

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Gil Augusto de Carvalho**

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO EM INSTALAÇÃO  
INDUSTRIAL DE MOAGEM DE ESCÓRIA**

**Taubaté - SP**

**2012**

**Gil Augusto de Carvalho**

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO EM INSTALAÇÃO  
INDUSTRIAL DE MOAGEM DE ESCÓRIA**

Dissertação apresentada para obtenção  
do Título de Mestre pelo Curso de Pós-  
graduação do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté,  
Área de Concentração: Automação  
Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos  
Parquet Bizarria  
Co-orientador: Prof. Dr. José Walter  
Parquet Bizarria

**Taubaté – SP  
2012**

Carvalho, Gil Augusto de

Proposta de modernização em instalação industrial de moagem de escória / Gil Augusto de Carvalho. – 2012.

112 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica, 2012

Orientação: Prof. Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria, Departamento de Engenharia Mecânica.

Co-orientação: Prof. Dr. José Walter Parquet Bizarria, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Automação. 2. Fábrica de Cimento. 3. Moagem de Escória.  
I. Título.



Dedico este trabalho à minha família pelo apoio e incentivo incondicional recebidos durante a realização do curso de mestrado.

## **AGRADECIMENTO**

Ao professor Dr. Francisco Carlos Parquet Bizarria, pelo profissionalismo, competência e comprometimento na condução da orientação deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de modernização para instalação industrial de moagem de escória em uma fábrica de cimento, com atualização tecnológica (*retrofit*) nos principais componentes do referido processo, voltada para a implementação de uma arquitetura de automação com operação remota. Atualmente a instalação dessa moagem ainda utiliza a tecnologia da década de sessenta e não está automatizada, estabelecendo situação que exige a realização de ajustes manuais para o seu funcionamento. Além disso, a planta está desprovida de sistema para a supervisão remota da operação. A continuidade dessa situação tem potencial suficiente para comprometer a segurança, prejudicar a produção e aumentar o nível de estresse físico e psicológico dos operadores. Nesse contexto, este trabalho propõe uma arquitetura de automação para realizar a supervisão, o comando e a operação remota da instalação, a qual é baseada em solução técnica moderna, inovadora e de investimentos moderados. A validação do sistema proposto é realizada por meio de testes em protótipo que adota os principais componentes da aludida arquitetura. Os resultados satisfatórios obtidos nos testes realizados indicam que a proposta apresentada neste trabalho é viável e adequada para a finalidade que se destina.

Palavras-chave: Automação. Fábrica de Cimento. Moagem de escória. Modernização.

## **ABSTRACT**

This paper presents a proposal for upgrading the mill slag industrial facility in a cement plant, with technology upgrade (retrofit) of the main components of that process, focused on implementation of an automation architecture with remote operation. Currently the installation of this mill still uses the technology of the sixties and is not automated, a situation that requires manual adjustments to its operation. Besides, the plant is devoid of a system for remote monitoring of that operation. The continuation of this hazardous situation has potential to compromise safety, crippling production and increasing the level of physical and psychological stress of workers. In this context, this work proposes an automation architecture to perform supervision, control and remote operation of the facility, which is based on modern technical solution, innovation and moderate investments. The validation of the proposed system is performed by testing prototype that takes the main components of the aforementioned architecture. The good results obtained indicate that the proposal presented is feasible and appropriate for the purpose intended.

Keywords: Automation. Cement Factory. Grinding slag. Modernization.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de um processo de moagem de escória em circuito aberto .....	24
Figura 2 - Princípio de funcionamento da balança dosadora de correia .....	25
Figura 3 - Balança dosadora de correia .....	26
Figura 4 - Vista interna do moinho .....	27
Figura 5 - Componentes do acionamento do moinho.....	28
Figura 6 - Funcionamento do filtro de mangas .....	29
Figura 7 - Diagrama do funcionamento do reostato líquido.....	30
Figura 8 - Reostato líquido - Arrancador .....	31
Figura 9 - Pirâmide da automação .....	33
Figura 10 - Níveis 1, 2 e 3 da pirâmide de automação.....	34
Figura 11 - Tipos de IHM dedicadas .....	35
Figura 12 - Janela de um sistema SCADA.....	36
Figura 13 - Janela em construção no SCADABR.....	37
Figura 14 - Janela de configuração do SACADABR. ....	39
Figura 15 - Meio físico a dois fios para protocolo Modbus .....	41
Figura 16 - Microcontrolador CUBLOC CB-280 .....	42
Figura 17 - Estrutura de um controlador lógico programável .....	43
Figura 18 - Módulo de entrada optoisolador.....	45
Figura 19 - Módulo de saída a relé.....	45
Figura 20 - Módulo de saída a TRIAC.....	46
Figura 21 - Módulo de saída a transistor.....	46
Figura 22 - Exemplos de linguagens de CLP .....	47
Figura 23 - Ciclo de execução das atividades do CLP .....	48
Figura 24 - Ilustração de um CLP tradicional comparado ao CUBLOC.....	49
Figura 25 - Comparação entre sistema monotarefa e sistema multitarefa .....	50
Figura 26 - Tela do ambiente de desenvolvimento integrado Cubloc Studio .....	51
Figura 27 - Formas de energia em um sensor .....	52
Figura 28 - Elementos de comando .....	53
Figura 29 - Sensor fim de curso mecânico .....	54
Figura 30 - Modo de atuação de um sensor indutivo .....	54
Figura 31 - Sensor de proximidade indutivo .....	55
Figura 32 - Pressostato industrial.....	55
Figura 33 - Chave de fluxo industrial.....	56
Figura 34 - Termostatos industriais .....	56
Figura 35 - Chave de nível com haste e flutuador.....	57
Figura 36 - Célula de carga industrial.....	58
Figura 37 - Tacogerador.....	58
Figura 38 - Sensor de temperatura tipo PT-100 .....	59
Figura 39 - Transformador de corrente .....	59
Figura 40 - Transdutor de potência .....	60

Figura 41 - Desenho explodido de motor elétrico trifásico de gaiola .....	62
Figura 42 - Exemplo de digitalização e linearização de sinais .....	63
Figura 43 - Diagrama do processo de moagem de escória.....	65
Figura 44 - Mapa mental do sistema de controle da moagem de escória .....	70
Figura 45 - Diagrama da arquitetura de automação proposta.....	73
Figura 46 - Arquitetura do sistema de acionamento do motor de anéis .....	74
Figura 47 - Arquitetura do sistema de dosagem de escória .....	77
Figura 48 - Protótipo para supervisão, controle e processo .....	80
Figura 49 - Vista do protótipo para o sistema de acionamento do motor de anéis....	82
Figura 50 - Vista do protótipo para o sistema de dosagem .....	83
Figura 51 - Fluxograma de partida do motor com reostato líquido .....	88
Figura 52 - Fluxograma de parada do motor com reostato líquido.....	89
Figura 53 - Fluxograma do funcionamento da balança dosadora .....	93
Figura 54 - Janela de interface do sistema de acionamento do motor de anéis .....	95
Figura 55 - Janela de interface do sistema de dosagem.....	96
Figura 56 - Janela geral de interface gráfica .....	99
Figura 57 - Módulo experimental utilizado para o sistema do motor de anéis.....	100
Figura 58 - Simulação da atuação da proteção do disjuntor do motor de anéis.....	101
Figura 59 - Efeito da atuação da proteção do disjuntor.....	102
Figura 60 - Simulação de variação de temperatura do motor de anéis .....	103
Figura 61 - Confirmação da alteração de temperatura do motor de anéis .....	103
Figura 62 - Módulo experimental utilizado para a dosagem de escória .....	104
Figura 63 - Simulação da atuação de chave de bloqueio da balança .....	105
Figura 64 - Efeitos da atuação da chave de bloqueio da balança .....	105
Figura 65 - Simulação de peso e velocidade da balança dosadora .....	106
Figura 66 - Efeitos das alterações de peso e velocidade .....	107
Figura 67 - Testes com os dois controladores Cubloc conectados .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Entradas e saídas do processo .....	67
Tabela 2 - Requisitos lógicos da arquitetura .....	68
Tabela 3 - Requisitos físicos da arquitetura .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchang</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CA	Corrente Alternada
CCM	Centro de Controle de Motores
CH	Computador Hospedeiro
CLP	Controlador Lógico Programável
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i>
DCE	<i>Data Communication Equipment</i>
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
FET	<i>Field Effect Transistor</i>
Hz	Hertz (unidade de freqüência)
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IL	<i>Instruction List</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
OSI	<i>Open System Interconection</i>
MODBUS	<i>Serial communications protocol published by Modicon</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RETROFIT	Melhorar, Aperfeiçoar e Modernizar
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory, Control and Data Acquisition</i>
TAG	<i>Name, identification</i>
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
ULA	Unidade de Lógica e Aritmética
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
www	<i>world wide web</i>

# SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Descrição do problema.....	14
1.2 Solução proposta.....	15
1.3 Objetivos do trabalho.....	15
1.4 Método.....	15
1.5 Revisão bibliográfica.....	16
1.6 Estrutura do trabalho .....	21
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS .....	23
2.1 Processo de moagem de escória .....	23
2.1.1 Diagrama do processo da moagem de escória em circuito aberto .....	24
2.1.2 Sistema de dosagem de matéria-prima .....	25
2.1.3 Moagem do material .....	26
2.2 Retrofit .....	32
2.3 Arquitetura da automação industrial .....	32
2.4 Sistema de supervisão .....	34
2.4.1 Sistema de supervisão SCADABR .....	36
2.5 Redes de comunicação de dados .....	38
2.5.1 Especificação de uma rede de automação .....	39
2.6 Microcontrolador .....	42
2.7 Controlador lógico programável.....	43
2.7.1 Linguagens de programação de CLP .....	46
2.7.2 Programa de instruções de uso interno .....	48
2.7.3 Ciclo de execução das atividades.....	48
2.8 Sistema CUBLOC.....	49
2.9 Sensores .....	51
2.9.1 Sensores digitais .....	53
2.9.2 Sensores analógicos .....	57
2.9.3 Características de sensores .....	60
2.10 Atuadores .....	61
2.11 Conversores analógico/digital e digital/analógico .....	63

CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	64	
3.1	Elaboração do diagrama da planta.....	64
3.2	Adaptações necessárias aos equipamentos .....	65
3.3	Requisitos lógicos e físicos.....	68
3.4	Arquitetura proposta .....	72
3.4.1	Arquitetura do sistema de acionamento do motor de anéis.....	73
3.4.2	Arquitetura do sistema de dosagem de escória.....	76
3.5	Protótipo .....	79
3.5.1	Protótipo para o sistema de acionamento do motor de anéis.....	81
3.5.2	Protótipo para o sistema de dosagem de escória.....	82
3.6	Programas de gerenciamento .....	83
3.6.1	Algoritmo para acionamento do motor de anéis .....	84
3.6.2	Algoritmo para o sistema de dosagem de escória .....	90
3.7	Interfaces gráficas .....	94
3.7.1	Interface gráfica do sistema de acionamento do motor de anéis.....	94
3.7.2	Interface gráfica do sistema de dosagem de escória.....	96
3.7.3	Interface gráfica geral de todo o sistema .....	98
3.8	Testes.....	99
3.8.1	Testes do sistema de acionamento do motor de anéis.....	100
3.8.2	Testes do sistema de dosagem de escória .....	104
3.8.3	Testes do conjunto da moagem .....	108
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	109	
REFERÊNCIAS.....	110	

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

Esse capítulo tem a finalidade de introduzir o leitor ao tema desse trabalho, o qual é relativo à modernização de instalação de moagem de escória em uma fábrica de cimento. Com esse propósito inicialmente descreve-se o problema a ser resolvido, apresenta-se a solução proposta para o mesmo, são citados os objetivos envolvidos nessa solução, expõe-se os métodos utilizados na pesquisa, é realizada a revisão bibliográfica e por fim descreve-se a estrutura utilizada para a realização do estudo.

### **1.1 Descrição do problema**

Em uma indústria nacional de médio porte, que atua no ramo da fabricação de cimento, há um processo de moagem de escória de alto forno de siderurgia, em circuito aberto, montado com a tecnologia da década de sessenta. Esse processo industrial não está automatizado e possui como principais componentes da linha de fabricação um moinho de bolas, acionado por um motor de anéis, e uma balança dosadora de material, responsável pelo suprimento de matéria prima para o moinho. Atualmente a partida do motor do moinho é desempenhada por meio de um reostato cuja comutação das resistências é realizada manualmente por ação do operador em volante mecânico no local de sua instalação. O sistema de dosagem de material para alimentação do moinho opera somente no modo manual, com variação da rotação da balança por meio de ajuste da frequência, no local de instalação da balança, direto no inversor de frequência da mesma. Não obstante, os demais equipamentos do processo também são ligados, desligados e monitorados apenas do local onde estão instalados, na área industrial. A continuidade dessa situação tem potencial suficiente para comprometer a segurança da operação por ações manuais sucessivas, prejudicar a qualidade do produto por falha de monitoramento, causar perda de produção por atrasos na tomada de ações e aumentar o nível de estresse físico e psicológico dos operadores da linha de fabricação. Nesse sentido, cabe mencionar que as informações sobre essa situação foram obtidas de modo informal com operadores e responsáveis pelo aludido processo.

## 1.2 Solução proposta

Modernizar a instalação industrial da moagem de escória objeto desse estudo, com atualização tecnológica (*retrofit*) nos principais componentes do referido processo de forma a permitir a implementação de uma arquitetura de automação para sua operação em modo remoto.

## 1.3 Objetivos do trabalho

Propor arquitetura de automação para realizar a supervisão, o comando e a operação remota da instalação de moagem de escória, baseada em solução técnica moderna, inovadora e de investimentos moderados.

Validar o sistema proposto por meio da realização de testes em protótipo de simulação da automação da planta, que adote os principais componentes da aludida arquitetura.

## 1.4 Método

A pesquisa referente a este trabalho pode ser considerada de natureza aplicada, na busca de solução para um problema específico de modernização de uma planta industrial. Já a abordagem é qualitativa considerando-se a busca de características que atendam aos requisitos da automação proposta no processo de modernização. A modalidade é experimental no que diz respeito aos testes efetuados em protótipo para validação do atendimento aos requisitos esperados e pode ser considerada também bibliográfica pelo fato de se basear na coleta de dados já publicados sobre o assunto em questão, para as comparações necessárias. Os dados utilizados foram pesquisados em livros, manuais de fabricantes de equipamentos que foram abordados neste trabalho, e, na rede de comunicação de alcance mundial (*www - world wide web*). Do ponto de vista dos objetivos a pesquisa se encaixa como exploratória, com procedimentos técnicos de estudo de caso por se tratar de uma aplicação em uma área industrial específica na



qual o autor já trabalha há 27 anos. Quanto à análise pode-se considerar a mesma dedutiva dos dados, ou seja, a arquitetura proposta utiliza equipamentos e softwares já utilizados em outras aplicações industriais (LAKATOS; MARCONI, 1991).

## 1.5 Revisão bibliográfica

Este item tem como objetivo principal apresentar a revisão bibliográfica de temas de outros autores que guardam relação com esse trabalho. Dessa forma são abordados a seguir temas introdutórios relativos ao processo e tecnologias utilizadas em instalações industriais de moagem de escória, que é uma parte do processo de fabricação de cimento.

Ao efetuar pesquisa sobre o uso das escórias siderúrgicas na construção civil, as quais são normalmente utilizadas como matérias-primas em moagens similares àquela estudada neste trabalho, Battagin (2001) apresenta o assunto da seguinte forma:

As primeiras referências que se encontram na literatura sobre o emprego das escórias como aglomerante datam pelo menos de 1774 quando Lorient divulga o descobrimento das propriedades cimentícias das escórias em misturas de escória e cal. Posteriormente, Vicat, em 1818, observando a similaridade de composição entre a escória e o clínquer previu o seu emprego na indústria cimenteira antes que Joseph Aspdin homologasse a patente em 1824 do cimento Portland propriamente dito. Contudo, o grande impulso para o aproveitamento das escórias foi devido a Langen, na Alemanha em 1862, com o desenvolvimento da granulação da escória na saída do alto-forno, em investigações efetuadas ainda em misturas de escória e cal. O primeiro cimento Portland com escória, em caráter comercial, somente surgiria em 1882 na Alemanha, graças a Prussing, com utilização de clínquer e escória moídos conjuntamente. Em 1909, o Governo alemão oficializaria o uso de até 30% de escória no cimento e, posteriormente, em 1917, seria reconhecido um cimento com até 70% de escória. No Brasil, a fabricação de cimento Portland de alto-forno é mais recente, com produção, em 1952, de 71765 toneladas de cimento, pela Cimento Tupi S.A., em Volta Redonda/RJ, com emprego de cerca de 21000 toneladas de escória (BATTAGIN, 2001, pg. 9).

... As escórias possuem a capacidade de gerar por ativação ou combinação com a cal liberada pela hidratação do clínquer compostos com propriedades

aglomerantes similares aos gerados pelos cimentos Portland comum. As principais razões de utilização na indústria cimenteira devem-se: ao seu baixo custo, pois constituem subprodutos industriais; à diminuição do consumo energético específico da fabricação do cimento que esses materiais proporcionam, contribuindo para a economia de combustíveis importados ou não; às propriedades específicas que acarretam ao cimento (baixo calor de hidratação, baixa permeabilidade, inibição da reação álcali-agregado, etc.), com aplicações vantajosas sobre o cimento comum em obras, por exemplo, de barragens, canais de condução de esgotos, obras sujeitas à ação da água do mar, etc.; a razões ecológicas, com aproveitamento de rejeitos industriais poluidores, e; a razões estratégicas, evitando que as jazidas de calcário sejam exauridas prematuramente. Atualmente é de grande relevância a adição de escória no cimento visando à conservação ambiental. Efetivamente, a adição de 65% de escória reduz a energia gasta na produção de cimento de 3,53 GJ/t para 1,67 GJ/t, além da diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>. A escória granulada de alto-forno pode ser moída em conjunto ou em separado com o clínquer Portland desde que obedeça às proporções de 6% a 34% no cimento Portland composto (NBR11578) e de 35% a 70% no cimento Portland de alto-forno (BATTAGIN, 2001, pg. 10).

As escórias provenientes dos processos siderúrgicos são normalmente granuladas na saída do alto forno para facilitar a sua utilização na indústria cimenteira e antes de integrar o cimento ainda é preciso a passagem pelos processos de secagem e moagem até se atingir as especificações necessárias. Com uma abordagem mais específica sobre moagens e moinhos relacionados à indústria cimenteira, Sanchez, Matsushita e Pons (1989), em seu livro sobre o tema, enfatiza o controle automático das plantas industriais como imprescindível na evolução da indústria, conforme relatado a seguir:

Denominamos cimentos misturados à mistura de cimento portland com algum componente hidráulicamente ativo ou não, tal como a escória granulada de alto forno, pozolanas naturais ou artificiais, calcário, etc. Estes cimentos têm obtido uma grande importância devido a seu custo, aumento de capacidade do componente ativo, economia de energia e por suas propriedades (especialmente seu baixo calor de hidratação) (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 229).

Numa moagem em separado é possível obter a finura desejada da adição ativa, melhorando a qualidade do cimento e/ou otimizando a adição do componente ativo (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 231).

Com a evolução de metas de aumento de produção e qualidade, além do surgimento de novos produtos ao longo das últimas décadas, ficou evidenciado que o controle automático de processos industriais tornou-se indispensável na vida da indústria moderna. O controle automático é cada vez mais utilizado por aumentar a produtividade, baixando custos e eliminando erros introduzidos no processo por falha humana, realizando controles antes impossíveis de serem efetuados manualmente. Atualmente, com a evolução da eletrônica digital, produção em larga escala e baixo custo de circuitos micro processados, surge a possibilidade de se introduzir modelos matemáticos que tem por objetivo otimizar determinados parâmetros da planta (maximização de produção, minimização de consumo energético, melhoria de índices de qualidade, etc.), abrindo uma nova perspectiva dentro da área de controle automático de processos industriais. [...] Uma gama muito grande de variáveis físicas são sensoreadas e transmitidas nos mais diversos tipos de indústria. Além disso, uma mesma variável física pode ser sensoreada por dispositivos que se utilizam de diferentes princípios físicos de medição (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 167).

A área de controle automático de processos é um dos campos mais complexos da engenharia. Um projeto completo nessa área envolve conhecimento de sistemas de seqüenciamento e intertravamento de maquinários, acionamentos de alta e baixa potência e velocidade fixa ou variável, instrumentação, normas de segurança de instalação, definições de padrões de comando para os comandos centralizados de motores (CCM's), etc. (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 192).

Um dos principais campos de aplicação da eletrônica digital é o do controle automático de processos industriais. No início da década de setenta, com o lançamento dos primeiros microprocessadores no mercado mundial de componentes eletrônicos, percebeu-se o grande potencial de aplicação desses circuitos digitais de alta tecnologia no campo da automação industrial. Assim vários produtos novos foram desenvolvidos para essa área, entre os quais se destacam os Controladores Programáveis (CP's) (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 211).

As balanças medidoras e/ou dosadoras de fluxo são utilizadas com muita freqüência em circuitos de cominuição de materiais, tanto no controle de estoques como na dosagem de matérias-primas. Esses equipamentos proporcionam os seguintes benefícios: melhoria e uniformidade da qualidade do produto; confiabilidade no controle de estoque; simplicidade de operação e manutenção; e maiores taxas de produção (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 182).

Os sistemas gravimétricos baseiam-se no sensoramento de deformações elásticas, causadas pelo peso do material a ser medido, em estruturas mecânicas especialmente projetadas para essa finalidade, que são genericamente designadas de células de carga. As células de carga podem ser projetadas para diversos tipos de esforços mecânicos, tipo tração, compressão, torção, etc. (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg.184). À primeira vista, uma comparação inicial de processos de moagem com outros processos industriais, tais como grandes laminadores, ferramentas, guindastes, ou ainda fábricas de papel, pode indicar que os sistemas de acionamento de processos de moagem são relativamente simples. Isso se aplica à grande maioria dos acionamentos. Entretanto, em alguns equipamentos do processo, onde ocorre o consumo de grande parte da energia elétrica necessária para o funcionamento da instalação, surge a necessidade de uma engenharia de projeto altamente capacitada para se obter a otimização do desempenho técnico e econômico do sistema (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 186).

Quando se deseja que um equipamento tenha uma partida suave, métodos de partida mais sofisticados são utilizados mesmo quando as potências nominais são baixas (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989, pg. 187).

Os moinhos de bolas empregados em processos de fabricação de cimento trabalham com motores de potências expressivas em seus eixos e na maioria das aplicações utilizam, para acionamento, motores de rotor bobinado, também denominados de motores de anéis, com um dispositivo especial de partida inserido no circuito do rotor. Um moinho de bolas exige na sua partida um conjugado elevado e ao mesmo tempo precisa manter a corrente elétrica em limites aceitáveis devido à potência elétrica envolvida nessa operação. Fitzgerald, Kingsley e Kusko (1975) em seu livro de máquinas elétricas definem esse tipo de partida de motor conforme texto apresentado a seguir:

Uma limitação básica de motores de indução com resistência de rotor constante é que o projeto do rotor deve ser um compromisso. Um rendimento alto em condições de rotação normal exige uma baixa resistência de rotor; mas uma baixa resistência de rotor resulta, na partida, em um conjugado baixo e corrente alta, e num fator de potência baixo. [...] O uso de um rotor enrolado é um modo efetivo de evitar a necessidade de compromisso. Os terminais do enrolamento do rotor são ligados a anéis coletores em contato com escovas. Para a partida, resistores adequados podem ser ligados em série com os enrolamentos de rotor, e o resultado é um conjugado de partida maior e uma corrente de partida reduzida, com um fator de potência melhorado. Pelo uso do valor apropriado da resistência de

rotor, pode-se fazer com que o conjugado máximo ocorra até na partida se for necessário. Conforme o rotor acelera, as resistências externas podem ser diminuídas, tornando o conjugado máximo disponível em toda a faixa de aceleração. [...] Para o funcionamento normal, o enrolamento do rotor pode ser curto-circuitado diretamente nas escovas (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975, pg. 360).

A automação industrial na maioria das aplicações é um assunto complexo em cujo projeto deve-se prever a realização de várias funções específicas para se atender às expectativas geradas. A estrutura que retrata os diferentes níveis dessa automação é a arquitetura de automação e possui várias camadas desde sua base, onde estão os dispositivos e componentes do chão de fábrica, até o nível mais alto que, dependendo do projeto, pode chegar ao setor corporativo da empresa. Moraes e Castrucci (2010), em seu livro *Engenharia de Automação Industrial*, apresentam a seguinte abordagem do assunto:

A palavra automação foi inventada pelo marketing da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo, sem dúvida sonoro, buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial. O que significa a automação, hoje? Entende-se por automação qualquer sistema apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços. Exemplos: automação da mineração, da manufatura metálica, dos grandes processos químicos contínuos, automação bancária, metroviária, aeroportuária.

É comum pensar que a automação resulta tão somente do objetivo de reduzir custos de produção. Isso não é verdade: ela decorre mais de necessidades tais como maior nível de qualidade expressa por especificações numéricas de tolerância, maior flexibilidade de modelos para o mercado, maior segurança pública e dos operários, menores perdas materiais e de energia, mais disponibilidade e qualidade da informação sobre o processo e melhor planejamento e controle da produção.

A automação envolve a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina que possam auxiliar os operadores no exercício da supervisão e da análise dos problemas que porventura venham a ocorrer.

A vantagem de se utilizar sistemas que envolvam diretamente a informatização é a possibilidade da expansão utilizando recursos de fácil acesso; nesse contexto, são de extraordinária importância os controladores

lógicos programáveis (CLP's), que tornam a automação industrial uma realidade onipresente.

Quando se visita uma instalação automatizada é difícil distinguir as contribuições da engenharia, tanto de controle dinâmico quanto a de controle lógico; o que se vê são computadores de interface homem-máquina, cabos de sinal de energia e componentes físicos de processo, tais como motores, válvulas, tubulações, tanques, veículos, etc. A rigor coexistem contribuições das duas especialidades de controle, assim como de outras engenharias (MORAES; CASTRUCCI, 2010, pg. 12).

De maneira geral a automação está presente de forma incontestável não só no setor industrial como também nos mais diversos seguimentos de nossa sociedade com um ritmo de evolução impressionante. Todo esse desenvolvimento tecnológico tem estado embasado na contribuição fundamental e expressiva da eletrônica digital e dos microprocessadores. Já é comum no cotidiano testemunhar lançamentos de microprocessadores cada vez mais desenvolvidos na capacidade de processamento de informações, o que possibilita também evoluções consideráveis nos sistemas computadorizados. Tocci e Widmer (2000), em sua sétima edição do livro *Sistemas Digitais*, afirmavam naquela ocasião o seguinte:

Não é exagero dizer que o microprocessador e o microcomputador revolucionaram a indústria eletrônica e tiveram um enorme impacto em diversos aspectos de nossas vidas. O desenvolvimento de CI's de altíssima densidade reduziu tão drasticamente o tamanho e o custo dos microcomputadores que os projetistas rotineiramente consideram utilizar suas capacidades e versatilidade em uma grande variedade de produtos e aplicações (TOCCI; WIDMER, 2000, pg. 511)

## **1.6 Estrutura do trabalho**

O capítulo 1 apresenta a descrição do problema, a solução proposta, os objetivos do trabalho, o método utilizado na pesquisa, a revisão bibliográfica e a estrutura deste trabalho. O primeiro subitem desse capítulo mostra a descrição do problema expondo a situação potencial de estresse a que estão submetidos os operadores da linha de produção diante da dificuldade de operação de uma planta construída com tecnologia da década de sessenta. No segundo subitem é apresentada a solução proposta para reverter as dificuldades operacionais citadas

na descrição do problema. Essa solução é baseada na modernização da planta, para sua operação remota. Já o terceiro subitem, relativo aos objetivos desse trabalho, está relacionado a uma proposta de arquitetura de automação cuja eficácia possa ser comprovada por meio de testes em protótipo. Esses objetivos visam o aumento da segurança operacional e conseqüentemente a preservação física e psicológica dos operadores envolvidos na operação do processo. No quarto subitem são apresentados os comentários sobre os métodos utilizados na pesquisa relativa a este trabalho. No quinto subitem é apresentada a revisão bibliográfica, com temas que guardam relação com os assuntos tratados neste estudo. O Capítulo 1 é concluído com este sexto subitem, relativo à estrutura, que mostra a forma de construção utilizada para apresentar os elementos que compõem este documento.

No capítulo 2 são apresentados os conceitos básicos sobre os principais termos abordados com as ilustrações pertinentes, os quais o leitor deve conhecer para compreender melhor os temas e as terminologias utilizadas na realização desse trabalho.

O capítulo 3 faz a abordagem de todo o desenvolvimento do estudo mostrando a arquitetura de automação proposta, que é composta pelos blocos de supervisão, controle e processo. Na seqüência é mostrada a arquitetura utilizada para o protótipo, os passos para os algoritmos dos principais equipamentos, com respectivos fluxogramas analíticos e, finalizando o capítulo, são apresentados os testes práticos realizados.

O capítulo 4 apresenta as conclusões sobre os principais assuntos abordados, com ênfase aos resultados dos testes práticos e à citação de sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - CONCEITOS BÁSICOS**

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar, de forma sucinta e esclarecedora, os conceitos básicos relativos à terminologia e sistemas utilizados ao longo do desenvolvimento desse estudo. Nesse contexto são abordados temas relativos ao funcionamento do processo industrial, itens relativos à modernização de equipamentos, arquiteturas de automação, sistemas de supervisão, redes de comunicação, microcontroladores, controladores lógicos programáveis, sistema CUBLOC, sensores, atuadores e conversores relacionados a este trabalho.

### **2.1 Processo de moagem de escória**

O processo de fabricação de cimento, também denominado de Cimento Portland, foi patenteado em 1824 por Joseph Aspdin. Esse processo utiliza basicamente como matéria prima o calcário complementado com argila, minério de ferro e gesso. Em 1882 surgiu na Alemanha o primeiro Cimento Portland com escória em caráter comercial. A partir de então, passou-se a re-utilizar a escória de alto-forno siderúrgico, até então considerada resíduo, como matéria prima para a fabricação de cimentos compostos. A escória utilizada na composição do cimento é um subproduto da fabricação do ferro gusa, obtido por resfriamento rápido e constituído basicamente por sílico-aluminatos de cálcio e magnésio com propriedades hidráulicas latentes (BATTAGIN, 2001, 2009).

A escória de alto-forno de siderurgia, para ser utilizada na fabricação do cimento, normalmente precisa passar pelos processos industriais de secagem e moagem. Pode-se moer a escória de forma independente para se misturar a mesma, em uma fase posterior, aos demais componentes do cimento, devidamente preparados, ou pode-se moer a escória já em conjunto com esses componentes. O processo de moagem de escória pode ainda trabalhar em circuito aberto ou em circuito fechado dependendo da utilização ou não de equipamento separador. A instalação de moagem, objeto desse estudo, foi projetada para produção em um circuito aberto. Os conceitos relativos aos componentes envolvidos nesse processo são mencionados nos subitens seguintes.



### 2.1.1 Diagrama do processo da moagem de escória em circuito aberto

Moagem em circuito aberto significa que o material passa uma só vez através do moinho, com tempo de residência tal que se consegue reduzir o tamanho das partículas da matéria prima até a finura desejada.

A Figura 1 mostra o diagrama básico típico de um processo industrial de moagem de escória, em circuito aberto, similar ao utilizado para este estudo.

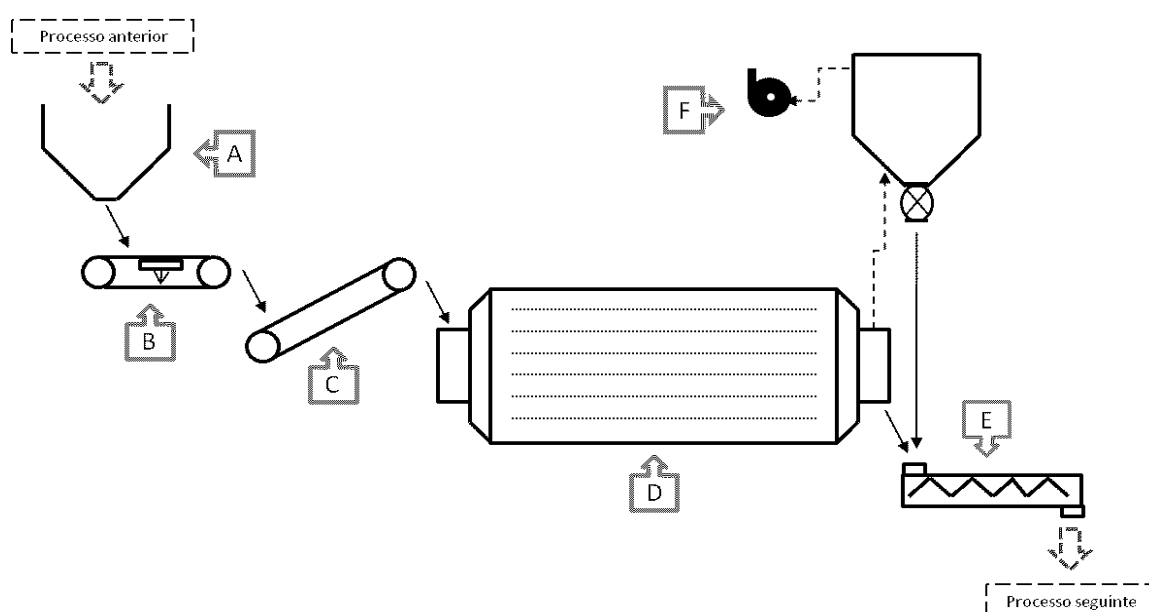


Figura 1- Diagrama de um processo de moagem de escória em circuito aberto

O processo se inicia com a matéria prima depositada em um sistema de estocagem (A), proveniente do processo anterior, que é normalmente um processo de secagem de escória. O material estocado é extraído para um sistema de dosagem (B). Uma vez dosado, o material segue em um sistema transportador aberto (C) para a fase de moagem (D) onde tem seu tamanho reduzido da ordem de até 600 vezes em relação ao tamanho original. O material moído é então encaminhado à fase seguinte do processo, que normalmente é a estocagem de material moído, por meio de um transportador fechado (E). O processo possui ainda um circuito de exaustão e filtragem do ar quente (F) proveniente da fase de moagem. O material coletado no sistema de filtragem retorna ao processo por meio do transporte de material moído (E). O ar limpo é liberado para a atmosfera.

### 2.1.2 Sistema de dosagem de matéria-prima

A fase de dosagem contida no diagrama mostrado no item anterior, que é uma das partes mais importantes desse processo, é desempenhada por uma balança dosadora de correia cujo princípio de funcionamento é apresentado na Figura 2.

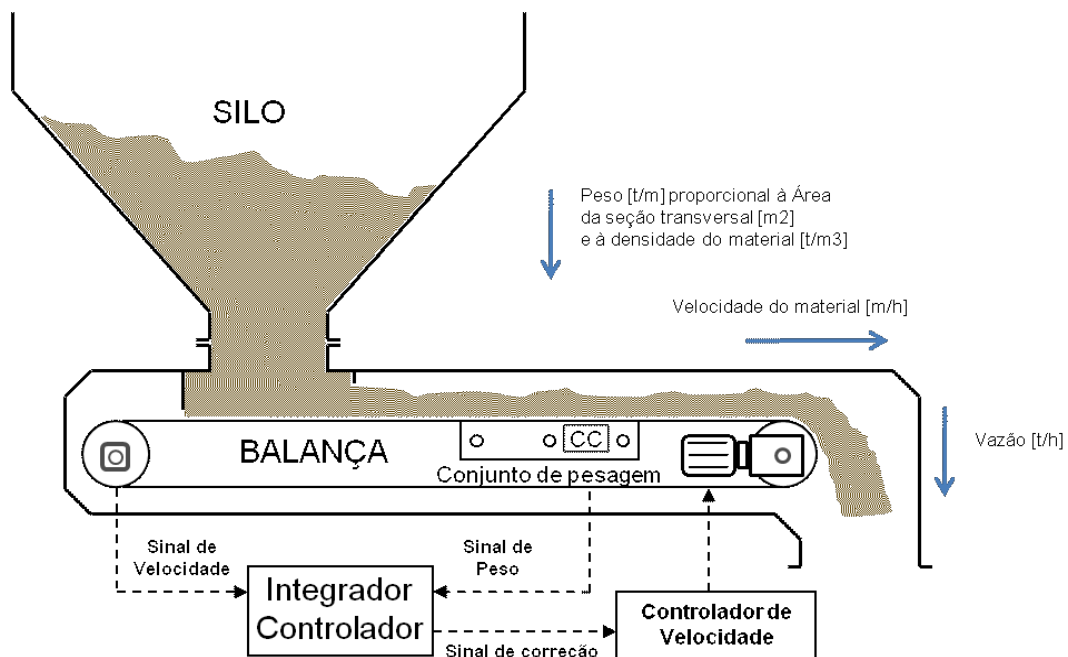


Figura 2 - Princípio de funcionamento da balança dosadora de correia

As balanças dosadoras de correia, de maneira geral são compostas por uma estrutura mecânica onde são instalados a flange de conexão, geralmente para acoplamento a um silo, uma correia, um motor de velocidade variável, célula de carga e um sensor de velocidade. Esse conjunto é acompanhado de um módulo eletrônico para tratamento de sinais e de um controlador de velocidade (*driver*) para acionamento do motor de velocidade variável. Por meio de uma entrada ajustável mecanicamente, alimenta-se a correia ou cinta de lâminas, fornecendo um carregamento que se relaciona a um determinado peso (kg - quilograma) de material por metro de correia. A célula de carga fornece um sinal proporcional ao peso do material sobre a seção de pesagem. Ao mesmo tempo o sensor de velocidade fornece um sinal proporcional à velocidade da correia. O módulo eletrônico recebe os sinais de peso e velocidade e efetua a multiplicação desses para a determinação

da taxa de fluxo instantânea, que depois é integrada para a determinação da quantidade total de massa transportada. Quando a taxa de fluxo está acima ou abaixo do valor desejado, o módulo eletrônico varia a velocidade do motor de acionamento por meio do seu respectivo controlador (*driver*), corrigindo a velocidade da correia para obtenção da taxa de fluxo pré-determinada (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989).

A Figura 3 apresenta um modelo atual de uma balança dosadora de correia disponível no mercado, com eletrônica dedicada, para o segmento industrial de fabricação de cimento. Apesar de mais moderna, do ponto de vista eletrônico, a balança adota uma estrutura mecânica similar à utilizada no modelo da Figura 2.



Figura 3 - Balança dosadora de correia (HASLER, 2011)

O sistema de dosagem é composto ainda por dois transportadores de correia côncava para movimentar os materiais granulados.

### 2.1.3 Moagem do material

Para a moagem do material é utilizado na aplicação um moinho de bolas tubular horizontal. Esse moinho, que é o equipamento mais importante do processo, tem a finalidade de reduzir a granulometria do material no seu interior, por meio da movimentação de corpos moedores (bolas).

Em uma indústria de cimento esses moinhos geralmente são projetados em função das propriedades do material a ser moído, tais como dureza, porosidade, friabilidade, umidade, densidade e composição química. Também são consideradas as necessidades aplicáveis ao produto tais como superfície específica, resistência e tamanho das partículas para tratamento posterior. Outros fatores relacionados à

planta são imprescindíveis no projeto, como tamanho, velocidade, grau de enchimento, tipo de revestimento, tipo de corpos moedores e tipo de circuito aberto ou fechado. A moabilidade do material é também de grande importância no dimensionamento e se caracteriza como a resistência do material oferecida à sua redução de tamanho. Um moinho de bolas para moagem de escória deve ter ventilação em seu interior e a vazão de ar depende, entre outros fatores, do calor gerado internamente e da umidade admitida pelo sistema de despoeiramento (SANCHEZ; MATSUSHITA; PONS, 1989).

A Figura 4 apresenta um corte longitudinal de um moinho de bolas tubular para visualização de seus principais componentes internos.

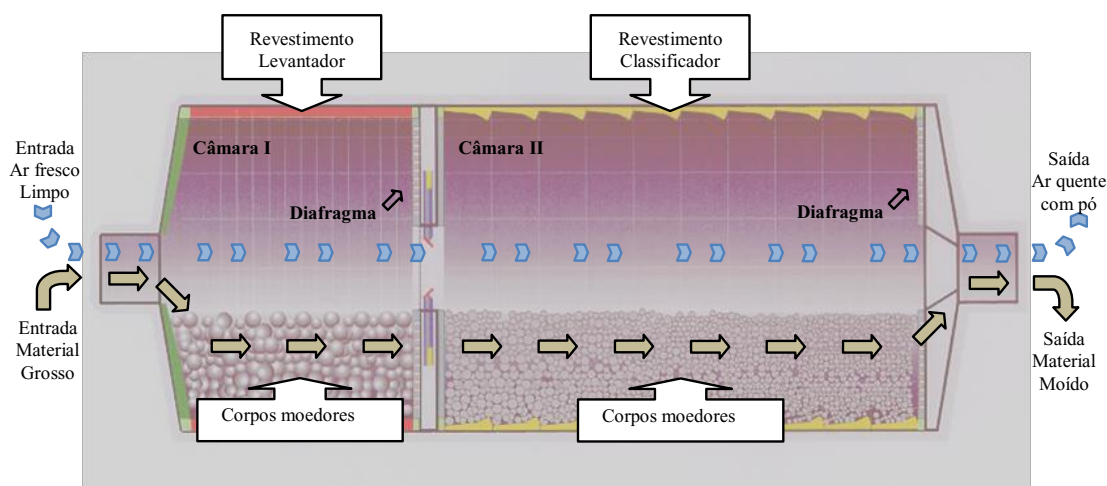


Figura 4 - Vista interna do moinho (Modificado de MAGOTTEAUX, 2001)

Moinhos com circuitos abertos como é o caso desta aplicação, normalmente possuem duas câmaras onde se utiliza revestimento levantador na primeira câmara e classificador na segunda câmara. O material grosso entra na câmara I para uma primeira moagem e passa na seqüência para a câmara II, através do diafragma que divide as duas câmaras. Na câmara II continua-se o processo de moagem e na medida em que o material avança, o tamanho vai reduzindo, em função do revestimento classificador que retém as bolas maiores antes das bolas menores. As bolas de menor tamanho são utilizadas para se conseguir menores partículas do material a ser moído. Após passar pela câmara II o material acabado sai por meio do diafragma de saída, conforme mostrado nas setas.

O atrito entre os corpos moedores, revestimentos e materiais gera calor internamente no moinho, sendo necessário um sistema de ventilação para retirada

do calor. Esse sistema consiste de um exaustor interligado a um filtro de mangas e uma válvula rotativa que permite a filtração do ar e a coleta do pó contido no mesmo (MAGOTTEAUX, 2001).

O tamanho de um moinho de bolas varia conforme sua aplicação e esses moinhos possuem, na maioria dos projetos, acionamentos especiais de potências consideráveis, como no exemplo estudado nesse trabalho cujo moinho possui 2,6 metros de diâmetro por 13 metros de comprimento e utiliza 1.000 kW de potência no seu acionamento. Na Figura 5 é mostrado o diagrama dos componentes do sistema de acionamento de um moinho similar ao citado.

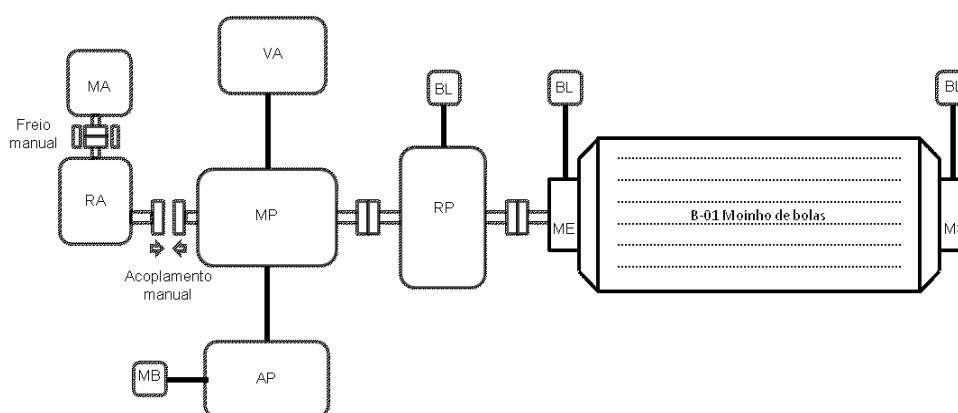


Figura 5 - Componentes do acionamento do moinho

O moinho é apoiado no mancal de entrada (ME) e no mancal de saída (MS) e é acoplado a um redutor de velocidade principal (RP) que é acionado por um motor de anéis principal (MP) em alta tensão. O motor principal (MP) possui ventilação independente provida por um ventilador auxiliar (VA) e utiliza um arrancador para partida (AP). O redutor principal e os mancais de entrada e saída do moinho são conectados à bombas de lubrificação independentes (BL) para prover a lubrificação necessária. O sistema de acionamento possui ainda um redutor auxiliar (RA) e um motor auxiliar (MA) com freio manual, para acoplamento manual ao motor principal. Esse sistema provê rotação lenta ao moinho para ajustes de acomodação da carga e para permitir o posicionamento do mesmo na posição desejada em serviços de manutenção.

O material moído que sai da moagem de material pode ser transportado de diversas formas ao processo seguinte, dependendo do leiaute (*layout*) da instalação,

da distância envolvida e da necessidade ou não de elevação de nível. No caso em questão é utilizado um transportador helicoidal.

Os transportadores helicoidais são compostos usualmente de uma longa hélice, com eixo longitudinal montado sobre mancais e dentro de uma calha em forma de “U” ou tubular.

O conjunto de moagem dessa aplicação possui também um sistema de exaustão e despoeiramento composto por um filtro de mangas, uma válvula rotativa e um ventilador. O filtro de mangas da aplicação é utilizado para filtrar o ar quente que sai do moinho e do despoeiramento de equipamentos com possíveis vazamentos de pó no sistema, de forma a garantir os níveis de emissão de materiais particulados previstos em legislação para esse tipo de processo. A Figura 6 ilustra o funcionamento de um filtro de mangas similar ao da aplicação desse trabalho. Como se pode observar na figura citada, em um filtro de mangas o ar/gás contaminado entra lateralmente na parte inferior da carcaça do filtro através do duto de ar saturado. Nas mangas ocorre a separação do material particulado do ar. Alguns filtros possuem uma chapa de impacto direcionando o fluxo em 2/3 para baixo e 1/3 para cima, facilitando a limpeza, além de proteger as mangas do fluxo de ar direto. O filtro possui ainda um sistema de limpeza automático das mangas, normalmente com jato pulsante de ar comprimido. No fundo do filtro utiliza-se uma válvula rotativa para retirar o pó coletado pelo filtro e ao mesmo tempo vedar a comunicação do interior do filtro com a parte externa (VENTILADORES BERNAUER S.A., 2011).

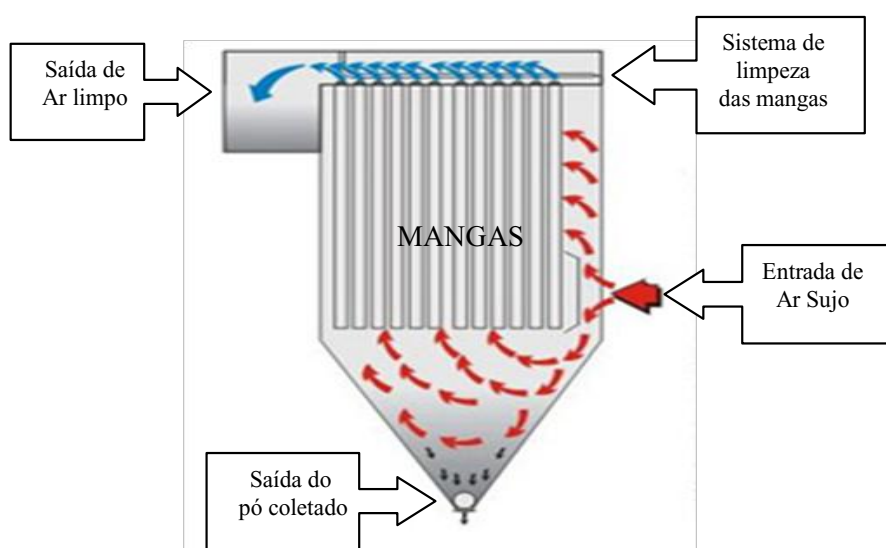


Figura 6 - Funcionamento do filtro de mangas (Modificado de VENTILADORES BERNAUER S.A., 2011)

Uma válvula rotativa, do tipo de eixo horizontal, é utilizada sob o filtro para retirar o material coletado pelo mesmo. As válvulas rotativas são usadas para extrair materiais granulados de um recipiente para outro. Confeccionadas tipicamente em aço carbono ou inoxidável, sua construção é simples e facilmente desmontável.

A exaustão do sistema de despoejamento é efetuada por um ventilador do tipo centrífugo e tem a finalidade de prover, por exaustão, a vazão necessária à ventilação do moinho de bolas. O moinho de bolas da aplicação utiliza ainda, em seu acionamento, três bombas de engrenagem sendo uma para a lubrificação do redutor principal, uma para o mancal de entrada do moinho e a outra para o mancal de saída do moinho. As bombas de engrenagem, ou bombas de deslocamento positivo são utilizadas para o bombeamento de produtos com viscosidade maior do que a água.

Para a partida do motor de anéis do moinho de bolas desse estudo está previsto um dispositivo arrancador do tipo reostato líquido. O reostato líquido citado é utilizado apenas na partida do motor. A diferença em relação a um reostato convencional, por pontos de resistência fixa, é que nesse caso a variação do elemento resistivo é realizada suavemente por meio de um eletrólito líquido que envolve os eletrodos. Esses reostatos se aplicam principalmente na partida de motores de grandes potências como, por exemplo: de 100 CV a 15000 CV (ELETELE, 2011). A Figura 7 mostra um diagrama para se ilustrar o funcionamento do reostato citado anteriormente.

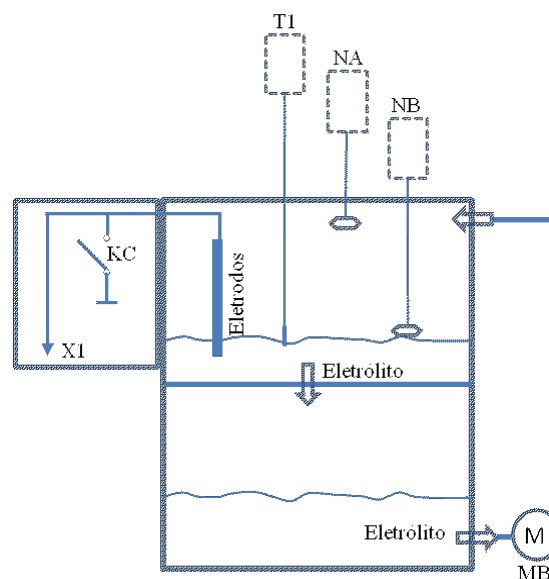


Figura 7 - Diagrama do funcionamento do reostato líquido

O reostato líquido apresentado na Figura 7 funciona da seguinte maneira: Os cabos relativos aos eletrodos são ligados ao circuito rotórico do motor de anéis por meio dos terminais (X1). Inicialmente o eletrólito líquido se encontra todo na metade inferior do reostato e o contator de curto-circuito (KC) se encontra aberto, ou seja, inserindo a resistência dos eletrodos no circuito do rotor do motor de anéis. Nessa situação o sensor de mínimo (NB) está atuado e libera-se o motor de anéis para a partida. Uma vez iniciada a partida é ligada a moto-bomba (MB) e o eletrólito começa a ser bombeado da parte inferior para a parte superior do tanque, reduzindo de forma gradativa a resistência oferecida pelos eletrodos (Eletrodos). Quando o eletrólito cobre a parte superior dos eletrodos no tanque o nível máximo (NA) é atuado. Nesse instante é desligada a moto-bomba (MB) e é energizado o contator de curto-circuito (KC) do circuito rotórico do motor de anéis, retirando-se dessa forma a interferência dos eletrodos no circuito rotórico. Após o desligamento da moto-bomba (MB) o eletrólito volta por gravidade à parte inferior do reostato por meio de uma abertura limitada de comunicação dos dois compartimentos. Uma vez atuado o contator de curto-circuito (KC), considera-se a partida do motor de anéis concluída e esse contator permanece ligado enquanto o motor de anéis estiver em funcionamento. A vazão da bomba é ajustada de forma que o eletrólito na parte superior passe do nível mínimo (NB) ao nível máximo (NA) no tempo necessário para se realizar a partida do motor de anéis, de forma suave, partindo do repouso até atingir a sua velocidade nominal. O reostato possui ainda um termostato que atua no caso de elevação de temperatura do eletrólito, por falha de funcionamento ou por ajustes inadequados. Na Figura 8 é apresentado um reostato líquido industrial similar ao utilizado na aplicação desse trabalho.



Figura 8 - Reostato líquido - Arrancador (ELETELE, 2011)



## 2.2 Retrofit

A palavra *Retrofit*, originada na língua inglesa, a qual em português pode ser interpretada como Melhorar, Aperfeiçoar e Modernizar, no contexto dos sistemas industriais está relacionada com a troca de produtos ou componentes de equipamentos obsoletos mantendo-se a planta e configuração originais do equipamento (ABB, 2011).

Com relação à aplicação proposta neste trabalho, o termo *retrofit* está empregado na modernização em uma instalação industrial de moagem de escória incluindo adaptações nos equipamentos existentes e instalação de novos dispositivos. Essas alterações visam melhorar o controle dos equipamentos e permitir a operação remota da planta sem alterar sua configuração original.

## 2.3 Arquitetura da automação industrial

O processo de automação utilizado na maioria das indústrias pode ser representado, de forma resumida, por uma pirâmide constituída por várias camadas. Cada uma dessas camadas é representativa de um determinado nível da organização. Na base desta pirâmide estão os equipamentos básicos de campo da planta, localizados no processo produtivo, que é também muitas vezes chamado de “chão de fábrica”. Nas camadas intermediárias estão localizados os níveis de supervisão e gerenciamento e no topo da pirâmide estão os níveis corporativos mais elevados da organização.

A Figura 9 mostra a pirâmide citada onde é possível visualizar, na posição central, os cinco níveis de automação (Níveis da Pirâmide) considerados. Nessa figura podem ser observados também, do lado esquerdo da pirâmide, maiores detalhes de cada nível citado e do lado direito da mesma os protocolos de comunicação que podem ser utilizados para o envio de informações entre as diversas camadas.

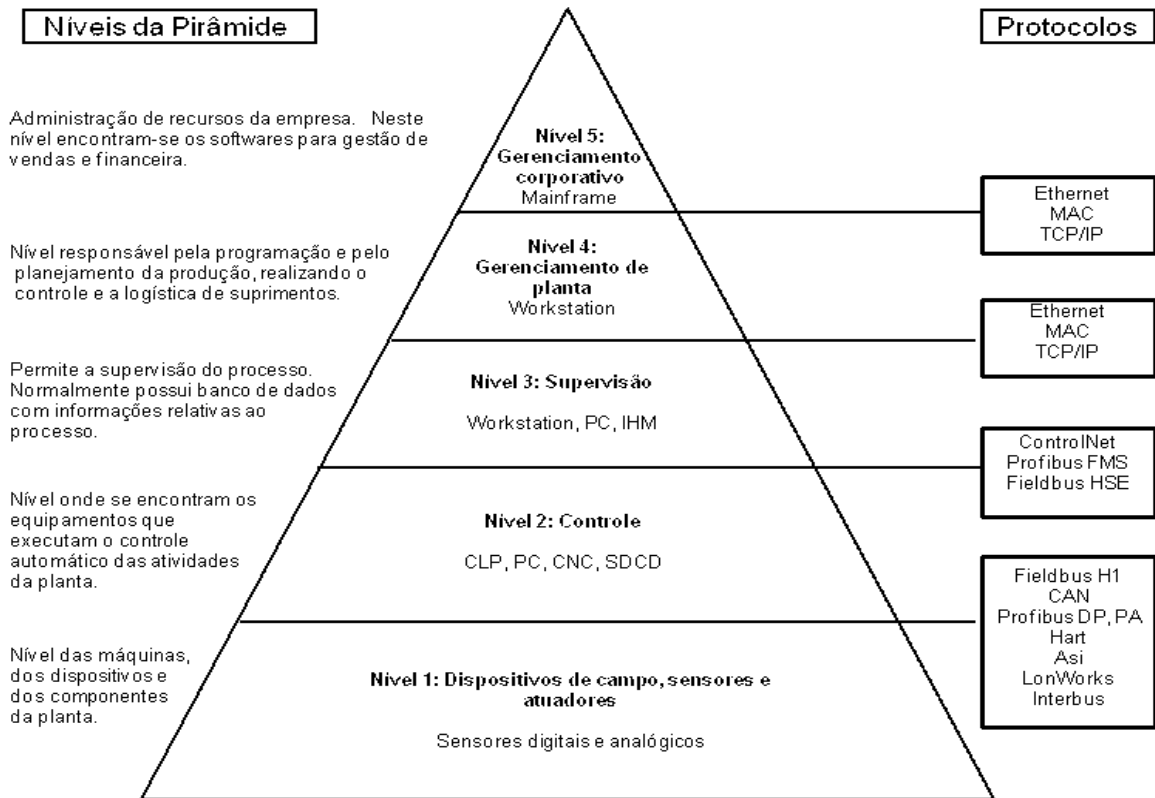


Figura 9 – Pirâmide da automação (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

A camada do nível 1 na base da pirâmide é composta pelos dispositivos de campo, de onde partem os sinais dos sensores e onde são acionados os atuadores relativos aos equipamentos.

No nível 2 estão posicionados os dispositivos que exercem as funções relativas ao controle automático da planta.

No nível 3 está posicionada a camada de supervisão dos itens controlados pela camada inferior permitindo a visualização e o acesso aos dados do processo.

A camada do nível 4 é destinada ao gerenciamento da planta, ou seja acima do nível de supervisão dos processos.

Por último a camada do nível 5 retrata a gestão corporativa acima do nível de gerenciamento das plantas.

Nesse estudo de modernização de moagem de escória estão considerados os níveis 1, 2 e 3 da pirâmide de automação, conforme mostrado na Figura 10.

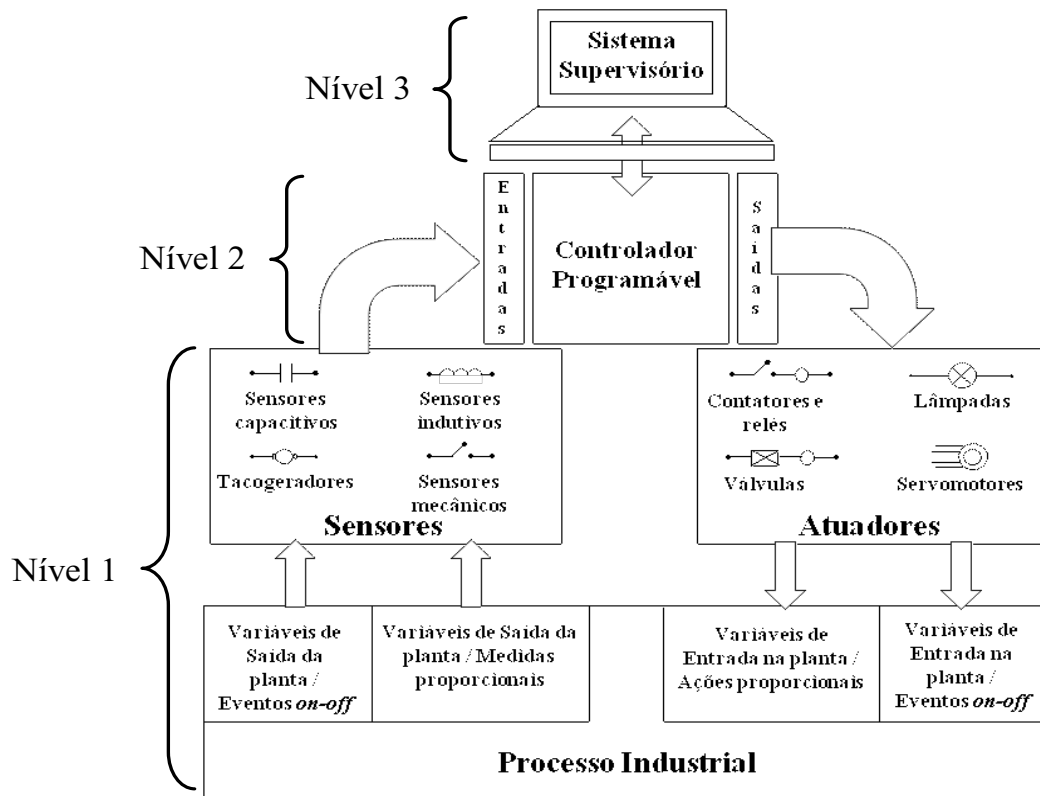


Figura 10 – Níveis 1, 2 e 3 da pirâmide de automação (MORAES; CASTRUTTI, 2010)

## 2.4 Sistema de supervisão

Os sistemas de supervisão, também denominados de supervisórios, são programas (*software*) aplicados tipicamente no monitoramento e operação de processos automatizados. As variáveis podem ser atualizadas continuamente para serem armazenadas em banco de dados (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Uma supervisão industrial utilizando sistemas computadorizados pode ser feita basicamente de duas formas: A primeira opção é por meio de IHM (Interface Homem-Máquina, em inglês HMI - *Human Machine Interface*) dedicada para determinada aplicação. A segunda opção é via um sistema mais abrangente, capaz de realizar Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, o qual é proveniente da sigla em inglês SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Um tipo de IHM (Interface Homem-Máquina) industrial dedicada utiliza um *hardware* composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de janelas para navegação ou inserção de dados. Esse tipo de sistema possibilita programação e manutenção de forma simplificada, propicia uma operação mais

intuitiva ao usuário, aumenta a capacidade de controle e comando, e ainda flexibiliza a operação permitindo a visualização de alarmes gerados por desvios de condições de operação, dados do processo e dados específicos de motores e/ou equipamentos. A Figura 11 mostra alguns tipos de IHM, dedicadas, de um fabricante que atua no mercado nacional.



Figura 11 – Tipos de IHM dedicadas (WEG DRIVES, 2011)

É possível também nesse sistema, entre outros recursos, alterar parâmetros de processo, realizar configurações, e realizar operações manuais de componentes de equipamentos. O desenvolvimento de interfaces homem-máquina com visores alfanuméricos, teclados de funções e comunicação serial, permitiu economia de condutores elétricos, redução de mão de obra de montagem e eliminação de painéis sinóticos nos projetos de automação.

O Sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – Supervisão Controle e Aquisição de Dados) foi desenvolvido para realizar a supervisão e controle de quantidades elevadas de variáveis de entrada e saída, digitais e/ou analógicas, distribuídas ao longo do processo industrial. Além das facilidades da IHM (Interface Homem-Máquina) dedicada, mencionadas anteriormente, outros recursos são possíveis no sistema SCADA, principalmente no que se refere à emissão de relatórios e representação gráfica de históricos e tendências. Outro aspecto importante está relacionado com a preservação da integridade física das pessoas, por meio da minimização da exposição aos riscos inerentes ao processo, permitindo pronta identificação de falhas e em alguns casos até mesmo a substituição de *hardware* sem a necessidade de parada do sistema. A Figura 12 mostra uma janela de um sistema de supervisão disponível no mercado nacional.

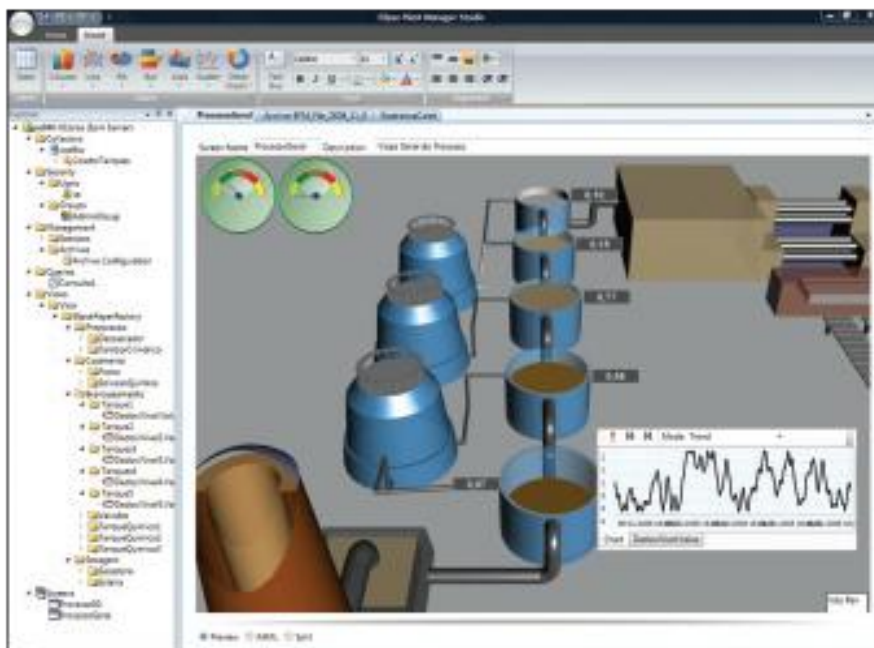


Figura 12 – Janela de um sistema SCADA (ELIPSE SOFTWARE, 2011)

#### 2.4.1 Sistema de supervisão SCADABR

O SCADABR é um sistema desenvolvido em modelo de *software* livre (*open-source*), que possui licença gratuita. Toda a documentação e o código-fonte do sistema estão à disposição, inclusive é permitido modificar e redistribuir se necessário.

Esse sistema é uma aplicação multiplataforma baseada em *software de* desenvolvimento Java (ORACLE, 2011), ou seja, computadores pessoais com sistemas operacionais Windows®, Linux ou outros, podem executar o programa a partir de um servidor de aplicações padrão tipo Apache Tomcat (THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION, 2011), que é também um *software* livre. Ao executar o aplicativo, o mesmo pode ser acessado a partir de um navegador de Internet, preferencialmente o Firefox (THE MOZILLA FOUNDATION, 2011) ou o Chrome (GOOGLE INC, 2011) que são também *software* de licença gratuita. A interface principal do ScadaBR é intuitiva para utilização e oferece visualização das variáveis, gráficos, estatísticas, configuração dos protocolos de comunicação, alarmes, construção de janelas com interface gráfica e várias opções de acesso e configuração.

Após configurar os protocolos de comunicação com os equipamentos e definir a identidade das variáveis de entradas e saídas (*tags*) de uma aplicação automatizada, é possível montar interfaces de operador via Rede de Comunicação de Alcance Mundial (*www - world wide web*) utilizando o próprio navegador. Também é possível elaborar aplicativos personalizados, a partir do código-fonte disponibilizado de uma API (*Application Programming Interface - Interface de Programação de Aplicativos*). São suportados pelo SCADABR cinco tipos de dados: valores binários ou booleanos, valores de estados múltiplos, valores numéricos ou analógicos, valores alfanuméricos e valores em imagens (FUNDAÇÃO CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS, 2010).

A Figura 13 mostra uma janela em construção no sistema de supervisão SCADABR.

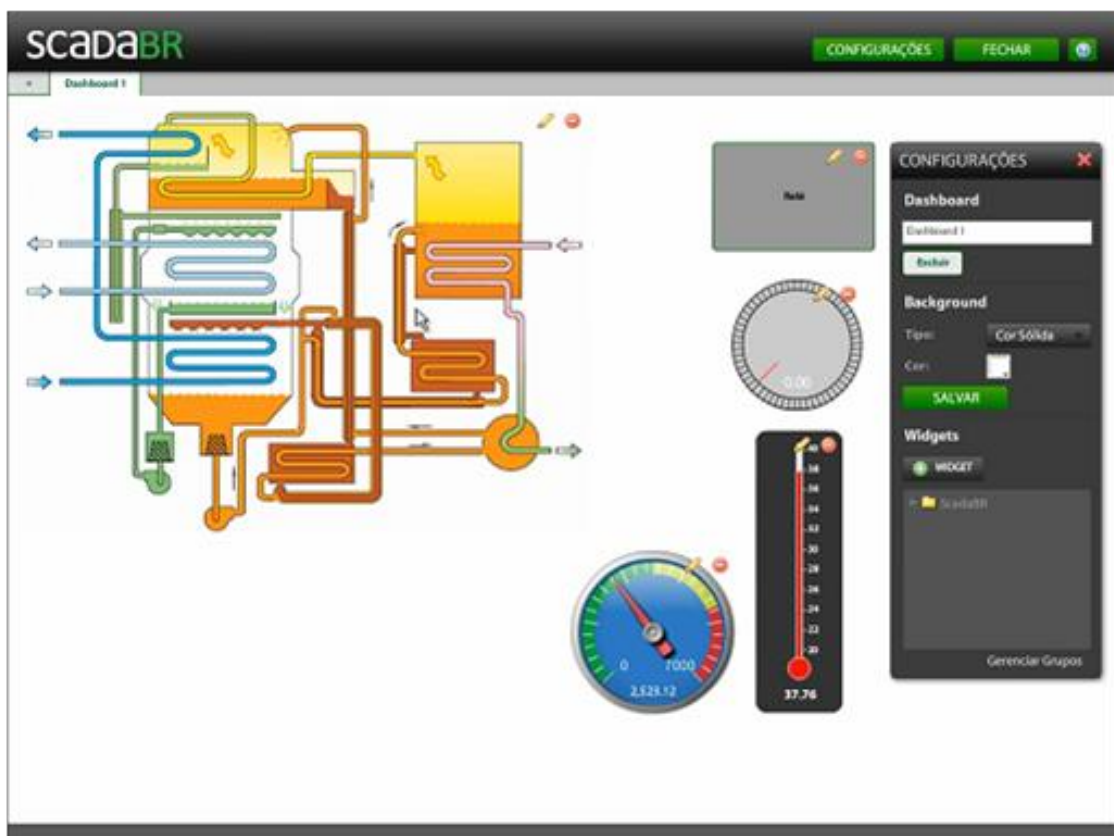


Figura 13 – Janela em construção no SCADABR (FUNDAÇÃO CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS, 2010)

## 2.5 Redes de comunicação de dados

Atualmente, devido a seu grande avanço tecnológico, as redes de dados para automação são largamente utilizadas, apresentando as seguintes vantagens em relação a sistemas ponto a ponto de cabeamento: diminuição de fiação, facilidade na manutenção, flexibilidade na configuração da rede e, principalmente, diagnóstico dos dispositivos. Além disso, por usarem protocolos de comunicação digital padronizados, essas redes possibilitam a integração de equipamentos de vários fabricantes distintos. Tais sistemas são classificados como abertos, sendo tendência em todas as áreas da tecnologia devido à sua flexibilidade e capacidade de expansão (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

No protótipo deste trabalho é utilizada uma rede de comunicação entre o microcontrolador e o sistema de supervisão SCADA com sistema de comunicação centralizado. A comunicação entre os dispositivos de entrada e saída e o microcontrolador é determinística e a rede de comunicação entre o microcontrolador e o sistema SCADA é probabilística. A comunicação nessa rede probabilística é efetuada em Protocolo Modbus (SCHNEIDER ELECTRIC, 2011). Redes determinísticas são aquelas cuja transmissão de dados ou de informações ocorre em instantes e intervalos de tempo determinado. Redes desse tipo permitem que o tempo de resposta seja acuradamente conhecido, evitando problemas de iniciação e atrasos. Já as redes probabilísticas permitem apenas calcular a probabilidade de transferência de informações que ocorrem em um determinado intervalo de tempo. A taxa de transmissão de dados utilizada é de 125,2 kbps, com tecnologia de comunicação mestre-escravo. Utiliza-se também, como meio físico, um cabo com conversor serial EIA/232 para USB (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Nos subitens seguintes são apresentados mais detalhes sobre as características citadas anteriormente, relativas a redes de comunicação.

A Figura 14 mostra uma janela do sistema SCADABR utilizado nesta aplicação, onde são configurados os dados necessários para se estabelecer a comunicação do sistema de supervisão com o microcontrolador responsável pela função de controle.

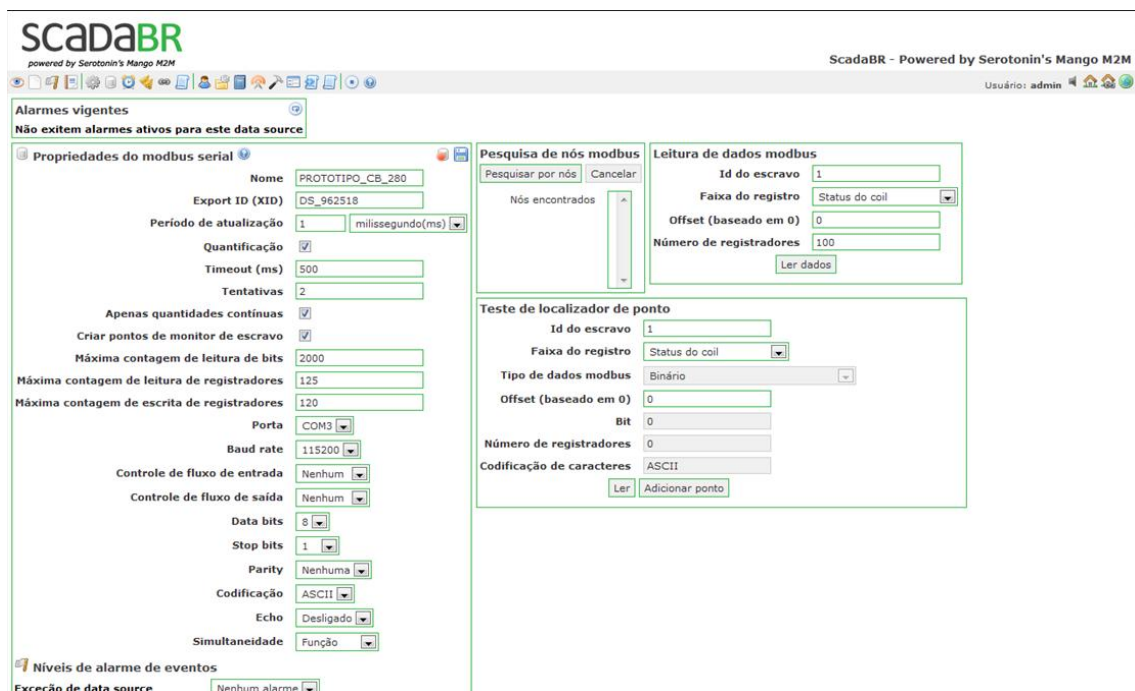


Figura 14 – Janela de configuração do SACADABR (FUNDAÇÃO CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS, 2010)

A introdução dos microprocessadores na indústria possibilitou a realização do controle digital centralizado, com transmissão entre os dispositivos (sensores e atuadores) e a unidade de controle na forma de sinais analógicos e digitais, com cabeamento paralelo, utilizando cabos de par trançado e topologia estrela. Para superar as dificuldades de longas distâncias e falta de flexibilidade foram desenvolvidos sistemas onde a estação de controle comunica-se com os dispositivos de entrada e saída por meio de um barramento, com transmissão digital. O avanço da tecnologia e a demanda de mercado levaram ao desenvolvimento de sistemas de controle com barramentos de campo distribuídos, com inteligência distribuída e unidades de conexão (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

### 2.5.1 Especificação de uma rede de automação

De modo geral são considerados no projeto das redes de comunicação de dados os elementos mostrados nos subitens seguintes (MORAES; CASTRUCCI, 2010).



A taxa de transmissão é a quantidade média de dados a serem transmitidos na rede em um período de tempo. O termo utilizado para especificação é capacidade de banda (throughput). A taxa de transferência de dados é medida em kilobits por segundo (kbps), que significa 1000 bits por segundo.

A topologia física está relacionada com a disposição construtiva na qual os dispositivos estão conectados na rede. Exemplos de topologia de rede são ponto a ponto, anel, estrela e barramento.

Os meios físicos de transmissão estão relacionados à forma utilizada para a interconexão dos dispositivos. Existem muitos tipos de meios físicos de transmissão, e alguns exemplos são: cabos em par trançado, cabo coaxial e fibra ótica.

Os meios físicos são selecionados de acordo com a aplicação. A seleção depende principalmente da distância entre os dispositivos, da taxa de transferência desejada e do protocolo a ser utilizado.

A tecnologia de comunicação é a forma de gerenciamento entre os pontos de comunicação (nós) no tocante à comunicação de dados. Uma das tecnologias típicas de comunicação é a de mestre/escravo.

Mestre-escravo é a tecnologia onde um escravo (*slave*) é um periférico (dispositivo inteligente de entrada/saída, *driver*, interface homem-máquina, válvula, transdutor, etc), que recebe uma informação do processo e/ou utiliza informações de saída do mestre (*master*) para atuar na planta. Os escravos são dispositivos passivos que somente respondem a requisições diretas vindas do mestre.

Os protocolos caracterizam os elementos de maior importância nas redes de automação industrial, tanto que as mesmas normalmente passam a ser denominadas pelos protocolos utilizados. Exemplo: protocolo de rede *AS-Interface*, rede e protocolo *ModBus*.

O protocolo Modbus foi desenvolvido em 1979 por Gould Modicon (atualmente Schneider Electric) para sistemas de controle de processos. Consideravelmente mais lento que outros protocolos, porém de mais fácil operação e manutenção, o que causou sua grande aceitação por parte de muitos fabricantes que produziram equipamentos já compatíveis com esse protocolo na época. O Modbus opera com o princípio mestre-escravo e permite até 247 estações escravas e a forma de comunicação é feita do tipo pergunta/resposta: a estação principal faz uma solicitação (pergunta) à estação secundária e depois de processado envia uma resposta de volta. Nesse caso somente uma estação secundária é acessada por

vez. A outra forma de comunicação utilizada pelo Modbus é o envio de mensagens via “broadcast” que é um processo de transmissão ou difusão de determinada informação, tendo como principal característica que a mesma informação é enviada para muitos receptores ao mesmo tempo. Assim todas as estações secundárias recebem o dado, mas não enviam respostas de volta. O protocolo *Modbus* padrão pode ser enquadrado na camada de aplicação do modelo OSI, (*Open System Interconnection*) que padroniza o modelo de sete camadas: física, enlace, rede, transporte, sessão, aplicação e apresentação (CLARKE; REYNDERS; WRIGHT, 2004)

O protocolo Modbus pode utilizar vários tipos de meios físicos. O mais utilizado é o EIA/485 a dois fios. A interface EIA/232 deve ser utilizada somente para comunicação ponto a ponto. A Figura 15 mostra o diagrama de interligação com topologia de dois fios em um meio físico de um sistema mestre-escravo de protocolo Modbus.

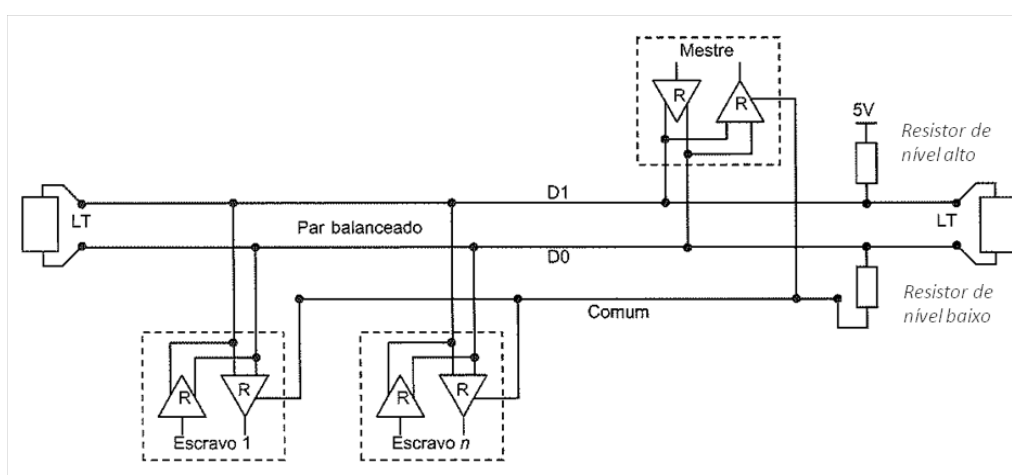


Figura 15 – Meio físico a dois fios para protocolo Modbus (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

Quanto ao modo de transmissão, existem duas formas seriais que definem o conteúdo dos campos da mensagem transmitida serialmente no protocolo Modbus: RTU (*Remote Terminal Unit* - – Dispositivo eletrônico multiprocessado usado para monitorar campos digitais e sinais analógicos para depois os transmitir para uma estação central de monitoramento) e ASCII (*American Standard Code for Information Interchang* - Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação). A forma de transmissão RTU deve ser utilizada preferencialmente em função da maior densidade dos dados e conseqüentemente melhor taxa de envio de dados. A forma de transmissão ASCII, que possui intervalos de tempo de até um segundo entre

caracteres sem causar erro poderá ser utilizada como opção (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

## 2.6 Microcontrolador

O microcontrolador, relativamente aos blocos básicos, é um computador implementado em uma única pastilha (*chip*), o qual contém processador, memória e periféricos de entrada/saída. Esse conjunto é normalmente dedicado a executar funções específicas em um sistema que necessita de ações de controle.

Os microcontroladores possuem, além dos componentes lógicos e aritméticos usuais de um processador de uso geral, memória interna para leitura, escrita e armazenamento de dados, memória somente de leitura para armazenamento de programas, memória para armazenamento permanente de dados, dispositivos periféricos como conversores analógico/digitais e digital/analógicos e outras interfaces de entrada e saída de dados. Normalmente um microcontrolador opera com uma frequência bem mais baixa que os microprocessadores atuais de computadores, porém são adequados à maioria das aplicações usuais de controle desde dispositivos com computação embarcada para uso doméstico até a automação industrial (TOCCI; WIDMER, 1998).

A Figura 16 mostra uma foto de um microcontrolador CB-280 da linha CUBLOC que utiliza um microprocessador Atmega128 @ 18,432 MHz (ATMEL, 2011).



Figura 16 – Microcontrolador CUBLOC CB-280 (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010)

## 2.7 Controlador lógico programável

O controlador lógico programável, conforme sugere o nome é um computador especialmente projetado para aplicações de controles lógicos de máquinas e processos, por meio de programas específicos do usuário. É comumente denominado pelas siglas CLP (Controlador Lógico Programável) ou CP (Controlador Programável) ou ainda, no idioma inglês, PLC (*Programmable Logic Controller*). São projetados para uso em aplicações que utilizam funções específicas de lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e cálculos.

A Figura 17 mostra a estrutura de um controlador lógico programável o qual é tipicamente constituído por fonte, módulos de entrada, unidade central de processamento, memórias e módulos de saída, possuindo também interfaces para a programação do usuário e controle de operação, além de prever possibilidades de expansões.

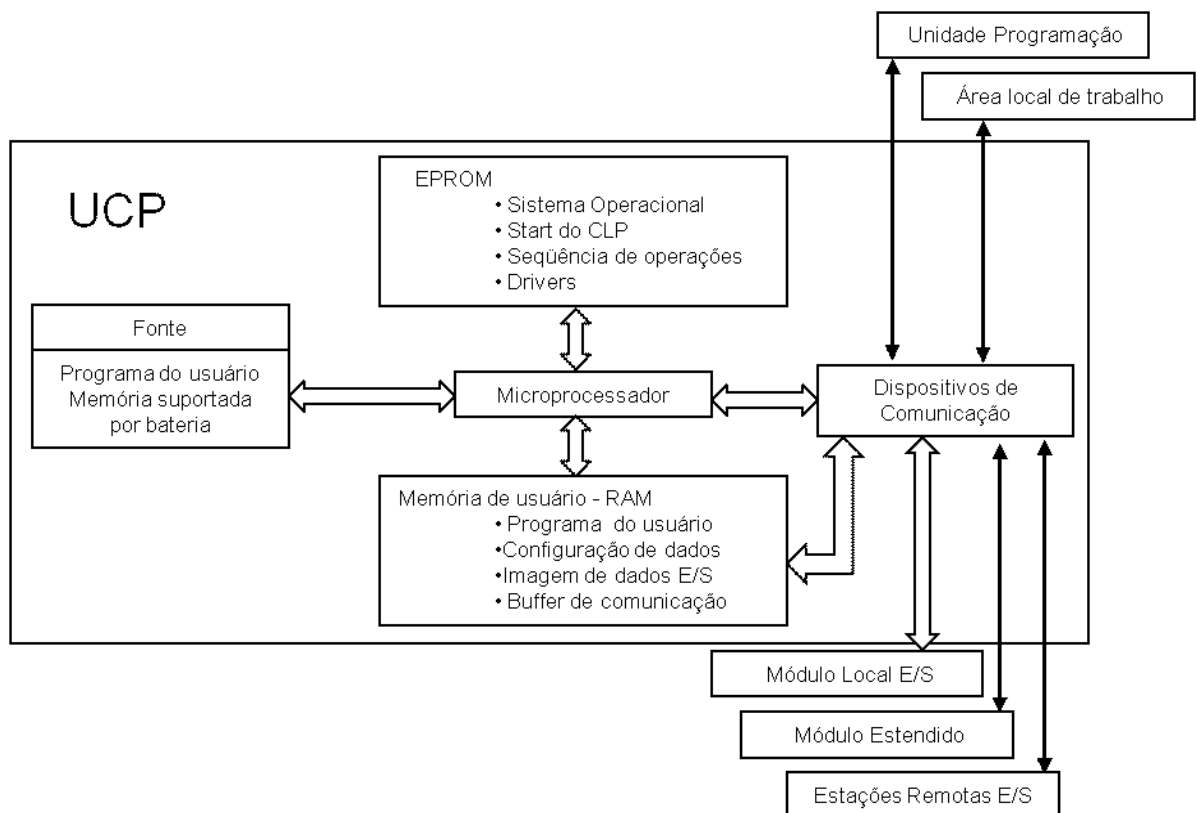


Figura 17 – Estrutura de um controlador lógico programável (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

O CLP é geralmente empregado nas aplicações de automação industrial e possui como principais características, em relação aos sistemas elétricos convencionais, o tamanho reduzido, a minimização substancial de condutores elétricos para interligações, vasta faixa de entradas e saídas, maior flexibilidade para alterações, facilidade de visualização de funcionamento da lógica, auto-diagnóstico, facilidade para diagnósticos de problemas relativos à aplicação, facilidade para verificação da documentação, maior confiabilidade e maior velocidade de processamento das informações.

A fonte de alimentação (Fonte) converte corrente alternada em contínua para suprir a energia necessária ao controlador, no nível de tensão adequado. Caso falte energia, há uma bateria que impede a perda do programa do usuário. Ao retomar a energia, o programa pode ser reiniciado.

A unidade central de processamento (UCP) ou no idioma inglês CPU (*Central Processing Unit*) é responsável pela execução do programa do usuário e pela atualização da memória de dados e da memória-imagem das entradas e saídas.

A memória de usuário, ou memória RAM (*Random Access Memory* - Memória de Acesso Aleatório), é uma memória volátil cujos dados nela armazenados podem ser acessados de forma rápida, de qualquer endereço. No diagrama da Figura 17 armazena o programa aplicativo do usuário. A CPU processa esse programa e atualiza a memória de dados internos e a memória de imagem das Entradas e Saídas (E/S) comentados a seguir.

A memória de dados guarda os dados referentes ao processamento do programa do usuário, isto é, uma tabela de valores manipuláveis.

A memória imagem das entradas e saídas (E/S) reproduz o estado dos periféricos relativos às entradas e saídas de controle.

A memória EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory* - Memória Exclusiva de Leitura Programável Eletricamente) é uma memória não volátil e pode ser gravada ou regravada por meio de um equipamento que fornece a tensão elétrica adequada em seus terminais. Para apagar os dados nela contidos, basta submeter a pastilha (*chip*) à exposição de raios ultravioleta. No diagrama mostrado na Figura 17 a EPROM contém o programa elaborado pelo fabricante para fazer a iniciação do controlador (*start* do CLP), armazenar dados e gerenciar a seqüência de operações. Não é acessível ao usuário do controlador programável.

Os módulos de Entrada (E) do controlador programável tipicamente contêm optoisoladores em cada um dos circuitos. Quando um circuito externo é fechado por meio do seu sensor, um diodo emissor de luz (LED – *Light Emitting Diode*) sensibiliza o componente de base, fazendo circular corrente interna no circuito de entrada correspondente. A Figura 18 ilustra um módulo de entrada optoisolador.

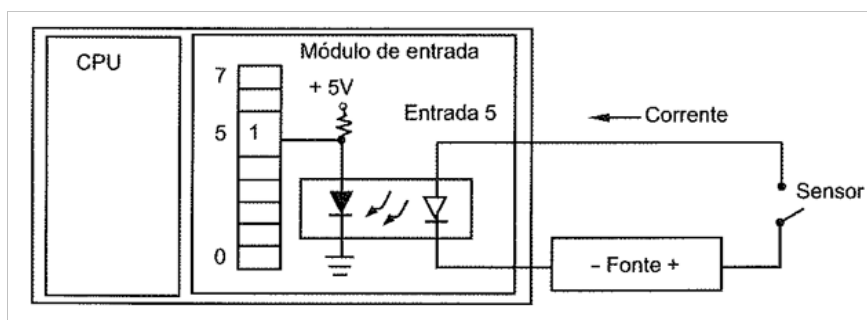


Figura 18 – Módulo de entrada optoisolador (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

Os módulos de Saída (S) do controlador programável, basicamente, são acionados por relé e componentes de estado sólido como por exemplo: Transistor (*Transfer Resistor*), que é um dispositivo eletrônico fabricado com semicondutores e utilizado para amplificação de um sinal elétrico em corrente contínua, ou TRIAC (*Triode for Alternating Current*), que é um componente eletrônico com retificadores controlados de silício para utilização em corrente elétrica alternada.

Na saída a relé, quando ativado o endereço da palavra-imagem de saída, um solenóide correspondente a ele é ativado, fechando-se o contato na borneira de saída do controlador, conforme ilustrado na Figura 19.

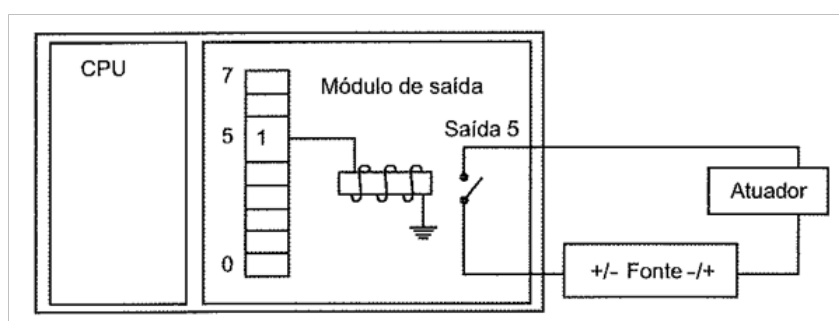


Figura 19 – Módulo de saída a relé (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

A saída a TRIAC possui como elemento acionador um TRIAC (*Triode for Alternating Current*), que é um componente equivalente a dois retificadores controlados de silício ligados em paralelo e em sentido contrário (antiparalelo) com um terminal de disparo para utilização em corrente alternada. Pela própria característica do componente de estado sólido, essa saída é utilizada quando a fonte é de corrente alternada. A Figura 20 ilustra um módulo de saída à TRIAC.

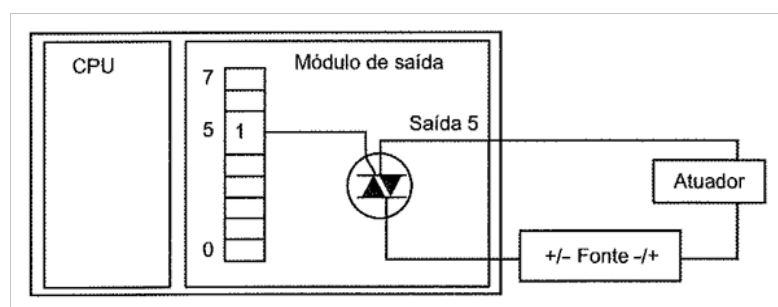


Figura 20 – Módulo de saída a TRIAC (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

Na saída a transistor o elemento acionador pode ser um transistor comum ou do tipo efeito de campo (FET – *Field Effect Transistor*). Esse tipo de módulo é bastante utilizado em sistemas com fontes de alimentação de corrente contínua. A Figura 21 ilustra um módulo de saída a transistor.

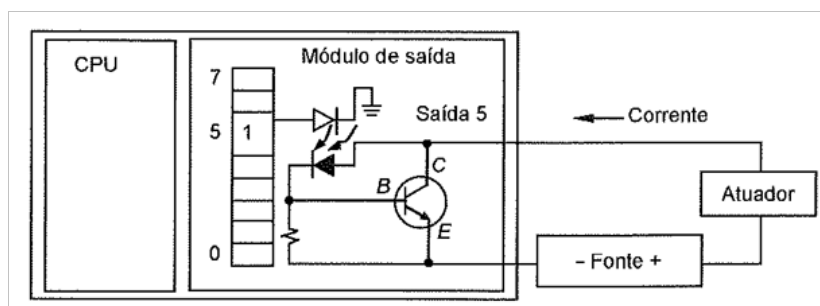


Figura 21 – Módulo de saída a transistor (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

### 2.7.1 Linguagens de programação de CLP

As linguagens de programação de CLP estão relacionadas à forma enviada ao controlador para se expressar a série de instruções ou comandos que o usuário necessita utilizar para preparar a programação desejada em uma determinada

aplicação. A Figura 22 mostra um comparativo de três diferentes linguagens utilizadas em uma lógica básica de programação de CLP. Dessas três linguagens a mais utilizada é a linguagem *Ladder* devido à similaridade com os diagramas elétricos convencionais e pela facilidade de visualização dos circuitos. Além das linguagens de diagrama escada (*Ladder*), lista de instruções (*IL – Instruction List*) e diagrama de blocos de funções (*FBD – Function Block Diagram*), que são descritas nos subitens seguintes, outros tipos de linguagens de programação são usados em CLP's. Cada tipo de programação tem suas vantagens e desvantagens. Fatores como a complexidade da aplicação, tipos de programação disponíveis para cada modelo de CLP, perfil de usuários e preferências pessoais determinam qual o tipo de programação será utilizada em uma determinada aplicação (SIEMENS, 2011a).

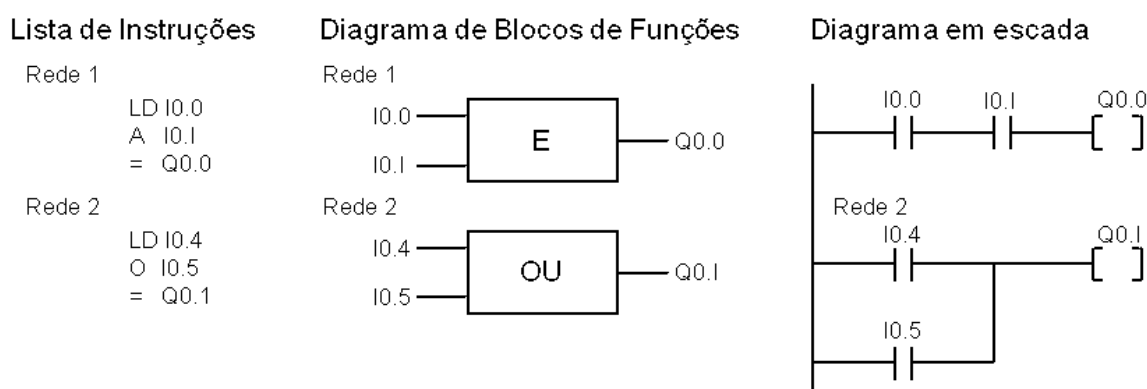


Figura 22 – Exemplos de linguagens de CLP (Modificado de SIEMENS, 2011a)

**Diagrama em escada** - A linguagem de diagrama em escada, mais conhecida pela expressão em inglês *Ladder Diagram (LD)* é uma linguagem que incorpora funções de programação que são graficamente parecidas com símbolos utilizados em desenhos elétricos e facilitam o entendimento de usuários que já possuem esse conhecimento.

**Lista de instruções** - A linguagem em lista de instruções, que é mais conhecida pela expressão em inglês *Instruction List (IL)*, é uma linguagem de programação cujas instruções são representadas pela operação a ser executada e o item objeto da operação, o operando. A operação codificada é colocada à esquerda do operando.

**Diagrama de blocos de funções** - A linguagem em diagrama de blocos de funções, mais conhecida pela expressão em inglês *Function Block Diagram (FBD)* é



uma linguagem expressada em blocos retangulares com a função especificada em seu interior. As entradas são colocadas na parte externa do bloco no lado esquerdo e as saídas da mesma forma, porém do lado direito.

### 2.7.2 Programa de instruções de uso interno

O programa de instruções de uso interno do controlador lógico programável, também denominado *firmware*, é um conjunto de instruções operacionais programadas diretamente no hardware, gravado em memória não volátil, que habilita o equipamento para a execução da sua funcionalidade básica. No caso da Figura 17 está gravado em uma memória EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*), fornecida como parte do *hardware* do CLP.

### 2.7.3 Ciclo de execução das atividades

A partir dos dados de entrada, o CLP processa as instruções conforme o programa do usuário e faz a atualização das saídas. O Ciclo de execução das atividades em um CLP é designado também de ciclo de varredura ou ainda de SCAN. Esse ciclo é mostrado na Figura 23.

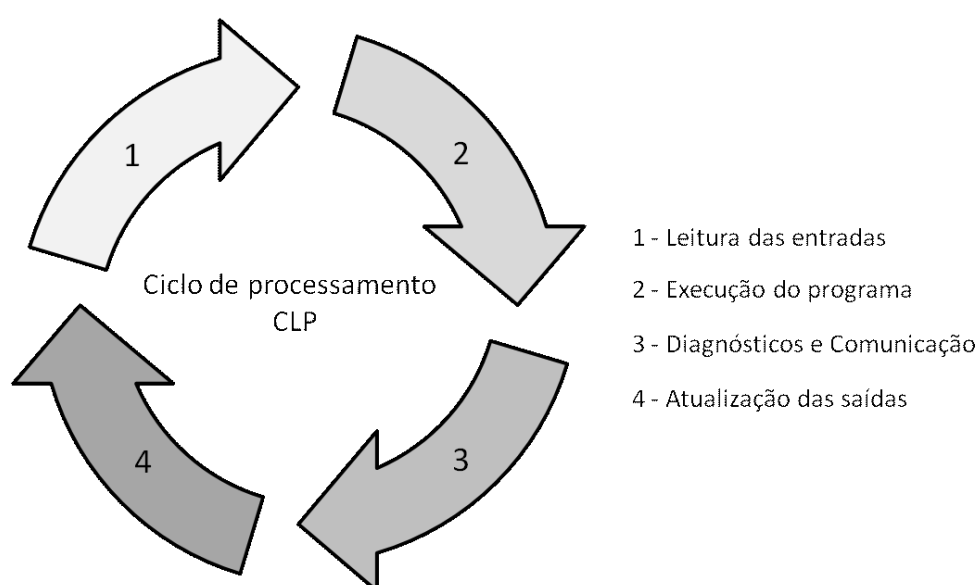


Figura 23 – Ciclo de execução das atividades do CLP (Modificado de SIEMENS, 2011a)

## 2.8 Sistema CUBLOC

O sistema CUBLOC utilizado para o desenvolvimento da aplicação deste trabalho é diferente dos controladores lógicos programáveis tradicionais disponíveis no mercado. O CUBLOC é um sistema capaz de operar como um controlador lógico programável industrial montado em uma pastilha eletrônica (*On-Chip Programmable Logic Industrial Controller*), o que traz mais flexibilidade para sua montagem em placas de circuito impresso ou em outros sistemas no desenvolvimento do leiaute (*layout*) da aplicação. A pastilha CUBLOC integra em um mesmo invólucro, o microcontrolador, dispositivo oscilador, circuito de iniciação e o conjunto de instruções operacionais (*firmware*) (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010).

A Figura 24 apresenta uma ilustração de um CLP tradicional comparada a um sistema CUBLOC.

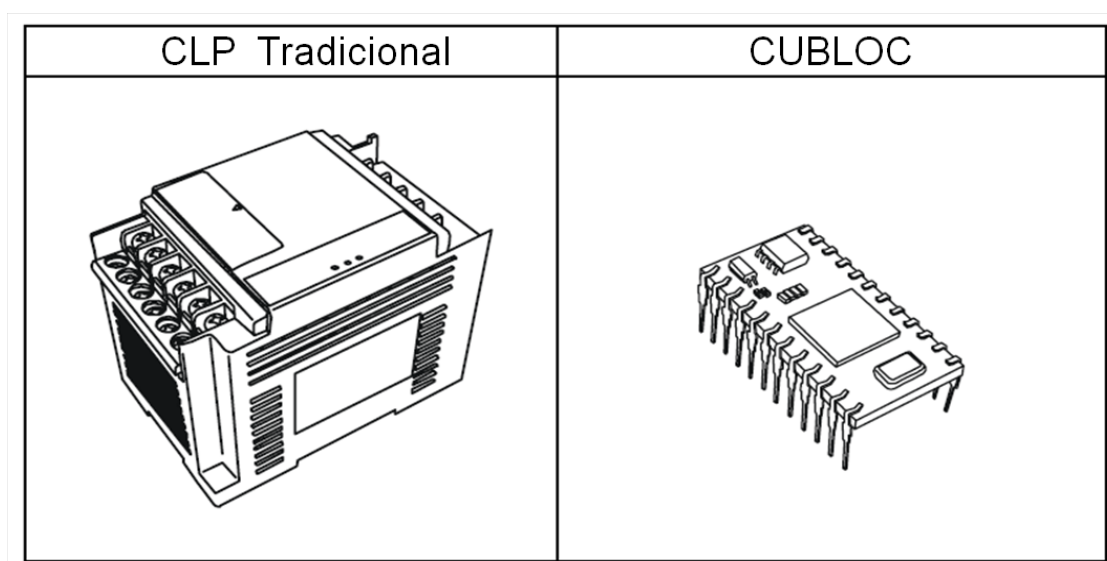


Figura 24 – Ilustração de um CLP tradicional comparado ao CUBLOC (Modificado de COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010)

Apesar de utilizar também alguns módulos similares aos CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) uma vantagem na aplicação do sistema CUBLOC, está no fato da utilização de lógica em linguagem de diagrama escada (*Ladder Diagram*) e ao mesmo tempo lógica em linguagem *Basic*, operando em um sistema multitarefa. A Figura 25 ilustra a comparação dos sistemas MULTITAREFA e MONOTAREFA. O sistema multitarefa não permite que as atividades complexas em

Linguagem *Basic* atrapalham a execução do diagrama em escada (*Ladder Diagram*). Enquanto o diagrama em escada (*Ladder Diagram*) é bom para desenvolver a seqüência do diagrama lógico, a linguagem em *Basic* complementa com mais eficiência as tarefas de coleta de dados, impressão de gráficos e outras mais complexas.

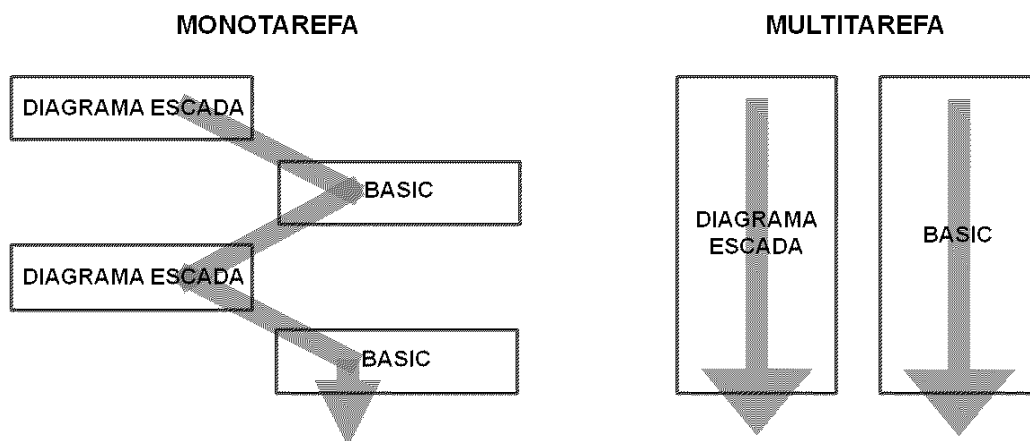


Figura 25 – Comparação entre sistema monotarefa e sistema multitarefa (Modificado de COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010)

O sistema CUBLOC, de custos moderados em relação aos demais controladores lógicos programáveis do mercado, disponibiliza diferentes modelos com tamanhos de memória e número de entradas e saídas variados para combinar com as mais diversas aplicações. É um novo tipo de controlador industrial compacto que pode também ser conectado a vários periféricos para receber sinais e atuar nos processos industriais, controlando equipamentos de corrente contínua e corrente alternada. Possui até 32 bits de resolução, conforme regulamentado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers* – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) e suporta cálculos em sistemas de ponto flutuante. O sistema de comunicação disponibilizado pelo fabricante é Modbus ASCII (*American Standard Code for Information Interchange* - Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação) /RTU (*Remote Terminal Unit* – Dispositivo eletrônico multiprocessado usado para monitorar campos digitais e sinais analógicos para depois os transmitir para uma estação central de monitoramento) em uma porta de comunicação padronizada pela organização privada para padronização de produtos eletrônicos em Indústrias nos Estados Unidos EIA (*Electronic Industries Alliance* – Aliança das Indústrias Eletrônicas). Essa porta, que é do padrão EIA/ 232, é utilizada para troca

serial de dados binários entre um DTE (*Data Terminal Equipment* - Terminal de dados) e um DCE (*Data Communication Equipment* - Comunicador de dados).

A Figura 26 mostra a tela de desenvolvimento de diagrama escada no *software* Cubloc Studio (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010).

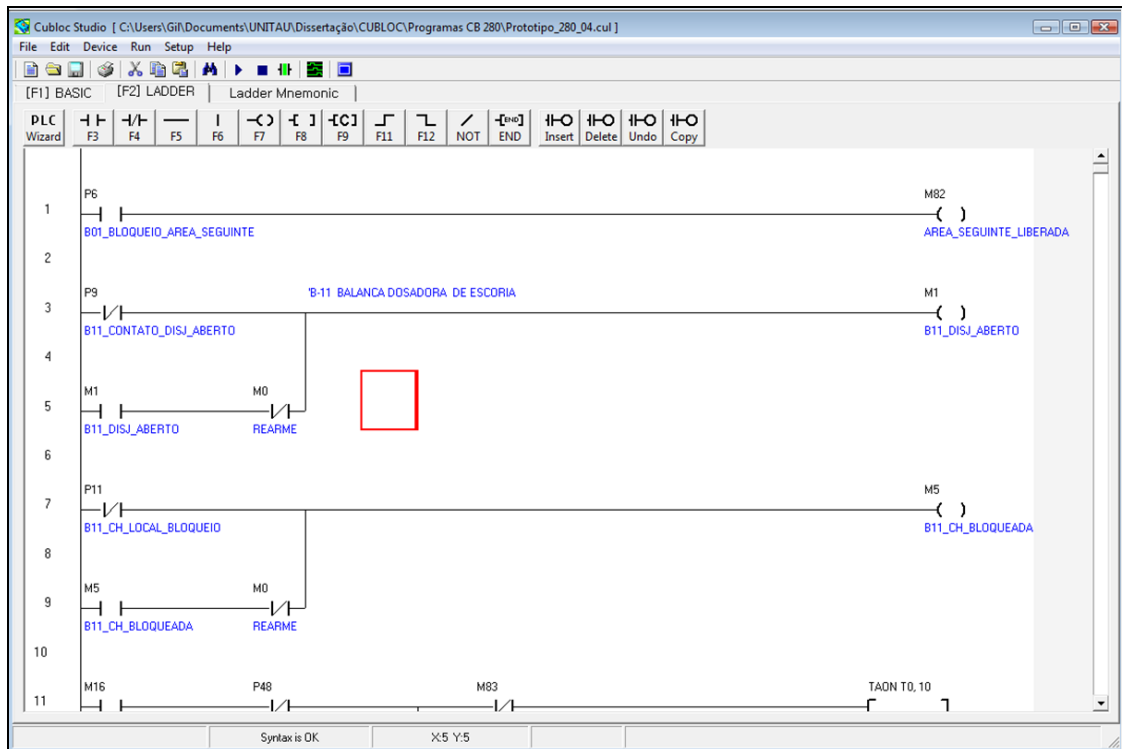


Figura 26 – Tela do ambiente de desenvolvimento integrado Cubloc Studio (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010)

A programação relativa à aplicação pode ser feita em Diagrama Escada ou em Linguagem Basic e é realizada em um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE – *Integrated Development Environment*) Cubloc Studio, disponibilizado pelo fabricante do equipamento.

## 2.9 Sensores

Embora haja uma grande variedade de sensores no mercado, serão enfatizados nos subitens seguintes os sensores envolvidos com o processo de modernização da moagem de escória, objeto desse estudo, juntamente com outros conceitos importantes e pertinentes ao tema.

Um sensor é um dispositivo sensível a alguma forma de energia, proveniente do ambiente, que possibilita a obtenção de informações tais como: intensidade de luz; temperatura; som; pressão; velocidade; corrente elétrica; aceleração; força; posição; etc. A Figura 27 ilustra em um diagrama algumas formas de energia possíveis em um sensor (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010).

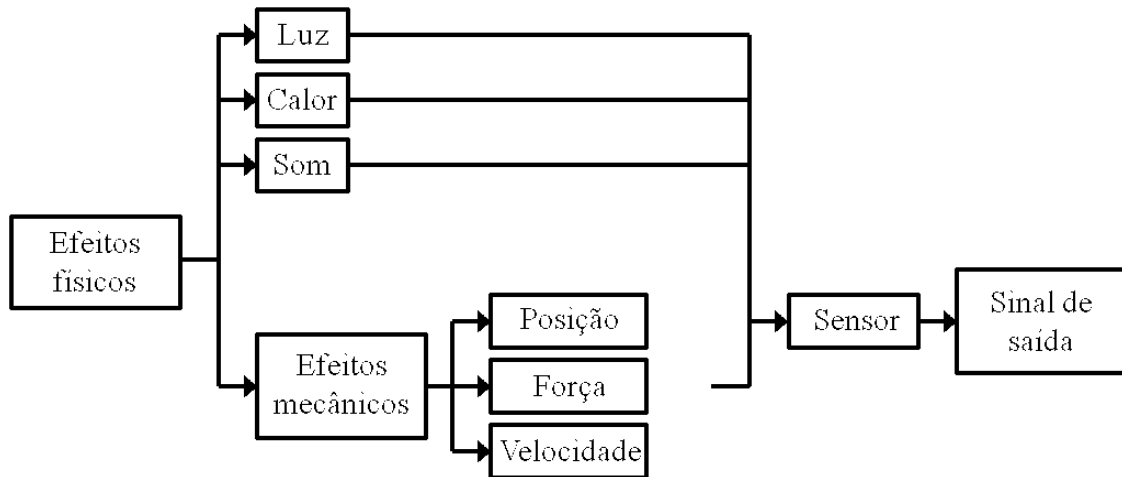


Figura 27 – Formas de energia em um sensor (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010)

Um sensor pode ser definido também como sendo um transdutor que altera a sua característica física interna devido a um fenômeno físico externo como presença ou não de luz, som, gás, campo elétrico, campo magnético etc. (ROSÁRIO, 2005).

Na maioria das aplicações os sinais propiciados pelos dispositivos sensores não são compatíveis com os sinais padronizados para controle fazendo-se necessária sua readequação. Um transdutor é um dispositivo capaz de reproduzir determinada característica de uma grandeza física, em um sinal de tensão ou corrente elétrica, para ser utilizado em um sistema de controle. Em um transdutor pode estar contido o sensor e respectivos circuitos de interface. Já um transmissor, que é normalmente montado próximo ao local de tomada da variável, é um dispositivo utilizado para preparar os sinais provenientes de um sensor ou transdutor, dentro de padrões estabelecidos, para utilização à distância. O sensor e/ou transdutor podem estar contidos no próprio transmissor. Como exemplo de sinais elétricos padronizados para transmissão à distância pode-se citar sinais de corrente de 4 a 20 mA (miliampères) e 0 a 10 V (Volts).

### 2.9.1 Sensores digitais

Os sensores digitais podem assumir um número de valores finitos ao longo do tempo. Normalmente na maioria das aplicações os sensores são binários e esses estados podem ser interpretados como valores discretos, zero ou um, contato aberto ou fechado, ligado ou desligado, atuado ou sem atuação. Como exemplo pode-se citar sensores de fim de curso, termostatos, pressostatos, chaves, botões de comando, etc. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010).

A seguir são apresentados os tipos de sensores digitais utilizados na aplicação desse trabalho, com os respectivos conceitos básicos.

Elementos de comando são meios tipicamente utilizados para definir sinais para um sistema, sob influência do operador, como por exemplo: acionamento, desligamento, seleção ou ajuste de parâmetro para operação de um processo e/ou equipamento. Dentre os elementos de comando digitais utilizados na aplicação desse estudo pode-se destacar os botões de comando e chaves manuais.

Os botões de comando são dispositivos eletromecânicos compostos por um atuador mecânico, similar a um botão, normalmente associado a um bloco de contato elétrico do tipo Normal Aberto (NA) e ou Normal Fechado (NF). O atuador mecânico é isolado eletricamente dos contatos e pode ser montado com sistema de impulso retornável à posição inicial ou de retenção. As chaves de acionamento manual são dispositivos eletromecânicos compostos por um atuador mecânico manual associado a um ou mais blocos de contatos elétricos. O acionador mecânico é isolado eletricamente dos contatos e pode ter duas ou mais posições, fixas ou retornáveis, acionando contatos elétricos. Esses contatos elétricos podem ser do tipo Normal Aberto (NA) ou Normal Fechado (NF) ou ainda uma combinação entre eles. A Figura 28 ilustra, da esquerda para a direita, dois tipos de botões e uma chave de comando, compatíveis com a aplicação desse trabalho, tipicamente utilizadas nas funções ligar, desligar e selecionar em um sistema de controle.



Figura 28 – Elementos de comando (SCHNEIDER ELECTRIC, 2011)

Os sensores de fim de curso mecânico são sensores discretos utilizados para detectar a posição de algum objeto ou material por meio de contato físico (mecânico) acionando contatos elétricos tipo Normalmente Aberto (NA) e/ou Normalmente Fechado (NF). O mecanismo mais comumente utilizado é o de alavanca com roldana, isolada eletricamente dos contatos elétricos. A Figura 29 mostra um sensor de fim de curso com essas características.



Figura 29 – Sensor fim de curso mecânico (SCHNEIDER ELECTRIC, 2011)

O sensor de proximidade indutivo é um sensor discreto utilizado para detectar a proximidade de algum objeto metálico, sem contato físico, por meio de um campo magnético de alta frequência. A presença do objeto no campo de atuação do sensor altera esse campo e o circuito eletrônico do sensor percebe a alteração. A Figura 30 ilustra a forma de atuação do sensor mostrando na parte esquerda o sensor ainda não atuado e na parte direita a situação em que o mesmo muda o estado elétrico após aproximação de um atuador metálico.

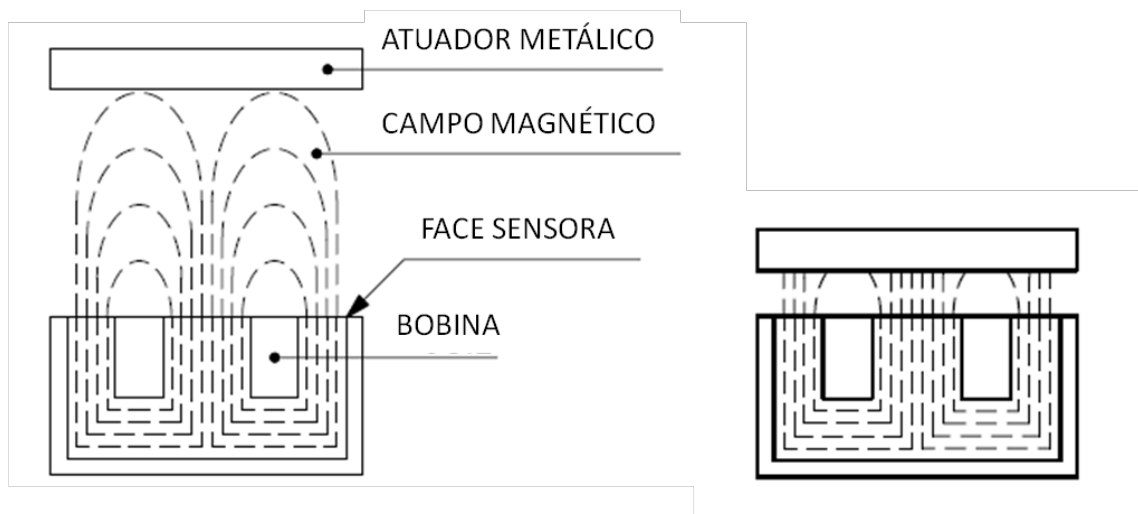


Figura 30 – Modo de atuação de um sensor indutivo (Adaptado de SENSE, 2011a)

Os sensores indutivos normalmente são compostos por uma bobina, um oscilador, um circuito de disparo e um circuito de saída, montados em um invólucro totalmente fechado. O circuito de saída pode ser constituído por um dispositivo de chaveamento tipo transistor (*Transfer Resistor*) no caso de utilização em corrente contínua ou tipo tiristor (Dispositivo semiconductor multicamadas que opera em regime de chaveamento) em aplicações de corrente alternada. Esses tipos de sensores substituem com vantagens as chaves do tipo fim de curso e microchaves pois não possuem peças móveis, têm grande precisão e são totalmente vedados, tornando possível o uso em ambientes com água, poeira, óleos, etc. A Figura 31 mostra um sensor indutivo similar ao utilizado na aplicação desse trabalho.



Figura 31 – Sensor de proximidade indutivo (SENSE, 2011b)

Os sensores de pressão do tipo chave, também denominados de pressostatos, são utilizados normalmente para detectar determinado nível de pressão, previamente ajustado, de um fluido em um recipiente. Quando a pressão ultrapassa o limite ajustado um contato elétrico Normalmente Aberto (NA) e/ou Normalmente Fechado (NF) é atuado. A Figura 32 mostra exemplo de um pressostato de uso industrial.



Figura 32 – Pressostato industrial (DANFOSS, 2011)



Sensor de fluxo tipo chave - Os sensores de fluxo do tipo chave, também denominados de chaves de fluxo são utilizados normalmente para detectar determinado nível de fluxo de um fluido, em um duto. Quando o fluxo do fluido ultrapassa o limite, previamente ajustado, o dispositivo interno da chave se movimenta e um contato elétrico Normalmente Aberto (NA) e/ou Normalmente Fechado (NF) é atuado. A Figura 33 mostra exemplo de uma chave de fluxo para aplicação industrial.



Figura 33 – Chave de fluxo industrial (SALCAS, 2011)

Sensor de temperatura tipo chave - Os sensores de temperatura do tipo chave, também denominados de termostatos são utilizados para detectar determinado nível de temperatura onde o mesmo está inserido. Quando a temperatura do local de inserção ultrapassa o limite previamente ajustado, um dispositivo do tipo bimetálico ou de bulbo capilar da chave se movimenta e um contato elétrico Normalmente Aberto (NA) e/ou Normalmente Fechado (NF) é atuado. A Figura 34 mostra exemplos de termostatos de uso industrial.



Figura 34 – Termostatos industriais (ASCOVAL, 2011)

Sensor de nível tipo chave - Os sensores de nível do tipo chave, também denominados de chaves de nível são utilizados para detectar determinado nível de material em um reservatório onde o mesmo é instalado. Um tipo desse sensor muito utilizado em controles de nível de líquidos é o mostrado na Figura 35 que utiliza um sistema de haste com flutuador e contatos elétricos atuados por material magnético (*Reed Switch*). Esse tipo de sensor pode ser utilizado para indicações de nível mínimo e máximo no mesmo dispositivo. O flutuador se movimenta em função do nível do líquido, entre as extremidades inferior e superior da haste, atuando os respectivos contatos conforme ajuste prévio.



Figura 35 – Chave de nível com haste e flutuador (AQUASUPER, 2011)

### 2.9.2 Sensores analógicos

Sensores analógicos são sensores que, dentro de sua faixa de operação, podem assumir qualquer valor ao longo do tempo. São exemplos desses sensores, que utilizam eletrônica não digital, dispositivos de medição contínua de temperatura, umidade, pressão, velocidade, vazão, força, distância, ângulo, torque, luminosidade, etc. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010).

A seguir são apresentadas as descrições de sensores analógicos utilizados na aplicação desse trabalho.

Um sensor de força tipo célula de carga é um dispositivo sensor de força e pressão que utiliza células extensométricas (*strain gauge*). O *strain gauge* é um transdutor de força que converte a força aplicada de tensão ou torção em valores de resistência elétrica dados em ohm. A resistência elétrica do dispositivo condutor do extensômetro é alterada em função da sua deformação. Os extensômetros são montados internamente a dispositivos metálicos resistentes para suportar o esforço

à que são submetidos. Os dispositivos transdutores ligados a células de carga normalmente possuem recursos de correção da resistência em função da temperatura para se evitar interferências no valor real medido. A Figura 36 mostra uma célula de carga do tipo utilizado em indústrias.



Figura 36 – Célula de carga industrial (HBM, 2011)

Um tipo de sensor de velocidade mais robusto e que ainda é utilizado em aplicações industriais é o tacogerador, que gera em sua saída um sinal de tensão de corrente alternada ou contínua, proporcional a rotação em seu eixo. O sinal de saída de um tacogerador pode ser enviado a um indicador ou a um transdutor para converter os valores gerados em um sinal padronizado, do tipo 4 a 20 mA, para viabilizar sua utilização em uma malha de controle. A Figura 37 mostra um tacogerador de uso industrial.



Figura 37 – Tacogerador (WEG MOTORES ELÉTRICOS, 2011)

Um sensor de temperatura tipo PT-100 é uma termorresistência ou RTD (*Resistance Temperature Detector*), cuja resistência elétrica de seu elemento condutor varia conforme a temperatura. Possui alta estabilidade mecânica e térmica e é largamente empregado em indústrias para medições de temperatura de -200 até 600 °C. O nome PT-100 se origina da utilização de fios de Platina (PT) cuja resistência é 100 ohms com a temperatura de 0 °C. Esse tipo de sensor pode ser

ligado por meio de 2, 3 ou até 4 fios para minimizar a interferência dos cabos de conexão externos ao sensor. A Figura 38 mostra um sensor de temperatura do tipo PT-100 utilizado em aplicações industriais.



Figura 38 – Sensor de temperatura tipo PT-100 (RUCKEN PRECISÃO & CONTROLE, 2011)

Um sensor de corrente elétrica alternada, mais utilizado na prática é o Transformador de Corrente (TC). Quando utilizado em medição de corrente normalmente possui uma faixa de sinal de saída de 0 a 5 A, para uma determinada faixa de corrente de entrada, que varia conforme a sua especificação. O dispositivo primário de um transformador de corrente é ligado em série com o condutor onde se deseja efetuar a medição ou ainda envolvendo-se esse condutor. Já o dispositivo secundário, onde se obtém a saída de sinal 0 a 5 A, é isolado galvanicamente do circuito primário, é ligado em série com o circuito de leitura e esta série nunca deve estar eletricamente aberta para se evitar tensões induzidas de valores elevados. Os transformadores de corrente ou TC's, quando utilizados em circuitos de controle são ligados a transdutores que convertem o seu sinal de saída de corrente alternada em sinais padronizados, tal como o tipo 4-20 mA em corrente contínua. Na Figura 39 é mostrado um transformador de corrente para aplicações industriais.



Figura 39 – Transformador de corrente (SIEMENS, 2011b)

Os dispositivos sensores de potência elétrica aplicados em corrente alternada utilizam sensores de tensão elétrica e de corrente elétrica, cujos sinais são enviados a um transdutor para o cálculo da potência. Esse cálculo é efetuado em função do valor de corrente, medida diretamente ou por meio de um Transformador de Corrente (TC), e do valor de tensão também medida diretamente ou indiretamente com o auxílio de um Transformador de Potencial (TP), de forma a se adequar os níveis de corrente e tensão ao circuito de medição. O sinal de saída do transdutor, normalmente do tipo de 4 a 20 mA, em corrente contínua, pode ser enviado a um medidor em um painel ou a um circuito de controle. A Figura 40 mostra um exemplo de transdutor de potência disponível no mercado para a medição em sistema monofásico, que utiliza medição de corrente por meio de TC e medição de tensão por via direta.



Figura 40 – Transdutor de potência (ABB, 2011)

### 2.9.3 Características de sensores

Dentre as características mais importantes para especificação de sensores, que podem também ser utilizadas para atuadores, podem-se destacar sensibilidade, exatidão, precisão, linearidade, alcance, estabilidade, velocidade de resposta e repetibilidade. Essas características são descritas a seguir:

**Sensibilidade** - Razão entre a magnitude da variação do sinal de saída e a variação correspondente do sinal de entrada, ou seja, um sensor mais sensível tem uma maior percepção de uma variação na entrada.

**Exatidão** - Proximidade entre o resultado de uma medição e o valor real (convencionado) do mensurando. Está relacionado ao erro na medida fornecida em comparação a um medidor padrão.

**Precisão** - Grau de conformidade entre o valor numérico atribuído e uma grandeza qualquer e o valor real dessa mesma grandeza, expressada em termos do limite de erro permissível. Está relacionada ao erro máximo do valor medido.

**Linearidade** - É o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Está relacionada à aproximação com a qual uma curva de calibração acompanha uma reta ideal.

**Alcance** - Região determinada pelos limites em que uma variável é medida, transmitida ou recebida, expressa pela designação dos valores inferior e superior correspondente. Também chamado de faixa de operação ou em inglês *Range*, refere-se aos valores admissíveis na entrada do dispositivo.

**Estabilidade** - Capacidade de um instrumento de medição manter constantes suas características metrológicas. Está relacionada à flutuação em relação ao valor medido na saída do dispositivo.

**Velocidade de resposta** - Velocidade com que um sinal de saída de um dispositivo qualquer varia em resposta a variação do sinal de entrada correspondente. Está relacionada ao tempo que o dispositivo leva para perceber uma variação no sinal de entrada.

**Repetibilidade** - Medida de concordância entre medidas consecutivas do sinal de saída para um mesmo valor do sinal de entrada, mantidas condições idênticas de operação e considerando sempre o mesmo sentido em cada percurso da faixa do total de medição. Está relacionada com a variação dos valores lidos de uma mesma quantidade quando medida por várias vezes.

## 2.10 Atuadores

Atuadores são dispositivos utilizados para modificar uma determinada variável, geralmente de potência expressiva, a partir de um sinal de controle de baixa potência. Como exemplos de atuadores podem ser citados relés, válvulas, cilindros, motores e solenoides. Na aplicação desse trabalho as saídas do sistema de controle são em sua maioria discretas e conectadas a contadores elétricos para acionamento de motores elétricos de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo, com exceção do moinho de bolas que utiliza um motor trifásico de rotor bobinado e do acionamento da balança dosadora eletrônica cujo motor trifásico é

alimentado por um inversor de frequência. No caso do inversor de frequência da aplicação, um sinal analógico de referência, normalmente de 4 a 20 mA, é enviado ao mesmo para controle da rotação. Um motor elétrico de indução trifásico é composto basicamente por uma parte fixa denominada estator e uma parte móvel denominada rotor. Em um motor de indução a corrente alternada é fornecida ao enrolamento do estator diretamente, e ao enrolamento do rotor por indução a partir do estator. A interação entre as forças criadas pela circulação das correntes polifásicas no estator e no rotor dá origem ao conjugado do motor (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 1975).

No motor elétrico de indução trifásico de gaiola o estator é construído em chapas magnéticas, montadas em uma carcaça metálica, com ranhuras onde são posicionados os fios das bobinas do enrolamento trifásico que é alimentado pela rede elétrica, por meio de uma caixa de ligação. O rotor desse tipo de motor é denominado rotor em gaiola devido sua forma construtiva, cujos condutores equivalentes ao enrolamento rotórico são montados em chapas magnéticas e curtocircuitados em formato de gaiola. A Figura 41 mostra o desenho explodido de um motor de indução trifásico de gaiola, com as características citadas, que é amplamente utilizado em instalações industriais.



Figura 41 – Desenho explodido de motor elétrico trifásico de gaiola (WEG MOTORES ELÉTRICOS, 2011)

Para aplicação com inversores de frequência, os motores de indução trifásicos de gaiola devem prover de alguma forma a ventilação e a troca de calor necessária para que a temperatura do motor não ultrapasse os limites de projeto

quando operando em baixas rotações. Assim, uma vez definidas as rotações de trabalho e respectivas cargas, em um motor alimentado por inversor de frequência, os dados do fabricante do motor deverão ser consultados para o atendimento a esses requisitos.

O motor elétrico de indução trifásico de anéis, em termos de estator, é construído de forma similar ao motor de indução de gaiola, porém no rotor é disponibilizado, por meio de anéis e escovas, o acesso aos terminais do enrolamento rotórico. Com esse acesso ao circuito rotórico resistências elétricas externas podem ser inseridas para aumentar o conjugado e reduzir a corrente durante a partida do motor, conforme mencionado no terceiro parágrafo da revisão bibliográfica.

## 2.11 Conversores analógico/digital e digital/analógico

As atuais operações de controle em plantas industriais são feitas quase que em sua totalidade utilizando-se dispositivos microprocessados, que trabalham com sistemas digitais. Nesse contexto, no caso dos sinais analógicos, é necessário, nos dispositivos de entrada de dados, se efetuar a conversão de dados para o sistema digital para que os mesmos possam ser processados. Da mesma forma, nos dispositivos de saída de dados é necessário converter os dados digitais em analógicos para equipamentos que requeiram esse tipo de sinal como referência de operação. As conversões Analógica/Digital (A/D) e Digital/Analógica (D/A) são possíveis por amostragens onde podem existir pequenas distorções em relação à grandeza medida. A Figura 42 mostra de forma gráfica essas distorções, onde se pode observar que a reprodução digital de um sinal analógico é feita em degraus.

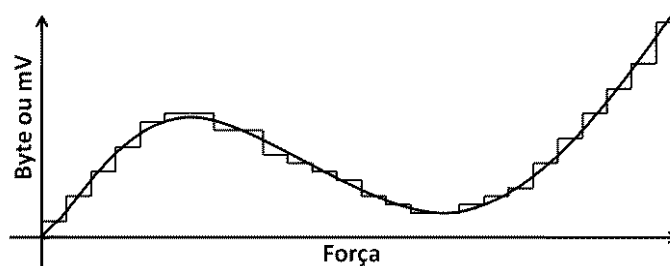


Figura 42 – Exemplo de digitalização e linearização de sinais (Adaptado de THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2010)



## **CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

O desenvolvimento deste trabalho se deu em função da necessidade de atendimento aos objetivos de se modernizar a instalação industrial da moagem de escória objeto do presente estudo. Esses objetivos visam permitir a operação da planta de forma remota, utilizando-se uma arquitetura de automação inovadora e de investimentos moderados. Com esse intuito são apresentados nos subitens que se seguem os caminhos seguidos para esse desenvolvimento. As atividades se iniciaram com o levantamento do fluxograma do processo e adaptações necessárias aos equipamentos. Foram levantados também os pontos de entradas e saídas, digitais e analógicos, necessários ao controle da planta. Em seguida foram estabelecidos os requisitos lógicos e físicos para a arquitetura de automação a ser adotada. Com esses dados definiu-se essa arquitetura e o detalhamento da mesma para os principais equipamentos da planta. Uma vez definida a arquitetura de automação passou-se para a definição de um protótipo capaz de representar esse sistema. Após a definição do protótipo foram detalhados os passos do algoritmo e respectivos fluxogramas para a elaboração dos programas de gerenciamento e interfaces gráficas. Por fim passou-se então à realização dos testes de simulação, utilizando-se para isso o protótipo definido como representativo da arquitetura de automação proposta.

### **3.1 Elaboração do diagrama da planta**

A fase de levantamento de dados se iniciou com o estabelecimento do diagrama do processo industrial, o qual foi elaborado na planta, observando-se o fluxo do processo, verificando-se o modo de operação de cada um dos equipamentos e relacionando-se os pontos de entradas e saídas relativos ao controle, necessários para se operar o processo em modo remoto e de forma automatizada. Nesta fase foram considerados também os acréscimos, no mesmo processo, relativos às melhorias previstas e necessárias para essa modernização (retrofit). O diagrama de processo obtido nessa fase é o mostrado na Figura 43.

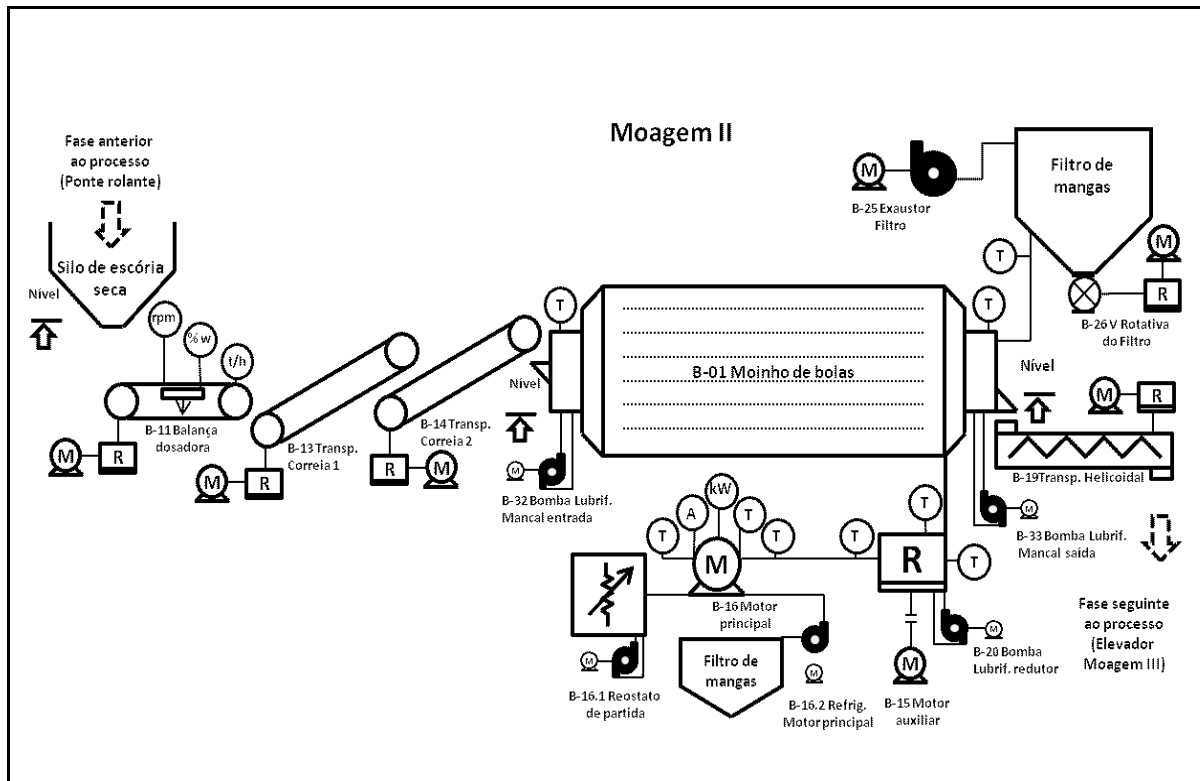


Figura 43 – Diagrama do processo de moagem de escória

### 3.2 Adaptações necessárias aos equipamentos

O detalhamento das alterações necessárias nos equipamentos existentes, bem como da instalação de novos dispositivos visando à melhoria do controle e a operação remota da planta não fazem parte desse escopo. No entanto a relação dessas adaptações, relativas ao *retrofit* (modernização), se fez necessária nesse trabalho com o objetivo de fornecer os dados necessários ao dimensionamento do sistema e ao desenvolvimento do algoritmo de controle para atendimento à arquitetura proposta. Essas modificações e adaptações, consideradas de custo moderado, são as seguintes:

- Instalação de sensor de nível de material na entrada do moinho.
- Instalação de sensor de nível de material na saída do moinho.
- Instalação de fluxostato de água no mancal de entrada do moinho.
- Instalação de fluxostato de água no mancal de saída do moinho.
- Instalação de bomba de lubrificação no redutor.
- Instalação de bomba de lubrificação no mancal entrada do moinho.

- Instalação de bomba de lubrificação no mancal de saída do moinho.
- Instalação de transdutor de temperatura para os gases quentes provenientes do moinho.
- Instalação de transdutor de temperatura para as bobinas dos enrolamentos do motor de anéis.
- Instalação de transdutor de temperatura para o mancal de entrada do motor de anéis.
- Instalação de transdutor de temperatura para o mancal de saída do motor de anéis.
- Instalação de transdutor de potência no motor de anéis.
- Instalação de transdutor de corrente no motor de anéis.
- Instalação de pressostato para o óleo de lubrificação do redutor.
- Instalação de pressostato para o óleo de lubrificação do mancal de entrada do moinho.
- Instalação de pressostato para o óleo de lubrificação do mancal de saída do moinho.
- Instalação de monitor de pressão inteligente para batimentos filtro de mangas do moinho.
- Instalação de limites de posição para o acoplamento do conjunto auxiliar de acionamento do moinho.
- Substituição do reostato atual, com comutação por pontos, por reostato líquido adaptado (disponível) para a partida remota do motor de anéis do moinho.
- Substituição de termostato por transdutor de temperatura no mancal de entrada do moinho.
- Substituição de termostato por transdutor de temperatura no mancal de saída do moinho.
- Substituição de termostato por transdutor de temperatura no redutor de velocidade do moinho.

A Tabela 1 apresenta os pontos de entrada e saída levantados na área industrial, já consideradas as modificações anteriormente mencionadas. Essa tabela mostra as quantidades de Entradas Digitais (ED), Saídas Digitais (SD), Entradas Analógicas (EA) e Saídas Analógicas (SA), referentes a cada descrição dos

sensores e atuadores, associadas ao respectivo código de identificação (TAG) do equipamento onde estão instaladas.

Tabela 1 – Entradas e saídas do processo

DESCRIÇÃO DO SENSOR / ATUADOR	TIPO	TAG - EQUIPAMENTO													TOTAL	
		B-01	B-11	B-13	B-14	B-15	B-16	B-16.1	B-16.2	B-19	B-20	B-25	B-26	B-32		B-33
Contato liga contator	SD	1	1	1	1	1		2	1	1	1	1	1	1	1	18
Contato liga disjuntor	SD						1									
Contato desliga disjuntor	SD						1									
Contato saída de Intertravamento	SD					1			1							84
Confirmação contator ligado	ED		1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
Disjuntor de proteção desligado ou atuado	ED		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Chave local de acionamento do motor - Impulso/Liga	ED		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Chave local de acionamento do motor - Desliga/Bloqueio	ED		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Impulso guarda rotação	ED		2	1	1								1			
Sensor de nível mínimo	ED	1	1					1								
Sensor de nível máximo	ED	2	1					1								
Contato entrada de Intertravamento	ED				1					1						
Pressostato	ED	3														
Termostato	ED							1								
Chave de fluxo de água	ED	2														
Chave de fluxo de óleo	ED	3														
Chave Fim de curso	ED					2										
Chave de emergência de cinta	ED			1	1											
Chave de desalinhamento de cinta	ED		1	1	1											
Set-point de velocidade da balança	SA		1													
Corrente do motor (A)	EA						1									12
Potência do motor (kW)	EA						1									
Peso da célula de carga	EA		1													
Velocidade real da balança	EA		1													
Temperatura mancal de entrada do moinho	EA	1														
Temperatura mancal de saída do moinho	EA	1														
Temperatura do mancal de entrada do redutor do moinho	EA	1														
Temperatura do mancal de saída do redutor do moinho	EA	1														
Temperatura do mancal de entrada do motor principal do moinho	EA	1														
Temperatura do mancal de saída do motor principal do moinho	EA	1														
Temperatura do enrolamento do motor do moinho	EA	1														
Temperatura dos gases na saída do moinho	EA	1														
<b>TOTAL</b>		<b>20</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>115</b>

### 3.3 Requisitos lógicos e físicos

Os principais requisitos lógicos e físicos que devem ser atendidos pela arquitetura baseada em controlador e sistema de supervisão, para operação remota da instalação industrial em questão, estão listados na Tabela 2 e na Tabela 3.

A Tabela 2 mostra os requisitos lógicos da arquitetura a ser proposta enquanto a Tabela 3 apresenta os requisitos físicos da mesma arquitetura.

Nessas tabelas, a coluna intitulada “Descrição dos Requisitos” contém as principais exigências físicas e lógicas que devem ser atendidas pelos componentes presentes na arquitetura proposta neste trabalho.

Tabela 2 – Requisitos lógicos da arquitetura

ITEM	DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS	TIPO
1	Possuir interface gráfica dedicada para permitir o acesso do operador aos recursos do sistema, com validação de usuário e senha.	Funcional
2	Permitir o controle e o monitoramento dos equipamentos do sistema por meio de três janelas gráficas, conforme itens seguintes.	Funcional
3	<p><b>Janela principal:</b></p> <p>3.1 Permitir a visualização de diagrama representativo de todo o processo, com os principais equipamentos envolvidos no mesmo.</p> <p>3.2 Permitir ligar e desligar, individualmente, em modo remoto e automático, todos os equipamentos da planta, com os intertravamentos elétricos necessários ao funcionamento seguro do sistema.</p> <p>3.3 Sinalizar a ligação, o desligamento e o bloqueio elétrico dos equipamentos, em modo local, para operação assistida, em caso de manutenção ou de anomalia no sistema.</p> <p>3.4 Sinalizar o estado de cada equipamento, se ligado, desligado ou em falha e ainda se em modo local ou automático.</p> <p>3.5 Sinalizar as anomalias ocorridas nos equipamentos, com retenção dos eventos para o devido reconhecimento do operador.</p> <p>3.6 Manter registros das informações de anomalias e/ou eventos ocorridos até o devido reconhecimento pelo operador.</p> <p>3.7 Permitir, de forma remota, o rearme da retenção de anomalias. Permitir a visualização das leituras de indicações analógicas tais como temperaturas, potência elétrica, corrente elétrica, velocidade, peso e vazão, relativas a componentes do processo.</p> <p>3.8 Permitir a visualização de gráfico de indicações analógicas relativas a peso e vazão da balança dosadora, com atualizações das últimas leituras, referentes à balança dosadora, em janela com intervalo de tempo definido.</p>	Funcional

4	<p><b>Janela de acionamento do motor de anéis:</b></p> <p>4.1 Permitir a visualização de diagrama representativo do processo de partida do moinho, com todos os equipamentos envolvidos nesta operação.</p> <p>4.2 Permitir ligar e desligar, individualmente, em modo remoto e automático, o reostato e o motor de anéis do moinho, com os respectivos intertravamentos elétricos.</p> <p>4.3 Sinalizar a ligação, o desligamento e o bloqueio elétrico dos equipamentos relacionados à partida do moinho, em modo local, para operação assistida, em caso de manutenção ou de anomalia no sistema.</p> <p>4.4 Sinalizar o estado de cada equipamento do processo de partida do moinho, se ligado, desligado ou em falha e ainda se em modo local ou automático.</p> <p>4.5 Sinalizar as anomalias ocorridas nos equipamentos relacionados com a partida do moinho, com retenção para o devido reconhecimento do operador.</p> <p>4.6 Permitir, de forma remota, o rearme da retenção de anomalias.</p> <p>4.7 Permitir a visualização das leituras analógicas de indicação de temperatura, potência e corrente do motor de anéis.</p> <p>4.8 Permitir a visualização da animação referente a movimentação do líquido do reostato durante o processo de partida do motor de anéis.</p>	Funcional
5	<p><b>Janela de dosagem de escória:</b></p> <p>5.1 Permitir a visualização de diagrama representativo de todo o processo de dosagem de escória, com todos os equipamentos envolvidos no mesmo.</p> <p>5.2 Permitir ligar e desligar, individualmente, em modo remoto e automático, a balança de escória, com os intertravamentos elétricos necessários ao funcionamento do sistema.</p> <p>5.3 Sinalizar a ligação, o desligamento e o bloqueio elétrico da balança, em modo local, para operação assistida, em caso de manutenção ou de anomalia no sistema.</p> <p>5.4 Sinalizar o estado da balança, se com inversor ligado, desligado ou em falha e ainda se em modo local ou automático.</p> <p>5.5 Sinalizar as anomalias ocorridas na balança, com retenção, para o devido reconhecimento do operador.</p> <p>5.6 Permitir, de forma remota, o rearme da retenção de anomalias.</p> <p>5.7 Permitir a visualização das leituras de indicações analógicas tais como velocidade, peso e vazão, relativas a balança.</p> <p>5.8 Permitir a visualização de gráfico de indicação de vazão medida em relação ao <i>set-point</i> e gráfico do comportamento de peso, velocidade e sinal de saída de controle da balança dosadora, ambos com atualizações das últimas leituras, em janela móvel com intervalo de tempo definido.</p>	Funcional

Na coluna denominada “Tipo”, quando contida a indicação “Funcional” significa que o requisito afeta diretamente a operação do sistema em questão e quando contida a indicação “Não Funcional” essa operação não é afetada.

O mapa mental elaborado com o software livre *FreeMind*, para atender os requisitos lógicos citados na Tabela 2, é apresentado na Figura 44 (FREEMIND, 2011).

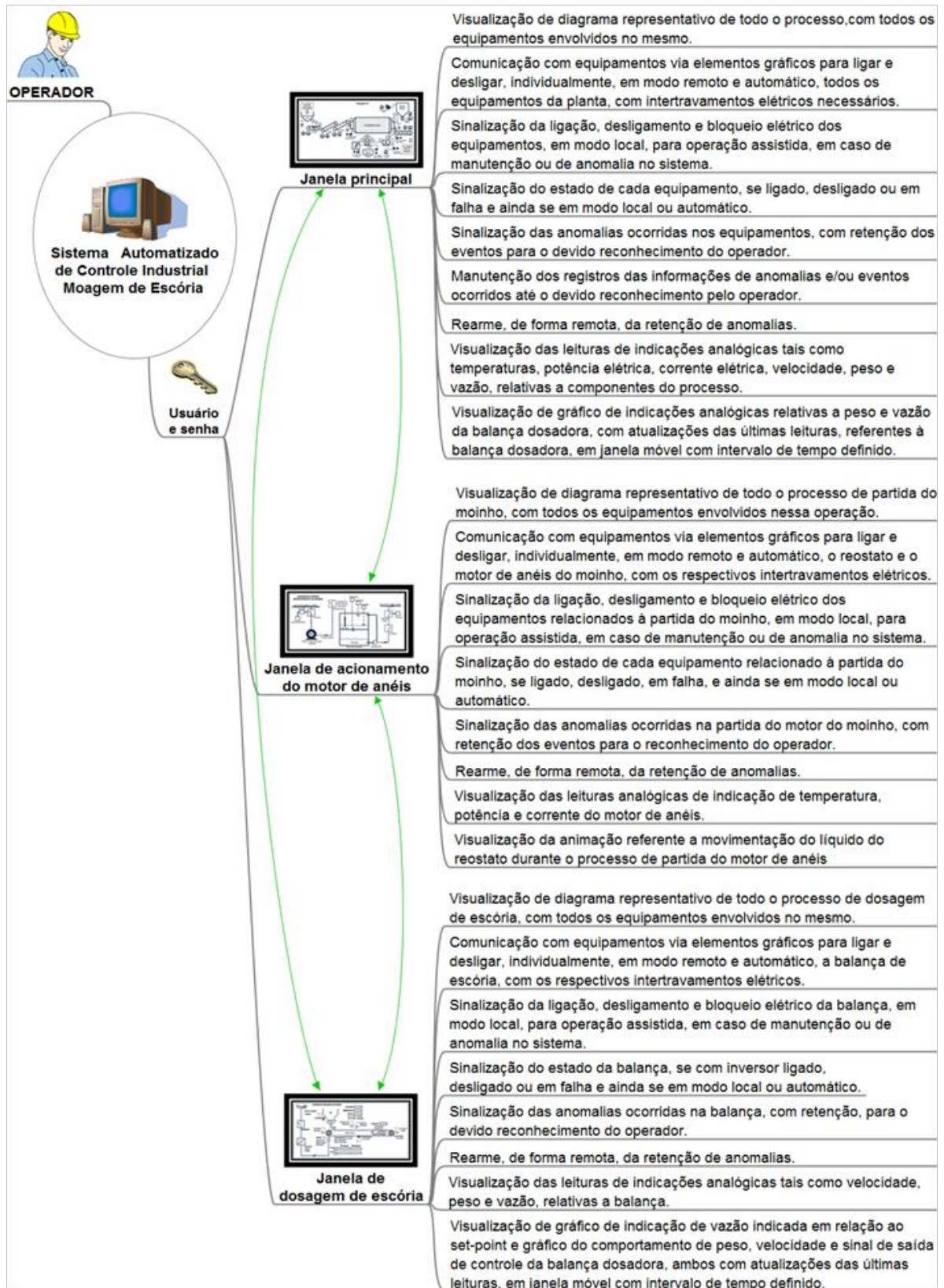


Figura 44 – Mapa mental do sistema de controle da moagem de escória

Tabela 3 - Requisitos físicos da arquitetura

ITEM	DESCRIÇÃO DE REQUISITOS	TIPO
1	A arquitetura deve possuir, no mínimo, três camadas para realizar a automação do sistema, da seguinte forma: 1.1 A primeira camada deve atender os sensores e atuadores dos presentes no processo industrial. 1.2 A segunda camada deve realizar o controle desse sistema de acordo com os passos previstos no algoritmo de gerenciamento da arquitetura. 1.3 A terceira camada deve ser dedicada para realizar a interface lógica com o operador do sistema.	Funcional
2	O transporte de sinais, digitais e analógicos, entre os sensores e atuadores da primeira camada e a interface física de entrada e saída do sistema de controle da segunda camada deve ser realizado por meio físico dedicado, sem utilizar protocolo de comunicação de dados, bidirecional e ponto a ponto.	Funcional
3	O transporte de sinais digitais entre o sistema de controle da segunda camada e a interface lógica da terceira camada deve ser realizado por meio físico dedicado, com a utilização de protocolo padronizado, bidirecional e ponto a ponto	Funcional
4	O sistema de controle da segunda camada deverá possuir: 4.1 Interface física com entradas e saídas, digitais e/ou analógicas, capaz de atenderem as amplitudes e frequências de sinais elétricos dos sensores e atuadores presentes nos módulos da arquitetura. 4.2 Memória com capacidade de armazenamento suficiente para alojar o programa que efetua o gerenciamento de todas as atividades previstas para a operação da arquitetura de automação da célula flexível. 4.3 Ciclo de processamento compatível com o modo de operação e as frequências de sinais elétricos presentes nos módulos da arquitetura. 4.4 Interface física capaz de atender as amplitudes e frequências de sinais elétricos para realizar a comunicação de dados com o módulo que aloja a interface lógica com o operador do sistema.	Funcional
5	O sistema de controle da segunda camada deverá possuir ambiente integrado de desenvolvimento capaz de operar na camada do aplicativo de computador hospedeiro com arquitetura Intel® e recursos para: 5.1 Realizar a programação, em linguagem gráfica e normalizada, dos passos previstos no algoritmo que gerencia as operações da arquitetura a ser proposta para a planta industrial. 5.2 Supervisionar os valores alcançados pelas variáveis contidas no programa de gerenciamento da arquitetura durante a sua operação.	Não Funcional
6	O computador hospedeiro que atende a terceira camada deverá possuir interface para comunicação de dados compatível com o controlador da segunda camada, arquitetura Intel® e meios necessários para alojar o ambiente integrado desenvolvimento da interface lógica e o software de supervisão SCADA ( <i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> ).	Não Funcional



### 3.4 Arquitetura proposta

Uma vez disponibilizados o total de pontos de entrada e saída e levantadas às demais características do processo industrial, juntamente com os requisitos lógicos e físicos, optou-se por propor uma arquitetura similar à mostrada na Figura 10 do item de conceitos básicos, incluindo a supervisão, o controle e os sensores e atuadores envolvidos nesse processo. Tal proposição associada à necessidade de investimentos moderados resultou na opção por controladores mais modernos, em cujo perfil se encaixa a linha de microcontroladores CUBLOC da empresa Comfile Technology (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010).

A quantidade de entradas e saídas previstas levou a adoção de duas unidades de controle, o que permitiu ao mesmo tempo testar também o comportamento do controle distribuído de microcontroladores em duas unidades diferentes. Como o processo em estudo tem dois principais componentes na linha de fabricação, que são um moinho de bolas acionado por um motor de anéis e um sistema de dosagem de escória, resolveu-se adotar um microcontrolador para cada um desses componentes. Dessa forma optou-se por utilizar o modelo CB-280 para o sistema de dosagem de escória e o modelo CB-290 para o sistema de acionamento do motor de anéis do moinho. A escolha foi efetuada com base nas características da linha de microcontroladores apresentadas no manual do fabricante (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010, pg.36).

Ainda com o intuito de se adotar uma solução de investimentos moderados optou-se por utilizar, no nível de supervisão, um *software* livre (*open-source*), com licença gratuita, do tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Com as considerações do parágrafo anterior decidiu-se então por uma arquitetura cujos controles pudessem atuar de forma independente, o sistema relativo ao acionamento do motor de anéis do moinho de bolas e o sistema de dosagem de escória. Na elaboração do programa de gerenciamento e de supervisão, foram inclusos os demais equipamentos envolvidos com o processo de moagem em estudo, cujos pontos de entradas e saídas já estão considerados no levantamento inicial. É importante salientar que, como o processo industrial teve que

ser dividido em dois grupos para a aplicação da arquitetura proposta, o intertravamento elétrico entre os equipamentos dos dois grupos, que nesse caso é relativamente simples, foi previsto por meio de entradas e saídas interligadas entre os dois blocos de controles. A arquitetura citada é mostrada na Figura 45. Essa arquitetura, considerada adequada às condições dessa aplicação, foi adotada para o desenvolvimento e testes em protótipo.

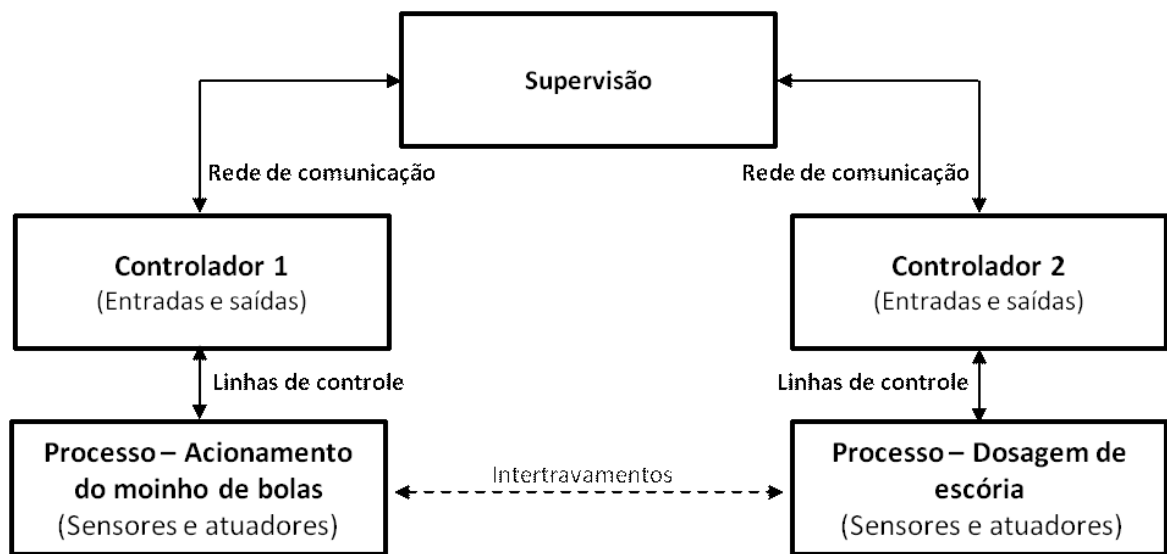


Figura 45 – Diagrama da arquitetura de automação proposta

A partir das definições mencionadas anteriormente, o detalhamento do desenvolvimento da arquitetura se deu em duas partes distintas, com base em cada um dos dois equipamentos principais do processo estudado, conforme é descrito nos subitens seguintes.

### 3.4.1 Arquitetura do sistema de acionamento do motor de anéis

Os principais componentes previstos na arquitetura proposta neste trabalho, para a automação, relativos ao reostato de partida líquido que acionará o motor do moinho de bolas do processo de moagem de escória, são mostrados na Figura 46. Nessa figura podem ser observados três blocos distintos que são intitulados de SUPERVISÃO, CONTROLE e PROCESSO, os quais são descritos a seguir.

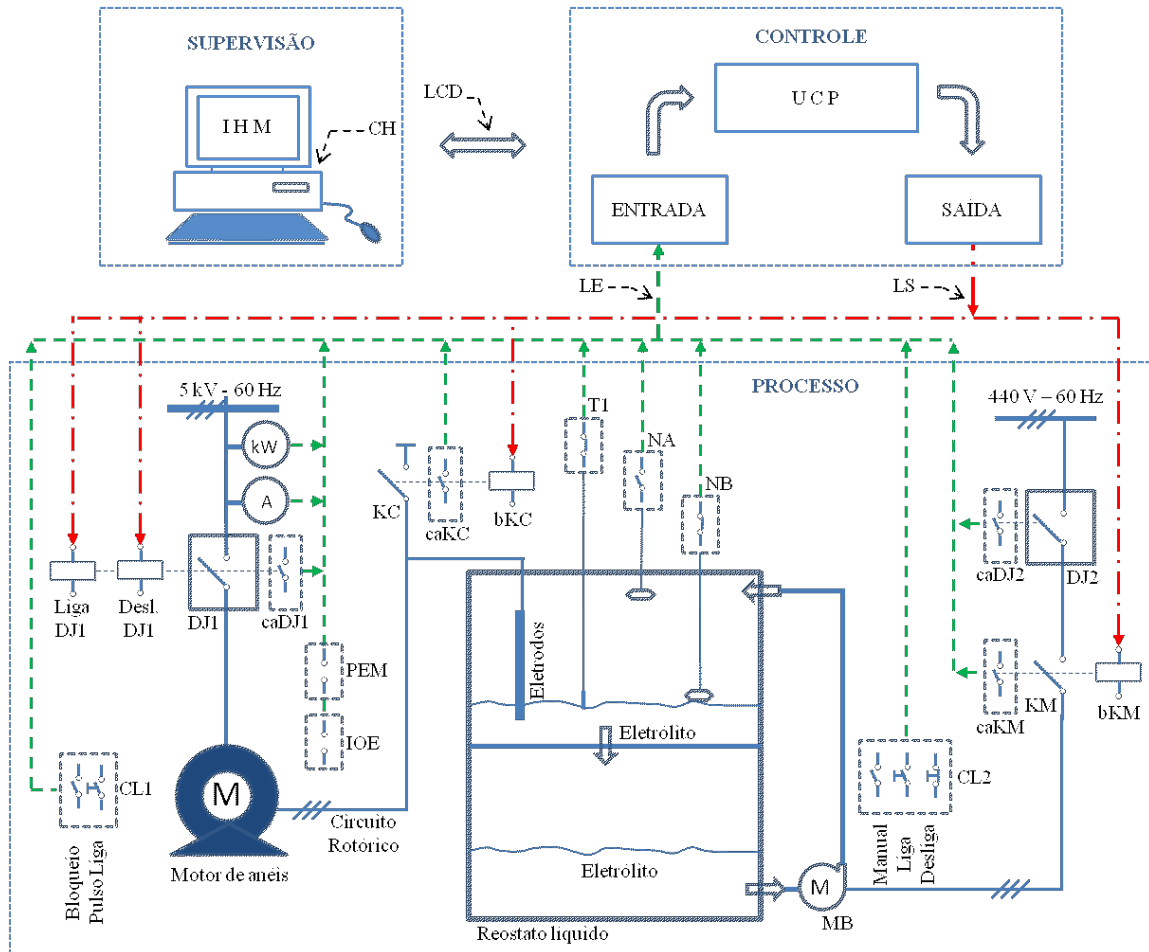


Figura 46 - Arquitetura do sistema de acionamento do motor de anéis

Seguindo-se a representação da Figura 46, no bloco que supervisiona a operação do reostato de partida líquido está previsto um computador hospedeiro (CH), o qual tem por finalidade alojar na camada do aplicativo a interface homem-máquina (IHM) e participar da transmissão e recepção de informações que estão relacionadas com os estados das variáveis contidas no programa de gerenciamento instalado no bloco CONTROLE (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Os recursos contidos nos componentes gráficos que estão previstos nas janelas dessa interface permitem: i) o controle de acesso dos usuários, ii) a parametrização de valores operacionais, iii) a sinalização de comutação da operação, iv) o acionamento do motor e v) a supervisão de estado de variáveis digitais e analógicas do sistema. Os componentes pertinentes dessa interface fazem a comunicação com as variáveis de controle por meio da Linha de Comunicação Dados (LCD) que é dedicada, isolada galvanicamente e projetada para esse tipo de função.

Ainda na Figura 46, a função do bloco intitulado CONTROLE pode ser desempenhada por um Controlador Lógico Programável (CLP) provido com Unidade Central de Processamento (UCP) e capaz de operar com entradas e saídas, digitais e/ou analógicas, que atendam ampla faixa de amplitudes e frequências de sinais elétricos (MIYAGI, 1996). Nesse controlador é instalado o programa que efetua o gerenciamento das principais atividades previstas para utilização dos recursos da arquitetura do sistema proposto (ROSÁRIO, 2005). Esse programa executa as tarefas de controle em conformidade com a seqüência de passos estabelecida no algoritmo de operação do reostato de partida líquido que acionará o motor do moinho de bolas do processo de moagem de escória.

A unidade de SAÍDA do controle é responsável por efetuar os acionamentos dos atuadores relacionados com: i) a bobina de acionamento (Liga DJ1) e desligamento (Desl. DJ1) do disjuntor (DJ1) que atende o estator do motor do moinho, ii) a bobina de acionamento (bKC) do contator (KC) que efetua o curto-circuito dos anéis para a retirada dos eletrodos do circuito de partida do rotor do motor e iii) a bobina de acionamento (bKM) do contator (KM) da motobomba de recalque de eletrólito do reostato. Os sinais elétricos individuais desses acionamentos são transferidos para os atuadores por meio das linhas de saída (LS).

De modo complementar, a unidade de ENTRADA recebe os sinais de comando e supervisão provenientes: i) dos contatos (Bloqueio e Pulso Liga) da chave para operação local (CL1) do motor do moinho, ii) dos contatos de intertravamentos com outros equipamentos da moagem (IOE) e outras proteções específicas do moinho (PEM), iii) dos sistemas sensores analógicos relacionados com a corrente aparente (A) e potência ativa (kW) do motor do moinho, iv) do contato auxiliar (caDJ1) de estado do disjuntor do motor do moinho (DJ1), v) do termostato de controle de temperatura do eletrólito (T1), vi) do sistema sensor de nível alto (NA) e de nível baixo (NB) do eletrólito, vi) dos contatos (Manual, Liga e Desliga) da chave de operação local (CL2) da motobomba de recalque de eletrólito (MB) e vii) do contato auxiliar (caDJ2) de estado do disjuntor (DJ2) e do contato auxiliar (caKM) do contator (KM) que atendem a motobomba de recalque. Esses sinais elétricos de supervisão são enviados para a entrada do controle por meio das linhas de entrada (LE).

As linhas de entrada e saída, no bloco de controle, são isoladas galvanicamente do restante do sistema elétrico industrial, de onde provem as informações dos sensores e para onde são enviados os comandos aos atuadores. Esse procedimento tem por finalidade evitar interferência entre os sistemas.

No PROCESSO citado na Figura 46 estão previstos os seguintes grupos de elementos que são supervisionados e/ou comandados e/ou controlados: i) quadro da chave local do estator (CL1), circuitos do estator e rotor do motor de anéis que atende o moinho e ii) quadro da chave local do reostato (CL2), níveis do eletrólito no tanque (NA e NB), termostato do eletrólito (T1) e circuito de acionamento da motobomba (MB) que efetua o recalque do eletrólito entre a parte inferior e superior do tanque do reostato.

A configuração definida para o circuito elétrico do reostato permite que a sua operação seja realizada de dois modos distintos, ou seja, modo assistido (local) e modo remoto. No modo assistido a operação depende de ação direta do operador no local da instalação do reostato, sendo esse modo destinado especificamente para a situação de manutenção ou perda do sistema de acionamento remoto. Em ambos os casos as proteções contra as sobrecorrentes (DJ1 e DJ2) estarão ativas, a fim de minimizar as conseqüências causadas por possíveis manifestações de faltas elétricas nos circuitos envolvidos com a partida do motor. O modo remoto deve ser prioritariamente utilizado por privilegiar a segurança física dos operadores do sistema e efetuar automaticamente a seqüência de ações necessárias para realizar a partida do motor que atende o moinho.

### **3.4.2 Arquitetura do sistema de dosagem de escória**

De forma análoga ao sistema apresentado anteriormente para acionamento do motor de anéis, os principais componentes previstos na arquitetura proposta neste trabalho, relativos à automação do sistema de dosagem de escória que alimenta o moinho de bolas, do processo de moagem de escória são mostrados na Figura 47. Nessa figura também podem ser observados três blocos distintos que são intitulados de SUPERVISÃO, CONTROLE e PROCESSO, os quais são descritos a seguir.

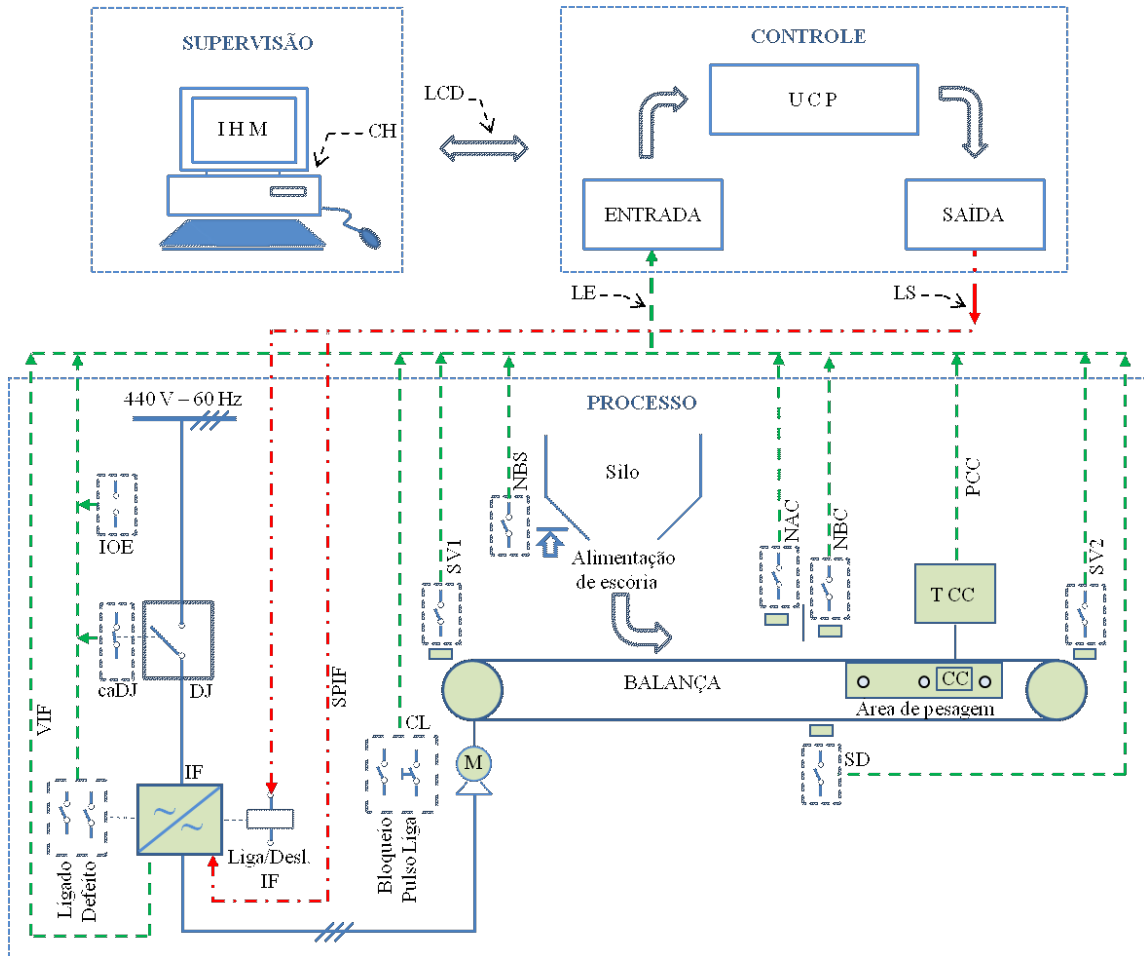


Figura 47 - Arquitetura do sistema de dosagem de escória

Conforme previsto na Figura 47, o bloco que supervisiona a operação de dosagem de escória é composto por um computador hospedeiro (CH), o qual tem por finalidade alojar na camada do aplicativo a interface homem-máquina (IHM) e participar da transmissão e recepção de informações que estão relacionadas com os estados das variáveis contidas no programa de gerenciamento instalado no bloco CONTROLE (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Os recursos contidos nos componentes gráficos que estão previstos nas janelas dessa interface permitem: i) o controle de acesso dos usuários, ii) a parametrização de valores operacionais, iii) a sinalização de comutação da operação, iv) o acionamento do motor e v) a supervisão de estado de variáveis digitais e analógicas do sistema. Os componentes pertinentes dessa interface fazem a comunicação com as variáveis de controle por meio da Linha de Comunicação Dados (LCD) que é dedicada, isolada galvanicamente e projetada para esse tipo de função.

A função do bloco intitulado CONTROLE da Figura 47 pode ser desempenhada por um Controlador Lógico Programável (CLP), provido com Unidade Central de Processamento (UCP) e capaz de operar com entradas e saídas, digitais e/ou analógicas, que atendam ampla faixa de amplitudes e freqüências de sinais elétricos (MIYAGI, 1996). Nesse controlador é instalado o programa que efetua o gerenciamento das principais atividades previstas para utilização dos recursos da arquitetura do sistema proposto (ROSÁRIO, 2005). Esse programa executa as tarefas de controle em conformidade com a seqüência de passos estabelecida no algoritmo de operação do sistema de dosagem da alimentação do moinho de bolas do processo de moagem de escória. A unidade de SAÍDA do controle é responsável por efetuar os acionamentos dos atuadores relacionados com: i) a operação de energização e desligamento (Liga/Desl. IF) do inversor de freqüência (IF) responsável pelo acionamento do motor (M) da balança dosadora, e, ii) o sinal analógico de referência de velocidade (SPIF) para o inversor de freqüência (IF). Os sinais elétricos individuais desses acionamentos são transferidos para os atuadores por meio das linhas de saída (LS). De modo complementar, a unidade de ENTRADA recebe os sinais de comando e supervisão provenientes: i) dos contatos de estado do inversor de freqüência (IF) acionado (Ligado) e em situação de falha (Defeito), ii) do nível analógico de rotação (VIF) do motor (M) com base na freqüência do inversor (IF), iii) do contato auxiliar (caDJ) de estado do disjuntor (DJ), iv) dos contatos de inter-travamentos com outros equipamentos (IOE) do circuito de moagem, v) dos contatos de desligamento (Bloqueio) e de ligação (Pulso Liga) provenientes da chave para operação local (CL) do motor (M) da balança, vi) do sistema do sensor de nível baixo (NBS) do silo de alimentação de escória, vii) do sistema dos sensores de pulsos (SV1 e SV 2) relacionados às velocidades dos eixos de entrada e saída da correia da balança, viii) do sistema dos sensores de nível alto (NAC) e nível baixo (NBC) da camada de material sobre a correia da balança, ix) do sinal analógico (PCC) proporcional ao peso sobre a célula de carga (CC) da área de pesagem da balança, proveniente do transdutor de célula de carga (TCC), e, x) do sistema sensor de desalinhamento (SD) da correia da balança. Esses sinais elétricos de comando e supervisão são enviados para a entrada do controle por meio das linhas de entrada (LE).

As linhas de entrada e saída, no bloco de controle, são isoladas galvanicamente do restante do sistema elétrico industrial, de onde provem as

informações dos sensores e para onde são enviados os comandos aos atuadores. Esse procedimento tem por finalidade evitar interferência entre os sistemas. No processo mostrado na Figura 47 estão previstos os seguintes grupos de elementos que são supervisionados e/ou comandados e/ou controlados: i) o circuito elétrico relacionado à alimentação do motor (M) da balança, onde estão localizados o disjuntor (DJ) e o inversor de frequência (IF), ii) o silo de armazenamento da escória que alimenta a balança dosadora, e, iii) a balança propriamente dita, composta pelo transportador de correias da balança, com respectivo motor (M) e chave local de acionamento (CL), área de pesagem com sensor de peso do tipo célula de carga (CC) e respectivo transdutor de célula de carga (TCC), e ainda os dispositivos auxiliares com funções de detectar alterações de rotações ou bloqueios nos eixos de entrada e saída, níveis mínimos e máximos na camada de material e desalinhamento da correia.

A configuração definida para o circuito elétrico da balança dosadora permite que a sua operação seja realizada de dois modos distintos, ou seja, modo assistido (local) e modo remoto. No modo assistido a operação depende de ação direta do operador no local da instalação da balança, sendo esse modo destinado especificamente para a situação de manutenção ou perda do sistema de acionamento remoto. Em ambos os casos a proteção contra sobrecorrente (DJ) e as proteções do inversor de frequência estarão ativas, a fim de minimizar as consequências causadas por possíveis manifestações de faltas elétricas nos circuitos envolvidos com a dosagem de material. O modo remoto deve ser prioritariamente utilizado por privilegiar a segurança física dos operadores do sistema e efetuar automaticamente a seqüência de ações necessárias para realizar a dosagem de escória na alimentação do moinho.

### **3.5 Protótipo**

Com a meta de atender os objetivos previstos neste trabalho foi desenvolvido um protótipo para realizar os testes envolvendo o bloco de SUPERVISÃO, os dois blocos de CONTROLE e os sinais elétricos de entrada e saída, digitais e analógicos, que estão relacionados com blocos de PROCESSO de cada um dos controladores.



O protótipo adotado foi preparado e testado, em uma primeira fase com o foco no controlador relativo ao sistema de acionamento do motor de anéis do moinho de bolas de forma individual e em uma segunda etapa, também de forma individual, focando o segundo controlador, referente ao sistema de dosagem de escória. Ao final das duas etapas o protótipo foi testado também na configuração completa para simular a supervisão e os dois controles, trabalhando simultaneamente, com respectivos processos. Nessa configuração final o programa de supervisão, o programa de gerenciamento e os testes de simulações consideraram também os demais equipamentos da planta de moagem de escória.

A Figura 48 mostra o protótipo completo utilizado nos testes de simulação. Nesse protótipo foram realizados os testes para validar as funcionalidades previstas na arquitetura mostrada na Figura 45, que inclui o bloco de supervisão, os dois blocos de controle (Controle 1 e Controle 2), com respectivos blocos de processo (Processo 1 e Processo 2).

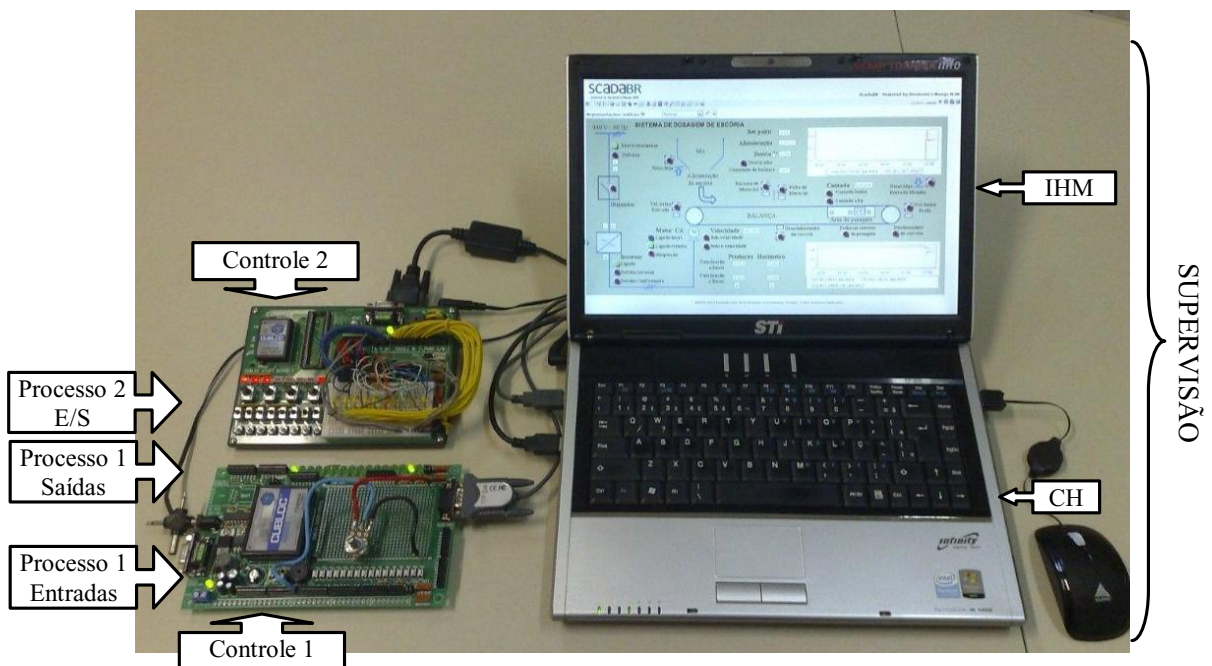


Figura 48 – Protótipo para supervisão, controle e processo

No protótipo apresentado na Figura 48 o bloco de SUPERVISÃO é composto por: i) computador hospedeiro (CH) do tipo portátil (*notebook*) que adota a arquitetura Intel® de 32 bits ou compatível e sistema operacional Windows Vista® e

ii) interface homem-máquina (IHM) que foi elaborada com os recursos disponíveis no ambiente integrado de desenvolvimento do sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (*Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*) (SILVEIRA, 2002).

O meio físico definido para efetuar a comunicação de dados (LDC) entre o bloco de SUPERVISÃO e CONTROLE utiliza o padrão EIA (*Electronic Industries Alliance*) 232.

No bloco CONTROLE 1 é utilizado um conjunto de desenvolvimento (*Cubloc Start Kit 290* com microcontrolador Cubloc CB-290, Comfile Technology, 2010), com capacidade de desempenhar o ciclo de operação e as funções de processamento que são típicos de Controlador Lógico Programável (CLP), além de gerar e receber os sinais, digitais e/ou analógicos, similares àqueles previstos nos sensores e atuadores da arquitetura proposta para automatizar o reostato de partida líquido.

Já no bloco CONTROLE 2 é utilizado um conjunto de desenvolvimento (*Cubloc Start Kit 280* com microcontrolador Cubloc CB-280, Comfile Technology, 2010) para desempenhar as mesmas funções citadas anteriormente, porém no sistema de dosagem de escória.

As duas unidades centrais de processamento (UCP's) estão conectadas ao bloco de supervisão, conforme previsto na arquitetura proposta da Figura 45.

As interfaces físicas para a entrada e saída (E/S) de sinais elétricos, digitais e/ou analógicos, que representam aqueles gerados e fornecidos pelos dois blocos de PROCESSO estão disponíveis nos terminais das respectivas placas de desenvolvimento utilizadas nos testes práticos.

### **3.5.1 Protótipo para o sistema de acionamento do motor de anéis**

Uma vista do protótipo que está relacionada com a arquitetura proposta para automatizar o reostato de partida líquido para acionar o motor de anéis do moinho de bolas é apresentada na Figura 49. Nota-se que neste caso utiliza-se somente um dos conjuntos de desenvolvimento, que representa os blocos CONTROLE 1 e PROCESSO 1.

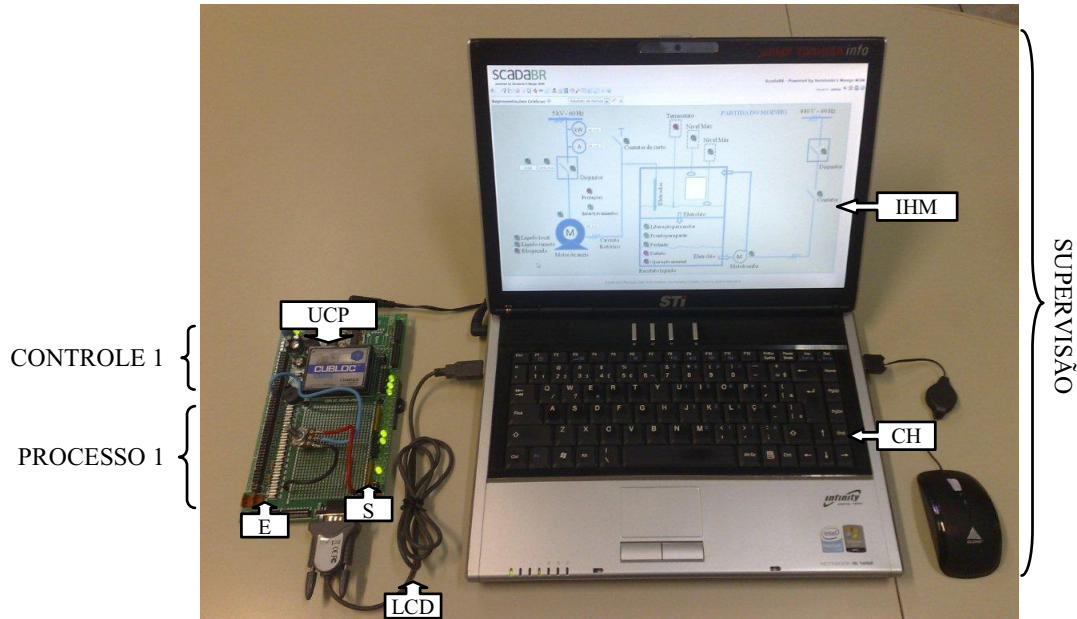


Figura 49 - Vista do protótipo para o sistema de acionamento do motor de anéis

Nesse protótipo pode-se observar o bloco de SUPERVISÃO, composto pelo computador hospedeiro (CH) e a interface homem-máquina (IHM), mostrando a janela de operação dedicada ao sistema de acionamento do motor de anéis. Estão destacados também nessa figura; i) as posições do bloco CONTROLE 1, com sua respectiva unidade central de processamento (UCP); ii) a interligação do CONTROLE 1 ao computador hospedeiro (CH) via linha de comunicação de dados (LCD); e, ii) o bloco PROCESSO 1, com respectivos sinais de entradas (E) e saídas (S).

### 3.5.2 Protótipo para o sistema de dosagem de escória

Uma vista do protótipo com o conjunto de desenvolvimento representativo dos blocos CONTROLE 2 e PROCESSO 2, que estão relacionados com a arquitetura proposta para automatizar a dosagem de escória no moinho de bolas, é apresentada na Figura 50. Nesse protótipo pode-se observar o bloco SUPERVISÃO, composto pelo computador hospedeiro (CH) e a interface homem-máquina (IHM), mostrando desta vez a janela de operação dedicada ao sistema de dosagem de escória. Estão destacados também nessa figura; i) as posições do bloco CONTROLE 2, com sua respectiva unidade central de Processamento (UCP); ii) a interligação do CONTROLE 2 ao computador hospedeiro (CH) via linha de lomunicação de lados

(LCD); e, ii) o bloco PROCESSO 2, com respectivos sinais de entradas e saídas (E/S).

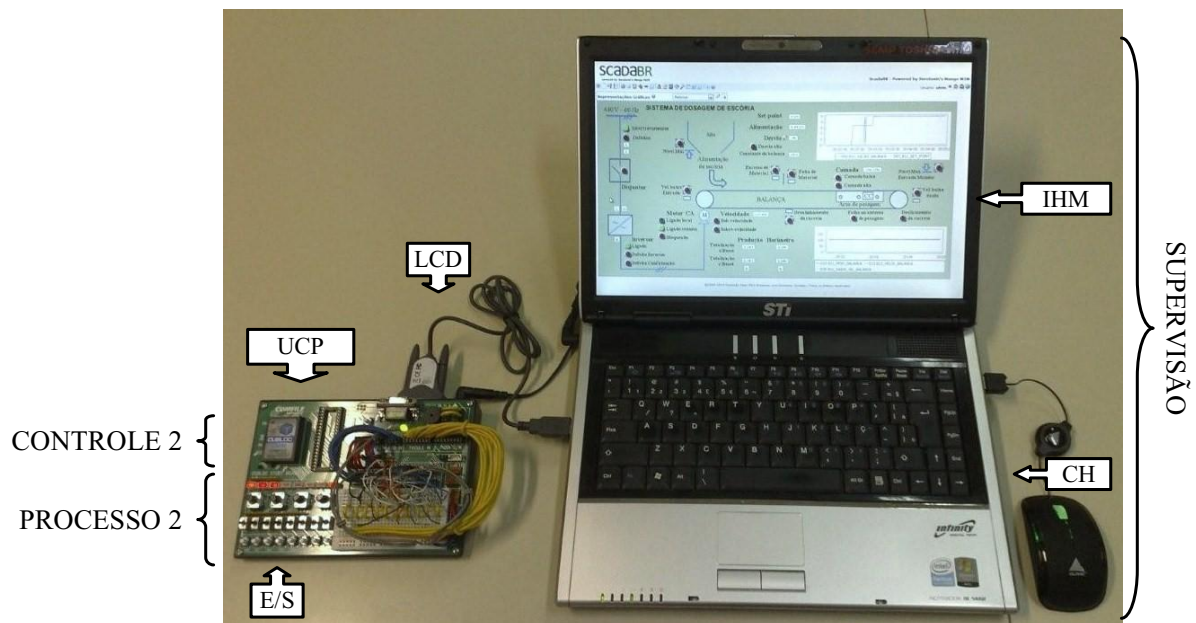


Figura 50 - Vista do protótipo para o sistema de dosagem

### 3.6 Programas de gerenciamento

Para atender os testes relacionados com as duas versões de protótipos, preparados para as simulações, foram desenvolvidos também os respectivos programas de gerenciamento de arquitetura considerando funcionamentos individuais para cada um dos blocos de controle. Assim, desenvolveu-se um programa para atendimento ao sistema de acionamento do motor de anéis do moinho de bolas e outro para o sistema de dosagem de escória do referido moinho. Esses programas já consideraram os demais equipamentos da planta relacionados nos levantamentos de campo.

De forma a atender requisitos de segurança da operação e visando a localização rápida de falhas, os programas são providos de intertravamentos entre os equipamentos do processo e confirmação da atuação dos principais equipamentos por meio de contatos auxiliares provenientes de contadores e disjuntores. Os sensores com funções de segurança normalmente operam no modo de contato fechado de forma a assegurar a indicação de falha em situações de

rompimento de cabo ou na atuação de dispositivo de proteção da alimentação elétrica desses sensores.

Os subitens seguintes mostram com mais detalhes os algoritmos utilizados no desenvolvimento de cada um desses dois sistemas.

### **3.6.1 Algoritmo para acionamento do motor de anéis**

O programa de gerenciamento da arquitetura que foi elaborado para atender os testes relacionados com a primeira versão do protótipo, considera no seu algoritmo as possíveis seqüências de atividades que o operador deve executar para acionar o reostato de partida líquido em dois principais modos de operação, ou seja, modo assistido (local) e modo remoto.

No modo assistido as ações de acionamento do reostato que atende o motor são executadas pelo operador na área física de instalação da planta de produção, sendo que esse modo de operação é utilizado para a manutenção do sistema ou na hipótese de manifestação de anomalia no sistema de acionamento remoto. O modo remoto é o mais seguro, por possuir automatismo para realizar as ações de acionamento do reostato de partida do motor do moinho e permitir que o operador efetue a supervisão e o comando desse acionamento a partir de local afastado da planta de produção.

A seqüência de passos adotados no algoritmo implementado para atender às necessidades do sistema de acionamento do motor de anéis estão descritos a seguir:

#### **Passo 1 - Registrar usuário e senha para acesso ao sistema.**

Digitar nome do usuário e senha.

Usuário e senha corretos?

Sim. Executar passo 2.

Não. Repetir o passo 1.

#### **Passo 2 - Verificar as condições para partida do reostato.**

Conferir ausência de sinalização de defeito no reostato.

Conferir nível de eletrólito na posição mínima.

Conferir contator de curto-circuito aberto.

Conferir ausência de proteções atuadas no circuito da motobomba do reostato.

Reostato pronto para partir?

Não. Ir para o passo 3.

Sim. Chave local de seleção na posição automático ou manual ?

Manual. Ir para o passo 4.

Automático. Ir para o passo 5.

**Passo 3 - Gerar alarme e providenciar correção do problema.**

Gerar alarme correspondente, verificar as causas do problema, providenciar correção.

Retornar ao passo 2.

**Passo 4 - Acionar botão liga local, no reostato.**

Acionar botão liga local no painel do reostato.

Ir para o passo 8.

**Passo 5 - Verificar proteções e intertravamentos do motor principal (motor de anéis).**

Conferir ausência de atuação de proteções no circuito do motor de anéis.

Conferir condições de intertravamentos com outros equipamentos do processo.

Motor pronto para partir?

Não. Ir para o passo 6.

Sim. Ir para o passo 7

**Passo 6 - Gerar alarme e providenciar a correção do problema.**

Gerar alarme correspondente, verificar as causas do problema e providenciar correção.

Retornar ao passo 5.

**Passo 7 - Acionar comando liga motor principal, remoto ou local.**

Acionar o comando Liga Motor principal, de forma remota no sistema de supervisão ou no modo assistido por meio da Chave de acionamento local.

Motor principal (motor de anéis) ligado?

Não. Ir para o passo 6.

Sim. Ir para o passo 8.

**Passo 8 - Acionar motobomba do reostato.**

Acionar motobomba do reostato automaticamente quando atuado o botão liga local no reostato ou quando confirmado a entrada em operação do disjuntor do motor de anéis.

Confirmação de motobomba ligada?

Não. Ir para o passo 3.

Sim. Ir para o passo 9.

**Passo 9 - Aguardar movimentação do eletrólito do nível mínimo para o nível máximo.**

Acompanhar a movimentação do eletrólito do nível mínimo para o nível máximo dentro dos tempos estipulados no programa de partida.

Nível saiu do mínimo?

Não. Tempo esgotado para o nível mínimo atuado?

Não. Continuar o acompanhamento.

Sim. Ir para o passo 3.

Sim. Nível máximo atuado?

Não. Tempo esgotado na partida?

Não. Continuar o acompanhamento.

Sim. Ir para o passo 3.

Sim. Ir para o passo 10.

**Passo 10 - Acionar contator de curto-circuito dos anéis do motor.**

Acionar automaticamente o contator de curto-circuito dos anéis do motor com a atuação do nível máximo e mantê-lo acionado enquanto o disjuntor do motor de anéis permanecer ligado, no modo remoto ou até que seja acionado o botão desliga no painel do reostato.

Contator de curto-circuito ligado?

Não. Ir para o passo 11.

Sim. Ir para o passo 12.

**Passo 11 - Interromper processo de partida.**

Interromper o processo de partida por meio do desligamento do disjuntor do motor de anéis e da motobomba.

Ir para o passo 3.

**Passo 12 - Desligar motobomba**

Desligar automaticamente a motobomba com a entrada do contator de curto-circuito.

Acompanhar a saída do eletrólito do nível máximo conforme o tempo estipulado.

Motobomba desligada?

Não. Ir para o passo 11

Sim. Nível saiu do máximo?

Não. Tempo esgotado para o nível máximo?

Não. Continuar acompanhando.

Sim. Ir para o passo 3.

Sim. Ir para o passo 13.

**Passo 13 - Partida concluída de forma normal.**

Fim do processo de partida do motor de anéis.

Acompanhar o processo e dar seqüência aos demais procedimentos operacionais.

Para o desligamento ir para o passo 14.

**Passo 14 - Início do processo de desligamento.**

Chave de seleção do reostato em modo automático ou manual?

Manual. Ir para o passo 15.

Automático. Ir para o passo 16

**Passo 15 - Acionar botão desliga do reostato.**

Acionar o botão desliga no painel do reostato para o desligamento assistido.

Ir para o passo 19.

**Passo 16 - Acionar comando desliga motor principal, remoto ou local.**

Acionar o comando desliga motor principal de forma remota no sistema de supervisão ou no modo assistido por meio da Chave de acionamento local.

Motor principal (motor de anéis) desligado?

Não. Ir para o passo 17.

Sim. Ir para o passo 19.

**Passo 17 - Acionar botão desliga mecânico, do disjuntor do motor ou do disjuntor do alimentador da SE 5 kV.**

Acionar botão de desligamento mecânico no Disjuntor do circuito alimentador do motor (5 kV) na Subestação alimentadora ou ainda no Alimentador geral da Subestação de 5 KV.

Ir para o passo 18.

**Passo 18 - Gerar alarme e providenciar correção do problema.**

Gerar alarme correspondente, verificar as causas do problema e providenciar correção. Processo de parada anormal. Fim do processo de desligamento.

**Passo 19 - Desligar contator de curto-circuito dos anéis.**

Desligar automaticamente o contator de curto-circuito dos anéis do motor com o desligamento do motor de anéis ou com o acionamento do botão desliga no painel do reostato.

Acompanhar os tempos programados para o desligamento do contator de curto-circuito e para o retorno do eletrólito do reostato ao nível mínimo.

Contator de curto-circuito desligado?

Não. Tempo esgotado para o desligamento do contator de curto-circuito?

Não. Continuar acompanhando.

Sim. Ir para o passo 18.

Sim. Nível mínimo do eletrólito atuado?

Não. Tempo esgotado para retorno ao nível mínimo?

Não. Continuar acompanhando.

Sim. Ir para o passo 18.

Sim. Ir para o passo 20.

**Passo 20 - Processo de parada normal concluído.**

Fim do processo de desligamento do motor de anéis pelo modo normal previsto. Acompanhar o processo e dar seqüência aos demais procedimentos operacionais.

A co-relação das ações apresentadas nos passos do algoritmo mostrado permitiu a elaboração dos fluxogramas analíticos para a partida e a parada do motor de anéis, que representam uma das possibilidades de operação do sistema de acionamento do mesmo. Nesse sentido são apresentados, respectivamente, na Figura 51 e na Figura 52, os fluxogramas que refletem os passos desses algoritmos.

Para se elaborar o programa de gerenciamento foi realizada uma análise detalhada dos passos do algoritmo mostrado anteriormente e respectivos fluxogramas, de forma a envolver cada um dos componentes contidos no sistema de partida do motor de anéis do moinho de bolas utilizado na planta. Essa análise permitiu relacionar, no programa de gerenciamento, as ações necessárias para o correto funcionamento do sistema proposto de forma a cumprir as funções previstas no processo industrial.

A Figura 51 mostra o primeiro fluxograma, relacionado a partida do motor de anéis do moinho de bolas. O arranque do motor é efetuado utilizando-se um reostato líquido para propiciar maior torque e limitação da corrente durante o processo de partida.



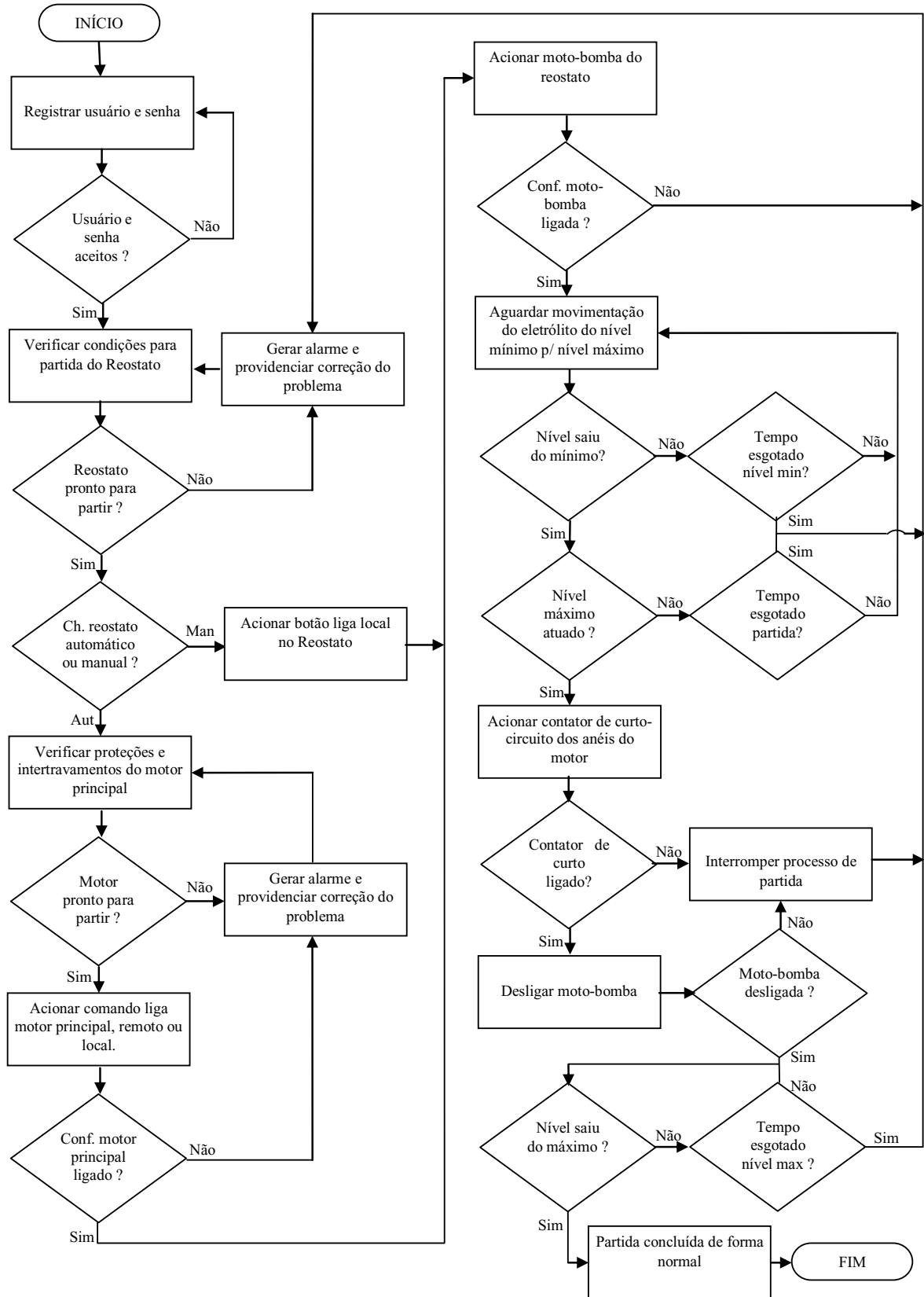


Figura 51 – Fluxograma de partida do motor com reostato líquido

Em complemento ao fluxograma de partida do motor de anéis do moinho de bolas, mostrado na Figura 51, a Figura 52 a seguir apresenta o fluxograma relativo a parada do referido motor.

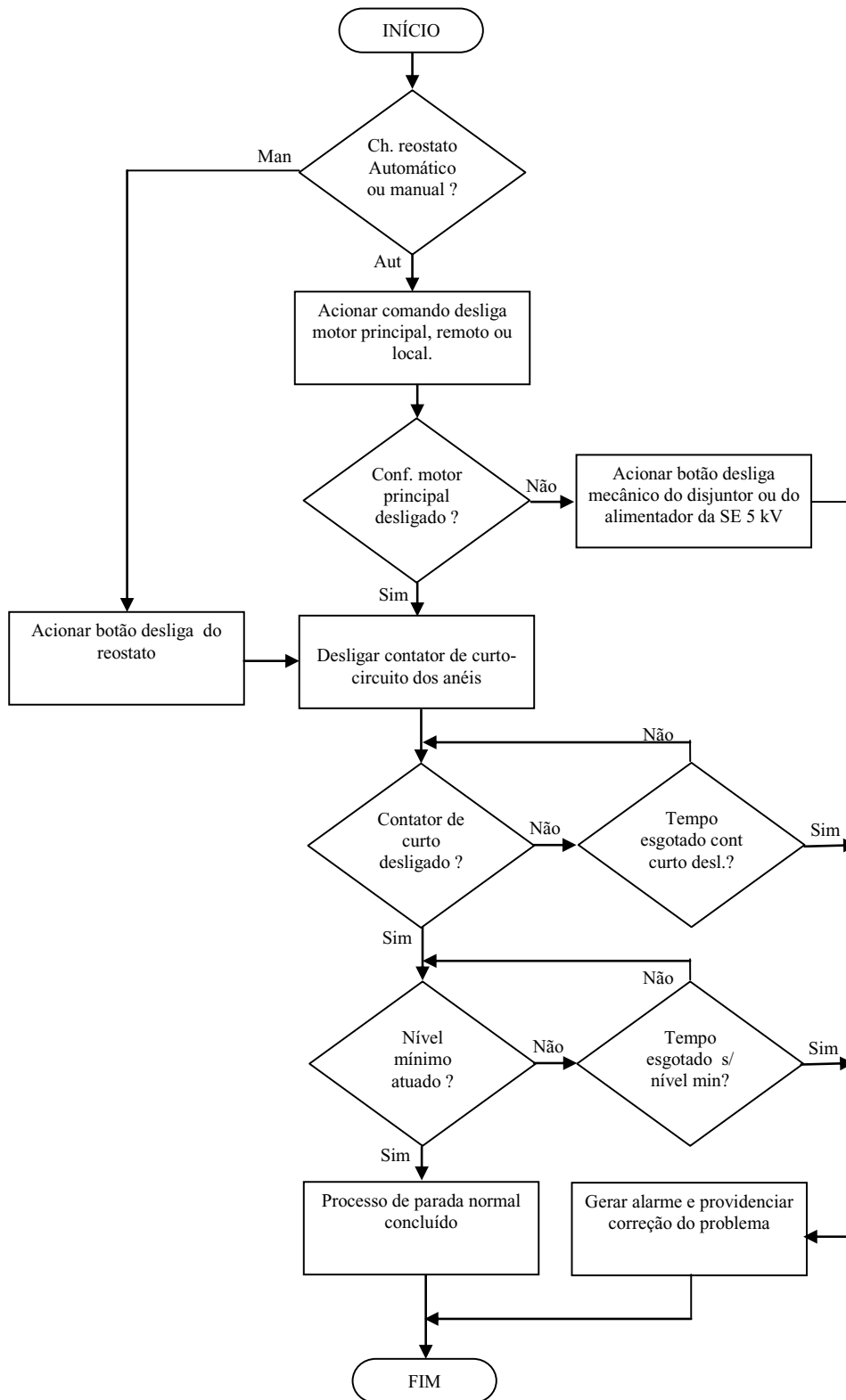


Figura 52 – Fluxograma de parada do motor com reostato líquido

### 3.6.2 Algoritmo para o sistema de dosagem de escória

Como no subitem anterior o programa de gerenciamento da arquitetura que foi elaborado para atender aos testes relacionados com a primeira versão do protótipo considera no seu algoritmo as possíveis seqüências de atividades que o operador deve executar para acionar a balança dosadora em dois principais modos de operação, ou seja, modo assistido (local) e modo remoto.

No modo assistido as ações de acionamento da balança dosadora que alimenta o moinho são executadas pelo operador na área física de instalação da planta de produção, sendo que esse modo de operação é utilizado para a manutenção do sistema ou na hipótese de manifestação de anomalia no sistema de acionamento remoto. O modo remoto é o mais seguro, por possuir automatismo para realizar as ações de acionamento da balança dosadora com todas as proteções e permitir que o operador efetue a supervisão e o comando desse acionamento. As principais variáveis a serem monitoradas e controladas nessa balança são: a camada de material, velocidade da correia e o desvio em relação à vazão solicitada.

A seqüência de passos adotados no algoritmo implementado para atender às necessidades do sistema de dosagem de escória no moinho é mostrada a seguir:

#### **Passo 1 - Registrar usuário e senha para acesso ao sistema.**

Digitar nome do usuário e senha.

Usuário e senha corretos?

Sim. Executar passo 2

Não. Repetir o passo 1

#### **Passo 2 - Abastecer o silo de escória seca.**

Abastecer o silo de escória seca com quantidade suficiente para iniciar o processo.

Ir para o passo 3.

#### **Passo 3 - Verificar proteções do disjuntor e do inversor.**

Verificar proteções relativas à balança tais como desalinhamento de cinta, atuação do disjuntor do motor e proteções do inversor de frequência.

Proteções Liberadas?

Não. Ir para o passo 19.

Sim. Verificar a posição da chave de acionamento assistido, ao lado do equipamento?

Posição Liga. Ir para o passo 5.

Posição Auto (Automático - funcionamento remoto). Ir para o passo 4.

Posição Bloqueio. Ir para o passo 19.

#### **Passo 4 - Verificar intertravamentos com transportador de correia e nível da moega.**

Verificar se o transportador de correia após a balança está funcionando para receber o material e assegurar que o nível do silo de escória seca esteja acima do mínimo.

Intertravamentos liberados?

Não. Ir para o passo 19.

Sim. Ir para o passo 5.

**Passo 5 - Ajustar a referência (Set-point) de vazão da balança.**

Ajustar a referência de vazão de trabalho (*set-point*) para a balança no sistema supervisorio, para funcionamento manual ou remoto (Auto).

Ir para o passo 6

**Passo 6 - Ligar inversor de frequência.**

Ligar inversor de frequência via chave de operação assistida no local ou via comando liga no sistema supervisorio.

Verificar a situação do inversor de frequência?

Em falha. Ir para o passo 19.

Ligado local (operação assistida). Continuar funcionando?

Sim. Acompanhar funcionamento.

Não. Ir para o passo 20.

Ligado remoto (Automático). Executar em paralelo os passos 7, 11 e 15.

**Passo 7 - Contar pulsos do guarda-rotação nos roletes de entrada e saída.**

Contar e acumular os pulsos de guarda rotação nos roletes de entrada e saída para checar a adequação de transmissão de torque/velocidade, bem como deslizamento da cinta da balança.

Ir para o passo 8.

**Passo 8 - Comparar desvios de pulsos, velocidade mínima e máxima no motor, peso mínimo e máximo na célula de carga, excesso e falta de material e vazão da balança.**

Comparar com as referências desvios de pulsos entre roletes de entrada e saída da correia, velocidade mínima e máxima no motor via inversor de frequência, peso mínimo e máximo na célula de carga, excesso e falta de material e vazão.

Desvio maior que a referência estabelecida?

Não. Ir para o passo 9.

Sim. Tempo de tolerância 1 esgotado?

Não. Continuar acompanhando o desvio.

Sim. Ir para o passo 10.

**Passo 9 - Balança normal.**

Balança em funcionamento normal no modo automático. Acompanhar o processo.

Continuar funcionando?

Sim. Manter balança funcionando, modo local ou remoto, conforme seleção.

Não. Ir para o passo 20.

**Passo 10 - Gerar alarme e providenciar correção do problema.**

Gerar alarme, analisar o problema ocorrido e providenciar correção.

Tempo de tolerância 2 esgotado?

Não. Continuar acompanhando o desvio.

Sim. Ir para o passo 19.

**Passo 11 - Ler peso, velocidade e constante de vazão.**

Ler peso, velocidade e constante de vazão, referentes à balança.

Ir para o passo 12.

**Passo 12 - Calcular vazão real em [t/h].**

Calcular a vazão real da balança em função de leitura de peso na célula de carga da balança, leitura de velocidade via sinal do inversor de frequência e constante de

ajuste calculada para a balança. Mostrar o valor calculado na janela do sistema supervisorio.  
Ir para o passo 13.

**Passo 13 - Comparar vazão real com a referência (*set-point*) de vazão.**

Comparar vazão real com a vazão de referência (*set-point*) e mostrar a diferença entre elas na janela do sistema supervisorio.  
Ir para o passo 14.

**Passo 14 - Executar algoritmo de correção.**

Executar a correção da diferença via alteração de velocidade no inversor de frequência conforme programa estabelecido.  
Retornar ao passo 11 ciclicamente enquanto a balança estiver funcionando, em modo automático.

**Passo 15 - Ler vazão real acumulada em tempo definido.**

Ler o dado de vazão calculado no passo 12, em [t/h], em um intervalo de tempo estabelecido pelo programa.  
Dividir o valor de leitura pelo número de leituras calculadas em uma hora, conforme intervalo de tempo utilizado para a tomada de leitura.  
Ir para o passo 16.

**Passo 16 - Integrar valor de vazão para a totalização.**

Integrar continuamente o valor de produção [t] obtido no passo 15 de forma a expressar o valor do peso acumulado de escória que passou pela balança em determinado período de tempo.  
Ir para o passo 17.

**Passo 17 - Totalizar peso e tempo de funcionamento da balança, com reset.**

Totalizar o valor acumulado de peso que passou na balança, obtido no passo 16, após o último rearme (*reset*) do totalizador na janela do sistema supervisorio.  
Reiniciar a contagem do totalizador de peso a cada vez que for atuado o respectivo botão de rearme (*reset*) na janela do sistema supervisorio.  
Totalizar o valor acumulado de tempo transcorrido desde a última vez que o botão de rearme (*reset*) do horímetro foi atuado na janela do sistema supervisorio.  
Reiniciar a contagem do horímetro a cada vez que for atuado o respectivo botão de rearme (*reset*) na janela do sistema supervisorio.

**Passo 18 - Totalizar peso e tempo de funcionamento da balança, sem reset.**

Totalizar o valor acumulado de peso que passou na balança desde sua entrada em operação, sem reiniciar a contagem.  
Totalizar o valor acumulado de tempo transcorrido desde a entrada em operação da balança, sem reiniciar a contagem.

**Passo 19 - Gerar alarme, bloquear equipamento e providenciar correção do problema.**

Gerar alarme, desligar (bloquear) o motor da balança, verificar a causa do problema e providenciar a correção.  
Inversor desligado?  
Não. Ir para o passo 20  
Sim. Balança desligada. Atuar conforme a origem do desligamento.

**Passo 20 - Desligar inversor de frequência.**

Desligar o inversor de frequência do motor da balança via Comando Desliga na janela do sistema supervisorio ou pela chave de operação assistida no local do equipamento.

Fim da operação relativa à balança. Acompanhar o processo e dar seqüência aos demais procedimentos operacionais.

A co-relação das ações apresentadas no algoritmo que foi elaborado permitiu a elaboração do fluxograma analítico que representa uma das possibilidades de operação do sistema de dosagem de escória para o moinho. Nesse sentido é apresentado na Figura 53, o fluxograma que reflete os passos desse algoritmo.

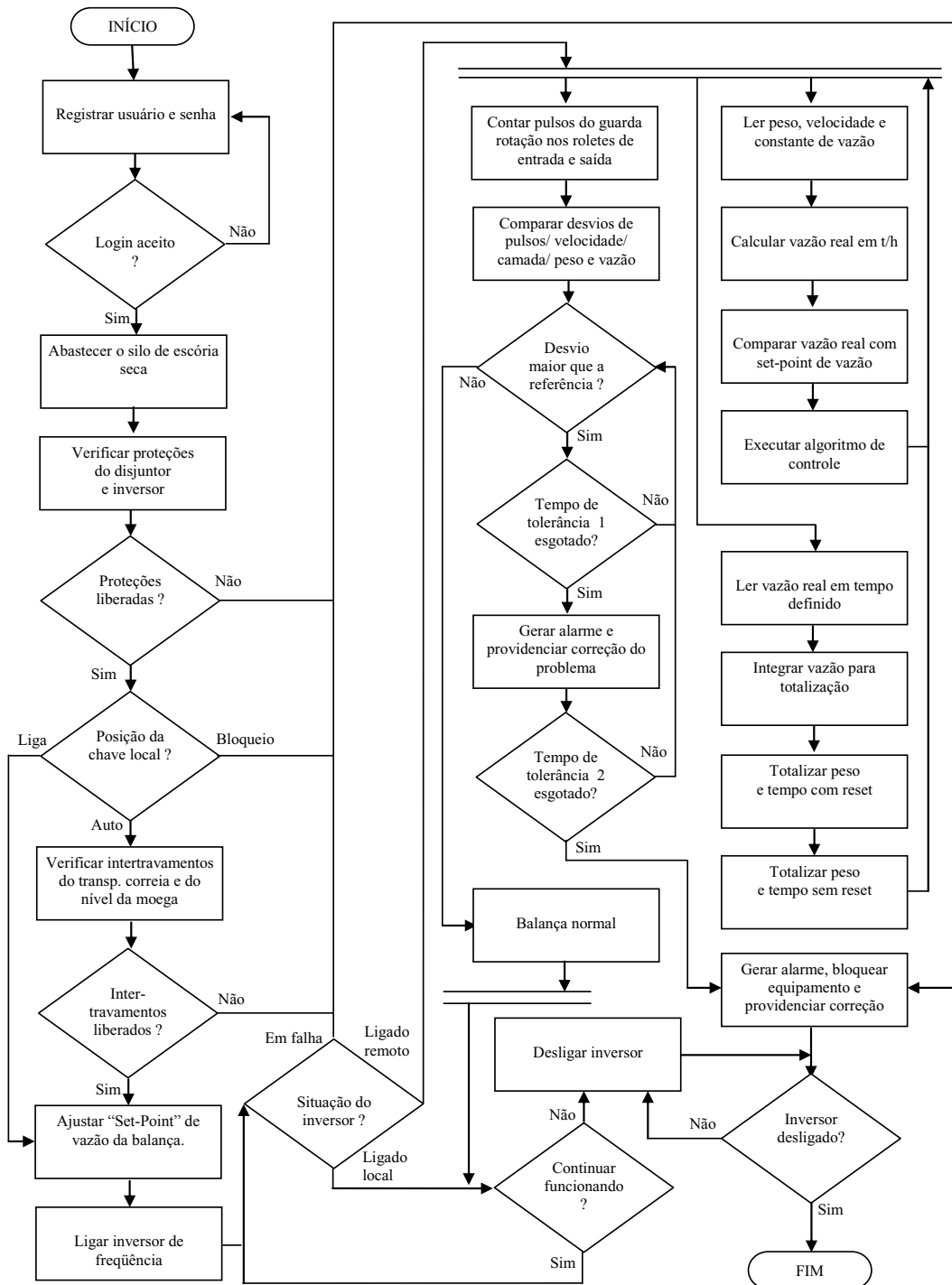


Figura 53 – Fluxograma do funcionamento da balança dosadora

Para se elaborar o programa de gerenciamento foi realizada uma análise detalhada do algoritmo citado, de forma a envolver cada um dos componentes contidos no sistema de dosagem de escória. Essa análise permitiu relacionar no programa as ações necessárias para cumprir as funções previstas no algoritmo.

### **3.7 Interfaces gráficas**

A principal função da Interface Homem-Máquina (IHM) que foi prevista neste trabalho está concentrada em servir de meio para o operador parametrizar, comandar e supervisionar as operações relacionadas com a arquitetura proposta para operação remota da moagem de escória. Essa interface foi elaborada com a utilização de um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (*Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*), com código aberto (*Open-Source*), que está disponível no mercado brasileiro, denominado ScadaBR (SCADABR, 2010). Com o objetivo de atender a arquitetura proposta para esse trabalho foram desenvolvidas janelas de interface gráfica, com os recursos do *software* anteriormente mencionado.

As três janelas desenvolvidas para a supervisão da planta de moagem de escória, objeto desse estudo, são: i) janela principal com uma visão geral de todos os equipamentos, ii) janela do sistema de acionamento do motor de anéis e, iii) janela do sistema de dosagem de escória. Essas janelas são mostradas nos subitens seguintes e para se ter acesso aos serviços contidos nas mesmas o operador tem que se identificar por meio do nome de usuário e senha.

#### **3.7.1 Interface gráfica do sistema de acionamento do motor de anéis**

A janela de operação para acionamento do moinho de bolas está na Figura 54, onde se pode observar, com alimentações elétricas distintas, na Coluna – 1 o motor de anéis que aciona o moinho de bolas e na Coluna – 2 o reostato de partida líquido utilizado pelo referido motor. Nessa janela estão também os componentes gráficos que são necessários para realizar o acionamento e efetuar as supervisões operacionais desse sistema.

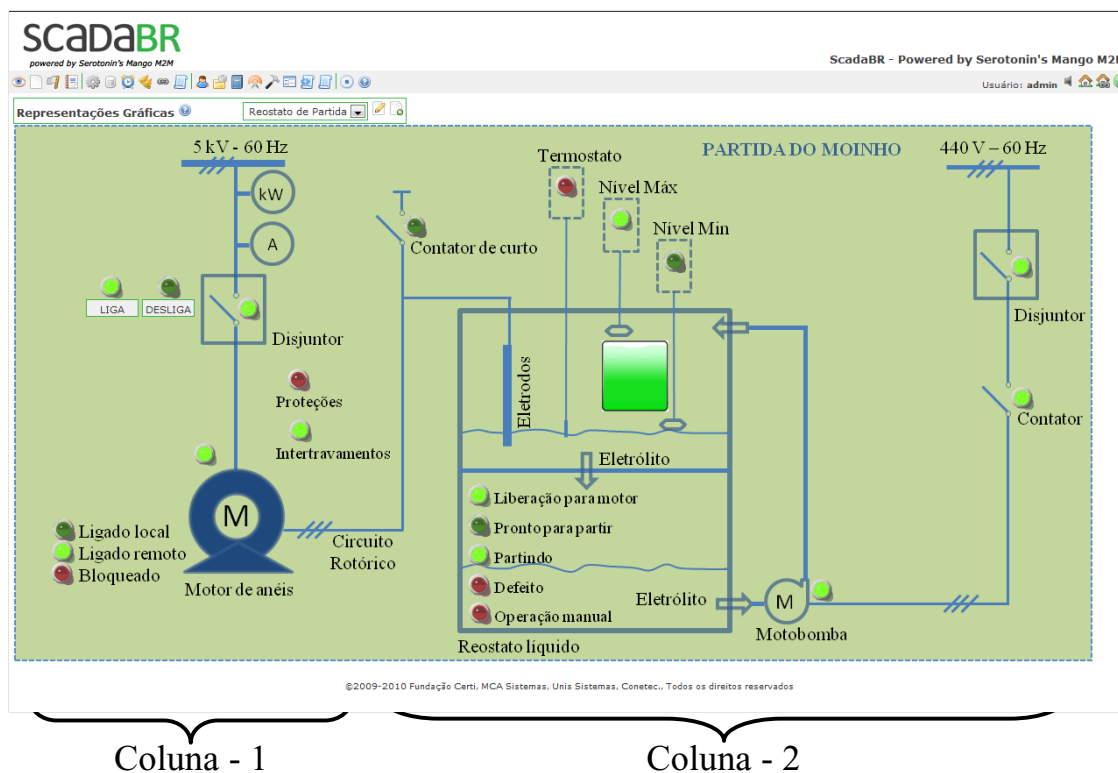


Figura 54 - Janela de interface do sistema de acionamento do motor de anéis

Na Coluna - 1 estão previstos os componentes gráficos relacionados com o acionamento e sinalizações visuais do estator do motor. Esses componentes têm por finalidades: i) ligar (LIGA) ou desligar (DESLIGA) o motor do moinho, ii) sinalizar a condição ligado ou desligado do disjuntor, iii) sinalizar atuação por sobrecorrente ou por outros dispositivos de proteção relacionados com fluxostatos, pressostatos e temperatura nos mancais do moinho (Proteções), iv) sinalizar a existência dos intertravamentos (Intertravamentos) elétricos de outros equipamentos, necessários para a operação segura do sistema, e v) sinalizar se a operação do motor está bloqueada (Bloqueado) ou está sendo realizada no local (Ligado local) ou remotamente (Ligado remoto).

Na Coluna - 2 estão previstos os componentes gráficos relacionados com as sinalizações visuais do circuito rotórico do motor. Esses componentes têm por finalidades sinalizar: i) a atuação do contator de curto-circuito dos anéis após a partida do motor para retirar do circuito os eletrodos do reostato, ii) o excesso de temperatura do eletrólito (Termostato), iii) o nível máximo (Nível Max) e o mínimo (Nível Min) de eletrólito, iv) as condições de liberação (Liberação para motor), início da partida (Pronto para partir), partida em



andamento (Partindo) e falhas (Defeito) relacionadas com a partida do motor, v) a condição de contator acionado (Contator) e motor ligado (Motobomba) para o circuito de recalque do eletrólito, vi) a condição de disjuntor da motobomba ligado ou desligado por ação manual ou por atuação de sobrecorrente (Disjuntor), e vii) a condição de operação assistida do reostato (Operação manual).

### 3.7.2 Interface gráfica do sistema de dosagem de escória

A janela principal de operação para o sistema de dosagem de escória que alimenta o moinho de bolas dessa aplicação é a mostrada na Figura 55. Nessa figura também se destaca a existência dos três setores distintos (Setores 1, 2 e 3) com os componentes gráficos necessários para realizar as operações de dosagem de escória para o moinho e efetuar as supervisões operacionais do sistema.

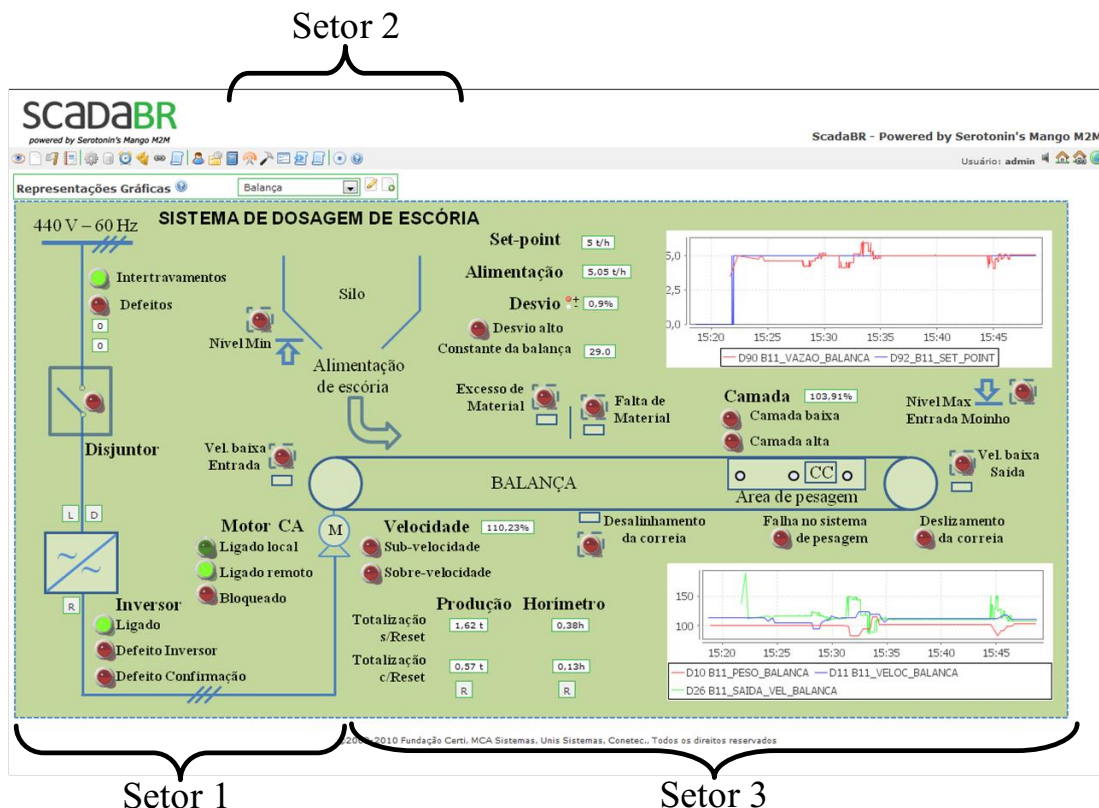


Figura 55 - Janela de interface do sistema de dosagem

No Setor 1 estão previstos os componentes gráficos relacionados com o acionamento da balança e sinalizações visuais relativas ao circuito elétrico que

envolve o disjuntor, o inversor de frequência e o motor. Esses componentes possuem as seguintes finalidades: i) ligar (L) ou desligar (D) o motor (M) da balança dosadora (BALANÇA), via inversor de frequência (Inversor), ii) sinalizar a condição de inversor de frequência acionado (Ligado), de falha interna no inversor (Defeito Inversor) e de falha na ligação ou desligamento do inversor (Defeito Confirmação), iii) re-estabelecer (*reset*) os alarmes e bloqueios (R), iv) sinalizar as condições de motor acionado (Motor CA) pela chave local no modo de operação assistida (Ligado local) ou acionado remotamente (Ligado remoto) e a condição de impedimento do equipamento (Bloqueado) por meio da Chave local, v) sinalizar a condição da proteção elétrica do inversor (Disjuntor) na condição de disjuntor aberto, desligado ou atuado, vi) sinalizar a liberação de intertravamentos elétricos de outros equipamentos (Intertravamentos), necessários para a operação segura do sistema, e vii) sinalizar a ocorrência de algum tipo de bloqueio por defeito no sistema de dosagem (Defeitos), cuja identificação pode ser obtida ao se deslizar o ponteiro de indicação do mouse, sobre o primeiro ou o segundo quadro (0) abaixo do respectivo componente gráfico sinalizador .

No Setor 2 estão previstos os componentes gráficos relacionados com o silo de matéria prima, de onde se extrai a escória para a formação de camada de material sobre a correia da balança dosadora. No silo de material está prevista a sinalização de nível baixo (Nível Min) para se evitar a falta de material no sistema de dosagem.

No Setor 3 estão previstos os componentes gráficos relacionados com as sinalizações visuais da balança dosadora de escória. Esses componentes possuem as seguintes finalidades: i) ajustar o valor da alimentação desejada (*Set-point*) em toneladas por hora (t/h) na balança dosadora, ii) mostrar a vazão real (Alimentação) em toneladas por hora (t/h) na balança dosadora, iii) mostrar o percentual da diferença (Desvio) entre a alimentação real (Alimentação) e a alimentação desejada (*Set-point*), bem como indicar se o valor real é maior (+) ou menor (-) que o solicitado, iv) sinalizar com bloqueio após o tempo ajustado, a ocorrência de erro acima da faixa permitida (Desvio alto) de forma a se evitar que a balança trabalhe com desvio de dosagem acima do valor permitido, v) mostrar o percentual de rotação (Velocidade) instantânea utilizada no motor da balança, vi) sinalizar com bloqueio após o tempo ajustado, a ocorrência de velocidades abaixo do limite (Sub-velocidade) ou acima do limite (Sobre-velocidade) recomendado para o motor

acionado por inversor de frequência, vii) mostrar o percentual instantâneo de material (Camada) depositado sobre a correia na área de pesagem da balança, viii) sinalizar com bloqueio após o tempo ajustado, alterações mais significativas nos níveis de material sobre a correia para menos (Camada baixa) e para mais (Camada alta) detectados pela célula de carga da Área de pesagem, ix) sinalizar com bloqueio após o tempo ajustado, a ocorrência de ausência de escória (Falta de Material) ou transbordamento de escória (Excesso de Material) sobre a correia da balança, x) sinalizar e bloquear equipamento por problemas de transmissão de torque no eixo de entrada da balança (Vel. Baixa Entrada) e no eixo de saída da balança (Vel. Baixa Saída), xi) sinalizar e bloquear o equipamento na ocorrência de patinação da cinta nos rolos (Deslizamento da correia) por meio da diferença de pulsos de sinais relacionados a rotação dos rolos de entrada e saída da balança, xii) sinalizar e bloquear o equipamento na ocorrência de movimentação lateral excessiva da cinta (Desalinhamento da correia), xiii) sinalizar com bloqueio após o tempo ajustado, a ocorrência de incompatibilidade entre os sinais dos sensores de nível sobre a cinta e os valores de camada baixa e camada alta provenientes da célula de carga (Falha no sistema de pesagem), xiv) mostrar de forma gráfica o comportamento da alimentação de material real da balança (VAZAO\_BALANCA) em relação ao ajuste de referência (SET-POINT), xv) mostrar de forma gráfica em percentual o comportamento da velocidade real do motor (VELOC\_BALANCA) em relação a velocidade de saída do controle (SAIDA\_VEL\_BALANCA) e em relação à camada de material sobre a balança (PESO\_BALANCA), xvi) mostrar os valores acumulados do material alimentado por meio da balança (Produção) e valores relativos ao tempo de funcionamento da mesma (Horímetro), de forma parcial (Totalização c/Reset) e de forma contínua (Totalização s/Reset) para o controle da produção, e, xvii) zerar (*reset*) o totalizador parcial de material (produção) e/ou o totalizador parcial de horas trabalhadas (horímetro), por meio dos respectivos botões (R) sob cada um dos totalizadores.

### **3.7.3 Interface gráfica geral de todo o sistema**

A janela principal utilizada para a interface geral de todo o sistema apresenta uma visão de todos os componentes relevantes previstos no processo automatizado,

desde a extração do silo de alimentação da balança até o transportador helicoidal na saída do moinho. Essa janela é mostrada de forma detalhada na Figura 56.

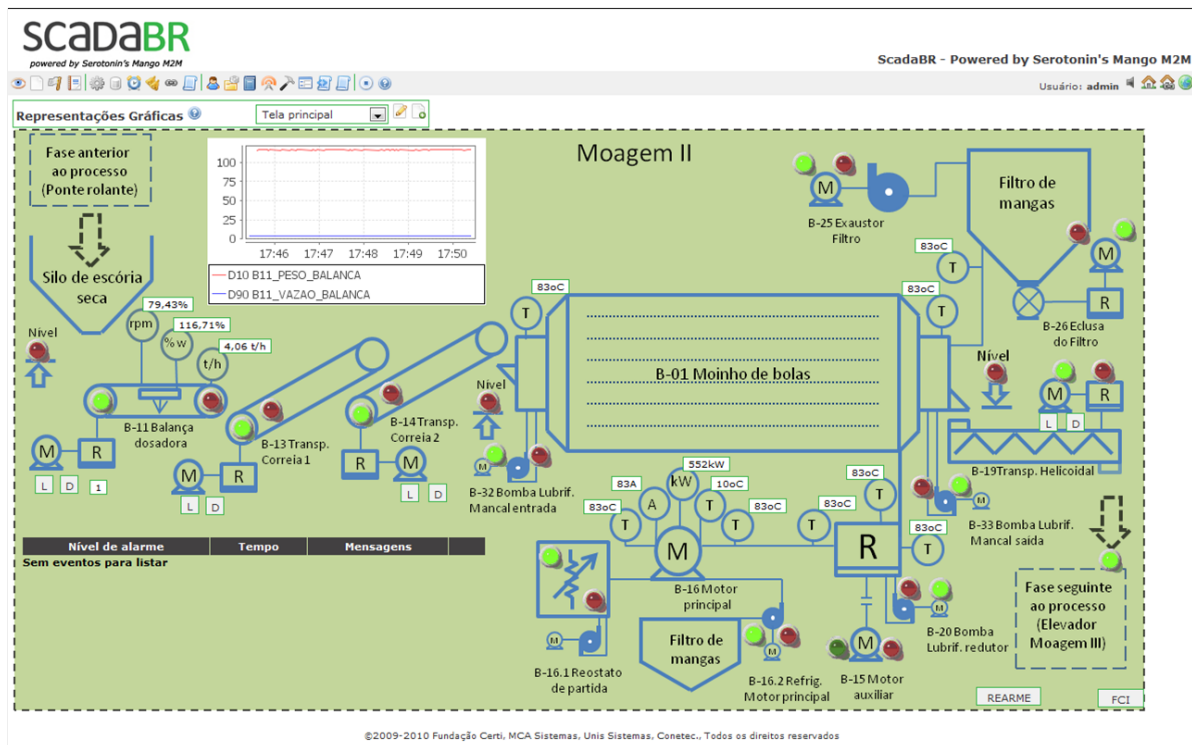


Figura 56 - Janela geral de interface gráfica

### 3.8 Testes

Essa seção se resume na realização dos testes práticos necessários para validar a arquitetura proposta, que foi detalhada nas seções anteriores neste trabalho. Foram implementados os blocos e as ligações do protótipo em conformidade com os diagramas apresentados na Figura 46 e na Figura 47. Da mesma forma, foi elaborado um programa para cada um dos dois blocos de controle, com capacidade para atender as ações contidas nos fluxogramas analíticos da Figura 51, Figura 52 e Figura 53 deste trabalho.

A execução dos testes de simulação se deu primeiro de modo individual com o sistema relativo ao acionamento do motor de anéis do moinho de bolas. Na seqüência testou-se, também de forma individual, o sistema relativo à dosagem de escória do referido moinho. Após esses dois testes foi efetuado um terceiro teste,

com os dois sistemas citados operando simultaneamente com o sistema de supervisão, de forma a reproduzir as condições de trabalho na planta.

Cada um dos testes envolvendo os dois principais componentes do processo foi efetuado em duas etapas. Na primeira etapa foram avaliados diretamente os recursos relacionados com o modo assistido de operação ou modo local e na segunda etapa foram efetuados os testes com o modo remoto de operação ou modo automático.

### 3.8.1 Testes do sistema de acionamento do motor de anéis

Os testes relacionados ao sistema de acionamento do motor de anéis do moinho de bolas foram precedidos de parametrização de temporizadores, em linhas especiais de programação para simulação da atuação de sensores de nível em função da movimentação do líquido do reostato. A atuação dos demais dispositivos de campo foram simuladas com a utilização do conjunto de desenvolvimento (*Cubloc Start Kit 290*), que utiliza o microcontrolador CUBLOC CB-290 da Comfile Technology. Esse conjunto de desenvolvimento está ilustrado na Figura 57.

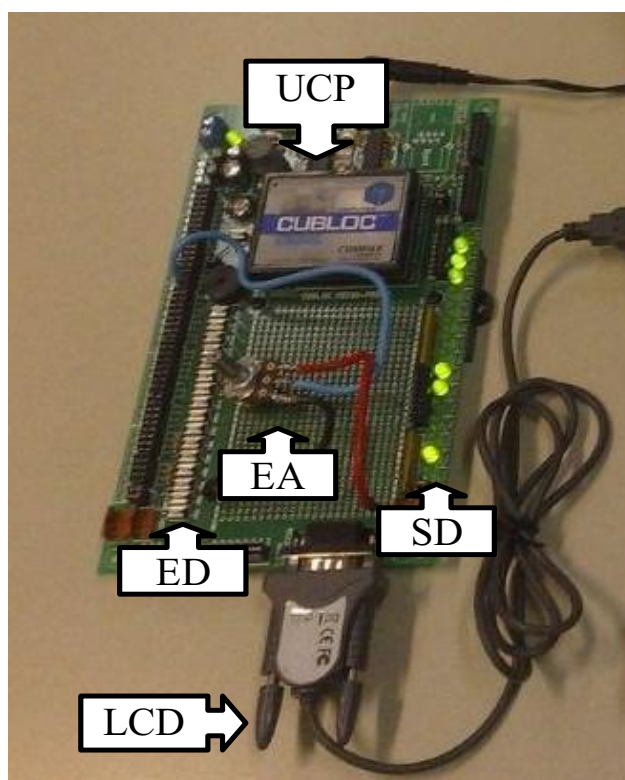


Figura 57 - Módulo experimental utilizado para o sistema do motor de anéis

Conforme mostrado na Figura 57, as saídas digitais (SD) foram direcionadas aos diodos emissores de luz (LED - *Light Emiter Diode*), as entradas analógicas (EA) foram estimuladas via potenciômetro adaptado ao conjunto de desenvolvimento e as entradas digitais (ED) foram acionados por meio de botões de pulsos. A Figura 57 mostra também posição da unidade central de processamento (UCP), e a conexão desta UCP com o computador hospedeiro via cabo da linha de comunicação de dados (LCD).

Os dispositivos de simulação, tais como chaves, botões, potenciômetros e diodos emissores de luz (LED - *Light Emiter Diode*), foram acionados um a um, (bit a bit) conforme sua representação no sistema.

Como exemplo dos testes realizados, a Figura 58 mostra o momento de acionamento de um dos botões do protótipo para simular a atuação do disjuntor de proteção do motor de anéis. Essa ação provocou, como resposta do sistema de controle, o desligamento imediato do motor de anéis e do contator de curto-circuito do reostato. As ações citadas foram representadas no conjunto de teste pelo desligamento do diodo emissor de luz (LED) que representa o contator do reostato, pelo desligamento do diodo emissor de luz (LED) que representa a bobina liga do disjuntor de alta tensão do motor e pela energização do diodo emissor de luz (LED) que representa a bobina desliga do mesmo disjuntor.

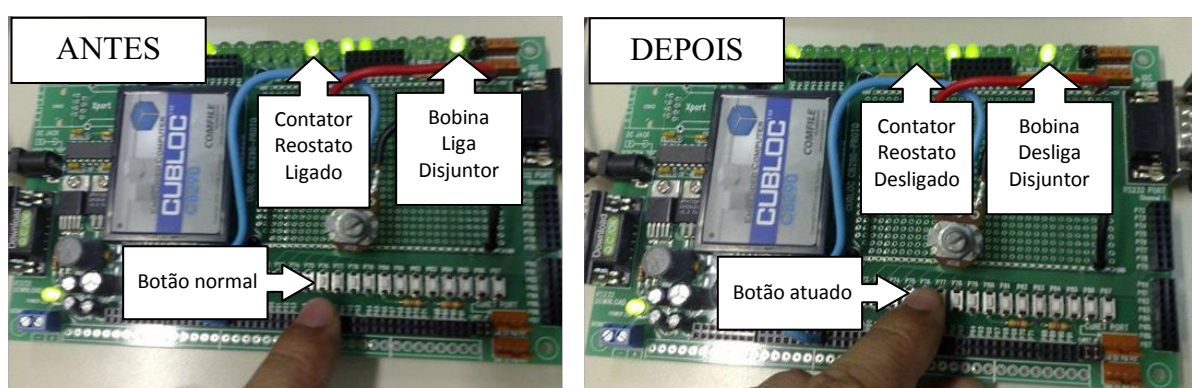


Figura 58 - Simulação da atuação da proteção do disjuntor do motor de anéis

As ações citadas anteriormente foram também devidamente sinalizadas na janela do sistema de supervisão, relativa ao acionamento do motor de anéis, conforme mostrado em detalhes na Figura 59.

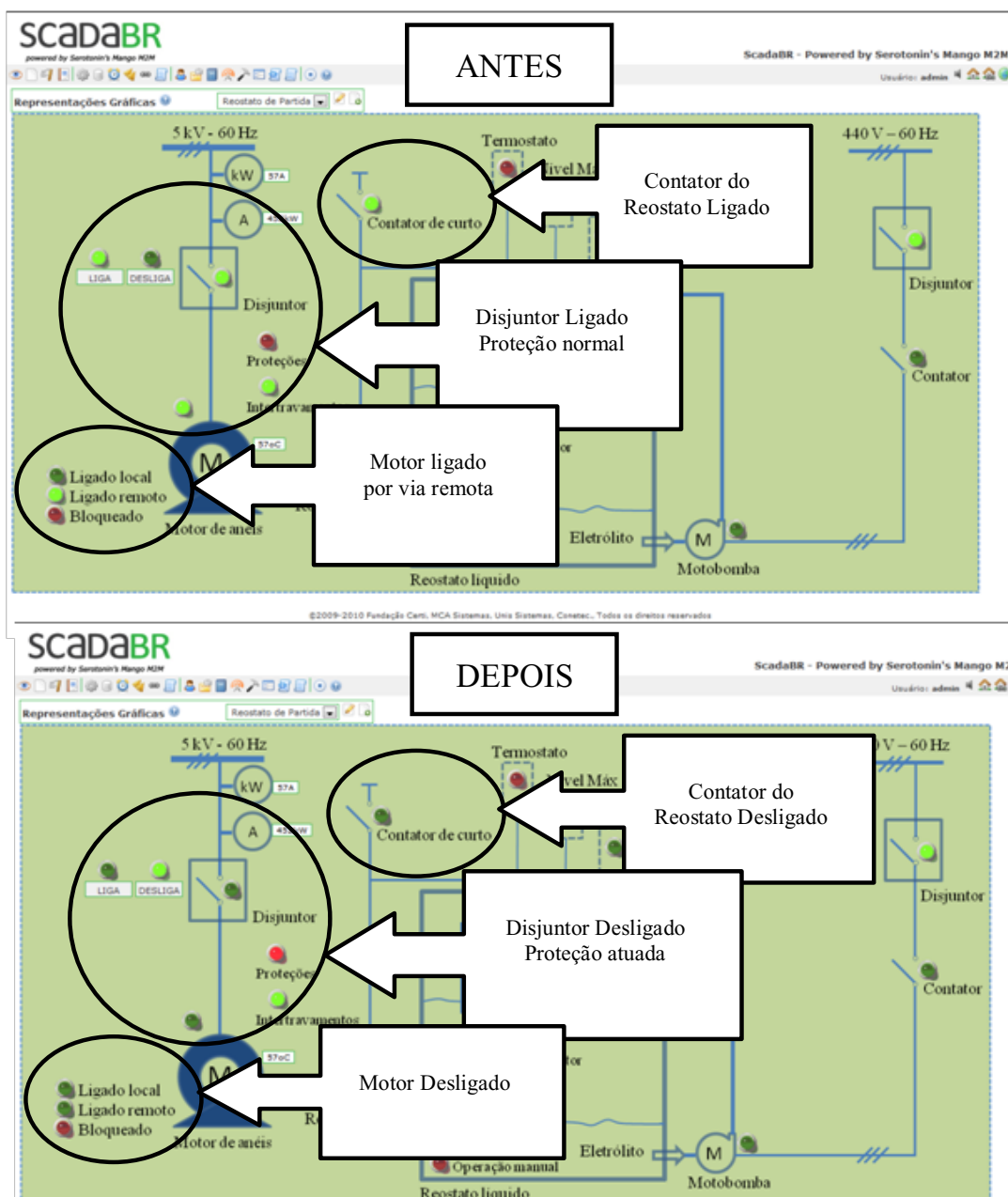


Figura 59 - Efeito da atuação da proteção do disjuntor

Outro exemplo de simulação, dessa vez relacionado à uma variável analógica, é mostrado na Figura 60 com a alteração da variação de temperatura do motor provocada pela atuação em um potenciômetro montado na placa do conjunto de desenvolvimento. A resistência do potenciômetro mencionado é de 10 kohm, conforme orientação do fabricante (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010, pg. 282), variando-se sua resistência verificou-se a correspondente variação do valor indicado no sistema de supervisão. A Figura 60 mostra o momento de atuação no potenciômetro, no conjunto de desenvolvimento.



Figura 60 – Simulação de variação de temperatura do motor de anéis

Na Figura 61 pode-se observar a conseqüente alteração da indicação de temperatura na janela do sistema de supervisão do acionamento do motor de anéis correspondente à alteração efetuada na resistência do potenciômetro do conjunto de desenvolvimento.

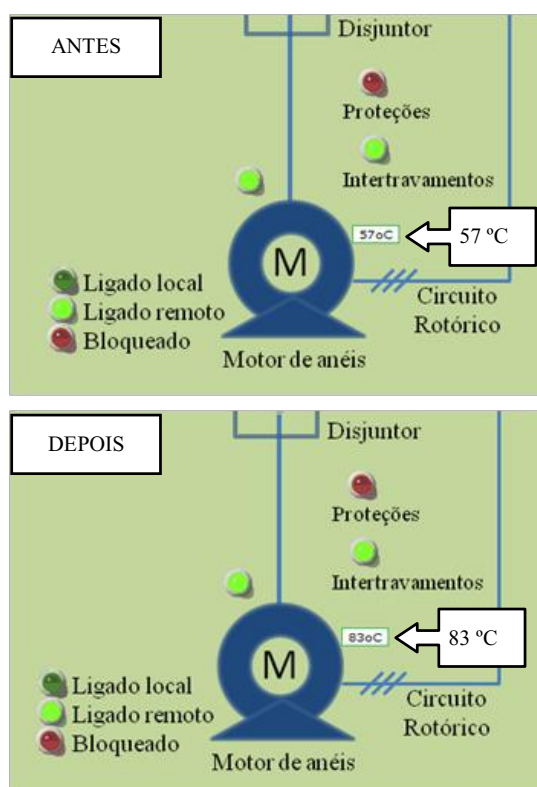


Figura 61 - Confirmação da alteração de temperatura do motor de anéis



### 3.8.2 Testes do sistema de dosagem de escória

Nos testes relacionados ao sistema de dosagem de escória para o moinho de bolas, foi adotado procedimento similar ao do subitem anterior, porém o modo remoto nesse caso permitiu um monitoramento mais expressivo do comportamento das variáveis analógicas envolvidas, em função das janelas mais elaboradas para essa operação.

A atuação dos dispositivos de campo foi simulada com o conjunto de desenvolvimento (*Cubloc Start Kit 290*), que é relativo ao microcontrolador adotado para esta unidade de controle, CUBLOC CB-290 (COMFILE TECHNOLOGY INC., 2010). Conforme mostrado na Figura 62, as saídas digital e analógica (SD/SA) foram direcionadas aos diodos emissores de luz (LED - *Light Emiter Diode*), as entradas analógicas (EA) foram estimuladas via potenciômetros e as entradas digitais, via chaves fixas e botões de pulsos. Nessa figura é mostrada também a posição da unidade central de processamento (UCP), as conexões entre os dispositivos de entradas e saídas com a UCP (CONEXÕES E/S x UCP) e a conexão desta UCP com o computador hospedeiro (CONEXÃO UCP x CH).

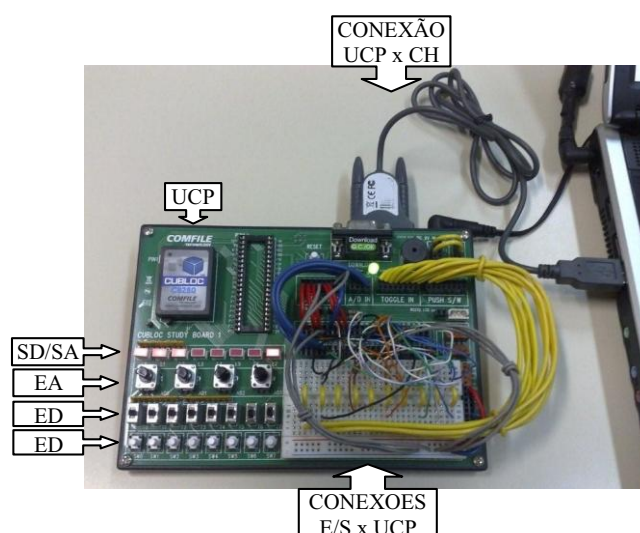


Figura 62 - Módulo experimental utilizado para a dosagem de escória

Nos testes realizados, os dispositivos que auxiliam a simulação, tais como chaves, botões, potenciômetros e diodos emissores de luz (LED – *Light Emiter Diode*), foram acionados um a um, (bit a bit) conforme sua representação no sistema. Como exemplo dos testes realizados a Figura 63 mostra o momento de

acionamento de uma das chaves do protótipo para simular a atuação da chave de operação assistida da balança, na posição de bloqueio.

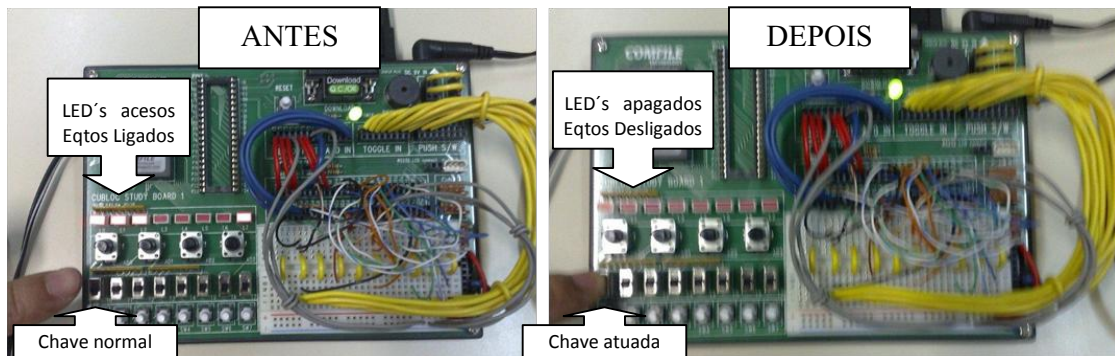


Figura 63 – Simulação da atuação de chave de bloqueio da balança

Na Figura 64 pode-se observar, na janela de supervisão, a resposta do controle à ação mostrada na Figura 63, com o desligamento do motor da balança.

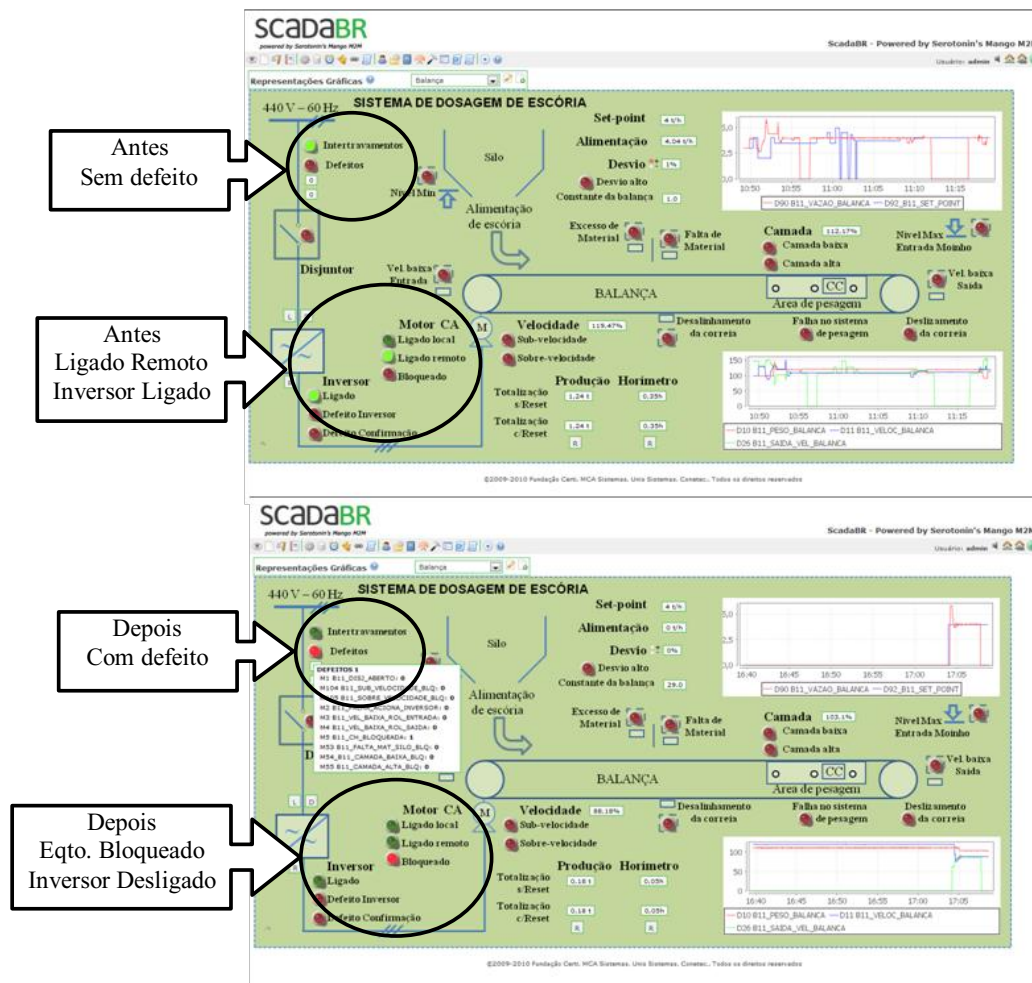


Figura 64 - Efeitos da atuação da chave de bloqueio da balança

Um outro exemplo de simulação analógica, desta vez envolvendo o sistema de controle, relativo a dosagem de escória, é mostrado na Figura 65. Nessa simulação, com a atuação de dois potenciômetros da placa do conjunto de desenvolvimento, são alteradas as indicações de peso e de velocidade da balança dosadora. Nessa figura pode-se observar o momento de atuação no eixo do primeiro potenciômetro, representativo do peso sobre a correia da balança e, posteriormente, conforme mostrado ao lado, no segundo potenciômetro, representativo da velocidade do motor da balança, com variação das respectivas resistências.

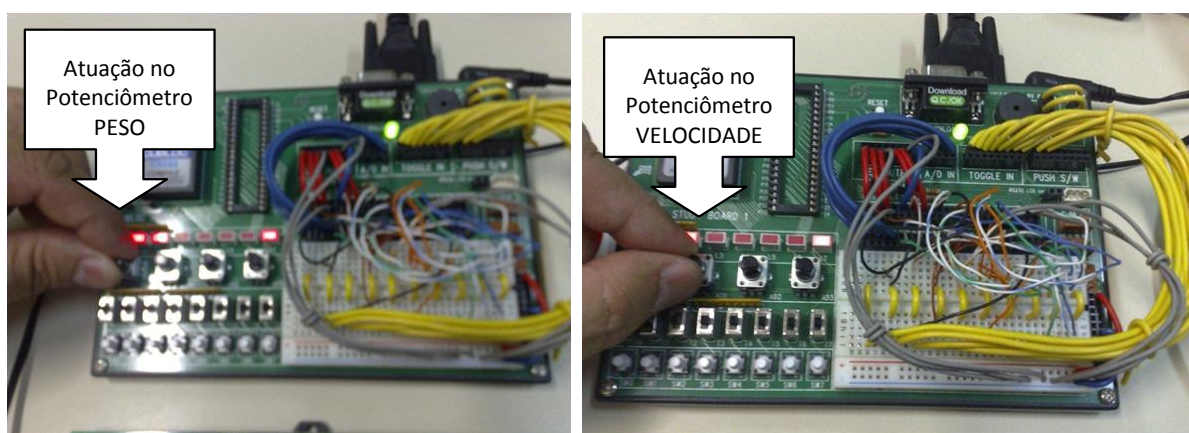


Figura 65 - Simulação de peso e velocidade da balança dosadora

A Figura 66 apresenta o resultado do teste mostrado na Figura 65, em três etapas distintas, sendo: i) a representação na janela de supervisão de uma situação normal de funcionamento, antes das alterações nos potenciômetros relativos ao peso e a velocidade; ii) a representação, na janela do sistema de supervisão, do conseqüente aumento de indicação de peso após a alteração do respectivo potenciômetro no conjunto de desenvolvimento, no sentido horário, com a alteração da indicação de desvio, decorrente da alteração de peso mencionada; e, iii) a representação, na janela do sistema de supervisão, da redução de indicação de velocidade após a alteração do respectivo potenciômetro no conjunto de testes, no sentido anti-horário, bem como a conseqüente redução da indicação de erro decorrente da compensação da vazão indicada com a redução de velocidade no motor da balança.

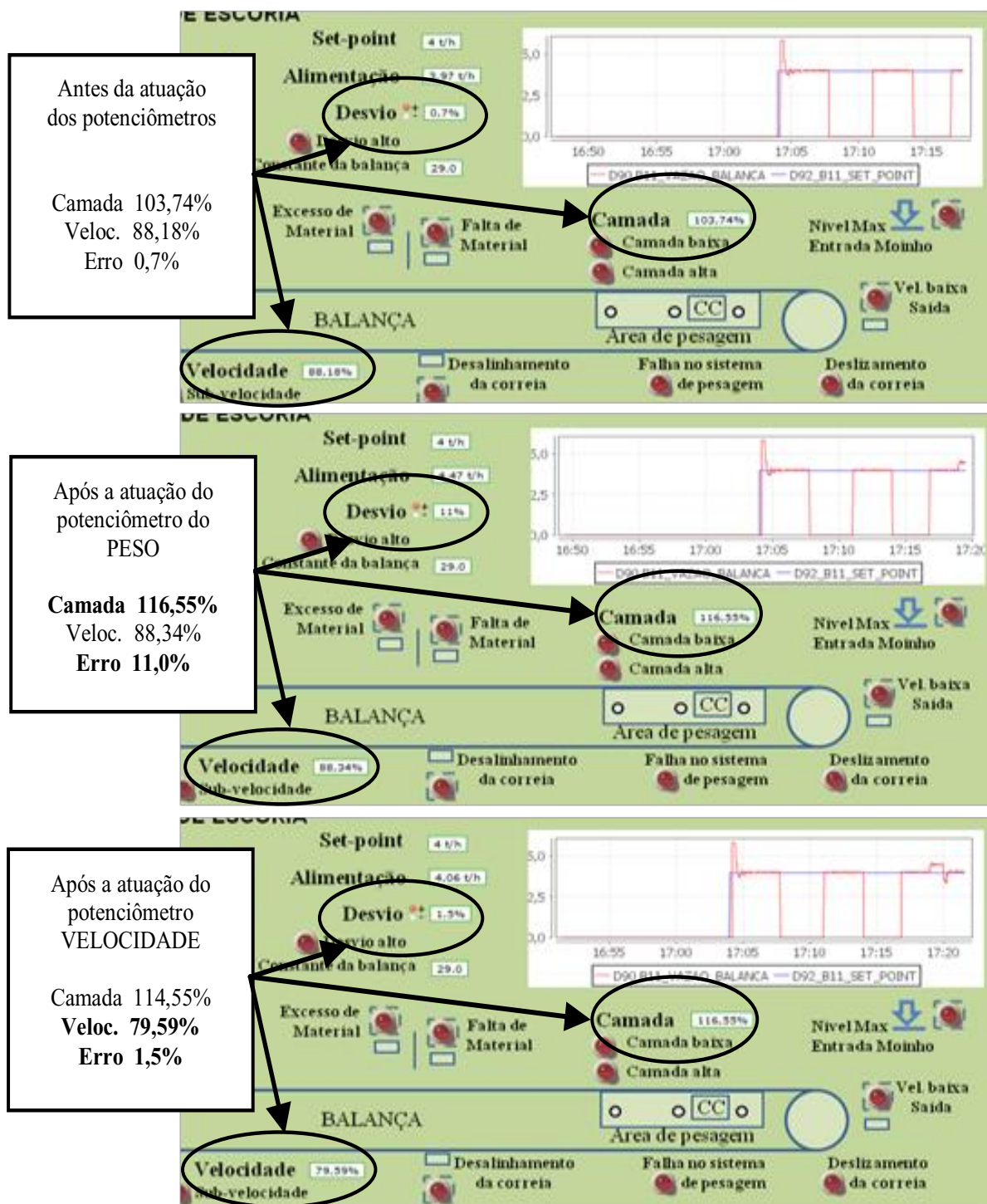


Figura 66 - Efeitos das alterações de peso e velocidade

O teste apresentado mostrou a adequação do controle da balança dosadora de escória em relação ao algoritmo elaborado com essa finalidade.

### 3.8.3 Testes do conjunto da moagem

Os testes com os dois sistemas de controle operando simultaneamente, com o mesmo sistema de supervisão, foram realizados para comparar a atuação desses dispositivos em conjunto. Esse teste permitiu verificar o comportamento do sistema de supervisão SCADABR com o recebimento de uma quantidade maior de dados, provenientes dos dois microcontroladores utilizados, conforme previsto na arquitetura proposta para esse trabalho. Nessa configuração não houve alterações significativas do sistema de supervisão em relação aos testes individuais de cada unidade de controle realizados anteriormente.

Na Figura 67 é mostrada a condição satisfatória de funcionamento do conjunto envolvendo o computador hospedeiro (CH) e a interface homem-máquina (IHM), relativos ao sistema de supervisão, conectados aos dois conjuntos de testes que representam os blocos de controle e processo, em conformidade com a arquitetura proposta nesse estudo.

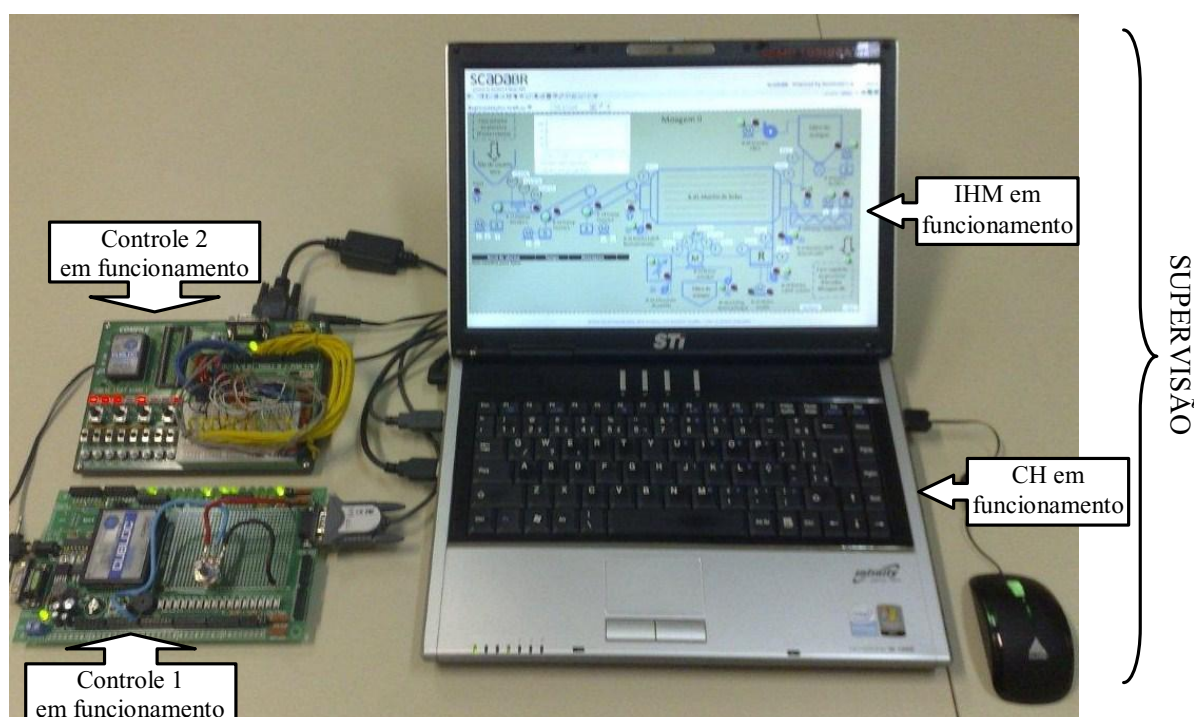


Figura 67 - Testes com os dois controladores Cubloc conectados

## **CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

Os resultados satisfatórios observados nos ensaios práticos, realizados com o protótipo representativo da arquitetura proposta, mostram que o sistema é factível e pode ser levado a efeito para a aplicação a qual se destina.

A quantidade necessária de registradores, contadores, temporizadores e variáveis internas, bem como a necessidade de memória para alojar o programa de gerenciamento da arquitetura proposta foram completamente atendidas pelos microcontroladores do protótipo utilizados nos testes práticos.

Os recursos contidos no ambiente integrado de desenvolvimento dos microcontroladores foram suficientes para elaborar os programas de gerenciamento da arquitetura proposta, em conformidade com os passos previstos para os respectivos algoritmos.

Os componentes gráficos previstos no sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA) foram suficientes para atender a aplicação em questão, além de possuir código aberto, que é uma característica que minimiza o custo de implantação e manutenção do sistema.

O sistema operacional utilizado nesta primeira fase dos testes foi o Windows® Vista, entretanto a verificação da possibilidade de utilização de outro sistema, como o Linux, em trabalhos futuros, poderá contribuir para minimizar ainda mais os custos de implantação do sistema proposto.

A comunicação entre os blocos de controle e o computador hospedeiro foi efetuada por meio de dois canais distintos EIA-232. Para trabalhos futuros pode-se testar a utilização de uma quantidade maior de blocos de controle conectados em uma rede de comunicação apropriada, visando atendimento à automação de plantas industriais maiores, com um número elevado de equipamentos.

Conforme observado no desenvolvimento deste trabalho os microcontroladores utilizados possuem capacidade para exercer as funções de controladores lógicos programáveis tradicionais, entretanto, recomenda-se a implantação desse sistema, com acompanhamento de especialistas da área de confiabilidade para consolidação da aplicação.

## REFERÊNCIAS

ABB. Disponível em: <<http://www.abb.com.br/service/pt/9AAC125941.aspx>>. Acesso em: 07 de Agosto de 2011.

ABB/HARTMANN BRAUN. Disponível em: [http://www.tjm.com.br/potencia%20ativa\\_reativa%20ETP\\_Q30.pdf](http://www.tjm.com.br/potencia%20ativa_reativa%20ETP_Q30.pdf) >. Acesso em: 21 de setembro de 2011.

AQUASUPER. Disponível em: <<http://www.aquasuper.com.br/produtos/industriais/sensores.html>>. Acesso em: 09 de setembro de 2011.

ASCOVAL. Disponível em: <[http://www.ascoval.com.br/outros\\_pdf/pt.pdf](http://www.ascoval.com.br/outros_pdf/pt.pdf)>. Acesso em: 09 de setembro de 2011.

ATMEL. Disponível em: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/2467s.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2467s.pdf)>. Acesso em: 16 de outubro de 2011.

BATTAGIN, A. F. **Cimento Portland de Alto Forno CP III**. São Paulo: ABCP, Agosto de 2009.

BATTAGIN, A. F. **O uso de escórias siderúrgicas na construção civil**. São Paulo: ABCP, Setembro de 2001.

CLARKE, G., REYNDERS, D., & WRIGHT, E. **Modern SCADA protocols: DNP3, IEC 60870-5 and related systems**. Oxford (Great Britain): Newnes, 2004.

COMFILE TECHNOLOGY INC. **PLC with Embeded Controller CUBLOC**. User Manual Version 3.2., 2010.

DANFOSS. Disponível em: <[http://www.danfoss.com/Latin\\_America\\_portuguese/BusinessAreas/IndustrialAutomation/Products\\_pdf/Pressure+Switches.htm](http://www.danfoss.com/Latin_America_portuguese/BusinessAreas/IndustrialAutomation/Products_pdf/Pressure+Switches.htm)>. Acesso em: 09 de setembro de 2011.

ELETELE. Disponível em: <<http://www.eletele.com.br/Reostatos.htm#Reostatos%20L%C3%ADquidos%20%28arrancadores%29>>. Acesso em: 02 de agosto de 2011.

ELIPSE SOFTWARE. Disponível em: <[http://www.elipse.com.br/get/Acessorios/elipse\\_PlantManager\\_folder\\_BR\\_pages.pdf](http://www.elipse.com.br/get/Acessorios/elipse_PlantManager_folder_BR_pages.pdf)>. Acesso em: 12 de setembro de 2011.

FITZGERALD, A. E., KINGSLEY, J. C., & A., K. **Máquinas Elétricas** – Tradução de Josafá Neves. [S.l.]: McGraw-Hill, 1975.

FREEMIND. Release 0.9.0. Disponível em: <[http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main\\_Page](http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page)>. Acesso em: 15 de dezembro de 2011.

FUNDAÇÃO CENTROS DE REFERÊNCIA EM TECNOLOGIAS INOVADORAS. **SCADABR 0.7. Sistema Open-Source para Supervisão e Controle**. Manual do software. Santa Catarina: 2010.

GOOGLE INC. Disponível em: <<http://www.google.com/about/corporate/company/address.html>>. Acesso em: 18 de setembro de 2011.

HASLER. Disponível em: <<http://www.hasler-int.com/products/download/GRAVIT.260.001-E.b.pdf>> Acesso em: 28 de julho de 2011.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1991.

MAGOTTEAUX. Seminário Técnico Cimento Tupi S.A. Volta Redonda – 2001. Volta Redonda-RJ, 2001.

MIYAGI, P. E. **Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1996.

MORAES, C. C. & CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

ORACLE. Disponível em: <<http://www.oracle.com/index.html>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011,

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Editora Person Prentice Hall, 2005.

RUCKEN PRECISÃO & CONTROLE. Disponível em: <<http://www.rucken.com.br/transtemp.php>>. Acesso em: 28 de setembro de 2011.

SALCAS. Disponível em: <<http://www.salcas.com.br/produtos.asp?TIPO=CHAVES%20DE%20FLUXO&gclid=CJDBkPHnkKsCFQED2godlj7QEw>>. Acesso em: 09 de setembro de 2011.

SANCHEZ, I. C., MATSUSHITA, K., & PONS, F. C. **Moagem & Moinhos**. São Paulo: Editora Votorantim-SP 1989.

SCHNEIDER ELECTRIC. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/brasil/pt/produtos-servicos/automacao-controle/automacao-controle>>. Acesso em: 20 de setembro de 2011.

SENSE. Disponível em: <[http://www.sense.com.br/idiomas/pt\\_BR//arquivos/produtos/arq2/Indutivos.pdf](http://www.sense.com.br/idiomas/pt_BR//arquivos/produtos/arq2/Indutivos.pdf)>. Acesso em: 10 de setembro de 2011a.

SENSE. Disponível em: <[http://www.sense.com.br/produtos/detalhes\\_produto.php?pn=5000000778](http://www.sense.com.br/produtos/detalhes_produto.php?pn=5000000778)>. Acesso em: 10 de setembro de 2011b.

SIEMENS. **Basics of PLC's**. Disponível em: <<http://www3.sea.siemens.com/step/flash/STEPPLC/index.htm>>. Acesso em: 23 de 08 de 2011a.

SIEMENS. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br/templates/produto.aspx?channel=7598&produto=5507>>. Acesso em: 23 de 08 de 2011b.



SILVEIRA, P. R. **Automação e Controle Discreto**. 4a Edição. São Paulo: Érica, 2002.

THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION . Disponível em: <<http://tomcat.apache.org/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2011.

THE MOZILLA FOUNDATION. Disponível em: <<http://www.mozilla.org/foundation/>>. Acesso em 18 de setembro de 2011.

THOMAZINI, D., & ALBUQUERQUE, P. U. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 7ª. Edição. São Paulo: Érica, 2010.

TOCCI, R. J., & WIDMER, N. S. **Sistemas Digitais - Princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

VENTILADORES BERNAUER S.A. Disponível em: < <http://www.bernauer.com.br/Product.aspx?id=21&typeid=2>>. Acesso em: 28 de julho de 2011.

WEG DRIVES. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Interfaces-Homem-Maquina/Interfaces-Homem-Maquina-Linha-PWS-e-T150#>>. Acesso em: 10 de setembro de 2011.

WEG MOTORES ELÉTRICOS. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos/Corrente-Continua/Tacogeradores#>>. Acesso em: 20 de setembro de 2011.