funcionamento de uma usina hidrelétrica. **Horizonte Científico**, v. 1, n. 8, 2008.
- AVELINO, A.; COSTA, C. **Projetos de sistemas oceânicos II: mineraleiro VLOC**. 2012. Disponível em: <[http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/2012/cinthia+aurora/relat1/Rel1.htm](http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2012/cinthia+aurora/relat1/Rel1.htm)>. Acesso em: 15 maio 2013.
- BLENDER. **Doc: PT/2.4: manual**. Disponível em: <<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:PT/2.4/Manual>>. Acesso em: 20 set. 2013.
- BORGES, F. **Redes de comunicação industrial**: documento técnico nº 2. [S.l.]: Schneider Electric, 2007. Disponível em: <[http://www.schneiderelectric.pt/paginas/Formacao/DOC\\_tecnicos/DOC\\_tecnicos/DocTecnico\\_redes.pdf](http://www.schneiderelectric.pt/paginas/Formacao/DOC_tecnicos/DOC_tecnicos/DocTecnico_redes.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2008.
- CAMELO, G. R. et al. Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de Ponta da Madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Enegep, 2010.
- CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. **Aplicações na educação e treinamento**. In: TORI, R. et al. **Realidade virtual e aumentada: uma abordagem tecnológica**. Porto Alegre: SBC, 2008. cap. 9, p. 343-357.
- CARNEIRO, H. P. **Automação Inteligente da Operação de Máquinas de Pátio em Modo Recuperação de Minério do Terminal Portuário de Ponta da Madeira – VALE**. 2009. 78 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Portuária) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- DAMÁSIO, A. **O erro de descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DURKIN, J. **Expert systems: design and development**. São Paulo: Prentice Hall, 1998.
- FEIGENBAUM, E. A.; BARR, A.; COHEN, P. R. **The handbook of artificial intelligence**. Boston: Addison Wesley Publishing Company, 1982.

FEIGENBAUM, E. A.; FELDMAN, J. **Computers and thought**. McGraw-Hill, New York, 1963.

FEIGENBAUM, E. et al. **Generality and problem solving**: a case study using the dendral program. Machine intelligence, 1971.

FERREIRA, J. S. **Concepção de um ambiente multi-agentes de ensino inteligente integrado do paradigma de aprendizagem cooperativa**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 1998.

GARDNER, H. **Multiple Intelligences**: theory in practice. New York: Basic Books, 1992.

GOLEMAN, D. **Inteligência emocional**: a teoria revolucionária que redefine o que é ser inteligente. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995.

HOP GOOD, A. A. **Knowledge-based system for engineers and scientists**. Florida: CRC Press, 1993.

IGNIZIO, J. P. **Introduction to expert system, the development and implementation of rule-based expert systems**. New York: McGraw-Hill, 1991.

ISRAEL, D. J. The role of logic in knowledge representation. **Computer**, v. 16, n. 10, p. 37-41, Oct. 1983.

KINER, C.; SISCOOTTO, R. Fundamentos de realidade virtual e aumentada. In: \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ (Orgs.). **Realidade virtual e aumentada**: conceitos, projeto e aplicações. Porto Alegre: SBC, 2007. p. 9-21.

LABIDI, S. **Linguagens e ferramentas para IA**: parte I: Programação funcional: a linguagem Lisp “The Programmable programming language”. [S.l.: s.n.], 2001.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência**. São Paulo: Editora 34, 1993.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MATSUMOTO, K. et al. Knowledge bases systems as operational aids in power system restoration. **Proceeding of IEEE**, v. 80, n. 5, 1992.

MELO, W. **Família de protocolos da Allen Bradley**. 2005. Disponível em: <[http://www.cefetrn.br/~walmy/RI\\_A6.pdf](http://www.cefetrn.br/~walmy/RI_A6.pdf)> Acesso em: 16 jun. 2009.

MONTENEGRO, A. C. **Um sistema modular de diagnóstico em tempo real de causas de desligamento em sistemas elétricos de potências**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2001.

MOURA, J. P. de et al. An expert system for iron ore reclaiming process. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, REBOTICS AND VISION ENGINEERING ICCARVE. 2011, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam, 2011.

MOURA, J. P. de et al. **Controle de nível e fluxo de minério na descarga de vagões** no Porto de Ponta da Madeira. CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO SUL-AMERICANA DE AUTOMAÇÃO, SSTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 14., 2010, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2010.

MOURA, J. P. de et al. Flow optimization for iron ore reclaimer process. INTERNACIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS ICINCO. 2011, Noordwijkerhout. **Anais...** Noordwijkerhout, 2011.

MOURA, J. P. de et al. **Simulador de operação remota virtual de equipamentos portuários** do Porto de Ponta da Madeira da Vale de São Luís-MA. CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO SUL-AMERICANA DE AUTOMAÇÃO, SSTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 15., 2011, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2011.

MOURA, J. P. de et al. **Sistema de contaminação de pilhas de minério de ferro e de manganês no processo de empilhamento**. BRASIL AUTOMATION ISA, 14., 2010, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2010.

MOURA, J. P. de et al. **Sistema especialista anticolisão de equipamentos portuários usando imagem 3D**. CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO SUL-AMERICANA DE AUTOMAÇÃO, SSTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 16., 2012, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2012.

MOURA, J. P. de. **Sistema especialista para identificação de falhas e tomada de decisão**. 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2003.

MOURA, J. P. **Sistema especialista para identificação de falhas e tomada de decisão**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2003.

MOURA, J.P. de; LOPES, B. E.; SOUZA., M. A. de. Um **Sistema especialista para a automatização de retomadoras de minério**. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO E PROCESSO, 14., 2010, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: ABM, 2010.

NAGAO, M. **Knowledge and interface**. San Diego: Academic Press, 1990.

NILSON, N. J. **Principles of artificial intelligence**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1986.

POHL, L. Bi-directional search. In: MELTZER, B.; MICHIE, D. (Eds.). **Machine intelligence**. New York: American Elsevier, 1971.

RICH, E. **Aritifical intelligence**. New York: McGraw-Hill, 1990.

RUSSEL, Stuart. **Artificial intelligence a modern approach**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

SCHALKOFF, R. J. **Artificial Intelligence: an engineering approach**. New York: McGraw-Hill, 1990.

SEIXAS FILHO, C. **Arquiteturas de sistemas de automação: uma introdução**. 2002. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/Paginall/Download/DownloadFiles/Arquitetura.PDF>>. Acesso em: 1 dez. 2008.

SEIXAS FILHO, C. **Industrial Ethernet**. 2003. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/Ethernet.PDF>>. Acesso em: 16 mar. 2009.

SILVA, Jaciara Januário. **Arquitetura baseada em agentes e modelagem do usuário para construção de bibliotecas virtuais inteligentes**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, 2000.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. Massachusetts: Mit Press, 1996.

SOUZA, F. L. V. de. **Avaliação do desempenho de redes com foco na aplicação em sistemas de controle digitais**. 2005. 108 f. Monografia (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

STEINBRUCH, A.; WINTERLE, P. **Geometria analítica**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2004.

STEMMER, M. R. **Sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial**. Disponível em: <[http://www.das.ufsc.br/disciplinas/das5314/uploads/nota\\_aula/ApostilaMarcelo.pdf](http://www.das.ufsc.br/disciplinas/das5314/uploads/nota_aula/ApostilaMarcelo.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2008.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. Tradução Vandenberg D. Souza. Rio de Janeiro, 2003.

TANIMOTO, S. **The elements of artificial intelligence using LISP**. W.H. New York: Freeman & Company, 1995.

TECHNOLOGYUK INDUSTRIAL NETWORKING. **Common Industrial Protocol**. Disponível em: <[http://www.technologyuk.net/telecommunications/industrial\\_networks/cip.shtml](http://www.technologyuk.net/telecommunications/industrial_networks/cip.shtml)>. Acesso em: 19 set. 2013.

WATERMAN, Donald. **Guide to expert system**. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

WEG, S. A. **Automação de processos industriais**: PC12 Design Center: apostila para treinamento interno, Jaraguá do Sul, [2002]. Jaraguá do Sul: Weg S.A., 2002.

WINSTON, P. **Intelligence artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.



## **ANEXOS**

## ANEXO A - Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)

### Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs).

#### *SUMÁRIO*

<b>INTRODUÇÃO CONCEITUAL - HISTÓRICO</b>	<b>3</b>
<b>DIVISÃO HISTÓRICA</b>	<b>3</b>
<b>VANTAGENS DO USO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS</b>	<b>3</b>
<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO - DIAGRAMA EM BLOCOS</b>	<b>4</b>
<b>ESTRUTURA INTERNA DO C.L.P.</b>	<b>5</b>
<b>DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS ITENS</b>	<b>6</b>
<b>FONTE DE ALIMENTAÇÃO :</b>	<b>6</b>
<b>UNIDADE DE PROCESSAMENTO :</b>	<b>6</b>
<b>BATERIA :</b>	<b>6</b>
<b>MEMÓRIA DO PROGRAMA MONITOR :</b>	<b>6</b>
<b>MEMÓRIA DO USUÁRIO :</b>	<b>6</b>
<b>MEMÓRIA DE DADOS :</b>	<b>7</b>
<b>MEMÓRIA IMAGEM DAS ENTRADAS / SAÍDAS :</b>	<b>7</b>
<b>CIRCUITOS AUXILIARES :</b>	<b>7</b>
<b>MÓDULOS OU INTERFACES DE ENTRADA :</b>	<b>7</b>
<b>ENTRADAS ANALÓGICAS :</b>	<b>8</b>
<b>MÓDULOS ESPECIAIS DE ENTRADA</b>	<b>9</b>
<b>MÓDULOS OU INTERFACES DE SAÍDA :</b>	<b>9</b>
<b>SAÍDAS ANALÓGICAS :</b>	<b>10</b>
<b>“ CAPACIDADE ” DE UM C.L.P.</b>	<b>11</b>
<b>PARTE II - PROGRAMAÇÃO DOS CLPS</b>	<b>12</b>
<b>LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO - CLP</b>	<b>12</b>

<b>LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO STEP 5</b>	<b>12</b>
<b>INTERCAMBIALIDADE ENTRE REPRESENTAÇÕES</b>	<b>12</b>
<b>ESTRUTURA DA LINGUAGEM</b>	<b>12</b>
<b>NOÇÕES BÁSICAS DE REPRESENTAÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>INSTRUÇÕES E BLOCOS BÁSICOS</b>	<b>13</b>
<b>INSTRUÇÕES E BLOCOS ESPECIAIS</b>	<b>15</b>
<b>ESCLARECIMENTOS :</b>	<b>25</b>

## INTRODUÇÃO CONCEITUAL - HISTÓRICO

O Controlador Lógico Programável ( C.L.P. ) nasceu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na Hydronic Division da General Motors , em 1968, devido a grande dificuldade de mudar a lógica de controla de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem. Tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro.

Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia as necessidades de muitos usuários de circuitos à reles, não só da indústria automobilística, como de toda a indústria manufatureira.

Nascia assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, que vem se aprimorando constantemente, diversificando cada vez mais os setores industriais e suas aplicações, o que justifica hoje ( junho /1998) um mercado mundial estimado em 4 bilhões de dólares anuais.

Desde o seu aparecimento, até hoje, muita coisa evoluiu nos controladores lógicos, como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das entradas e saídas e principalmente o modo de programação e a interface com o usuário.

## DIVISÃO HISTÓRICA

Podemos didaticamente dividir os CLPs historicamente de acordo com o sistema de programação por ele utilizado :

*1ª. Geração* : Os CLPs de primeira geração se caracterizam pela programação intimamente ligada ao hardware do equipamento. A linguagem utilizada era o Assembly que variava de acordo com o processador utilizado no projeto do CLP, ou seja , para poder programar era necessário conhecer a eletrônica do projeto do CLP. Assim a tarefa de programação era desenvolvida por uma equipe técnica altamente qualificada, gravando - se o programa em memória EPROM , sendo realizada normalmente no laboratório junto com a construção do CLP.

*2ª. Geração* : Aparecem as primeiras “Linguagens de Programação” não tão dependentes do hardware do equipamento, possíveis pela inclusão de um “Programa Monitor “ no CLP , o qual converte ( no jargão técnico ,Compila), as instruções do programa , verifica o estado das entradas, compara com as instruções do programa do usuário e altera o estados das saídas. Os Terminais de Programação ( ou Maletas, como eram conhecidas ) eram na verdade Programadores de Memória EPROM . As memórias depois de programadas eram colocadas no CLP para que o programa do usuário fosse executado.

*3ª. Geração* : Os CLPs passam a ter uma Entrada de Programação, onde um Teclado ou Programador Portátil é conectado, podendo alterar, apagar , gravar o programa do usuário, além de realizar testes ( Debug ) no equipamento e no programa. A estrutura física também sofre alterações sendo a tendência para os Sistemas Modulares com Bastidores ou Racks.

*4ª. Geração* : Com a popularização e a diminuição dos preços dos micro - computadores ( normalmente clones do IBM PC ), os CLPs passaram a incluir uma entrada para a comunicação serial. Com o auxílio do microcomputadores a tarefa de programação passou a ser realizada nestes. As vantagens eram a utilização de várias representações das linguagens , possibilidade de simulações e testes , treinamento e ajuda por parte do software de programação, possibilidade de armazenamento de vários programas no micro, etc.

*5ª. Geração* : Atualmente existe uma preocupação em padronizar protocolos de comunicação para os CLPs, de modo a proporcionar que o equipamento de um fabricante “converse” com o equipamento outro fabricante, não só CLPs , como Controladores de Processos, Sistemas Supervisórios, Redes Internas de Comunicação e etc., proporcionando uma integração afim de facilitar a automação, gerenciamento e desenvolvimento de plantas industriais mais flexíveis e normalizadas, fruto da chamada Globalização. Existe uma Fundação Mundial para o estabelecimento de normas e protocolos de comunicação.

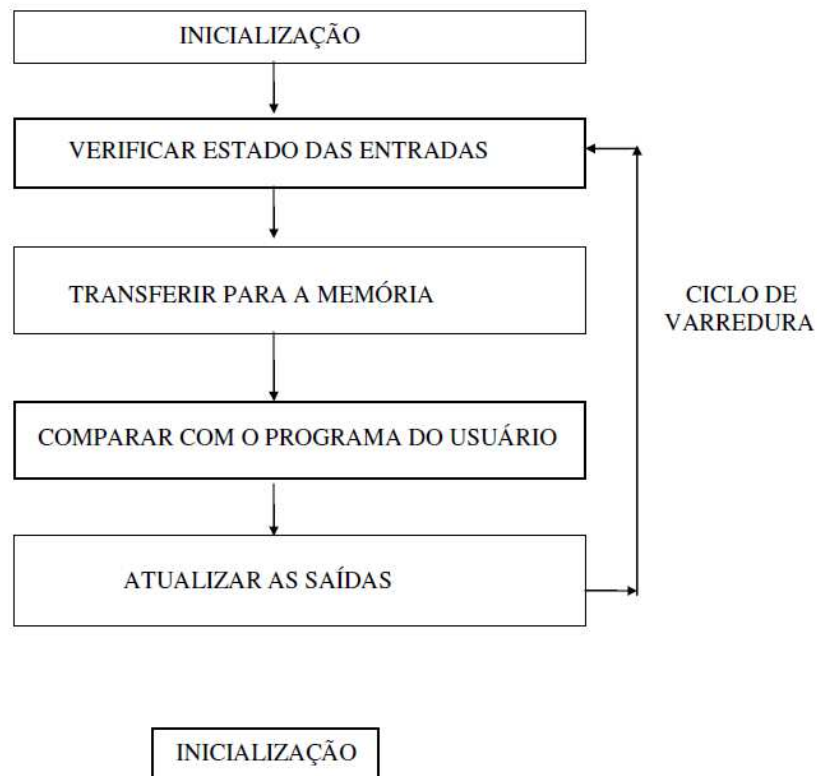
## VANTAGENS DO USO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

- Ocupam menor espaço;
- Requerem menor potência elétrica;



- Podem ser reutilizados;
- São programáveis, permitindo alterar os parâmetros de controle;
- Apresentam maior confiabilidade;
- Manutenção mais fácil e rápida;
- Oferecem maior flexibilidade;
- Apresentam interface de comunicação com outros CLPs e computadores de controle;
- Permitem maior rapidez na elaboração do projeto do sistema.

## PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO - DIAGRAMA EM BLOCOS



No momento em que é ligado o CLP executa uma série de operações pré - programadas, gravadas em seu Programa Monitor :

- Verifica o funcionamento eletrônico da C.P.U. , memórias e circuitos auxiliares;
- Verifica a configuração interna e compara com os circuitos instalados;
- Verifica o estado das chaves principais ( RUN / STOP , PROG, etc. );
- Desativa todas as saídas;
- Verifica a existência de um programa de usuário;
- Emite um aviso de erro caso algum dos itens acima falhe.

VERIFICAR ESTADO DAS ENTRADAS

O CLP lê o estados de cada uma das entradas, verificando se alguma foi acionada. O processo de leitura recebe o nome de Ciclo de Varredura ( Scan ) e normalmente é de alguns micro - segundos ( scan time ).

TRANSFERIR PARA A MEMÓRIA

Após o Ciclo de Varredura, o CLP armazena os resultados obtidos em uma região de memória chamada de Memória Imagem das Entradas e Saídas. Ela recebe este nome por ser um espelho do estado das entradas e saídas. Esta memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa do usuário.

COMPARAR COM O PROGRAMA DO USUÁRIO

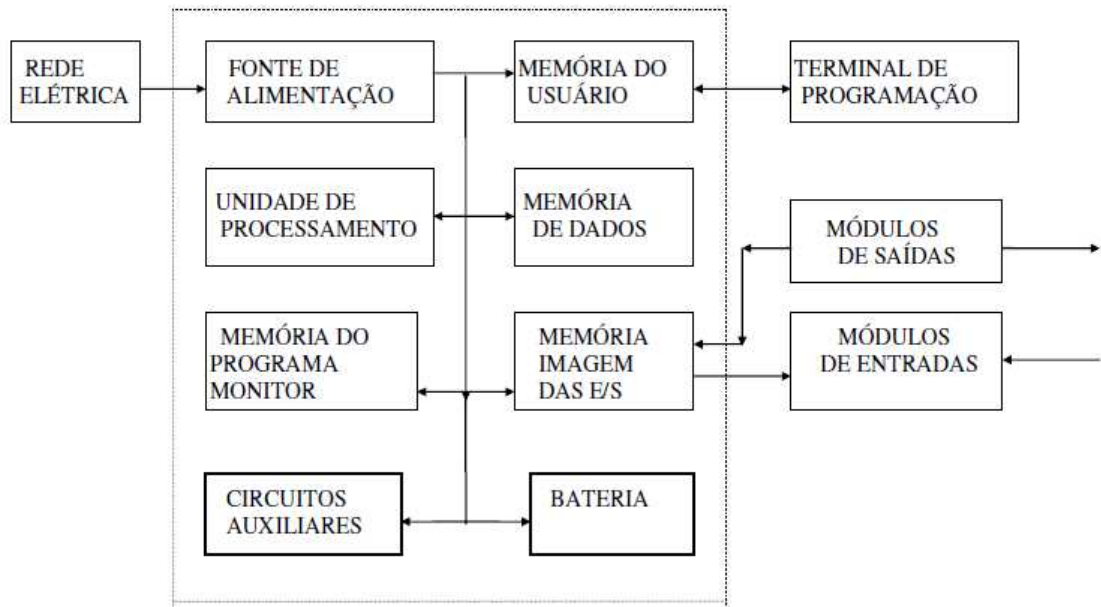
O CLP ao executar o programa do usuário, após consultar a Memória Imagem das Entradas, atualiza o estado da Memória Imagem das Saídas, de acordo com as instruções definidas pelo usuário em seu programa.

ATUALIZAR O ESTADO DAS SAÍDAS

O CLP escreve o valor contido na Memória das Saídas, atualizando as interfaces ou módulos de saída. Inicia - se então, um novo ciclo de varredura.

## ESTRUTURA INTERNA DO C.L.P.

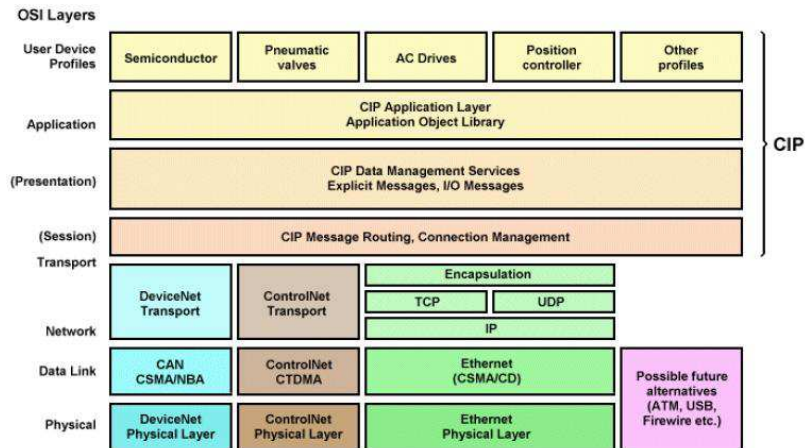
O C.L.P. é um sistema microprocessado, ou seja, constitui - se de um microprocessador ( ou microcontrolador ), um Programa Monitor, uma Memória de Programa, uma Memória de Dados, uma ou mais Interfaces de Entrada, uma ou mais Interfaces de Saída e Circuitos Auxiliares.



## ANEXO B - Common Industrial Protocol

### Common Industrial Protocol

In the past, automation fieldbus protocols have tended to be application-specific, making them very efficient at what they do but limiting the roles for which they can be used, and making interoperability between the protocols used in different application areas difficult to achieve. The *Common Industrial Protocol* (CIP) forms the basis for a family of related technologies, and has numerous benefits for both device manufacturers and the users of industrial automation systems. The first of the CIP-based technologies, *DeviceNet* emerged in 1994, and is an implementation of CIP over CAN, which provides the data link layer for DeviceNet. The next major implementation was *ControlNet*, introduced in 1997, which runs over a high-speed coax or fibre physical layer, and uses *Concurrent Time Domain Multiple Access* (CTDMA) as its medium access layer, making it highly deterministic while extending the range of the bus (up to several kilometres, with repeaters) for more demanding applications. The most recent edition to the CIP family of technologies is *EtherNet/IP* (Ethernet/Industrial Protocol). The CIP protocol is also used in Rockwell Automation's *ControlLogix* product range. The diagram below shows the relationship between the layers of the various CIP family protocol stacks and the OSI reference model.



The CIP family of field bus protocols

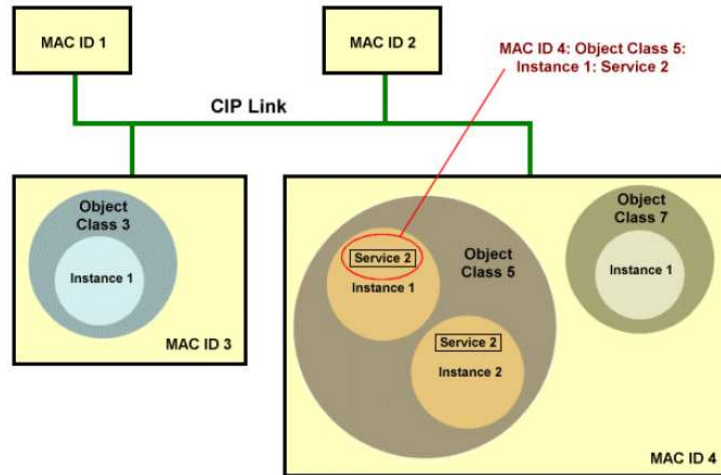
CIP was designed to suit the requirements of the automation industry. The specification (which is maintained by the [Open DeviceNet Vendors Association](#) - ODVA) describes the following features:

- Object modelling
- Messaging protocol
- Communication objects
- General object library
- Device profiles
- Device configuration
- Services
- Data management

### Object modelling

CIP uses an object-oriented approach to modelling the nodes and communication services on a CIP network. Each node is modelled as a collection of *objects*. An object represents a particular element or component within a node. Each object belongs to a *class* of objects that share the same set of *attributes*, and implement the same *behaviours*. An object is an *instance* of that class, with its own unique set of attribute *values*. A node may contain more than one object of the same class. Nodes and the objects from which they are made up employ a standard addressing scheme comprising the following elements:

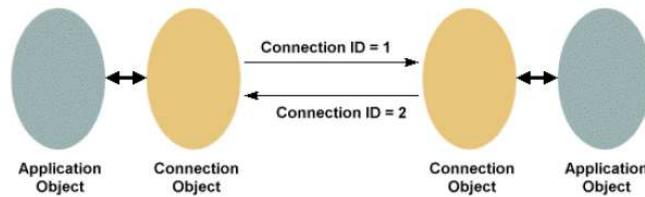
- **MAC ID** - assigned to each node on a CIP network
- **Class ID** - assigned to each *class* of object on the network
- **Instance ID** - assigned to a specific *instance* (object) of a class
- **Attribute ID** - assigned to an *attribute* of a class or object
- **Service Code** - identifies a specific *behaviour* of a class or object



An example of how an object's unique address is determined

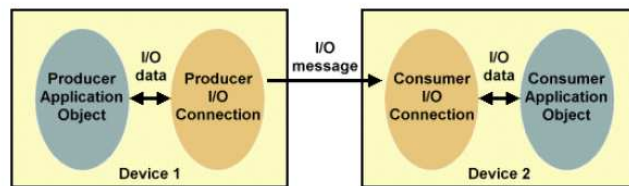
### Messaging protocol

A CIP connection provides a path between multiple applications. When a connection is established, it is assigned a *Connection ID*. If the connection involves a bi-directional exchange of data, two Connection IDs are assigned. The relationship between *Application Objects*, *Connection Objects* and *Connection IDs* is illustrated below.



CIP connections and connection IDs

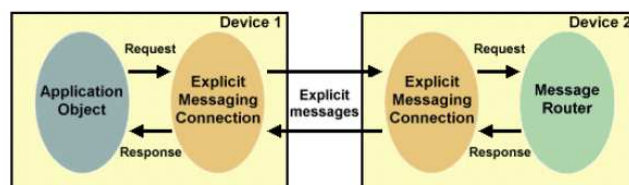
The format of the connection ID is network dependent. In DeviceNet networks, for example, it is based on the *CAN Message ID*. Most messaging on a CIP network relies on connections, and a process has been defined to establish connections between devices that do not have an established connection. The *Unconnected Message Manager* (UCMM) is responsible for connection establishment. Connections in a CIP network are either *I/O connections* or *explicit messaging connections*. *I/O connections* provide dedicated paths for application-specific I/O data between a producer application and one or more consumer applications. *Explicit messaging connections* provide generic communication paths between two devices for request-response oriented communication, and are often referred to simply as *messaging connections*.



A CIP I/O connection

### Communication objects

CIP communication objects are used for the exchange of messages. Every communication object has a link producer part or a link consumer part or both. *I/O connections* may be producing only, consuming only or both. *Explicit messaging connections* are always producing and consuming.



A CIP Explicit Messaging connection



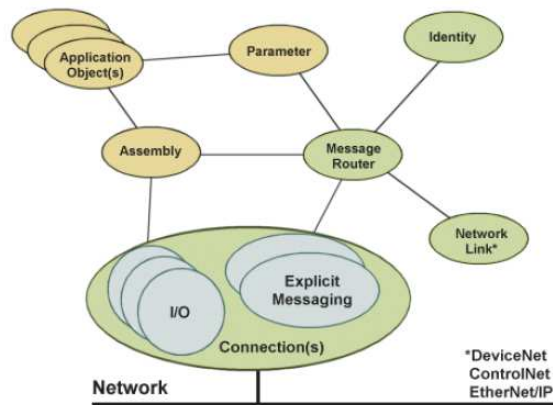
The attribute values of a connection object describe the parameters of the connection. They specify its type, i.e. whether it is an I/O connection or an explicit messaging connection, the maximum size of message that can be exchanged across the connection, and the source and destination for the message. There will also be attributes that define the current state of the connection, the type of event that may trigger a message being sent (e.g. a change in the state of a device, or the elapse of a predetermined time interval), and any time-out value that applies to the connection.

## General object library

The CIP family of protocols contains a large collection of commonly defined objects, which can be subdivided into the following three types:

- General use objects (found in many different devices)
- Application specific objects (exclusive to a specific application)
- Network specific objects (exclusive to one type of network)

General Use Objects	
Identity Object	Parameter Object
Message Router Object	Parameter Group Object
Assembly Object	Acknowledge Handler Object
Connection Object	Connection Configuration Object
Connection Manager Object	Port Object
Application Specific Objects	
Discrete Input Point	Position Controller Object Block
Register Object	Sequencer Object
Discrete Input Point Object	Command Block Object
Discrete Output Point Object	Motor Data Object
Analog Input Point Object	Control Supervisor Object
Analog Output Point Object	AC/DC Drive Object
Presence Sensing Object	Overload Object
Group Object	Softstart Object
Discrete Input Group Object	Selection Object
Discrete Output Group Object	S-Device Supervisor Object
Discrete Group Object	S-Analog Sensor Object
Analog Input Group Object	S-Analog Actor Object
Analog Output Group Object	S-Single Stage Controller Object
Analog Group Object	S-Gas Calibration Object
Position Sensor Object	Trip Point Object
Position Controller Supervisor Object	
Network Specific Objects	
DeviceNet Object (specific to DeviceNet)	
ControlNet Object (specific to ControlNet)	
ControlNet Keeper Object (specific to ControlNet)	
ControlNet Scheduling Object (specific to ControlNet)	
TCP/IP Interface Object (specific to EtherNet/IP)	
Ethernet Link Object (specific to EtherNet/IP)	



A typical device object model

A typical device will only implement a subset of the available objects, but will always have at least one *Connection Object*, an *Identity Object*, one or more network link related objects (depending on the type of network), and a *Message Router Object*. The other objects present in the model will depend on the functionality of the device being represented. Developers typically use publicly defined objects (see table above), although there is scope for the creation of vendor-specific objects if necessary. The table below lists the attributes associated with the *Identity Object*. Typical devices do not change their identity, so all attributes (except the *Heartbeat Interval* attribute) are read-only.

Identity Object Attributes	
Mandatory	Optional
Vendor ID	State
Device Type	Configuration Consistency Value
Product Code	Heartbeat Interval
Revision	Languages Supported
Status	
Serial Number	
Product Name	

### Device profiles

Similar products could have quite different internal structures and exhibit different behaviours. To make the application of CIP devices easier, devices with similar functionality are grouped into device types, each with an associated *device profile*. The profile contains a full description of the object's structure and behaviour. The following device types and their associated profiles have been defined:

CIP Device Types
Generic Device
AC Drives
Motor Overload
Limit Switch
Inductive Proximity Switch
Photoelectric Sensor
General Purpose Discrete I/O
Resolver
Communication Adapter
ControlNet PLC - Position Controller
DC Drives
Contactors
Motor Starter
Soft Start
Human Machine Interface
Mass Flow Controller
Pneumatic Valves
Vacuum Pressure Gauge
ControlNet Physical Layer

Every profile consists of a set of objects (some mandatory, some optional), and a behaviour that is associated with the particular type of device. Most profiles also define one or more I/O data formats.

## Device configuration

CIP allows a number of methods to be used for device configuration:

- *Printed data sheet* - configuration tools prompt the user for configuration information and relay the information input by the user to the device.
- *Parameter Objects and Parameter Object Stubs* - parameter objects provide a full description of all of the device's configurable data, allowing the configuration tool to access all parameters. For smaller devices, an abbreviated version of the parameter object called a parameter object stub may be used. The stub still provides the configuration tool with access to the device parameters, but does not provide any semantics.
- *Electronic Data Sheet (EDS)* - the electronic data sheet supplies all of the semantic information provided by a full parameter object, and can be used together with a parameter object stub to provide the full functionality of a parameter object without burdening the device itself with all of the overhead.
- *Configuration Assembly* - a configuration assembly can be used in conjunction with any of the previously described methods to perform device configuration before uploading the configuration parameters to the device, or to download an existing set of configuration parameters.

## Services

Service codes define the action to be taken when an object or parts of an object receive a message. Apart from basic read and write functions, a set of *CIP Common Services* has been defined that are supported by most objects. There are also a number of object-specific service codes that may have different meanings for different objects. It is also possible for vendors to define their own vendor-specific service codes, although such codes may not be universally understood.

## Data management

The CIP Specification describes addressing models for CIP entities, and the data structures of the entities themselves. Addresses are referred to as *segments* and fall into two categories - *logical segments* and *data types*. The first byte of a CIP segment determines whether it is a logical segment (0x20-0x3F) or a data type (0xA0-0xDF). Logical segments are addressing segments that can be used to address objects and their attributes within a device, and are typically structured as shown below.

```
[Class ID] [Instance ID] [Attribute ID (if required)]
```

Each element of the structure may take up one, two or four bytes. This type of addressing is commonly used to point to assemblies, parameters, and other addressable attributes within a device. It is used extensively in electronic data sheets, and for unconnected messages. Data types can be either *structured* or *elementary*. Structured data types may be arrays of elementary data types, or any assembly of arrays or elementary data types. Elementary data types are used within electronic data sheets to specify the data types of parameters and other entities.

## Benefits of CIP

CIP provides a common object-oriented language for describing the nodes and services on a CIP network, whether the network is implemented using *DeviceNet*, *ControlNet*, *EtherNet/IP*, or any other compatible technology. This makes existing knowledge and expertise transferable, facilitating the replacement or upgrading of existing systems, and reducing the cost of training development and support personnel. It also means that firmware or software written in a high-level language can be re-used with little or no re-coding necessary. The interconnection of systems that employ diverse CIP-based technologies is relatively easy to implement, since these systems already speak the same language and device profiles are identical from one system to another. CIP is highly scaleable, and the producer-consumer mechanisms and open object architecture used in the CIP family of protocols make efficient use of the bandwidth available on the underlying network.