UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FRENAGEM CONTROLADA EM TRANSPORTADORES REGENERATIVOS

ENGENHARIA ELÉTRICA

por

MARCUS VINICIUS FONSECA BASTOS

MARCOS ROSA SANTOS

ORIENTADOR

Itatiba (SP), Dezembro de 2011

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FRENAGEM CONTROLADA EM TRANSPORTADORES REGENERATIVOS

ENGENHARIA ELÉTRICA

por

MARCUS VINICIUS FONSECA BASTOS

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Prof.Eng.Marcos Rosa Santos

Itatiba (SP), Dezembro de 2011

FRENAGEM CONTROLADA EM TRANSPORTADORES REGENERATIVOS

Marcus Vinicius Fonseca Bastos

Monografia defendida e aprovada em 09 de dezembro de 2011 pela **Banca Examinadora** assim constituída:

Prof. Eng. Marcos Rosa Santos (Orientador)

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

Prof. Eng. Renato Franco de Camargo (Membro Interno)

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

Engº Diego Rafael Consolini (Membro Externo)

USF – Universidade São Francisco – Itatiba – SP.

AGRADECIMENTOS

A minha família em si sem os quais não estaria aqui.

Aos colegas de trabalho e graduação que de forma direta e indireta contribuiu para meus conhecimentos adquiridos e minha formação acadêmica.

A minha namorada Kelly Cruz pelo companheirismo, atenção e compreensão em todos os momentos.

Grato a todos.

Sumário

LISTA DE SIGLAS ..... **v**

LISTA DE FIGURAS ..... **vi**

LISTA DE TABELAS ..... **vii**

RESUMO ..... **viii**

ABSTRACT ..... **ix**

1 INTRODUÇÃO **10**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **12**
2.1 Conceito de Freios 16
2.1.1 Freios a disco 17
2.1.2 Freios de Polia 18
2.1.3 Freios Hidráulicos a disco 19
2.2 Sistema de Frenagem Controlada 20
2.2.1 Concepção dos Freios 21
2.2.2 Sistema Hidráulico 23
2.2.3 Concepção do Sistema 24
2.2.4 Interface Homem- Máquina 30
2.2.5 Rede Industrial no Sistema 33
2.2.6 Protocolos de Comunicação 34
2.2.7 Protocolo Profibus 36
2.2.8 Protocolo Ethernet Industrial 36
2.2.9 Protocolo CAN 37
2.2.10 Protocolo Device Net 37
2.2.11 Análise da rede 38
2.3 CLP 39
2.3.1 Programação 40
2.3.2 Linguagem de Diagrama de Relés (*Ladder*) 40

3 METODOLOGIA **42**
3.1.1 Scan-time 43

4 DISCUSSÃO **48**

5 CONCLUSÃO **49**
5.1 Sugestões de trabalhos futuros 49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **50**

Lista de Siglas

TCLD	*Transportador de correia de longa distância*
PID	*Proportional-Integral–Derivative controller*
IHM	*Interface Homem Máquina*
CLP	*Controlador Lógico Programável*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
NBR	*Norma Brasileira Registrada*
ABNT	*Associação Brasileira de Normas Técnicas*
CDPG	*Circuito de Detecção de Pastilha Gasta*
Mbps	*Mega bits por segundo*
SDCD	*Sistema digital de controle distribuído*
TCLD	*Transportador de correia de longa distância*
TC	*Transportador de correia*
HUB	*Inglês (transmitir)*
CAN	*Controller Area Network*
RAM	*Random Access Memory*

Lista de Figuras

FIGURA 1-1 INVESTIMENTOS NO SETOR DA MINERAÇÃO DE 2010 Á 2014 (FONTE: IBRAM-INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO) 10
FIGURA 2-1 TRANSPORTADOR DE CORREIA LOCALIZADA NA ÍNDIA (FONTE: UFSJ – MONITORAMENTO DA ESPESSURA DA CORREIA) 13
FIGURA 2-2 TRANSPORTADOR DE CORREIA DE LONGA DISTÂNCIA (FONTE: VULKAN 2011) 14
FIGURA 2-3 TRANSPORTADOR DE CORREIA REGENERATIVO (FONTE: VULKAN 2011) 15
FIGURA 2-4 FREIO A DISCO POR ATUAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (VULKAN DO BRASIL) 17
FIGURA 2-5 FREIO DE SAPATA COM ATUAÇÃO (VULKAN DO BRASIL) 18
FIGURA 2-6 FREIO DE HIDRÁULICO A DISCO (FONTE: VULKAN 2011) 19
FIGURA 2-7 ILUSTRAÇÃO DA CONCEPÇÃO DOS FREIOS (FONTE: VULKAN 2011) 22
FIGURA 2-8 LAYOUT DO SISTEMA HIDRÁULICO (FONTE: VULKAN 2011) 23
FIGURA 2-9 SISTEMA DE MALHA FECHADA (FONTE: VULKAN 2011) 24
FIGURA 2-10 ILUSTRAÇÃO *SET-POINT* DA FRENAGEM (FONTE: VULKAN 2011) 26
FIGURA 2-11 GRÁFICO DE FRENAGEM CONTROLADA EM ANDAMENTO (FONTE:VULKAN 2011) 27
FIGURA 2-12 GRÁFICO DA FRENAGEM SUAVIZADA EM ANDAMENTO (FONTE: VULKAN 2011) .. 28
FIGURA 2-13 GRÁFICO DA FRENAGEM DE EMERGÊNCIA (FONTE:VULKAN 2011) 29
FIGURA 2-14 ILUSTRAÇÃO DO IHM (FONTE:VULKAN 2011) 30
FIGURA 2-15 ORGANOGRAMA DAS TELAS (FONTE: VULKAN 2011) 31
FIGURA 2-16 TELA DE COMANDO IHM (FONTE: VULKAN 2011) 32
FIGURA 2-17 ARQUITETURA BÁSICA DE UM CLP (FONTE: CÉSAR DA COSTA) 39
2-18 TRECHO DE LINGUAGEM *LADDER* (FONTE: CESAR DA COSTA) 41
FIGURA 3-1 FLUXOGRAMA BÁSICO DE UM CICLO DE LEITURA (FONTE: CÉSAR COSTA) 44

Lista de Tabelas

2-1 Linguagens de Programação (Fonte: Cesar da Costa) 40
Tabela 3-1 Tempos típico de execução de instrução do CLP (fonte: César da costa) 45
Tabela 3-2 Tempos típicos de um ciclo de leitura (Fonte: César da costa)..... 46

RESUMO

O trabalho de conclusão de curso tem baseado em sua fundamentação o estudo do funcionamento do sistema de frenagem controlada em transportadores de correia regenerativos bem como o uso do CLP apropriado para tal sistema analisando o conceito de *scan-time*. Estudo do sistema elétrico no momento da frenagem bem como a atuação do freio no transportador e os tipos de frenagens que o sistema poderá exercer através das condições de comando no momento da frenagem. Funcionamento e a estrutura do freio hidráulico a ser utilizado bem como seu respectivo comando hidráulico. Sinais elétricos a serem trocados entre o sistema elétrico com o hidráulico e respectivamente com o transportador. Tratativa dos sinais enviados e recebidos pelo sistema bem como a importância de alguns sinais vitais para o correto funcionamento. Detalhamento do por que da frenagem nesses tipos de transportadores tão como suas vantagens de utilização na indústria da mineração. Importância da malha fechada neste tipo de controle, tipos de sensores e dispositivos utilizados nos transportadores a fim de garantir uma perfeita comunicação e comutações de emergência. Demonstração do gráfico *PID* bem como seus parâmetros e variáveis para a fundamentação do *SET-POINT* de velocidade e torque a ser exigido no sistema de acionamento do transportador. Estudo dos protocolos de comunicação existentes no mercado para melhor utilização no sistema de comunicação, bem como a utilização de uma possível redundância para os sinais vitais para o funcionamento do sistema de frenagem controlada.

Palavras-chave: Transportador, Frenagem Controlada, *PID*, CLP.

ABSTRACT

The completion of course work has its foundation based on the study of the functioning of the braking system controlled conveyor belts like uphill conveyor (regenerative) use of PLC such a system suitable for analyzing the concept of scan-time. Study of the electrical system at the time of braking and the brake application on the conveyor and the types of the braking system can exert control over the conditions at the time of braking. Functioning and structure of the hydraulic brake to be used as well as their respective hydraulic control. Electrical signals to be exchanged between the electrical system with the hydraulic and respectively with the Carrier.Dealings of the signals sent and received by the system and the importance of vital signs for proper operation. Detail by braking that these types of carriers such as its advantages for use in the mining industry. Importance of this type of closed loop control, emergency switches. Demonstration of the graph as well as their PID parameters and variables for the reasons set-point speed and the torque to be required in the drive system of the conveyor. Study of communication protocols on the market for better use in the communication system and the use of a possible redundancy for vital signs for the operation of the controlled braking.

Keyword's: Conveyor, Controlled Braking, PID, CLP.

1 INTRODUÇÃO

Com a grande expansão na área de mineração no Brasil nos últimos anos, empresas do setor buscam cada vez mais aprimorar seus processos industriais, levando muito em consideração a logística e ampliação da produção. Por se tratar de muitas vezes serem instaladas plantas de extração, beneficiamento, estocagem ou embarques de minérios em lugares remotos e de difícil acesso há malhas de transporte, surge assim à grande necessidade de serem desenvolvidos projetos para o transporte desta carga num modo contínuo, uniforme e que atenda grandes distâncias.

Figura 1-1 Investimentos no setor da mineração de 2010 á 2014 (Fonte: IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração)

Deseja-se estudar o sistema de frenagem controlada em transportadores de correia do tipo regenerativo, sendo detalhado o funcionamento e a respectiva automação do sistema em partes tais como:

- Benefícios do Sistema.
- Detalhamento do funcionamento e a estrutura do freio e sua respectiva unidade hidráulica.
- Comandos elétricos a serem trocados entre os freios e o sistema para atuação da frenagem controlada;
- Estudo da malha fechada para o controle da velocidade do Transportador.
- Comportamento dos freios e do transportador no momento da frenagem.
- Redes de comunicação com os respectivos protocolos e dados a serem trocados entre o sistema e o transportador.
- Estudo do CLP indicado para aplicação com ênfase ao tempo de leitura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme cita Aurélio (1993), para toda vez que for necessário executar uma movimentação constante de materiais a granel entre dois pontos pré-determinados devem ser utilizados transportadores.

Há diversos tipos e modelos de transportadores contínuos encontrados atualmente, sendo, o transportador de correia o mais usual no segmento da mineração e similares.

O transportador de correia segundo Aurélio (1993) é utilizado para transportar grande quantidade de materiais como minérios, atingindo alguns quilômetros de comprimento.

Os transportadores de correia consistem em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) em curvas (côncavas ou convexas) e especiais curvos, tubulares e regenerativos ou por combinações desses perfis. O transporte é feito por uma correia contínua com movimentação reversível ou não, que desloca sobre tambores, roletes ou mesas de deslizamento.

Há título de curiosidade podemos citar alguns transportadores de correia especiais que operam pelo mundo. Sendo o transportador de correia com a maior capacidade esta localizada na Alemanha no qual opera em conjunto com a maior escavadeira de roda de caçambas do mundo e tem sua capacidade diária de 240.000 m^3 de carvão por dia. Por outro lado o maior transportador do mundo com relação a comprimento opera entre a Índia e Bangladesh, foi posto em operação no ano de 2005 na qual contempla numa distância de 35 km de comprimento.

Figura 2-1 Transportador de correia localizada na índia (Fonte: UFSJ – Monitoramento da espessura da correia)

Com a utilização deste tipo de transporte á granéis especialistas ligados as áreas de logística afirmam que mesmo com o custo e tempo elevado de construção o mesmo tem se o custo beneficio alto, pois possibilita sua instalação em lugares remotos e topologias de difíceis acesso, sendo na qual o transportador consegue suprir de forma contínua a necessidade de transporte de materiais.

Em grandes pátios de expansão de minérios os TCLD atuam de forma a transportar o minério até o próximo meio de transporte nos quais podemos citar por ferrovias, portos ou até mesmo para planta de beneficiamento.

Figura 2-2 Transportador de correia de longa distância (fonte: Vulkan 2011)

Os transportadores de correia conforme citado podem seguir algumas formas construtivas como, plano ou inclinado (ascendente ou descendente) sendo o que irá ser utilizado no trabalho é o transportador descendente, conhecido popularmente como do tipo regenerativo.

A frenagem controlada na qual será estudada é empregada apenas em transportadores descendentes, visto por sua particularidade de ser um transportador com uma inclinação negativa conforme mostra a figura 2-3 a seguir. Com esta particularidade de inclinação negativa torna que, na medida em que o transportador esta em funcionamento a própria carga em conjunto com a velocidade nominal da correia, acabam gerando devido a força gravitacional um ganho de velocidade, tornando o sistema de certa forma com uma velocidade incontrolável na medida em que se aumenta a carga na correia.

Devido a este fator surge a necessidade de ser empregada uma frenagem controlada no transportador gerando benefícios ao transportador.

Dentre os modelos de transportadores descendentes nomeia-se como regenerativo o transportador a qual se aproveita da particularidade de ângulo negativo para regenerar a energia elétrica. Basicamente a regeneração acontece quando em um determinado momento a velocidade da correia tende a ultrapassar a nominal dos motores, isso acaba gerando uma potência conhecida como negativa, onde o motor irá segurar a velocidade, fazendo que se gere uma força contra-eletromotriz, fazendo com que o motor se torne gerador, essa tensão é regenerada e tratada pelos inversores de frequências especiais, para evitar harmônicas e possíveis distúrbios à rede elétrica para que posteriormente seja devolvida a rede ou até mesma utilizada em outros processos.

Figura 2-3 Transportador de correia regenerativo (fonte: Vulkan 2011)

Por ser um transportador de cargas à níveis de toneladas/hora e possuir as particularidades a qual foram ditas, surge assim à necessidade de se fazer uma frenagem controlada que proporcione a parada suave do conjunto em um determinado espaço de tempo, independente das condições de velocidade ou carregamento a frenagem em si deverá ocorrer quando houver alguma irregularidade no sistema.

Para se fazer o estudo do sistema de frenagem controlada do transportador deve-se antes conhecer o conceito de freios e em seguida o sistema de frenagem em si com suas particularidades.

2.1 Conceito de Freios

Freios são basicamente dispositivos usados para parar, atrasar ou controlar o movimento de um mecanismo rotativo (em geral acoplados em discos ou polias de um equipamento). Segundo NORTON (2004), se esse dispositivo é fixo, enquanto o outro dispositivo acoplado a ele gira, ele é chamado de freio.

Os tipos mais comuns são os freios de atrito, onde há duas ou mais superfícies de contato, criando ali o que é chamado de torque de atrito. Nesses freios, uma das superfícies será tipicamente metálica (ferro fundido ou aço) e a outra um material com alto coeficiente de atrito, denominado material de fricção.

O funcionamento se deve ao fato do contato entre o material de fricção e o disco ou polia, transformando a energia cinética ou potencial em energia térmica que será transmitida na forma de calor para o meio.

Segundo LIMPERT (1992), os freios devem ser dimensionados atendendo a geração de energia térmica, duração das guarnições, segurança do serviço, fator de freio e desaceleração admissível desejada do regime de trabalho. O disco ou polia de frenagem são partes responsáveis pela dissipação da energia térmica gerada durante a frenagem, e têm papel preponderante no desempenho do freio.

Segundo NORTON (2004), os freios devem ser dimensionados baseados no torque e potência para cada aplicação e fatores de serviço sugeridos.

LIMPERT (1992) define como sendo fator de freio a razão entre o esforço de frenagem produzido no contato entre lonas e polia ou pastilhas e disco e a força aplicada para comprimir as lonas contra a polia ou as pastilhas contra o disco, respectivamente.

Segundo NORTON (2004), a hipótese de desgaste uniforme produz uma capacidade de torque menor que aquela obtida com a hipótese de pressão uniforme. O desgaste inicial nos raios maiores muda o centro de pressão radialmente para dentro, produzindo um braço de momento menor para a força resultante de atrito. As pastilhas são calculadas usualmente com

base na condição de desgaste uniforme. Elas possuirão uma capacidade maior quando novas, porém irão terminar próximo da capacidade estimada em projeto uma vez que se desgastem.

O tempo de vida útil das pastilhas terminará quando o material de fricção atingir o máximo desgaste determinado para o projeto, em geral quando tiverem 80% de seu material gasto (VULKAN, 2011).

2.1.1 Freios a disco

Segundo NORTON (2004), freios a disco atuam pelo contato das faces das pastilhas (material de fricção) com uma pequena parte da superfície do disco acoplado à um eixo em rotação, deixando o restante exposto ao esfriamento. Alguns discos possuem canais internos para ventilação que proporcionam o resfriamento do disco. O atrito provocado nesse contato gera uma força axial normal, chamada de esforço de frenagem. Esse modelo é encontrado, freqüentemente, em automóveis modernos substituindo o uso do freio de polia. Algumas vantagens dos freios a disco sobre os de polia resultam na boa controlabilidade e linearidade (torque de frenagem diretamente proporcional à força axial aplicada).

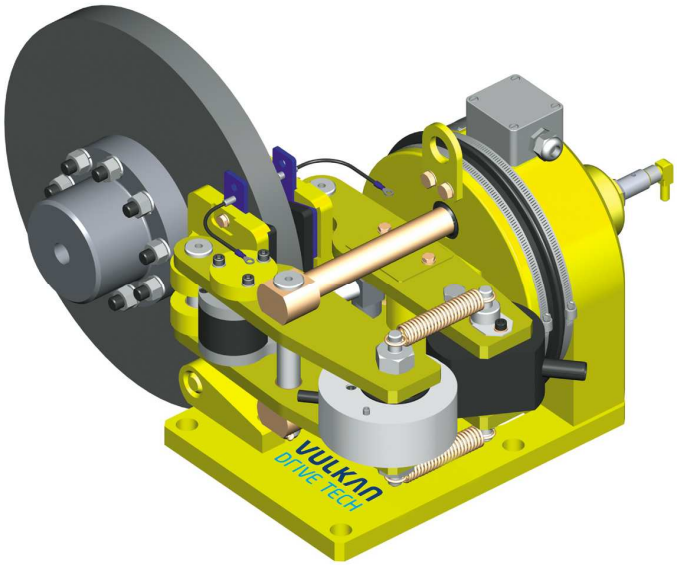


Figura 2-4 Freio a disco por atuação eletromagnética (Vulkan do Brasil)

2.1.2 Freios de Polia

O funcionamento desse tipo de freio consiste na aplicação de uma força radial, devido ao contato entre as lonas do freio (material de atrito fixado nas sapatas) e a polia. Quando as lonas entram em contato com a polia, que está acoplada á um eixo em movimento, esse contato gera um torque de frenagem.

Figura 2-5 Freio de sapata com atuação (Vulkan do Brasil)

Algumas vantagens de se utilizar duas sapatas é o maior aproveitamento da área da superfície de frenagem da polia e equilíbrio de esforços ocasionados na frenagem. Nos freios de polia podem ocorrer variações no fator de freio, devido à mudança no coeficiente de atrito entre a lona e a polia ocasionado pelo aumento de temperatura da polia (Limpert, 1992).

A linha de freios de sapatas contemplam pelos mesmos tipos de freios a disco eletromagnéticos, pneumático sendo apenas o hidráulico por sua característica física não adequada.

2.1.3 Freios Hidráulicos a disco

Os freios utilizados na frenagem controlada são do tipo hidráulico a disco isso, se deve ao fato de com o uso da hidráulica consegue-se maiores forças de frenagens gerando conseqüentemente um valor de torque elevado quando comparado com freios de acionamentos distintos como, por exemplo, eletromagnético, pneumático, eletro-hidráulico dentre outros. Além de que com o uso da hidráulica consegue-se fazer uma manipulação do fluido, aumento ou diminuição da pressão gerando conseqüentemente uma proporcionalidade de torque nos freios.

Para se fazer o dimensionamento do freio adota-se como conceito de NORTON (2004), na qual devem ser dimensionados baseados no torque juntamente com seu fator de serviço especifico. No caso do transportador regenerativo deve-se levar em consideração também alguns outros fatores, tais como as inércias do sistema de transmissão (Motor, redutor, acoplamentos e os roletes tais como o peso da correia) sendo considerados também os dados da inclinação do transportador e o tempo de parada especificada em projeto.

Figura 2-6 Freio de hidráulico a disco (Fonte: Vulkan 2011)

O freio hidráulico em referência é da linha Vulkan - SH o mesmo tem em sua característica a concepção de pinça, ou seja, os dois corpos formam um freio, fazendo sua compressão no disco uniformemente e fixado em uma mesma base. O mesmo é caracterizado como “freio de emergência”, pois, quando há pressão hidráulica o freio fica aberto, ou seja, a pastilha não toca no disco, quando há a falta de pressurização o mesmo através do conjunto de molas instaladas em seu interior se descomprime fazendo com que a pastilha toque o disco e ocorra a frenagem. Possui componentes de aferição como sensores de desgaste de pastilha ou em alguns casos de pastilhas com sensor de temperatura, em seu corpo é alocado sensores do tipo indutivo na qual a função é detectar possíveis folgas excessivas entre o disco e a pastilha e o outro para detectar a abertura ou fechamento do freio.

A escolha do modelo da pastilha a ser empregada esta ligada diretamente no tipo e local a ser instalado, tendo a ressalva de que toda a pastilha não contém em sua estrutura o amianto proibido no Brasil e diversos países. A pastilha mais utilizada neste tipo de freio é a orgânica com desgaste flexível, pois mantém um desgaste uniforme e um sensor de desgaste no qual indica que restam apenas 20% de material de fricção, visto que quando novas possuem uma capacidade de frenagem maior quando estão desgastadas.

2.2 Sistema de Frenagem Controlada

O Sistema de Frenagem Controlada é um sistema inteligente de frenagem empregado em transportadores de correia regenerativos visto por sua complexidade de parada sendo assim o objetivo principal deste sistema é de realizar a parada do transportador de forma controlada e suave.

Será utilizado quando houver alguma anomalia no transportador, ou em alguns de seus componentes. Visto que caso o transportador não venha apresentar nenhuma anomalia as paradas do transportador ocorrerão somente pelos inversores de frequência.

Quando uma destas ocorrer, os freios entrarão em contato com o disco com um determinado torque de frenagem, sendo que este torque será controlado, à medida que a velocidade do transportador diminuir.

Como resultado deste processo de frenagem, obtém-se um baixo desgaste nos componentes mecânicos além de um baixo índice de manutenção, além da segurança e confiabilidade nas frenagens.

É um sistema que trabalha em malha fechada e ativo em todo o funcionamento do transportador, no qual será detalhado no item concepção do sistema.

Para entender como funciona o sistema deve-se antes, analisar a concepção de freio empregada no sistema.

2.2.1 Concepção dos Freios

Os freios hidráulicos a serem aplicados neste sistema de frenagem controlada em transportadores de correia regenerativo, podem ter duas concepções, como citado abaixo:

Freio Digital: É representado como on-off, ou seja, a característica é atuar com todo o seu torque de frenagem no instante da frenagem

Freio Proporcional: O mesmo consegue-se fazer o controle do seu esforço de frenagem através da pressão hidráulica exercida sobre o mesmo, ou seja, é proporcional a pressão hidráulica que é solicitada, com esse tipo de freio se consegue a proporcionalidade de torque no disco.

A quantidade de freios e sua concepção variam de acordo com a capacidade do transporte e seu respectivo perfil, sendo que a utilização da frenagem digital / proporcional se baseia em transportadores onde o perfil e a capacidade são itens críticos, ou seja, em transportadores regenerativos se torna comum a utilização do freio proporcional com digital, sendo que a função do digital para estes casos é trazer a velocidade do TC, rapidamente à reta de parada, estabelecida pelo set-point do sistema, para a utilização do freio digital, têm-se um painel hidráulico instalado próximo do mesmo, nomeado como módulo hidráulico digital cuja sua função é de comandar hidraulicamente o fechamento dos freios digitais instantaneamente.

Já em outros transportadores onde o perfil e a capacidade não são itens muito críticos, pode-se trabalhar apenas com freios proporcionais, sendo que o tempo de parada e controle será respeitado proporcionalmente à pressão exercida nos freios.

Toma-se como regra em transportadores regenerativos a utilização de freios digitais em conjunto com proporcionais conforme ilustra figura abaixo.

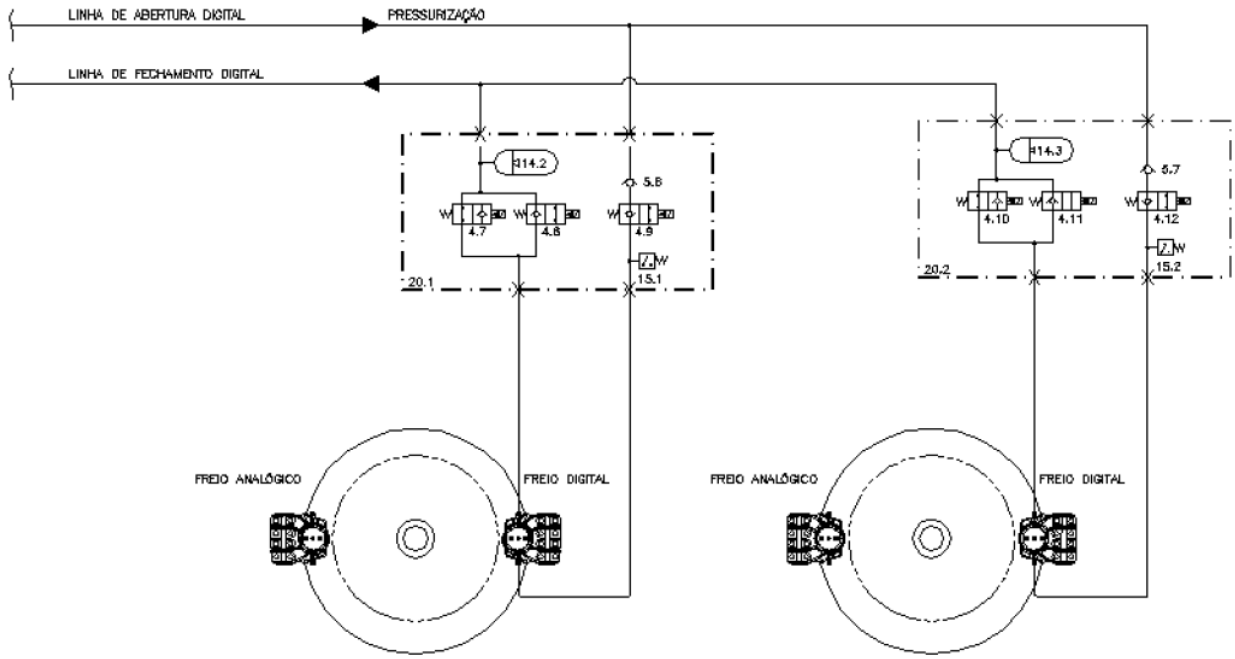


Figura 2-7 Ilustração da concepção dos freios (Fonte: Vulkan 2011)

2.2.2 Sistema Hidráulico

Todo o controle hidráulico se deve basicamente a unidade hidráulica que trabalha em conjunto com os freios, além de servir como controle ao freio fornece um feedback ao sistema de frenagem controlada, pois em sua construção contém componentes de medição e controle como manômetros, pressostatos, sensores de temperatura e demais itens que atuam diretamente para o controle e resposta dos freios. Sua capacidade de óleo é dimensionada de acordo com a quantidade de freios em relação à distância.

A montagem da unidade hidráulica no sistema de frenagem controlada deverá ser respeitada na menor distância possível a fim de visar o menor tempo de resposta para os freios.

A figura abaixo exemplifica um croqui de ligação da unidade hidráulica e do módulo hidráulico digital com os freios, sendo um proporcional e outro digital.

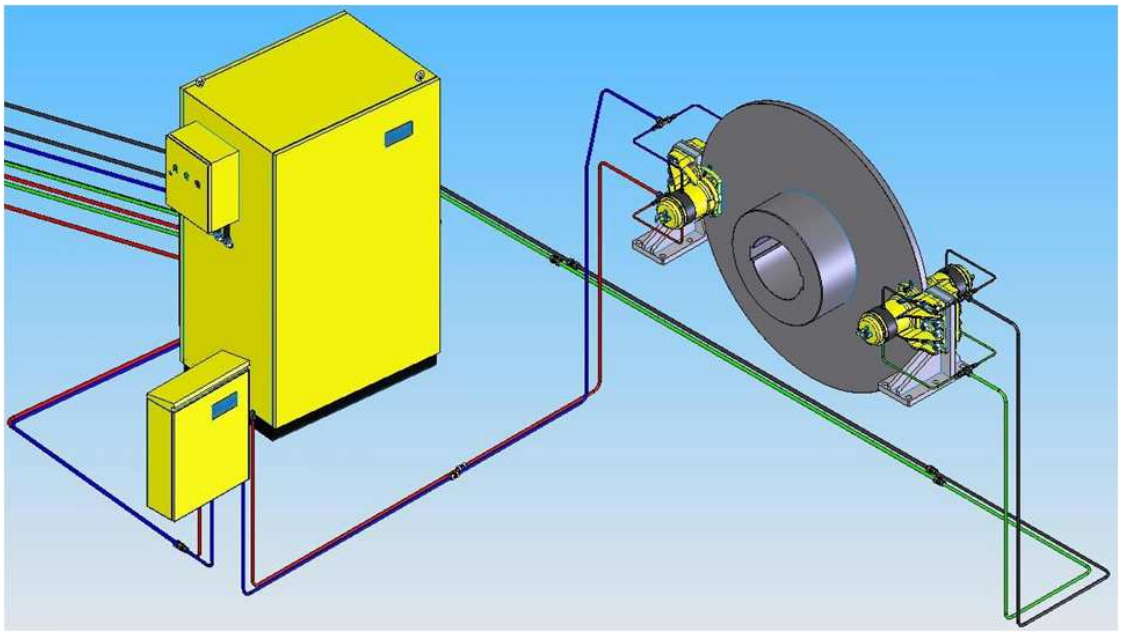


Figura 2-8 Layout do Sistema Hidráulico (Fonte: Vulkan 2011)

2.2.3 Concepção do Sistema

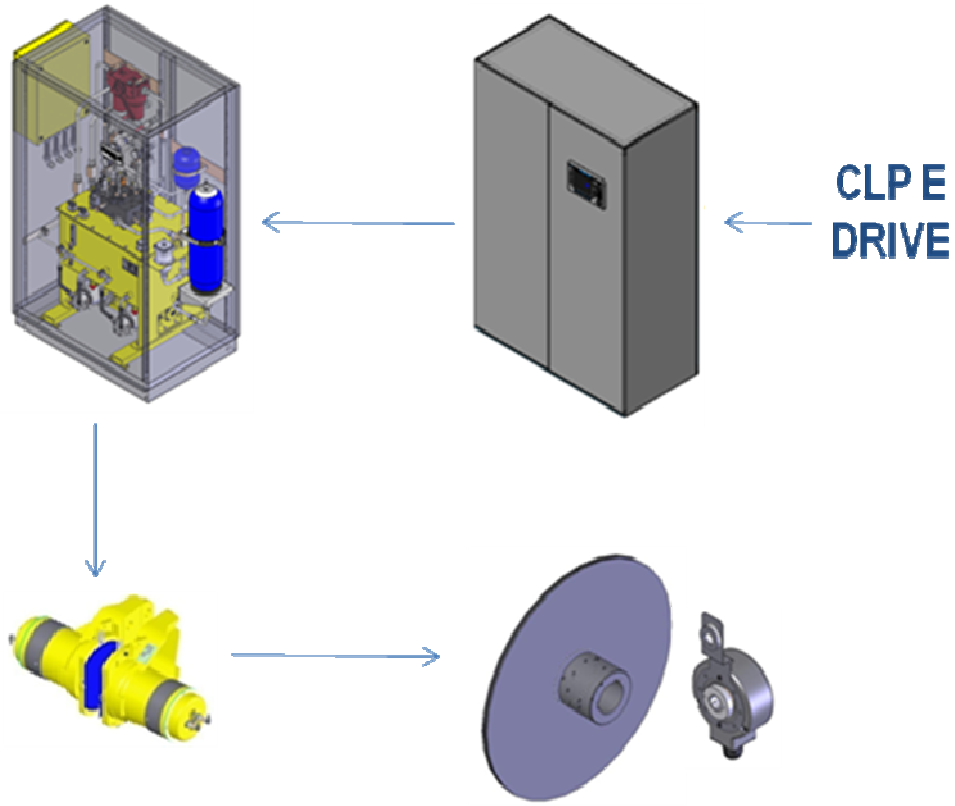


Figura 2-9 Sistema de malha fechada (Fonte: Vulkan 2011)

O sistema é dotado de diversos tipos de recebimento e envio de sinais, sendo que esses dados são trocados constantemente e armazenados, tornando um sistema completo de malha fechada.

Os sinais que são trocados entre o sistema e o inversor do cliente são geralmente o torque exercido pelos motores e da velocidade da correia enviada pelo encoder acoplado ao eixo tanto no eixo motriz quanto do tambor-movido sendo a função deste detectar possíveis escorregamentos ao longo da correia, salvo que de acordo com o projeto demais sinais poderão ser trocados.

Quando houver o instante de frenagem o sistema irá enviar um sinal de frenagem em andamento para o painel do cliente, onde tem sua extrema importância para segurança

operacional, já que este sinal serve para retirar do circuito os inversores a fim de não gerar sobrecarga nos motores, picos de corrente ou até mesmo de danificar o equipamento.

São recebidos e enviados sinais entre unidade hidráulica e painel de controle, no qual podemos citar os sinais transitórios como o de pressão, temperatura, posicionamento das válvulas, além dos sinais de status dos freios, freio aberto ou fechado, folga do freio, desgaste da pastilha além da temperatura do disco.

Todo este tipo de controle em malha fechada tem seu motivo, como o sistema opera com diversas variantes ao longo do processo, o sistema consegue obter uma melhor resposta além de precisa e rápida com compensação de erros no processo.

Os dados de controle como pressão hidráulica, velocidade da correia e do valor do torque são primordiais ao sistema de frenagem controlada, pois esses dados serão utilizados posteriormente para geração do *PID* no momento da frenagem.

Dentre os sinais recebidos o sinal do torque é vital para o correto funcionamento do *PID*, esse sinal é enviado via rede e em alguns casos pode-se adotar uma redundância para a segurança de possível perda de sinal.

O *PID* através dos dados armazenados no instante que ocorrer a frenagem os mesmos serão tratados e calculados internamente pelo programa interno de geração do *PID* para posteriormente gerar um *set-point*, através desta reta que o *PID* calculou ser adequada, a velocidade do transportador deverá seguir a mesma a fim de parar o transportador no tempo estabelecido.

A seguir uma ilustração de um gráfico de *set-point* gerado num instante de frenagem.

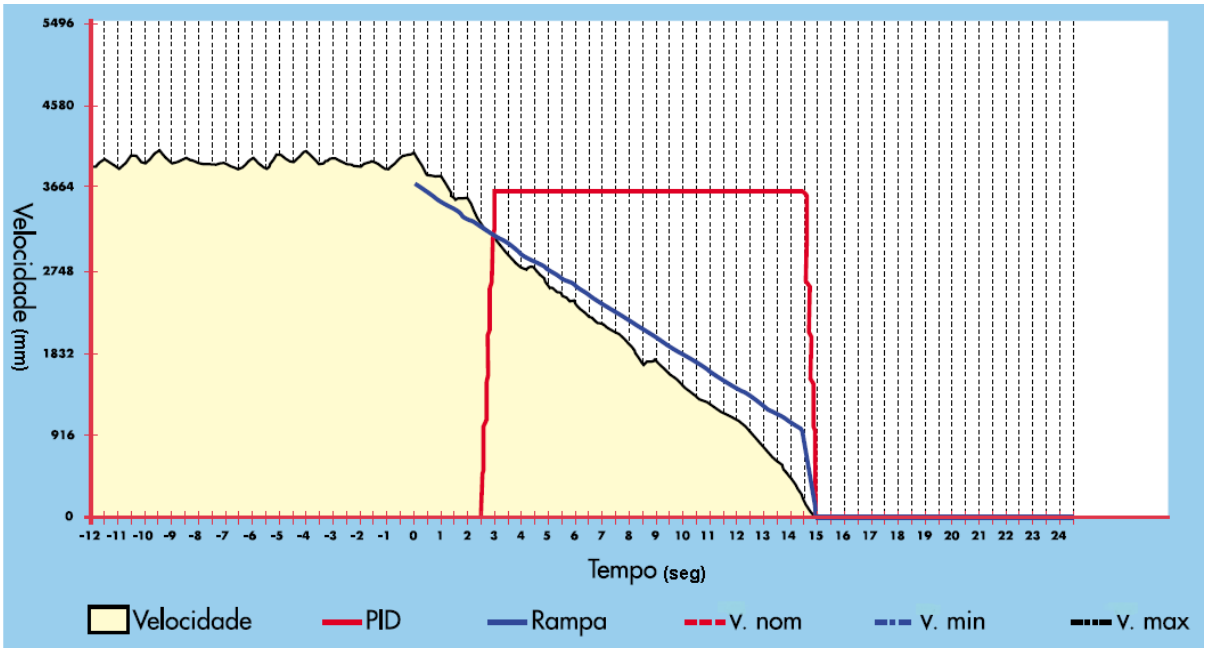


Figura 2-10 Ilustração *set-point* da frenagem (Fonte: Vulkan 2011)

Pode-se visualizar através da reta azul o *set-point* gerado pelo *PID*, sendo que o delta tempo exercido pelo pulso quadrático em vermelho determina o tempo seguro que a reta de velocidade do transportador em preto deverá chegar à zero. Em resumo o transportador terá aproximadamente 13 segundos para fazer a parada total desde o instante da frenagem.

Pode-se diferenciar três tipos de frenagens que podem ocorrer em um mesmo transportador utilizando o sistema de frenagem controlada, sendo que as frenagens podem ser decorrentes uma das outras em um modo genérico de cascata:

- Frenagem Controlada;
- Frenagem Suavizada;
- Frenagem de Emergência;

A frenagem controlada se baseia quando, no transportador em operação normal houver uma sobre velocidade na correia de 105 %, proveniente de qualquer encoder, escorregamento maior que 5% entre os tambores ou perca do sinal de abre freio, caso um destes itens ocorrerem o sistema de frenagem controlada irá atuar com seu respectivo *PID* e retas estabelecidas, normalmente na alocação de frenagem controlada entram apenas os freios proporcionais para se fazer a parada sem a necessidade de entrar um digital antes, esta frenagem é caracterizada por “leve”, pois os fatores que implicam na parada não são de caráter alarmante.

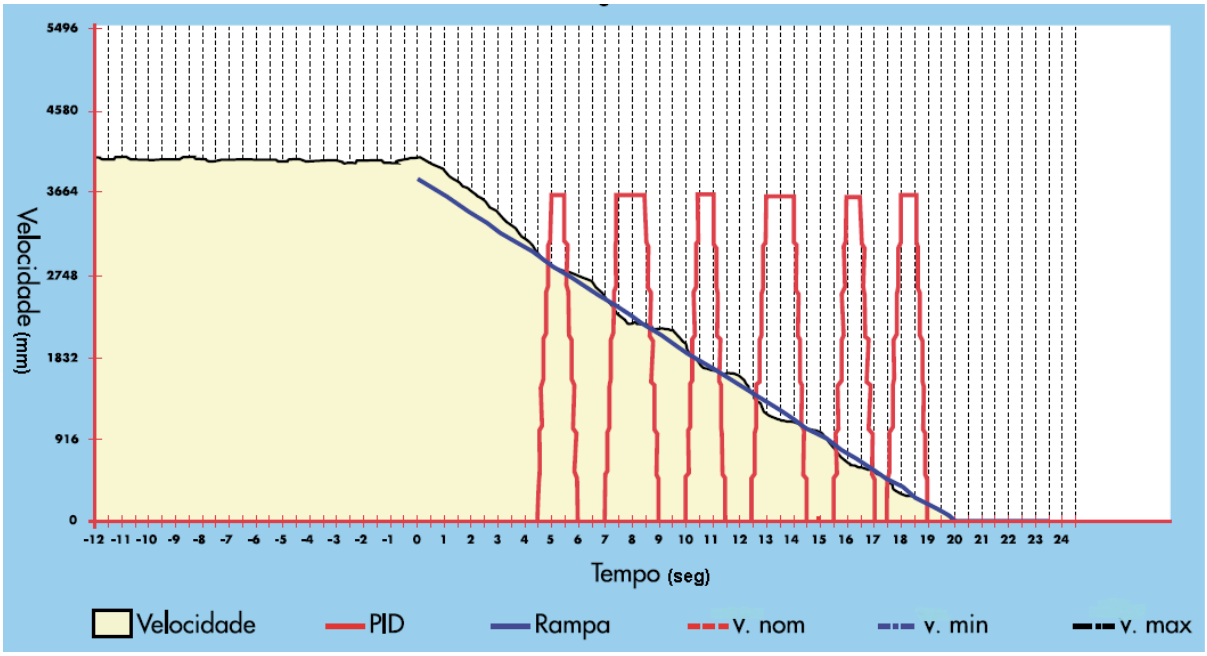


Figura 2-11 Gráfico de frenagem controlada em andamento (Fonte:Vulkan 2011)

A frenagem suavizada se baseia em outro nível de intempéries onde irá atuar quando houver uma sobre velocidade de 110 á 115 % do transportador, falha do no-break quando houver uma queda de energia, falha no CLP de comando ou também caso a frenagem controlada tenha sido atuado e o transportador não correspondido.

Na suavizada diferentemente da controlada o freio digital será atuado fazendo com que a velocidade do transportador seja trazida a curva de parada o mais rápido possível e o restante do torque de frenagem os freios proporcionais irão ser acionados para que exerça a parada total do transportador.

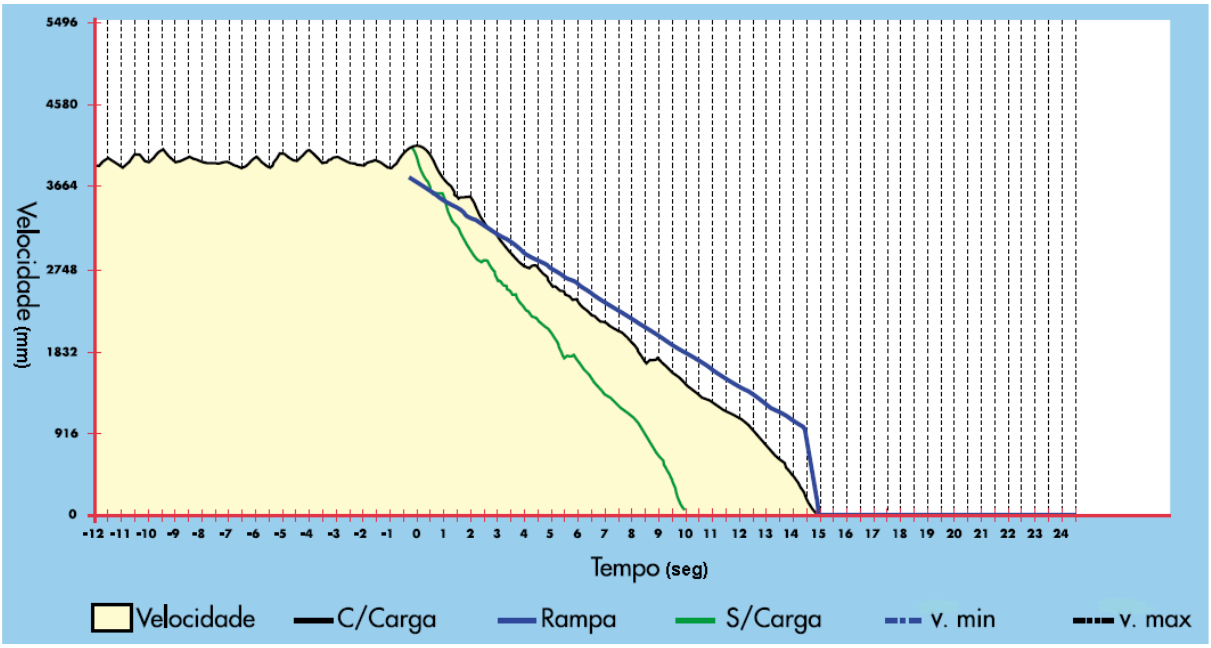


Figura 2-12 Gráfico da frenagem suavizada em andamento (Fonte: Vulkan 2011)

Como nota-se no gráfico de parada suavizada o tempo é menor quando comparado a frenagem controlada, já que a suavizada se caracteriza um nível acima de criticidade, sendo o menor tempo um fator determinante.

A frenagem de emergência é o ultimo estágio encontrado é empregado caso os outros níveis de frenagens, (controlada e a suavizada) não forem correspondidos ou houver um aumento repentino de 120 % fazendo acionar a chave centrifuga (dispositivo eletro-mecânico responsável pela detecção de sobre velocidade acima de 120 %). Toda a pressão hidráulica é jogada a tanque fazendo com que todos os freios se tornem digital, ou seja, entrem com todo torque de frenagem e tragam o transportador a velocidade zero, porém sem controle de tempo.

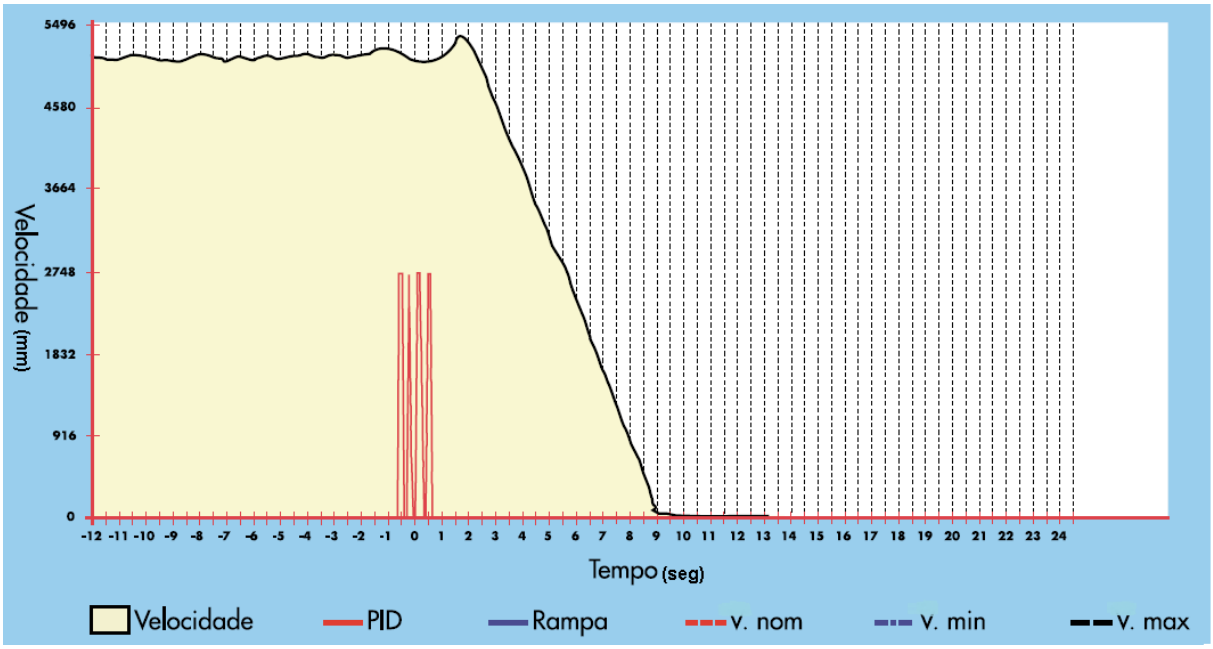


Figura 2-13 Gráfico da frenagem de emergência (Fonte:Vulkan 2011)

.

Os tempos para cada nível de frenagem encontrados em um mesmo transportador variam de acordo com cada transportador, este tempo é calculado de acordo com o projeto do fabricante sendo que as variáveis para determinação do tempo são geralmente o tamanho, largura da correia, capacidade de carga e o grau de inclinação e outros fatores estruturais e particulares.

2.2.4 Interface Homem- Máquina

Como todo sistema onde têm-se se uma complexidade de operação há também uma dificuldade de interação com o usuário, sendo que para este caso utiliza-se como simplificação um IHM, visto que esta interface tem que ser totalmente ativa com o sistema, gerando infinitas utilidades tanto para operação quanto para manutenção.

O IHM do sistema de frenagem é instalado geralmente no painel de controle do mesmo onde se tem a seguinte visualização:

Figura 2-14 Ilustração do IHM (Fonte:Vulkan 2011)

Dentro desta interface acessada via touch screen onde o usuário tem a possibilidade de acesso a telas internas do programa, visto pelo organograma a seguir.

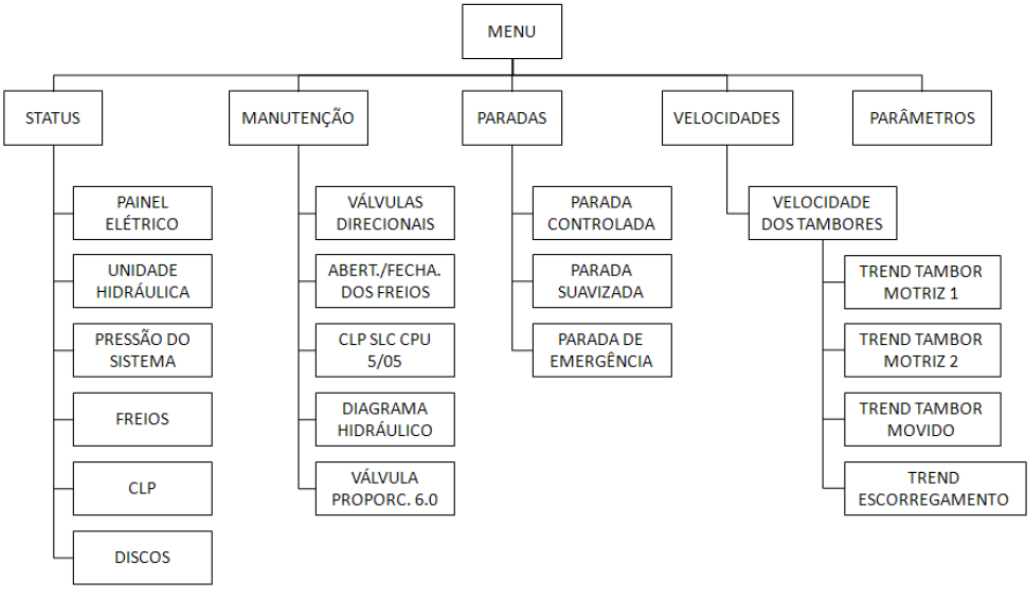


Figura 2-15 Organograma das telas (Fonte: Vulkan 2011)

Com esta opção de IHM a manutenção do sistema pode ser resolvida em poucos instantes, visto que o tempo de identificação do problema é menor já que na tela de status mostra em tempo real todo o status do sistema de frenagem desde freios até a unidade hidráulica.

Pode se também visualizar os gráficos das ultimas paradas a fim de detectar se o tempo de parada foi respeitado além de manter em memória as ultimas falhas geradas pelo sistema, trazendo benefícios tanto para manutenção quanto para o gerenciamento de produção que poderá verificar as paradas não previstas que ocorreram.

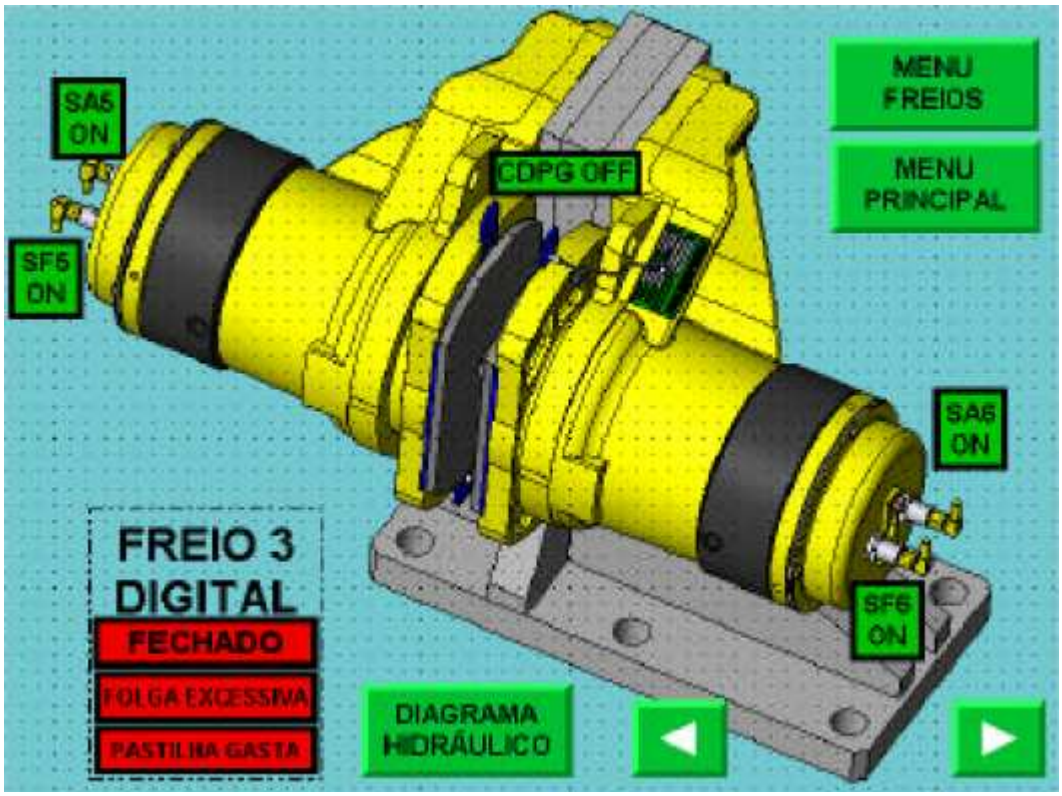


Figura 2-16 Tela de comando IHM (Fonte: Vulkan 2011)

Além de todos os benefícios citados esta interface ajuda no comando remoto dos componentes, tornando a manutenção mais segura e rápida.

2.2.5 Rede Industrial no Sistema

Conforme visto anteriormente, o sistema de frenagem controlada atua com diversos componentes interagindo-se em um sistema de malha fechada. Por sua vez, deve ser tomada a atenção para a comunicação entre os mesmos, principalmente pelos fatores de taxa de velocidade, tempo de resposta e possíveis intermitências, além de que temos que o ambiente no qual as redes são instaladas é extremamente hostil, ruídos eletromagnéticos de grande intensidade podem estar presentes (por exemplo, no acionamento de motores elétricos, em função das altas correntes envolvidas, radiações eletromagnéticas são geradas, podendo induzir ruídos nos equipamentos eletrônicos nas proximidades). Além das temperaturas e umidades elevadas, dois aspectos prejudiciais aos componentes utilizados em sistemas de comunicação.

Sendo assim o presente capítulo visa entender o funcionamento e a importância da rede industrial no sistema de frenagem controlada, já que a informação dos dados de campo e processo é de extrema importância para com o momento de frenagem.

Para o dimensionamento de uma rede industrial devem ser tomados alguns critérios a fim de que a rede suporte os dados trafegados para que não haja intermitência e que atue de forma sincronizada com a automação, destacam-se abaixo alguns fatores:

Meio Físico de Comunicação: (Cabo Par trançado blindado ou não, Fibra Óptica, Cabo Coaxial.)

Cobertura Geográfica: Topologia do ambiente e distância entre os pontos de comunicação e sua forma de interligação, Barramento, Anel, Estrela e árvore.

Método de acesso: Mestre-Ecravo, *Peer-to-Peer*, Produtor-consumidor.

Desempenho (Velocidade x *Throughput*)

Velocidade: Taxa de transferência total de dados por unidade de tempo. Considera informações (dados úteis) e o envelope de comunicação (dados de controle do protocolo).

Throughput: Taxa de transferência de informações por unidade de tempo. Considera apenas os dados efetivamente úteis para os integrantes da rede

2.2.6 Protocolos de Comunicação

Os dados a serem trocados no sistema de malha fechada requerem uma rede industrial dedicada à função, conseqüentemente um protocolo de comunicação que venha atender a necessidade.

O protocolo de comunicação pode s definido por regras e convenções que permitem a troca de informações entre dispositivos. Conhecendo assim as regras e convenções nomeado como protocolo pode-se construir um dispositivo capaz de trocar informações usando o respectivo protocolo.

Pode-se dividir os protocolos de campo basicamente em três níveis ou três categorias:

Nível Baixo: Nível a qual é responsável por conectar equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos deste tipo de rede necessitam de comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Estas redes não almejam cobrir grandes distâncias, sendo sua principal preocupação manter os custos de conexão tão baixos quanto for possível. Exemplos típicos de rede sensorbus incluem Seriplex, ASI e INTERBUS Loop.

Nível Médio: Alcança distâncias de até 500 metros. Os equipamentos conectados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos.

Além disso, algumas destas redes permitem a transferência de seis blocos em uma menor prioridade comparados aos dados no formato de bytes. Esta rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede de sensorbus, mas consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos de redes deste tipo são DeviceNet, Smart Distributed System (SDS), Profibus DP, LONWorks e INTERBUS-S.

Nível Alto: Capaz de fornecer dados no formato de pacotes de mensagens, a rede se interliga aos equipamentos de I/O mais inteligentes e pode cobrir distâncias maiores. Os equipamentos acoplados à rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas de controle tais como loops ,PID, controle de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência podem ser longos, mas a rede deve ser capaz de comunicar-se por vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário). Exemplos: Fieldbus Foundation, Profibus PA e HART.

Abaixo segue uma rápida introdução sobre alguns protocolos usuais na área de automação dentre os quais podem ser citados:

Redes abertas: Suportam equipamentos e dispositivos de diferentes fabricantes no qual as vantagens são de não gerar dependência, é mais versátil para controlar o processo, suas desvantagens são possibilidade de falhas de comunicação, velocidades variáveis de comunicação.

Redes proprietárias: São redes utilizadas pelos fabricantes para estabelecer a conectividade entre seus equipamentos suas vantagens são a estabilidade de comunicação e a facilidade de instalação de novos equipamentos e suas desvantagens utiliza um único fabricante, dependência de upgrades dedicados.

Para o sistema de frenagem controlada a rede industrial pode - se comportar como rede aberta, ou seja, há componentes de diversos fabricantes, sendo assim a unificação de rede deve ao tipo de sinal que é tratado para assim fazer a conversão para o protocolo do equipamento receptor.

2.2.7 Protocolo Profibus

O protocolo profibus é um padrão de fieldbus aberto na qual pode ser usado em largas aplicações, processos contínuos, entre outras. Empregado onde se necessita de alta velocidade de transmissão de dados e tarefas de comunicação complexas e extensas no qual se tornou uma das plataformas mais abertas do mundo. O Profibus pertence a um grupo de protocolos que compartilham um conceito chamado “fieldbus”. Este conceito surgiu quando se verificou que o Profibus pode ser utilizado nos mais diversos níveis do processo industrial, para isso, uma série de derivações do Profibus.

A família de Profibus consiste em três versões compatíveis, uma pequena comparação entre elas.

Profibus-DP – Aperfeiçoado para alta velocidade e montagem barata, esta versão é especialmente projetada para comunicação entre sistemas de controle de automatização e I/O distribuído ao nível de dispositivo, pode ser usado para substituir transmissão paralela em 24 V - 0 a 20 mA. ou 4 a 20 mA.

Profibus-PA- Projetado para automatização de processo. Permite conectar sensores e atuadores até mesmo em um barramento comum em áreas intrinsecamente seguras, permite comunicação de dados.

Profibus-FMS - É a solução de propósito geral para comunicação de tarefa ao nível de célula. Serviços de FMS poderosos abrem um amplo alcance de aplicações e provêem grandes flexibilidades, também pode ser usado para tarefas de comunicação extensas e complexas.

2.2.8 Protocolo Ethernet Industrial

A rede Ethernet passou por várias mudanças ao longo do tempo. A evolução maior deu-se na direção de uma topologia estrela com par trançado. As velocidades da rede cresceram de 10 Mbps para 100 Mbps, e agora alcançam 1 Gbps. A outra evolução dá-se no uso de um dispositivo de interligação dos elementos de rede denominado *HUBs* inteligentes com capacidade de comutação de mensagens e no uso de cabos *full duplex*, em substituição

aos cabos *half duplex* mais comumente utilizados a fim de diminuir possíveis colisões de dados.

Estas são algumas informações adicionais e os princípios básicos do protocolo Ethernet:

- Enorme popularidade da tecnologia; Baixo custo de implementação, treinamento e manutenção.

- Alta velocidade e alto desempenho; Facilidade de interconectividade e acesso remoto;

2.2.9 Protocolo CAN

CAN (*Controller Area Network*), desenvolvido nos anos 80 originalmente para aplicação automobilística. Posteriormente a tecnologia foi aplicada para o uso industrial devido ao excelente desempenho alcançado, já que no setor automotivo encontramos todas as características críticas das instalações indústrias, como: altas temperaturas, umidade, ruídos eletromagnéticos. Ao mesmo tempo em que necessitamos de alta velocidade e tempo de resposta reduzido para a aplicação em tempo real e confiabilidade das informações.

2.2.10 Protocolo Device Net

Device Net é um protocolo derivado do CAN, adaptado para operar ao nível de equipamentos, desde os mais simples como sensores on/off e módulos I/O até os mais complexos, como interfaces homem máquinas e inversores de freqüência para controle de velocidade de motores.

2.2.11 Análise da rede

A rede industrial com seu respectivo protocolo de comunicação a ser utilizado no sistema de frenagem controlada, varia de acordo com o projeto inicial do fabricante do transportador e principalmente pelo fabricante do CLP, sendo que a comunicação do painel de frenagem controlada para com demais componentes deve ser analisada a fim de utilizar uma rede rápida e precisa que venha por sua vez suportar todos os pacotes de dados que são transitados.

Dentre os sinais onde requerem uma maior atenção quanto à rede industrial empregada no sistema de frenagem controlada são listadas como:

- Sinal de torque e potência fornecido pelo inversor de frequência;
- Comunicação do CLP com IHM e/ou algum outro intertravamento de comando;
- Comunicação do CLP do sistema com algum outro supervisório;

Em alguns projetos pode ser empregada uma redundância de rede, no qual caso houver alguma anomalia no sinal de rede a mesma pode ser comutada manualmente ou automaticamente, sendo que sempre uma rede ficará *stand-by*, este tipo de manobra torna o sistema mais seguro quanto a possíveis quedas de redes.

2.3 CLP

Para o sistema de frenagem controlada, interagir com todos os componentes e comandar o respectivo sistema o dimensionamento correto do CLP deve ser o ponto principal, visto que além do protocolo vigente deve se tomar cuidado quanto ao *scan-time* no qual será visto a seguir.

Segundo Costa (2009) CLP é um dispositivo, capaz de armazenar instruções para a implementação de funções de controle, tais como sequência lógica, temporização e contagem, além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede.

A Figura abaixo ilustra a arquitetura básica de um CLP, formado por uma fonte de alimentação, uma Unidade Central de Processamento (CPU), um sistema de memória e circuitos de entrada e saída.

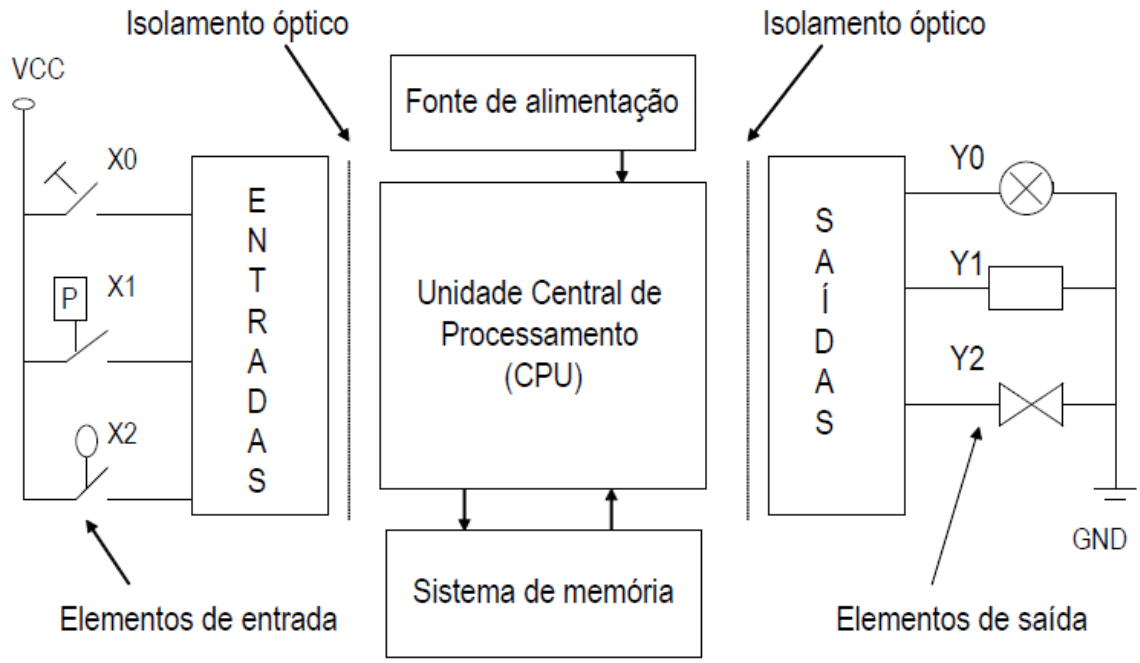


Figura 2-17 Arquitetura Básica de um CLP (Fonte: César da Costa)

2.3.1 Programação

Para o funcionamento do CLP e a execução dos comandos internos deve ser feita a programação sendo que a mesma pode ser elaborada em várias linguagens de programação.

Segundo Costa (2009) a IEC é a responsável pela padronização das linguagens de programação para CLP, sendo a norma IEC 61131-3 *Programing Languages* a responsável pela classificação dessas linguagens, conforme ilustra a Tabela abaixo.

2-1 Linguagens de Programação (Fonte: Cesar da Costa)

Classes	Linguagens
Tabulares	Tabela de Decisão
Textuais	IL (Instruction List) ST (Structured Text)
Gráficas	LD (Diagrama de Relés) FBD (Function Block Diagram) SFC (Sequential Flow Chart)

A programação pode ser feita remotamente ou in loco, sendo geralmente usada como porta de comunicação a RS232C ou RS485.

2.3.2 Linguagem de Diagrama de Relés (*Ladder*)

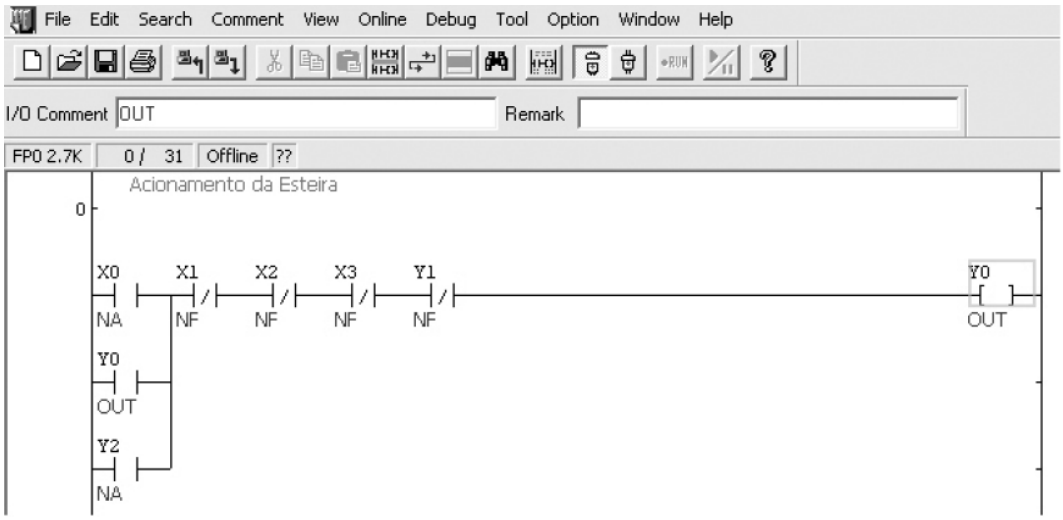
Mesmo com as tentativas de padronização da linguagem de programação ainda não existe um diagrama *ladder* comum, ou seja, o diagrama depende em exclusivo do fabricante.

A linguagem (*Ladde*r) é uma simbologia construída por linhas em uma planilha gráfica, na qual cada elemento é representado como uma célula que atua como instrução micro-processada.

Um programa em linguagem *Ladder* assemelha-se bastante a um diagrama de contatos elétricos, em que os símbolos gráficos representam os dispositivos reais e a maneira como estão conectados.

Ainda segundo Costa (2009), o programa em linguagem *Ladder* utiliza símbolos semelhantes nesse caso, os símbolos gráficos representam macroinstruções lógicas do programa de aplicação armazenadas na memória do usuário (*RAM*). Não existe barra de alimentação, nem o fluxo de corrente ao longo do programa, outra diferença é que em um diagrama elétrico descrevem-se os dispositivos como abertos ou fechados (“energizados” ou “desenergizados”). No programa em linguagem de diagrama de relés as macroinstruções são condições lógicas, verdadeiras ou falsas.

Abaixo segue a tela de uma programação de um CLP em linguagem *Ladder*.



2-18 Trecho de linguagem *Ladder* (Fonte: Cesar da Costa)

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do presente trabalho teve como base o aprofundamento teórico do sistema de frenagem controlada em transportadores de correia do tipo regenerativo. Para que fosse possível a inserções dos itens foram empregados livros e materiais técnicos provenientes a cada item que compõe o sistema, demonstrando em partes o seu funcionamento, bem como suas respectivas particularidades de automação.

Foram utilizados modelos gráficos gerados através do software do CLP em ocasiões de *start-up* de alguns transportadores que utilizam este sistema, no qual foi demonstrado graficamente como se comporta o *PID* em cada momento de frenagem, gerando assim uma visão analítica de como se comporta o transportador e o seu respectivo processo no momento de cada instante de frenagem. Além de utilizar desenhos e matérias técnicos do fabricante dos freios e do sistema.

A partir de pré-projetos recebidos para o dimensionamento do sistema de frenagem controlada em transportadores regenerativos foram visto que para tal sistema o CLP empregado deveria ser compatível a sua respectiva dinâmica, sendo que em transportadores que não foram tomadas tais atenções o sistema não obteve um bom resultado, dentre as particularidades criticas a serem analisadas o tempo de leitura ou *scan-time* do CLP é o item mais critico a ser tomado a atenção para o correto dimensionamento do CLP apropriado, vindo também a unidade de processamento, memória e demais itens provenientes ao processamento do CLP.

Para que possa ser entendido o porquê desta restrição devemos primeiramente entender o que é o tempo de leitura de um CLP.

3.1.1 Scan-time

O CLP a princípio funciona segundo um programa permanentemente armazenado em memória RAM, que executa um ciclo de leitura chamado *scan-time* e consiste de uma série de operações realizadas de forma sequencial e repetida.

• **Atualização das entradas:** CLP examina os dispositivos externos de entrada quanto à presença ou à ausência de tensão, isto é, um estado “energizado” ou “desenergizado”. O estado das entradas é então atualizado e armazenado temporariamente em uma região da memória chamada “tabela imagem das entradas”.

• **Execução do programa**: Durante a execução do programa, o CLP examina as instruções do programa de controle (armazenado na memória RAM), usa o estado das entradas armazenadas na “tabela imagem das entradas” e determina se uma saída será ou não “energizada”. O estado resultante das saídas é armazenado em uma região da memória RAM chamada “tabela imagem das saídas”.

• **Atualização das saídas**: Baseado nos estados dos bits da “tabela imagem das saídas”, o CLP “energiza” ou “desenergiza” seus circuitos de saída, que exercem controle sobre dispositivos externos.

• **Realização de diagnósticos**: Ao final de cada ciclo de leitura, a CPU verifica as condições do CLP, ou seja, se ocorreu qualquer falha em algum de seus componentes internos (fonte, circuitos de entrada e saída, memória etc.).

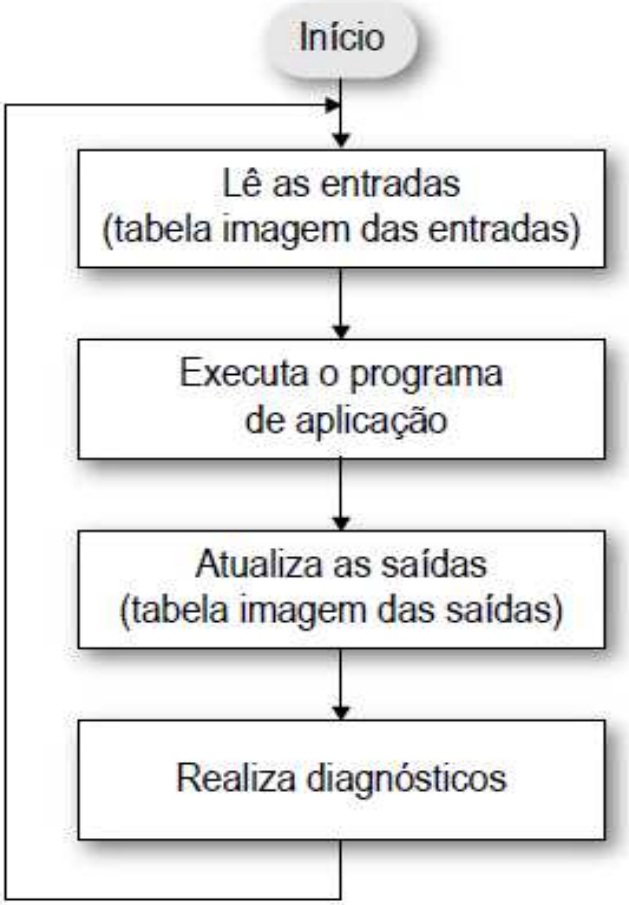


Figura 3-1 Fluxograma básico de um ciclo de leitura (Fonte: César Costa)

A execução do ciclo de leitura é realizada de forma sequencial, não podendo retroceder na etapa anterior até que o CLP faça a próxima varredura do programa, conforme visto na figura acima.

Segundo o fabricante *Allen Bradley*, o tempo em microssegundos para executar uma instrução quando sua condição é verdadeira é maior que o tempo necessário para executar a mesma instrução quando sua condição é falsa.

Abaixo segue a tabela de alguns tempos típicos de execução de um CLP.

Tabela 3-1 Tempos típico de execução de instrução do CLP (fonte: César da costa)

Tipo de instrução	Tempo de execução (µs) (instrução falsa)	Tempo de execução (µs) (instrução verdadeira)
Verificar se uma entrada está "energizada"	1,54	1,72
Verificar se uma entrada está "desenergizada"	1,54	1,72
"Energizar" uma saída	4,43	4,43
Temporizador (ON)	30,38	38,34
Contador (UP)	26,67	29,28
Contador (DOWN)	27,22	32,19
Comparação igual	6,60	21,52
Comparação maior que	6,60	23,60

O tempo de leitura ou *scan-time* é o espaço de tempo necessário que o CLP leva para detectar se uma entrada esta acionada e “energizar” a saída correspondente.

As variantes do tempo de leitura incluem: tempo de atualização das entradas, tempo de execução do programa, tempo de atualização das saídas e tempo de *housekeeping* da CPU, sendo que o tempo de *housekeeping* da CPU é o tempo, a cada início de ciclo de leitura que a CPU verifica as condições iniciais do CLP, ou seja, se ocorreu alguma falha em um dos seus componentes internos (fonte, circuito de E/S, memória etc.).

A Tabela abaixo apresenta um exemplo dos tempos típicos envolvidos no processamento de um ciclo de *scan* de um micro CLP, da empresa *Allen Bradley*.

Tabela 3-2 Tempos típicos de um ciclo de leitura (Fonte: César da costa)

Descrição do processamento	Tempo máximo (µs)
Tempo de atualização das entradas	8,0
Tempo de execução do programa	9,7
Tempo de atualização das saídas	8,0
Tempo de housekeeping (diagnósticos)	18,0
Tempo total de processamento (máximo)	43,75

Quanto mais complexo o processamento lógico, maior será o tempo de verificação, também alguns outros fatores como comunicação remota, bem como interfaces de exibição.

O ciclo de scan muitas vezes pode ocasionar problemas graves no controle de processos industriais, por não reconhecer uma entrada durante seu ciclo de funcionamento.

Isso pode ocorrer com sinais de entrada de resposta rápida. Dependendo do tempo de variação do estado lógico dos sinais de entrada, o CLP pode demorar mais tempo para acionar a saída ou mesmo nunca reconhecer uma entrada.

Para evitar esse tipo de problema, o tempo do ciclo de *scan* do CLP deve ser menor que os tempos de amostragens dos sinais envolvidos no sistema

Analisando o tempo de leitura e fazendo uma comparação para com que tem-se no sistema de frenagem controlada, toma-se como base que o sistema num todo torna que o CLP seja dimensionado com a cautela do tempo de leitura visto que o sistema possui uma complexidade no processamento lógico que neste caso pode-se descrever a geração do *PID*, possuir sinais de entrada de resposta rápida que é o caso do sinal de torque e velocidade, além de que alguns casos utilizar comunicação remota , todas essas particularidades requerem um CLP que seja capaz de atender os requisitos do sistema.

Caso contrário, empregando-se um CLP sem ter tomado as devidas atenções quanto ao tempo de leitura poderemos ter um mau funcionamento no sistema de forma generalizada, supondo-se que o CLP empregado possui um tempo de leitura maior que os tempos de amostragens dos sinais envolvidos, em resumo tempo de leitura alto, no momento em que ocorrer o instante de frenagem o *PID* irá alocar os dados de velocidade e torque da correia, neste caso o sinal já estará em defasagem no que realmente estaria na correia, o *PID* consequentemente calcula internamente o quanto de força os freios deverão atuar, sendo que até o *PID* calcular e atualizar a saída o estado físico do transportador será outro, atuando os freios os mesmos poderão neste caso entrar com muito torque danificando a correia, ou com baixo torque gerando várias outras frenagens com torques cada vez mais desorientados, fazendo com que o transportador pare em tempos muitos longos ou até mesmo danificando o sistema, em resumo no sistema de frenagem controlada em transportadores regenerativos, visto a sua dinâmica física além da complexidade da automação e controle o efeito de um CLP não apropriado causa um efeito cascata de erros, sendo assim o tempo de leitura se torna um dos itens de maior importância no dimensionamento do CLP.

Para minimizar este erro, o CLP a ser dimensionado deverá conter em seu *data-sheet* as especificações de tempos de leitura e processamento, sendo que deverá ser empregado aquele a qual tiver o menor tempo de leitura quando comparada com o de amostragens ou até minimizar a causa do efeito, simplificando operações internas que estão ociosas ou até utilizando entradas com sinais simples, com a ressalva que tenham a mesma funcionabilidade.

4 DISCUSSÃO

Conforme apresentado, trata-se de uma automação não trivial, onde alia diversos segmentos, desde a hidráulica até o sistema de controle, onde cada item tem a sua devida importância para o funcionamento do sistema em um modo geral.

Teoricamente foram vistos e discutidos o funcionamento do sistema de frenagem controlada com suas respectivas particularidades, tendo a ressalva especifica no tempo de leitura do CLP e seu efeito no sistema.

Também o *PID* onde nem toda teoria se aplica diretamente na prática, visto que os cálculos específicos para geração do *PID* são únicos, diferenciando alguns fatores que apenas são conclusivos no *start-up*, tornando assim que cada TCLD tenha seus respectivos valores de ajuste, fazendo assim com que o *PID* tenha seu cálculo genérico, mas apenas em prática com testes de frenagens tenhamos o modelamento matemático próprio para cada transportador.

5 CONCLUSÃO

O trabalho a qual foi apresentado de forma teórica teve como objetivo demonstrar como funciona o sistema de frenagem controlada em transportadores de correia do tipo regenerativo, visto que sua composição alia de forma direta o segmento da Engenharia Elétrica e também da automação em si.

Além de poder difundir conhecimento para profissionais que atuam direta ou indiretamente com este tipo de transportador em diversos segmentos.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros uma análise através de estudos e pesquisas de viabilidade técnica e econômica, para possíveis otimizações no sistema de controle, no sentido de minimizar e eliminar o efeito do *scan-time* do CLP e até mesmo otimizando o seu controle, tendo como opções para estudo de projetos futuros o uso do SDCD (Sistema digital de controles distribuídos) e sistemas híbridos.

Utilizar do conceito de regeneração do transportador, para ampliar a utilização deste recurso e de até mesmo ampliar a capacidade de regeneração do transportador.

Referências Bibliográficas

LIMPERT, Rudolf. **Brake design and safety. Society of Automotive Engineers**. Warrandale, Inc, PA, USA, 1992.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 931 p

VULKAN DO BRASIL, **Catálogo de produtos**. Itatiba (SP), abril de 2010.

AURÉLIO, Marco P.dias., **Adiministração de Materiais**. 4 . ed . São Paulo: Atlas,1993.400 p.

COSTA, Cesar da., **Projetando Controladores Digitais com FPGA**. 1 . ed . São Paulo : Novatec,2009.208p.

UFSJ – Fabio de Paiva Costa – **Monitoramento da Espessura de TC**. Brasil. Agosto,2011.