

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE MINAS GERAIS

Engenharia de Automação Industrial

**AUTOMAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMA COLUNA DE
FLOTAÇÃO PILOTO**

Leandro Martins Pereira

Araxá/MG
Novembro de 2014

Leandro Martins Pereira

AUTOMAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMA COLUNA DE FLOTAÇÃO PILOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Automação Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção de graduação.

Orientador: Prof. Domingos Sávio de Resende

Araxá/MG
Novembro de 2014

Dedico a todas as pessoas que fazem parte do meu círculo de convivência, e que sempre me apoiaram durante as dificuldades da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades a mim concedidas e por iluminar meus caminhos em todos os seguimentos da minha vida. A minha família pela consideração e apoio para vencer os meus obstáculos. Agradeço meus irmãos, ao meu pai Raimundo e as minhas mães pela compreensão durante todos os períodos ausentes dedicados aos estudos e ao trabalho. Sou iluminado por ter mais de uma mãe, Maria Abadia, Ygara e Yara.

Quero agradecer ao meu amigo e companheiro de trabalho, Edmur Rios, profissional com quem aprendi muito, tanto tecnicamente quanto como pessoa, obrigado pelos ensinamentos. Agradeço também a todos os colegas de trabalho e do curso, pois estiveram sempre dispostos a me auxiliarem em todos os desafios durante essa jornada. Ao professor orientador Domingos Sávio de Resende, a Professora Michelly dos Santos Oliveira e ao Engenheiro de Minas Fabiano Nunes Capponi pela paciência, orientação e tempo dedicado a esse trabalho. Ao Engenheiro de Automação Industrial Aduino Borges Fonseca Jr, pelo apoio e consideração. A instituição de ensino responsável por grande parte da minha formação, CEFET-MG Uned Araxá.

RESUMO

As colunas de flotação são amplamente empregadas na área mineral para concentrar minérios. Esse fato exige um estudo de grande importância.

Ao propor projetos de monitorização e controle de uma coluna de flotação, é necessário antes definir o tipo de processo através do qual a mesma irá operar. Para o controle automático de uma coluna de flotação piloto, serão elaborados documentos necessários para a especificação técnica de equipamentos de controle e instrumentação, além do desenvolvimento de *softwares* de controle e supervisão IHM (Interface Homem-Máquina). Dessa forma, poderá ser alcançado o funcionamento ideal do equipamento e, concomitantemente, estudado o comportamento da coluna de flotação através dos dados adquiridos pelo sistema supervisorio.

O objetivo da automação para uma coluna de flotação é garantir o rendimento metalúrgico do processo. Para isso, é necessário que se mantenha a estabilidade do sistema, o que é possível através do controle das principais variáveis como a altura da camada de espuma e o *hold up* (medida da quantidade de ar) na zona de coleta. Os *softwares* de controle são responsáveis pelo automatismo do processo através da aquisição dos dados de entradas, processamento e atuação das saídas através do desenvolvimento do aplicativo no CLP e operação do sistema supervisorio.

Palavras-chave: Coluna de flotação, automação, controle, IHM.

ABSTRACT

The flotation columns are widely used in the mining industry in order to

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – CLP S7-300 da Siemens.	20
Figura 2 – Representação esquemática de uma coluna de flotação.	20
Figura 3 – Fluxograma P&ID.	26
Figura 4 – Disposição física das caixas de comando local.	37
Figura 5 – Desenho de detalhes de fabricação da coluna.	40
Figura 6 – <i>Ladder</i> controle de vazão FIC-001.	41
Figura 7 – Bloco PID do Diagrama <i>Ladder</i> .	42
Figura 8 – Lista de objetos do Diagrama <i>Ladder</i> .	43
Figura 9 – Tela do sistema supervisão.	44
Figura 10 - Tanque com indicação de nível, acionamento e válvulas.	45
Figura 11 – Janela de operação do agitador.	46
Figura 12 – Malha de controle de vazão.	46
Figura 13 – Janela de operação controlador PID.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Folha de dados do medidor de vazão de ar, tipo vórtex.	26
Tabela 2 – Folha de dados do medidor de vazão de água, tipo magnético.	27
Tabela 3 – Folha de dados da válvula de controle de vazão de ar.	29
Tabela 4 – Folha de dados da válvula de controle de vazão de água.	30
Tabela 5 – Folha de dados de pressão PIT-001.	32
Tabela 6 – Folha de dados de pressão PIT-002.	33
Tabela 7 – Folha de dados de válvula on-off.	34
Tabela 8 – Lista de TAG´s das caixas de comando local.	36
Tabela 9 – Lista de instrumentos e equipamentos.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
IHM	Interface Homem-Máquina
CLP	Controlador Lógico Programável
PID	Módulo Proporcional, Integral e Derivativo
CPU	Unidade Central de Processamento
SCADA	Controle Supervisório e Aquisição de Dados
DDC	Controle digital Direto
UTR	Unidade Terminal Remota
P&ID	Diagrama de Tubulação e Instrumentação
FIT	Transmissor Indicador de Vazão
FIC	Controlador Indicador de Vazão
FV	Válvula de Controle de Vazão
PIT	Transmissor Indicador de Pressão
LIC	Controlador Indicador de Nível
XV	Válvula de Bloqueio On-Off
TAG	Identificação
CL	Comando Local
AG	Agitador
BB	Bomba
CF	Coluna de Flotação
PC	Painel de Controle

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 CLP.....	14
2.1.1 <i>Hardware</i>	17
2.1.2 <i>Software</i>	17
2.2 Coluna de Flotação.....	17
2.2.1 Histórico das colunas de flotação.....	19
2.2.2 Descrição das seções das colunas de flotação	19
2.2.3 Terminologia utilizada em colunas de flotação.....	21
2.3 Sistema Supervisório	23
3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 Fluxograma P&ID.....	25
3.2 Folhas de Dados dos Instrumentos	27
3.3 Especificação das caixas de comando local.....	36
3.4 Lista de instrumentos e equipamentos.....	38
3.5 Desenho de detalhamento.....	40
3.6 Desenvolvimento de software de controle – CLP (Controlador Lógico Programável).....	41
3.7 Desenvolvimento de software de monitoramento – Supervisório.....	43
4 RESULTADOS DE SIMULAÇÕES	45
5 CONCLUSÃO	48
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

sistema, controlar e garantir o rendimento metalúrgico do mesmo. Uma vez que o processo de flotação convencional não possibilita a aquisição de dados e nem o controle, com precisão, das variáveis inerentes a este processo. Sendo realizado com base em experiências profissionais ou testes em bancadas, sem elaboração de um histórico ou monitoramento *on-line* do comportamento do sistema.

Neste trabalho serão abordados os componentes e a estrutura de uma coluna de flotação, bem como as partes integrantes de um sistema de supervisão e controle. Serão desenvolvidas lógicas de controle e sistema supervisorio, de forma a se melhorar o desempenho e prover controle do processo, melhorando, assim, sua performance e criando banco de dados necessário para o seu estudo. Simulações e testes serão realizados para que se comprove a eficiência do projeto proposto.

Mediante a demanda abordada, este projeto tem por objetivo geral o desenvolvimento de um projeto de automação para uma coluna de flotação piloto apresentado, através da instrumentação instalada, desenvolvimento de *softwares* de controle e sistema de monitoramento com interface gráfica entre Homem-Máquina, além da aquisição de dados para geração de relatórios e estudos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver documentação de projeto necessária para automação de uma coluna de flotação piloto;
- Desenvolver aplicativo do programa do CLP, para controle do processo;
- Desenvolver aplicativo de um sistema supervisorio, para monitoramento e operação do processo;
- Realizar testes do projeto apresentado, em ambiente simulado através da ferramenta específica de forma a se comprovar a eficiência do mesmo.

Metodologicamente, este trabalho adotou o tipo de pesquisa bibliográfica, através do estudo de publicações nacionais que abordem as colunas de flotação e sistemas de controle e supervisão. Na pesquisa prática, serão

coletadas, em campo, as informações necessárias para o desenvolvimento do projeto de automação, desenvolvimento do sistema em ambiente simulado, realização de testes e coleta dos resultados apresentados.

Este trabalho será estruturado em seis capítulos, sendo; Introdução, em que o assunto e o tema do projeto são abordados, bem como suas metodologias e forma de solução. No segundo capítulo, revisão bibliográfica descrevendo os principais componentes de uma coluna de flotação, os controladores lógicos programáveis e os sistemas supervisórios. No terceiro capítulo será desenvolvida toda a documentação necessária para a automação de uma coluna de flotação. Teremos como conteúdo também deste capítulo o desenvolvimento da lógica de controle responsável por controlar, de forma automatizada, o processo de flotação em coluna já mencionado e desenvolveremos o sistema supervisório, sendo o mesmo responsável por toda interface homem-máquina do projeto. Já no quarto capítulo ocorrerá a simulação e a coleta dos resultados do projeto para que, por fim, no quinto capítulo, esses dados coletados sirvam de base para a conclusão final do presente projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Qualquer grandeza física pode ser controlada, isto é, pode ter seu valor intencionalmente alterado. O controle manual implica em se ter um operador presente ao processo gerador de uma variável física e que, de acordo com alguma regra ou com a experiência do profissional, opera um equipamento ou sistema qualquer, que conseqüentemente produz alterações nas variáveis. Buscando a valorização do operador, os equipamentos foram modificados, de forma a resguardar a mão-de-obra de algumas funções inadequadas e de risco ao homem. A máquina passou a fazer o trabalho mais pesado e o homem, a supervisioná-la.

Para garantir o controle, foram inseridos instrumentos e sensores nos equipamentos, no intuito de monitorar as condições do processo, e caso necessário atuar de forma a manter o processo sob controle.

Com o desenvolvimento da eletrônica, a automação tornou-se mais viável e passou a dispor de circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada e gerar respectivos sinais de saída. Com isto, os controladores, sensores e atuadores funcionam em conjunto automatizando o processo, no qual o controlador toma as decisões de acordo com o status dos sensores acionando assim os atuadores.

Toda esta evolução nos proporciona sistemas compactos, com altas capacidades de controle, o que nos permite atuar em diversas saídas a partir de vários sinais de entradas combinados logicamente.

2.1 CLP

O Controlador Lógico Programável (CLP) nasceu praticamente dentro da indústria automobilística americana, especificamente na *Hydronic Division da General Motors*, em 1968, devido a grande dificuldade de alterações na lógica de controle dos painéis de comando a cada solicitação de mudança na linha de montagem. Esta ação implicava em altos gastos de tempo e dinheiro (SENAI - 2002).

Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi preparada uma especificação que refletia as necessidades de muitos usuários de circuitos à reles, não só da indústria automobilística, como de toda a indústria manufatureira. Nascia assim, um equipamento bastante versátil e de fácil utilização, que vem se aprimorando constantemente, diversificando cada vez mais os setores industriais e suas aplicações.

Segundo (ALTUS - 2004), um Controlador Lógico Programável (CLP), ou PLC (Programmable Logic Controller), é um computador especializado, baseado num microprocessador que desempenha funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade. Geralmente, as famílias de CLP são definidas pela capacidade de processamento de um determinado número de pontos de Entradas e/ou Saídas (E/S).

O CLP, segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), é um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais. Segundo a NEMA (National Electrical Manufacturers Association), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.



Figura 1: CLP S7-300 da Siemens.
Fonte: www.siemens.automation.com

Desde o seu aparecimento, até hoje, a tecnologia contribui consideravelmente nos controladores lógicos, proporcionando várias evoluções como a variedade de tipos de entradas e saídas, o aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das entradas e saídas e principalmente o modo de programação e a interface com o usuário (SENAI - 2002).

O controle automático tem como finalidade a manutenção de certa variável ou condição num certo valor (fixo ou variante) (SENAI - 2002). Este valor que pretendemos é o valor desejado. Para que se tenha o controle automático das variáveis é necessário que o sistema de controle funcione da seguinte forma:

A - Medição do valor atual da variável que se quer regular.

B - Comparação do valor atual com o valor desejado (sendo este o último indicado ao sistema de controle pelo operador humano ou por um computador). Determinação do desvio.

C - Utilização do desvio (ou erro) para gerar um sinal de correção.

D - Aplicação do sinal de correção ao sistema a controlar de modo a ser eliminado o desvio, isto é, de maneira a reconduzir-se a variável ao valor desejado. O sinal de correção introduz variações de sentido contrário ao erro.

Resumidamente podemos definir controle automático como a atuação automática do sistema de controle para manter a variável controlada no valor desejado.

2.1.1 Hardware

Os *hardwares* de CLP's possuem maior velocidade de varredura, devido a utilização de microprocessadores e microcontroladores de 16 e 32 bits. Possuem módulos de entrada e saída de alta densidade, possibilitando baixo custo e espaços reduzidos. Os módulos inteligentes, microprocessados permitem controles descentralizados (módulo PID, posicionadores, emissores de relatórios, etc.). Existe a possibilidade de redundância de CPU, utilizando arquiteturas de votação majoritária, sistemas *dual hot stand-by* ou sistemas *dual full duplex* (SENAI - 2002).

2.1.2 Software

Para desenvolvimento dos *softwares* são utilizadas linguagens de programação de alto nível, permitindo grande flexibilidade de programação quando da utilização de periféricos. Utiliza-se microcomputadores compatíveis com IBM/PC como ferramenta para desenvolvimento de programação. Os programas podem ser representados e desenvolvidos em diagramas de contato (*Ladder*), blocos funcionais, listas de instruções dentre outros ofertados pelos fabricantes de CLP's (SENAI - 2002).

Os *softwares* além de controlar o processo ainda podem nos proporcionar diagnósticos e detecções de falhas na monitoração de máquinas e processos, introdução de modelagem matemática, tornando possível o desenvolvimento de cálculos complexos.

2.2 Coluna de Flotação

O processo de flotação (*froth flotation*), baseia-se numa separação feita numa suspensão em água (polpa). As partículas são obrigadas a percorrer um trajeto e num dado instante as partículas que se deseja flotar são levadas a abandoná-lo, tomando um rumo ascendente. A diferenciação entre as espécies minerais é dada pela capacidade de suas partículas se prenderem (ou prenderem a si) a bolhas de gás (geralmente ar). Se uma partícula consegue

capturar um número suficiente de bolhas, a densidade do conjunto partícula-bolhas torna-se menor que a do fluido e o conjunto se desloca verticalmente para a superfície, onde fica retido e é separado numa espuma, enquanto que as partículas das demais espécies minerais mantêm inalterada a sua rota (LUZ, SAMPAIO, ALMEIDA - 2004).

A flotação é um dos processos de concentração mais utilizados na indústria mineral, possibilitando o aproveitamento de minérios complexos e/ou de baixo teor de forma econômica e com rendimentos satisfatórios. A importância desse processo tem motivado o desenvolvimento de novos equipamentos dentre os quais se destaca a coluna de flotação. As melhorias substanciais das características dos concentrados obtidos nas colunas em diversas unidades industriais, operando com diferentes tipos de minérios, somadas ao melhor desempenho metalúrgico e à economia nos custos de capital e de operação, demonstram a importância desse equipamento para a indústria mineral. Tais fatores têm sido decisivos para a aplicação das colunas em processos de flotação, tanto para novos projetos, como para expansões industriais (OLIVEIRA - 2011).

O sucesso das instalações industriais de colunas de flotação depende substancialmente das bases consideradas no *scale up* e do projeto do equipamento. O primeiro passo consiste na realização de teste de flotação em uma unidade piloto que permita definir as condições de flotação e os resultados que serão obtidos. Os parâmetros definidos em escala piloto são aplicados a modelos matemáticos específicos que permitem o escalonamento e projeto final. Esses modelos assumem simplificações que acarretam diferenças na resposta metalúrgica das colunas industriais, quando comparadas aos resultados dos testes piloto.

Além disso, as colunas de flotação são operadas frequentemente de forma similar às células mecânicas convencionais sem considerar as diferenças entre esses equipamentos, principalmente no que se refere à geometria (relação altura/diâmetro efetivo), à adição de água de lavagem, a ausência de agitação mecânica e ao sistema de geração de bolhas, contribuindo para obtenção de rendimentos metalúrgicos inferiores aos esperados.

2.2.1 Histórico das colunas de flotação

A concepção básica do processo de flotação em coluna foi desenvolvida no início da década de 60 por Boutin e Tremblay, que registraram no Canadá a primeira patente sobre esta tecnologia. A partir de então foram realizados os primeiros programas experimentais em escala de laboratório (WHEELER e BOUTIN - 1966/1967) e desenvolvidas concepções alternativas por outros pesquisadores (DELL e JENKINS - 1976). Principalmente com base nos trabalhos de Wheeler e Boutin, a primeira implantação industrial usando esta nova tecnologia ocorreu em 1981 em *Les Mines Gaspé*, Canadá, onde uma coluna, operando no estágio de flotação *cleaner* de concentração de molibdenita, substituiu com sucesso um banco de células mecânicas convencionais. Posteriormente, uma segunda coluna foi instalada nesta usina substituindo todo o circuito de células mecânicas. As colunas de *Les Mines Gaspé* foram também utilizadas para vários estudos (DOBBY - 1984, YIANATOS - 1987) que contribuíram notavelmente para o desenvolvimento dessa tecnologia.

2.2.2 Descrição das seções das colunas de flotação

As colunas de flotação são constituídas das zonas de recuperação/coleta e limpeza, como indicado na Figura.1.

A **zona de recuperação** está compreendida entre o ponto de geração de bolhas, na base da coluna, e a interface polpa-espuma. Essa zona é responsável pela coleta das partículas hidrofóbicas através do contato entre as partículas minerais sedimentando, pela ação da gravidade, e as bolhas de ar em contracorrente (OLIVEIRA - 2011).

A **zona de limpeza** está compreendida entre a interface polpa-espuma e o transbordo da coluna. Nessa zona ocorre a limpeza do material flotado, principalmente pela ação de filtro da camada de espuma e da água de lavagem adicionada no topo da coluna (OLIVEIRA - 2011).

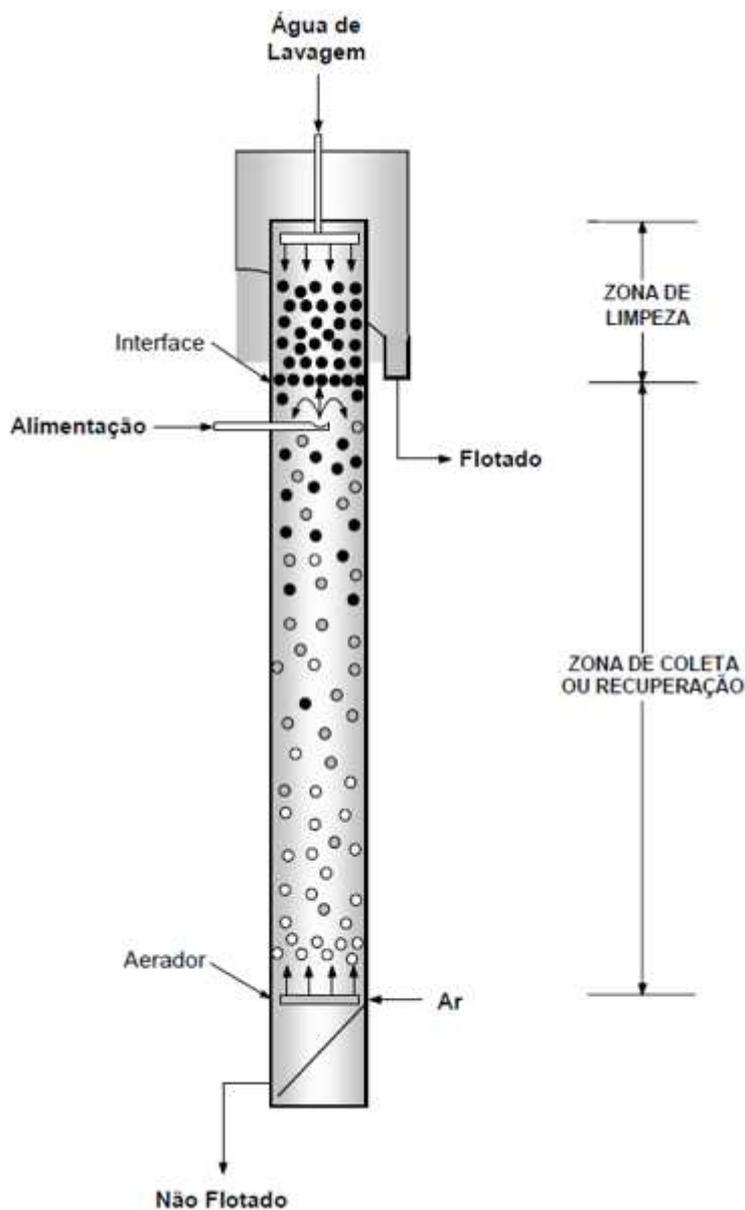


Figura 2: Representação esquemática de uma coluna de flotação.
 Fonte: OLIVEIRA e AQUINO (2006)

A **alimentação da polpa** – devidamente condicionada – é feita a aproximadamente $2/3$ da altura da coluna a partir de sua base. Na zona de coleta, as partículas provenientes da alimentação da polpa são contatadas em contracorrente com o fluxo de bolhas de ar produzido pelo aerador instalado na parte inferior da coluna. As partículas hidrofóbicas colidem e aderem às bolhas ascendentes, sendo então transportadas até a zona de limpeza, constituída por uma camada de espuma de aproximadamente 1 m de espessura (OLIVEIRA - 2011).

Por outro lado, as partículas hidrofílicas ou pouco hidrofóbicas e, portanto, não aderidas às bolhas, são removidas na base da coluna.

Na parte superior da coluna é adicionada a **água de lavagem** com auxílio de dispersores, visando permitir uma adequada distribuição da água no interior da camada de espuma. A água de lavagem desempenha um papel de fundamental importância neste processo para a eliminação de partículas arrastadas pelo fluxo ascendente (normalmente de minerais contaminantes) e para a estabilização da espuma (OLIVEIRA - 2011).

O **sistema de aeração** de uma coluna é um componente fundamental para sua operação. Um gerador de bolhas eficiente é aquele capaz de gerar bolhas de 0,5 a 2,0 mm de diâmetro, com a velocidade superficial de ar entre 1,0 e 3,0 cm/s e *hold up* de 15 a 20% (OLIVEIRA - 2011).

2.2.3 Terminologia utilizada em colunas de flotação

Hold up (%) - é a fração volumétrica ocupada por uma das três fases em um dado ponto da coluna. Assim, o *hold up* do ar é normalmente determinado na seção de coleta e representa uma medida da quantidade de ar, expressa em percentagem do volume total ocupada pelo ar (OLIVEIRA - 2011).

Velocidade superficial (cm/s) - É a relação entre a vazão volumétrica de determinada fase e a área da seção transversal da coluna, isto é, (cm³/s)/cm² ou cm/s. Esta unidade permite a comparação das variáveis operacionais entre colunas de dimensões diferentes (OLIVEIRA - 2011).

Velocidade intersticial (cm/s) - É a relação entre a vazão volumétrica de determinada fase por unidade de área disponível para esta mesma fase. Num sistema de três fases – sólido, líquido e ar, a área ocupada por uma das fases é a área total menos a área ocupada pelas outras duas fases (OLIVEIRA - 2011).

Velocidade relativa - É a velocidade resultante entre duas fases distintas. Esta velocidade é obtida pela diferença ou soma das velocidades absolutas de cada fase considerando, respectivamente, movimentos no mesmo sentido ou no sentido oposto (OLIVEIRA - 2011).

Bias- É a fração residual da água de lavagem adicionada no topo da coluna que flui através da seção de limpeza. Operacionalmente é quantificada pela diferença ou pela relação entre as vazões volumétricas de polpa da fração não flotada e da alimentação. Convencionalmente o bias é chamado positivo ou negativo quando a vazão volumétrica de polpa da fração não flotada é, respectivamente, maior ou menor do que a vazão volumétrica de polpa da alimentação (OLIVEIRA - 2011).

Capacidade de carregamento (g/min.cm²) - É a maior vazão mássica de sólidos que pode ser descarregada por área de transbordo da coluna. A capacidade de carregamento pode ser determinada experimentalmente mantendo-se as condições operacionais da coluna constantes e variando a sua taxa de alimentação de sólidos até atingir um valor máximo de material flotado (OLIVEIRA - 2011).

Capacidade de transporte (g/min.cm²) - É a vazão mássica de sólidos descarregada por área de transbordo da coluna em uma dada condição operacional. Nas colunas industriais de grande porte a capacidade de transporte deve ser no máximo igual a um terço da capacidade de carregamento (OLIVEIRA - 2011).

Capacidade de transbordo (g/min.cm) - É a relação entre a vazão mássica de polpa e o perímetro de transbordo da coluna. Para colunas industriais o perímetro de transbordo não aumenta na mesma proporção da seção transversal da coluna dificultando o escoamento da polpa flotada. Nestas circunstâncias são utilizadas calhas internas para aumentar o perímetro de transbordo da coluna (OLIVEIRA - 2011).

Capacidade de carga (g/min.m³) - É a maior vazão mássica de sólidos flotada por unidade volumétrica de ar (OLIVEIRA - 2011).

Convenção de fluxos - São definidos como positivos os fluxos descendentes de sólido e líquido e o fluxo ascendente de ar (OLIVEIRA - 2011).

2.3 Sistema Supervisório

São os sistemas de supervisão de processos industriais que coletam

possível quando a velocidade do processo assim o permite. Em alguns casos, requisitos de confiabilidade tornam desaconselháveis esse tipo de solução.

Na classe de sistemas de controle supervísório, os algoritmos de controle são executados pela unidade terminal remota (UTR), mas os *set-points* para as malhas de controle são calculados dinamicamente pelo sistema de supervisão de acordo com o comportamento global do processo. Esta arquitetura possui maior confiabilidade que os sistemas DDC e traz a vantagem de atuar sobre um grande número de malhas de controle simultaneamente enquanto o operador geralmente só consegue atuar malha a malha com um sistema convencional. Geralmente é utilizada uma interface tipo sistema especialista para definição.

3 DESENVOLVIMENTO

O objetivo fundamental do sistema de controle é manter a coluna em condição operacional estável, recorrendo-se ao ajuste automático do nível da interface polpa-espuma e dos fluxos de polpa, água de lavagem e ar. Os fluxos de água de lavagem e de ar e a pressão do sistema de aeração devem ser controlados automaticamente para manter a estabilidade operacional da coluna de flotação e garantir o desempenho metalúrgico previsto. Os fluxos de polpa da alimentação e da fração não flotada podem ser medidos e controlados automaticamente.

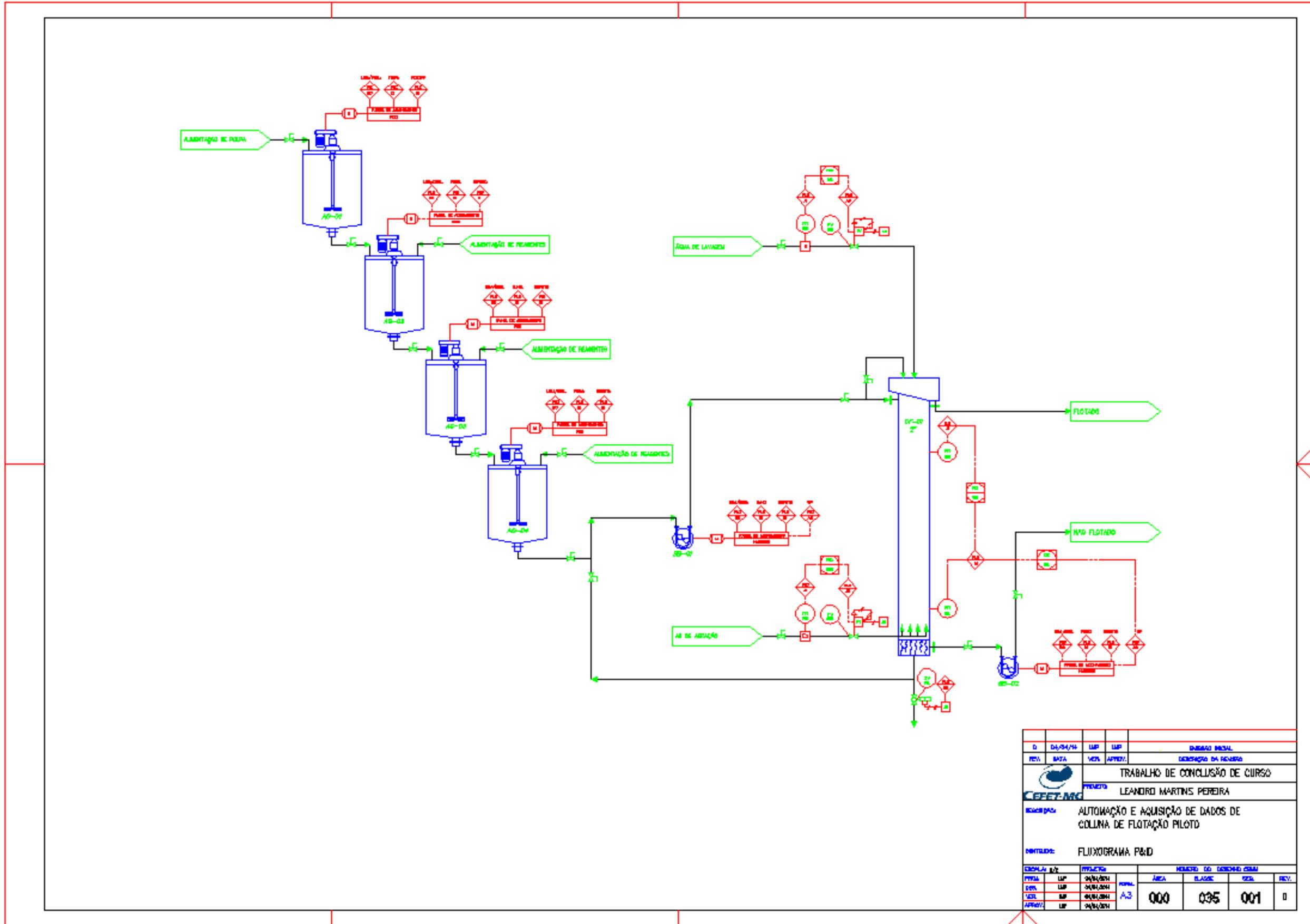
Para estabilização da coluna será utilizada uma filosofia de controle mais simples, de menor custo e mais usada atualmente. O nível é controlado pela variação do fluxo de polpa do não flotado e a água de lavagem é ajustada a um *set point* pré-determinado.

Para alcançarmos estes objetivos será elaborado o projeto de automação e aquisição de dados da coluna de flotação piloto, considerando todos os documentos e desenvolvimentos de *softwares* necessários para tal engenharia.

A engenharia de projeto de Sistemas de Controle e Supervisão de instalações industriais é uma atividade nitidamente multidisciplinar que exige, para o seu desenvolvimento, o conhecimento detalhado dos processos industriais envolvidos, o conhecimento de técnicas de modelagem e otimização de sistemas, o desenvolvimento de *softwares* apropriados e o conhecimento e a utilização de instrumentação e equipamentos para processamento de informações adequados.

3.1 Fluxograma P&ID

Este documento além da instrumentação, deve conter as informações mecânicas dos equipamentos e tubulações. As malhas de controle serão mostradas de forma detalhada indicando a instrumentação de campo e painel (local ou central) (TAMIETTI - 2009).



0	04/04/14	LUP	LUP	UNIBRA BRASIL			
REV.	BATA	VERS.	APPROV.	GERENÇÃO DA UNIBRA			
				TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
				ALUNO: LEANDRO MARTINS PEREIRA			
DISCIPLINA: AUTOMAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE COLUNA DE FLOTAÇÃO PILOTO				NOME DO DISCIPLINAR:			
NOME DO ALUNO: LEANDRO MARTINS PEREIRA				NOME DO DISCIPLINAR:			
NOME DO TÍTULO: FLUXOGRAMA P&ID				NOME DO DISCIPLINAR:			
DISCIPLINA	REV.	DATA	APPROV.	ÁREA	CLASSE	SEQ.	REV.
UFPEL-MG	LUP	04/04/2014	LUP	000	035	001	0
REV.	LUP	04/04/2014	LUP				
TECL.	UFPEL-MG	04/04/2014	LUP				
APPROV.	LUP	04/04/2014	LUP				

Figura 3: Fluxograma P&ID.
Fonte: Autor.

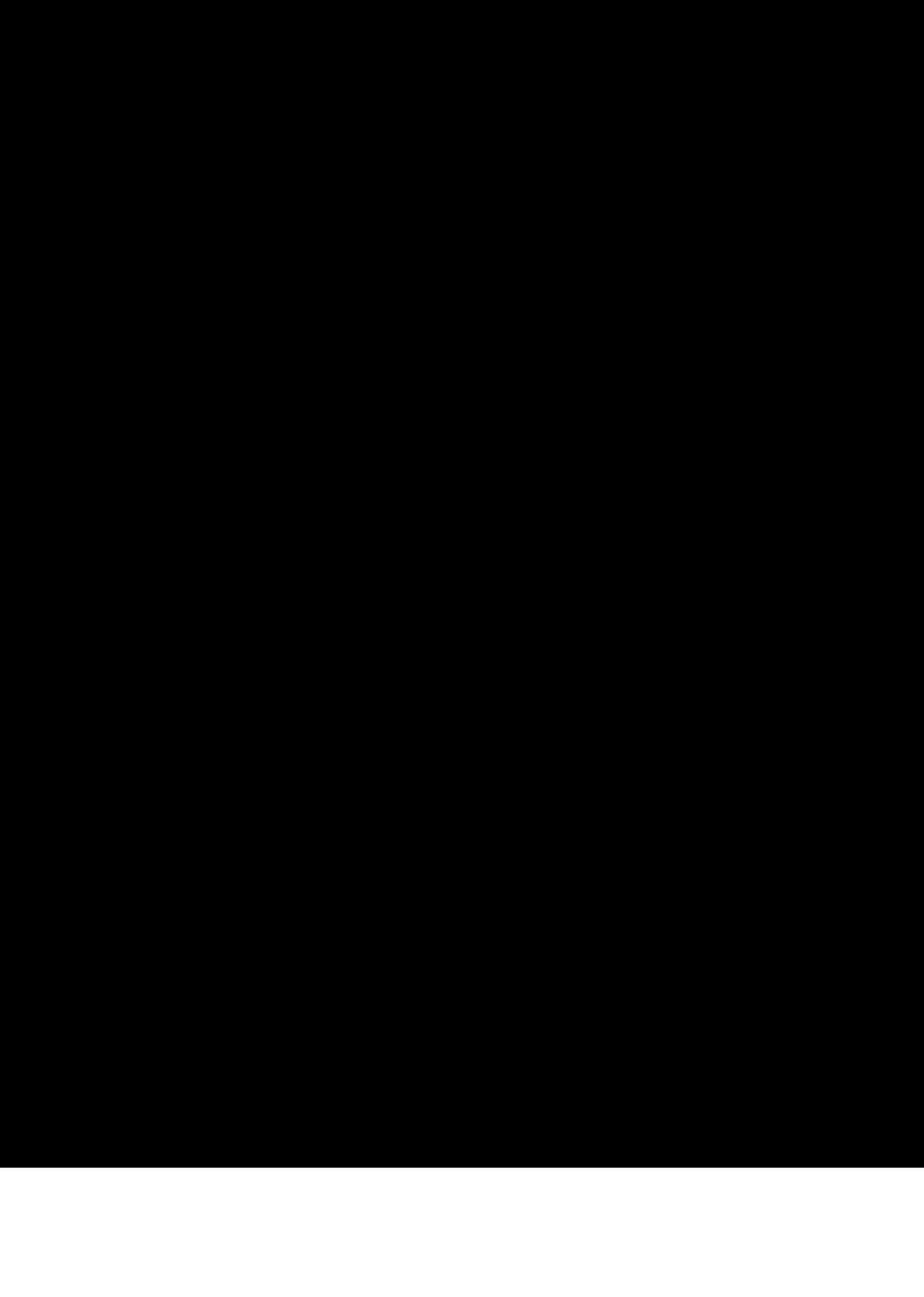
3.2 Folhas de Dados dos Instrumentos

São documentos em que se descreve para cada item de instrumentação sua função, dados operacionais, e características técnicas individuais que permitem sua completa definição para fins de aquisição. As folhas de dados em

3.7	Montagem	-	Integral	
3.8	Faixa de calibração	l/min	0,4 - 5,4	
3.9	Faixa de trabalho	l/min	0,5 - 4	
4	ACESSÓRIOS			
4.1	Plaqueta de identificação / Material	S / N	Sim / AISI 304	
4.2	Acessórios para montagem	S / N	Sim	
5	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
5.1	Fluido	-	Ar	
5.2	Diâmetro do tubo	pol.	1/2"	
5.3	Material	-	Aço Carbono	
5.4	Temperatura normal	°C	30	

Tabela 1: Folha de dados do medidor de vazão de ar, tipo vórtex.
Fonte: Autor

FOLHA DE DADOS MEDIDOR DE VAZÃO MAGNÉTICO				
ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL			
1.1	Identificação	-	FIT-001	
1.2	Serviço	-	Medição de vazão de água de lavagem	
1.3	Fluxograma de referência	-	000-035-001	
1.4	Classificação da área	-	Não Classificada	
2	TUBO MEDIDOR			
2.1	Material da caixa	-	Padrão do fabricante	
2.2	Material do revestimento	-	PTFE	
2.3	Anel de aterramento	-	Aço Inox	
2.4	Proteção do invólucro (NBR 60529)	IP	IP-67	
2.5	Conexão ao processo	-	Flange	



VÁLVULA DE CONTROLE - AR

ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL			
1.1	Identificação	-	FV-002	
1.2	Serviço	-	Controle de vazão de ar de aeração	
1.3	Fluxograma de referência	-	000-035-001	
2	CORPO			
2.1	Tipo	-	Globo	

5.6	Manômetros	-	Sim	
6	ACESSÓRIOS			
6.1	Plaqueta de identificação	S / N	Sim	
6.2	Filtro regulador com manômetro	S / N	Sim	
8	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
8.1	Fluido	-	Ar	
8.2	Vazão	m³/h	0,4 - 5,4	
8.3	Temperatura	°C	30	
8.4	Ruído máximo	dB	85	
9	TUBULAÇÃO			
9.1	Material da linha	-	Aço Carbono	
9.2	Diâmetro da linha	pol.	1/2	

Tabela 3: Folha de dados da válvula de controle de vazão de ar.
Fonte: Autor

VÁLVULA DE CONTROLE - ÁGUA				
ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL			
1.1	Identificação	-	FV-001	
1.2	Serviço	-	Controle de vazão de água de lavagem	
1.3	Fluxograma de referência	-	000-035-001	
2	CORPO			
2.1	Tipo	-	Globo	
2.2	Diâmetro	pol.	1/2	
2.3	Conexão ao processo	-	Flange ANSI B16.5 150 #	
3	INTERNOS			
3.1	Característica	-	Linear	
3.2	Classe de vedação	-	IV	
3.3	Vazão tende a	-	Abrir	

3.4	Número de sedes	-	1	
3.5	Número de vias	-	2	
4	ATUADOR			
4.1	Tipo	-	Pneumático / Tipo Diafragma	
4.2	Fecha com	-	Ar	
4.3	Abre com	-	Ar	
4.4	Ação na falta de ar / energia	-	Abre	
5	POSICIONADOR			
5.1	Tipo	-	Eletropneumático	
5.2	Indicador local	-	Digital	
5.3	Sinal de entrada	mA	4 - 20 mA + Hart	
5.4	Classificação do invólucro	IP	IP-65	
5.5	Montagem	-	Integral	
5.6	Manômetros	-	Sim	
6	ACESSÓRIOS			
6.1	Plaqueta de identificação	S / N	Sim	
6.2	Filtro regulador com manômetro	S / N	Sim	
8	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
8.1	Fluido	-	Água	
8.2	Vazão	l/min	0,14 - 11,74	
8.3	Temperatura	°C	30	
8.4	Ruído máximo	dB	85	
9	TUBULAÇÃO			
9.1	Material da linha	-	Aço Carbono	
9.2	Diâmetro da linha	pol.	1/2	

Tabela 4: Folha de dados da válvula de controle de vazão de água.

Fonte: Autor

TRANSMISSOR DE PRESSÃO					
ITEM	DESCRIÇÃO		UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL				
1.1	Identificação		-	PIT-001	
1.2	Serviço		-	Medir nível e Hold-up	
1.3	Fluxograma de referência		-	000-035-001	
1.4	Classificação da área		-	Não Classificada	
2	TRANSMISSOR				
2.1	Tipo		-	Microprocessado	
2.3	Sinal de saída		-	4 - 20mA + Hart	
2.5	Indicação		-	Sim - Digital	
2.6	Alimentação elétrica		Vcc	24	
2.9	Montagem		-	Integral	
2.11	Alcance (range)		bar	0 - 10	
2.12	Faixa de calibração		bar	0 - 10	
3	SENSOR				
3.1	Princípio de medição		-	Célula Capacitiva	
3.2	Conexão ao processo		pol.	3	
3.3	Montagem		-	Integrado ao transmissor	
3.4	Material da membrana		-	AISI 304	
3.7	Precisão		%	1	
3.8	Tipo de medição (diferencial / manométrica / absoluta)		-	Manométrica	
4	ACESSÓRIOS				
4.1	Plaqueta de identificação / Material		S / N	Sim / AISI 304	
4.2	Acessórios para montagem		S / N	Sim	
4.3	Conex. / Ø Flange / Material		-	FLANGE B16.5 150#	
4.4	Selo	Diafragma	-	SIM	

		Capilar	-	NÃO	
4.5	Enchimento / Tipo		-	Glicerina	
5	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO				
5.1	Fluido		-	Polpa de Minério	
5.2	Pressão nominal		kgf/ cm ²	0 - 10	
5.3	Pressão projeto		kgf/ cm ²	0 - 10	
5.5	Abrasividade		-	Sim	
5.6	Temperatura normal		°C	30	

Tabela 5: Folha de dados de pressão PIT-001.
Fonte: Autor

TRANSMISSOR DE PRESSÃO				
ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL			
1.1	Identificação	-	PIT-002	
1.2	Serviço	-	Hold-up	
1.3	Fluxograma de referência	-	000-035-001	
1.4	Classificação da área	-	Não Classificada	
2	TRANSMISSOR			
2.1	Tipo	-	Microprocessado	
2.3	Sinal de saída	-	4 - 20mA + Hart	
2.5	Indicação	-	Sim - Digital	
2.6	Alimentação elétrica	Vcc	24	
2.9	Montagem	-	Integral	
2.11	Alcance (range)	bar	0 - 10	
2.12	Faixa de calibração	bar	0 - 10	
3	SENSOR			
3.1	Princípio de medição	-	Célula Capacitiva	
3.2	Conexão ao processo	pol.	3	

3.3	Montagem	-	Integrado ao transmissor	
3.4	Material da membrana	-	AISI 304	
3.7	Precisão	%	1	
3.8	Tipo de medição (diferencial / manométrica / absoluta)	-	Manométrica	
4	ACESSÓRIOS			
4.1	Plaqueta de identificação / Material	S / N	Sim / AISI 304	
4.2	Acessórios para montagem	S / N	Sim	
4.3	Conex. / Ø Flange / Material	-	FLANGE B16.5 150#	
4.4	Selo	Diafragma	-	SIM
		Capilar	-	NÃO
4.5	Enchimento / Tipo	-	Glicerina	
5	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
5.1	Fluido	-	Polpa de Minério	
5.2	Pressão nominal	kgf/ cm ²	0 - 10	
5.3	Pressão projeto	kgf/ cm ²	0 - 10	
5.5	Abrasividade	-	Sim	
5.6	Temperatura normal	°C	30	

Tabela 6: Folha de dados de pressão PIT-002.
Fonte: Autor

VÁLVULA ON-OFF				
ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	ESPECIFICADO	PROPOSTO
1	GERAL			
1.1	Identificação	-	XV-0001	
1.2	Serviço	-	Bloqueio dreno da coluna	
1.3	Fluxograma de referência	-	000-035-001	
1.4	Classificação da área	-	Não Classificada	
2	CORPO			
2.1	Tipo (Guilhotina / Borboleta / Esfera / Solenóide / Macho / Mangote /Outro - indicar)	-	Esfera	

2.2	Diâmetro	pol.	1	
2.3	Classe de pressão	LBS	150	
2.4	Conexão ao processo (Flange / Wafer)	-	Flange ANSI B16.5	
3	INTERNOS			
3.1	Característica	-	On-Off	
3.2	Classe de vedação	-	VI	
4	ATUADOR			
4.1	Tipo (Cilindro / diafragma / simples / dupla ação / outro - Indicar)	-	Cilindro - Simples ação	
4.2	Fecha com	-	Ar	
4.3	Abre com	-	Ar	
4.4	Ação na falta de ar / energia	-	Abre	
4.5	Tensão de controle	Vdc	24	
5	ACESSÓRIOS			
5.1	Plaqueta de identificação	S / N	Sim	
5.2	Indicador aberto / fechado	S / N	Sim	
5.3	Válvula solenóide	S / N	Sim	
6	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
6.1	Fluido	-	Polpa de minério	
6.2	Temperatura	°C	30	

Tabela 7: Folha de dados de válvula on-off.

Fonte: Autor

3.3 Especificação das caixas de comando local

Esta especificação estabelece critérios e instruções específicas para aquisição de caixas de comando local, de forma que sejam devidamente montadas e identificadas de acordo com as características básicas descritas a seguir, porém sem a elas se limitar (TAMIETTI - 2009).

Os Botões de comando Liga e Desliga deverão ser do tipo “linha pesada” com diâmetro de furação de 22,5 mm; a caixa deverá ser fabricada em plástico ABS de alta resistência; os conectores deverão ser em PVC do tipo engate rápido com rosca IP-65; deverá ser fornecido proteção de silicone para

os botões de comando; as plaquetas de identificação devem ser em acrílico com adesivo colante e deverá ser previsto prensa cabos, de 3/4", na parte inferior das caixas para interligação dos cabos.

O proponente / fornecedor deverá fornecer as caixas de comando local com as plaquetas de identificação de TAG's conforme relacionados abaixo.

ITEM	Lista de TAGs das Caixas	Lista de TAGs dos Comandos		Material do invólucro
1	CL-AG01	LIGA	DESLIGA	ABS
2	CL-AG02	LIGA	DESLIGA	ABS
3	CL-AG03	LIGA	DESLIGA	ABS
4	CL-AG04	LIGA	DESLIGA	ABS
5	CL-BB01	LIGA	DESLIGA	ABS
6	CL-BB02	LIGA	DESLIGA	ABS

Tabela 8: Lista de TAG's das caixas de comando local.

Fonte: Autor

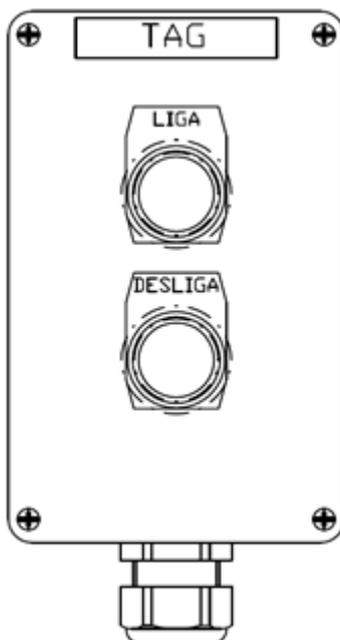


Figura 4: Disposição física das caixas de comando local.

Fonte: Autor

3.4 Lista de instrumentos e equipamentos

Este documento apresenta a listagem de todos os itens de instrumentação e equipamentos do projeto, incluindo suas principais informações como identificação, serviço e características técnicas (TAMIETTI - 2009).

LISTA DE INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS												PROJETO: Automação de Coluna de Flotação		
ITEM	TAG	INST. / EQUIP.	SERVIÇO	FAIXA DE OPERAÇÃO			RANGE			DIÂM. TUB.	FABRICANTE	MODELO	TENSÃO	OBS.
				MÍN.	MÁX.	UNID.	MÍN.	MÁX.	UNID.			CÓDIGO		
1	FIT-001	Transmissor de vazão magnético	Medir vazão de água de lavagem	0,14	2	l/min	0,14	11,74	l/min	1/2"	Emerson Process	8732E-S-T-2-A-1-NA-M4 8705T-S-005-C-1	115 Vca	
2	FIT-002	Transmissor de vazão vortex	Medir vazão de ar de aeração	0,5	4	m³/h	0,4	5,4	m³/h	1/2"	Emerson Process	8800D-F-005-S-A1-N-D	24 Vcc	
3	FV-001	Válvula de controle	Controle de vazão de água de lavagem	0,14	2	l/min	0,14	11,74	l/min	1/2"	Emerson Process	24000CVF/SVF	24 Vcc	
4	FV-002	Válvula de controle	Controle de vazão de ar de aeração	0,5	4	m³/h	0,4	5,4	m³/h	1/2"	Emerson Process	24000CVF/SVF	24 Vcc	
5	PIT-001	Transmissor de pressão	Medição de nível e Hold-Up	0	10	bar	- 1,01	10,3	bar	-	Emerson Process	2088G-2-S-22-S1-M4	24 Vcc	
6	PIT-002	Transmissor de pressão	Medição de Hold-Up	0	10	bar	- 1,01	10,3	bar	-	Emerson Process	2088G-2-S-22-S1-M4	24 Vcc	

7	PC-001	Painel de controle	Acionamentos dos motores e controle do processo	-	-	-	-	-	-	-	-			Contermpla acionament os e PLC	
8	CF-01	Coluna de flotação	Separar particulados por processo de flotação	-	-	-	-	-	-	-	-	Acrildam			
9	BB-01	Bomba peristáltica	Alimentação de polpa na coluna de flotação	10	60	l/h	0	63	l/h	-	-	Watson Marlow Bredel	SPX 10	220 Vac	
10	BB-02	Bomba peristáltica	Transferência do material não flotado	10	150	l/h	0	150	l/h	-	-	Watson Marlow Bredel	521F/RELC	220 Vac	
11	AG-01	Agitador	Condicionar a polpa com reagentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-		220 Vac	Pot.: 2 cv
12	AG-02	Agitador	Condicionar a polpa com reagentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-		220 Vac	Pot.: 2 cv
13	AG-03	Agitador	Condicionar a polpa com reagentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-		220 Vac	Pot.: 2 cv
14	AG-04	Agitador	Condicionar a polpa com reagentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-		220 Vac	Pot.: 2 cv
15	XV-001	Válvula Esfera	Drenagem da coluna	On	Off	-	-	-	-	1"	-	Bray		24 Vcc	

Tabela 9: Lista de instrumentos e equipamentos

Fonte: Autor

3.5 Desenho de detalhamento

Estes desenhos são elaborados para fornecer informações para a fabricação de componentes e peças mecânicas, contemplando informações como as dimensões de cada componente, grau de acabamento e tolerâncias dimensionais, tipo e qualidade de materiais e lista de materiais (TAMIETTI - 2009).

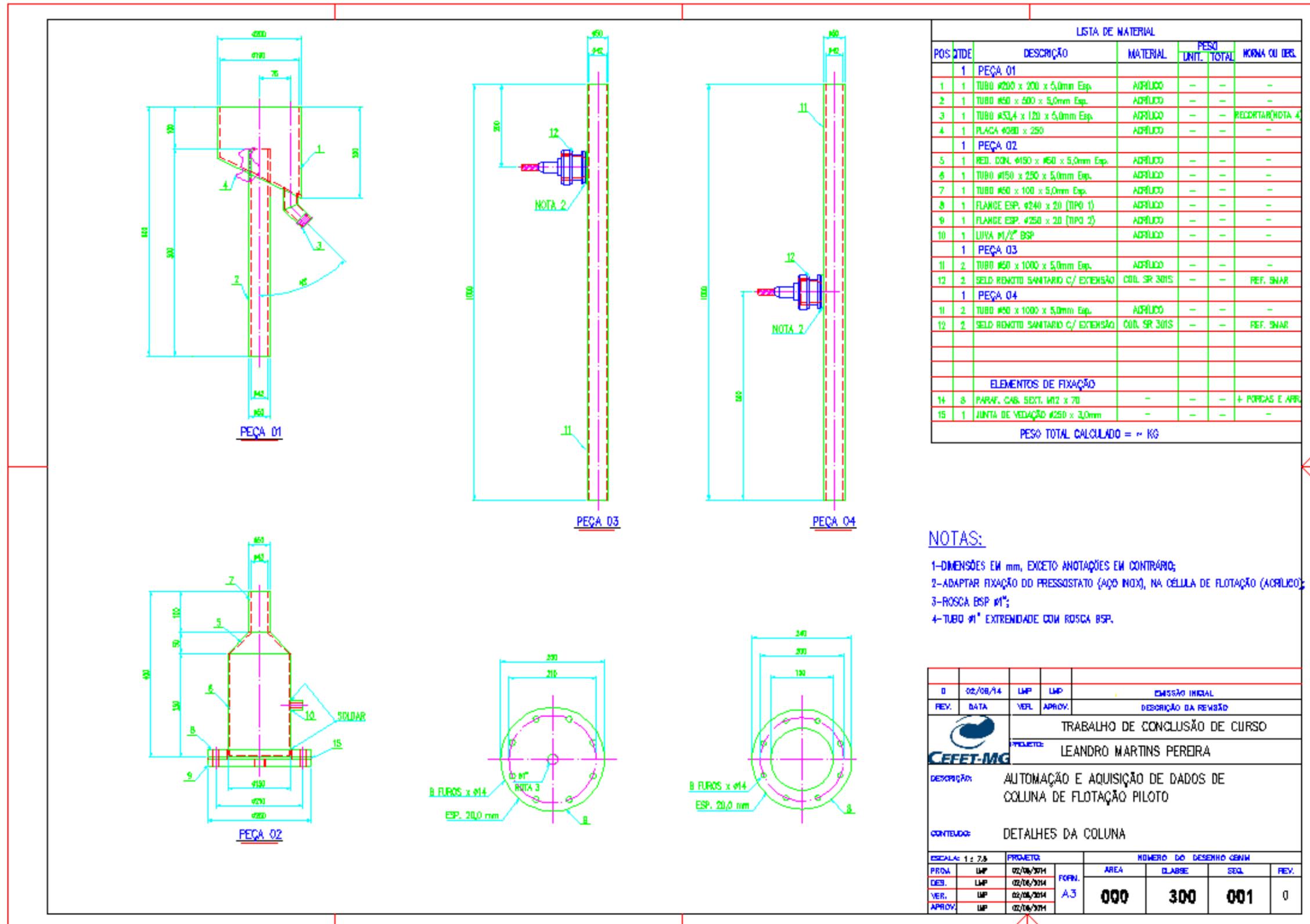


Figura 5: Desenho de detalhes de fabricação da coluna.
 Fonte: Autor

3.6 Desenvolvimento de software de controle – CLP (Controlador Lógico Programável)

Nesta etapa será demonstrado a elaboração do programa do CLP, programa este responsável pela sequência repetitiva de ações que define o estado das saídas numa relação fixa com o conjunto de entradas, trata os intertravamentos para garantir a segurança do processo e controla as variáveis analógicas de acordo com a necessidade da operação.

O programa foi desenvolvido através do *software Step 7* de propriedade da *Siemens* e utilizando uma linguagem de programação conhecida como Diagrama *Ladder*, que é uma representação ordenada em forma de escada de componentes e conexões e pode ser reprogramado quando necessário de acordo com a necessidade do processo.

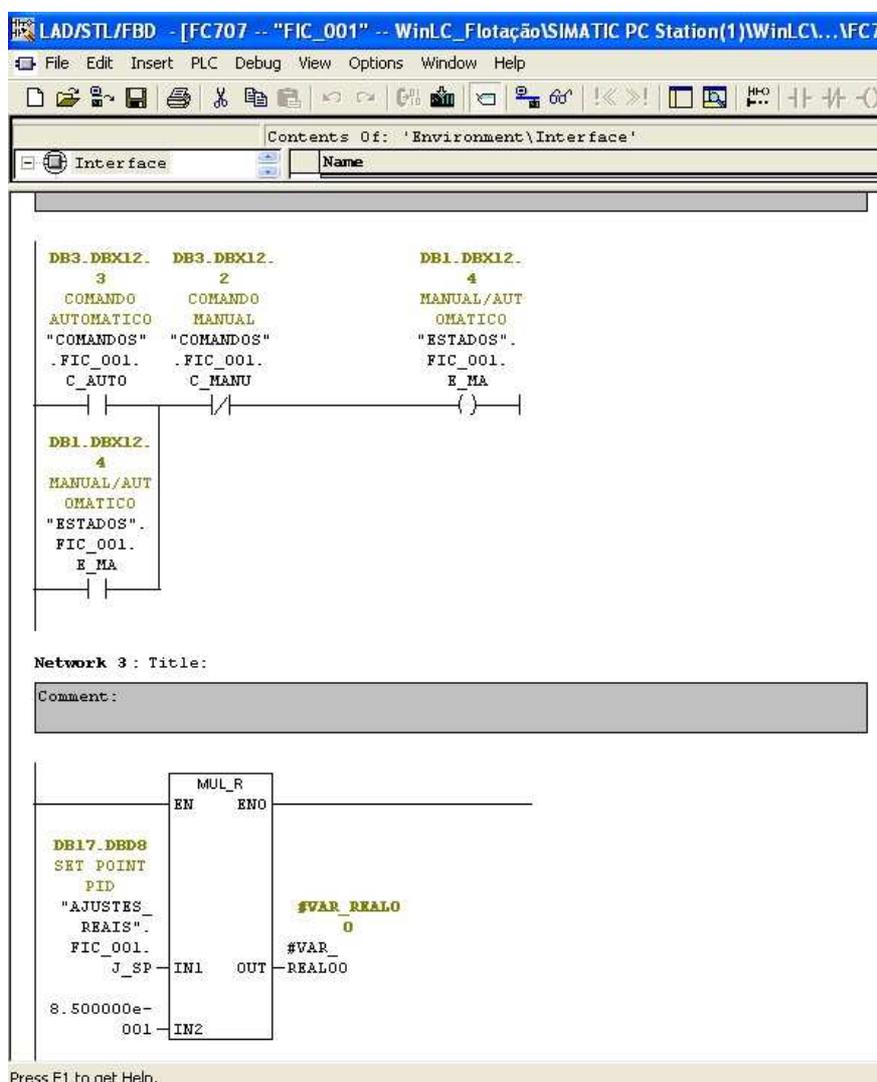


Figura 6: Ladder controle de vazão FIC-001.

Fonte: Autor

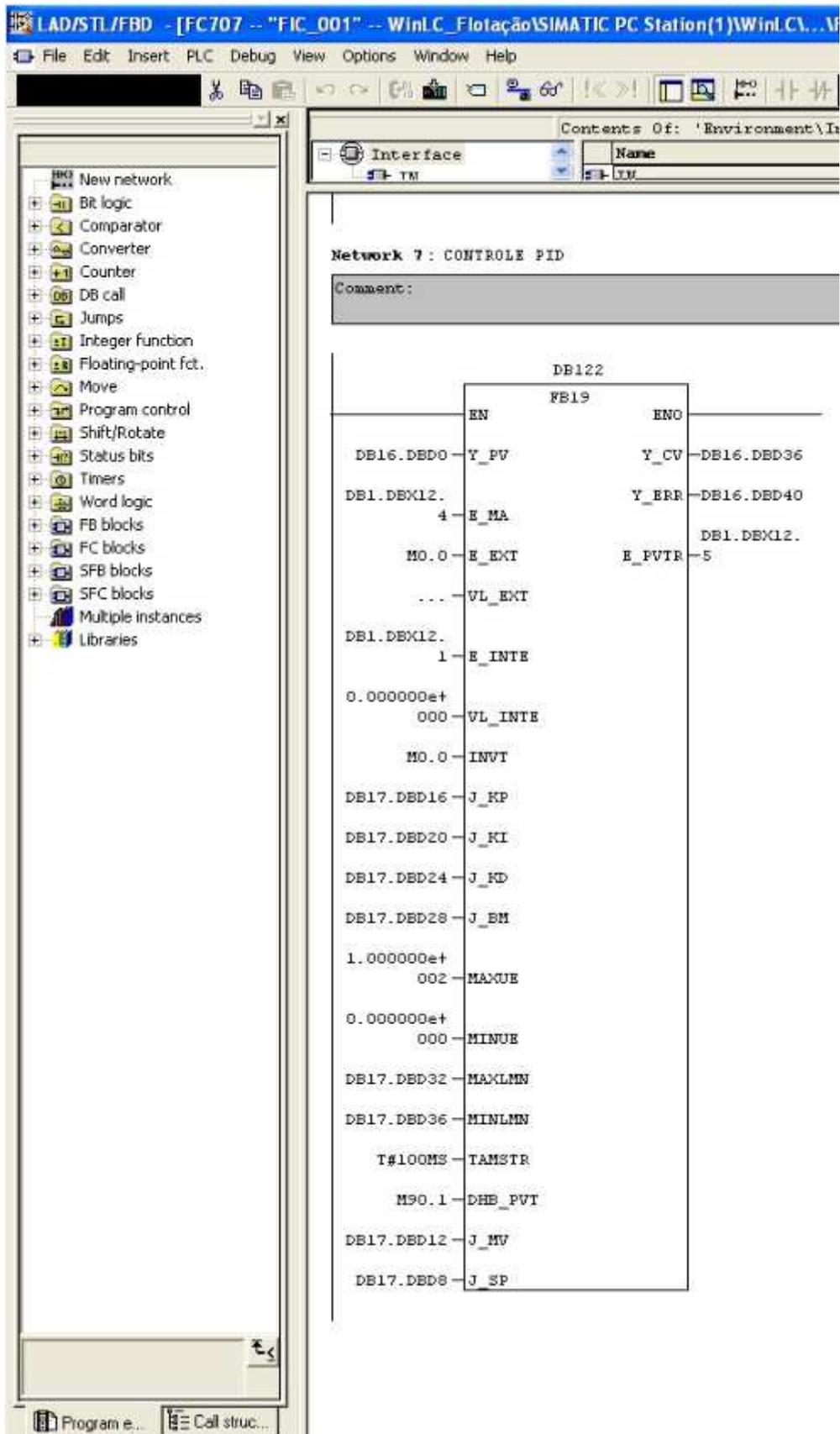


Figura 7: Bloco PID do Diagrama Ladder .

Fonte: Autor

Object name	Symbolic name	Created in language
FC58	T_DIAG_REDE	STL
FC60	T_SCALE	STL
FC61	T_UNSCALE	STL
FC66	T_DT_TOD	STL
FC67	T_REAL_TO_INT	STL
FC77	T_RELOGIO_CLP	STL
FC140	X_AUXILIARES_GERAIS	LAD
FC300	SQ_CARREGAMENTO_SILOS	LAD
FC301	SQ_BRITAGEM_PRIMARIA	LAD
FC302	SQ_BRITAGEM_SECUNDARIA	LAD
FC700	AG_01	LAD
FC701	AG-02	LAD
FC702	AG-03	LAD
FC703	AG-04	LAD
FC704	Hand Valves	LAD
FC705	BB-01	LAD
FC706	BB-02	LAD
FC707	FIC_001	LAD
FC708	FIC_002	LAD
FC709	LIC_001	LAD
FC2001	LEITURA_ANALOG	LAD
DB1	ESTADOS	DB
DB2	DEFEITOS	DB
DB3	COMANDOS	DB
DB4	INTERTRAVAMENTOS	DB
DB5	CALCULOS	DB
DB7	PERMISSOES	DB
DB9	AUXILIARES	DB
DB11	AJUSTES	DB
DB14	ALARMES	DB
DB15	EVENTOS	DB
DB16	CALCULOS_REAIS	DB
DB17	AJUSTES_REAIS	DB
DB50	CLP_DIAG	DB
DB51	CLP_REDE	DB
DB52	CLP_RDFD?	DB

Figura 8: Lista de objetos do Diagrama *Ladder*.

Fonte: Autor

3.7 Desenvolvimento de software de monitoramento – Supervisório

O sistema supervisório tem como função melhorar a performance homem / máquina, proporcionando uma supervisão plena do processo através de telas devidamente configuradas. As telas podem ser animadas em função das informações recebidas pelo CLP. Por exemplo: no acionamento de uma bomba, a representação da mesma na tela mudará de cor informando que está ligada, uma determinada vazão varia no campo, no mesmo instante a tela mudará o valor medido.

O sistema supervisório foi desenvolvido com a utilização do *software INTOUCH* fabricado pela *Wonderware*.

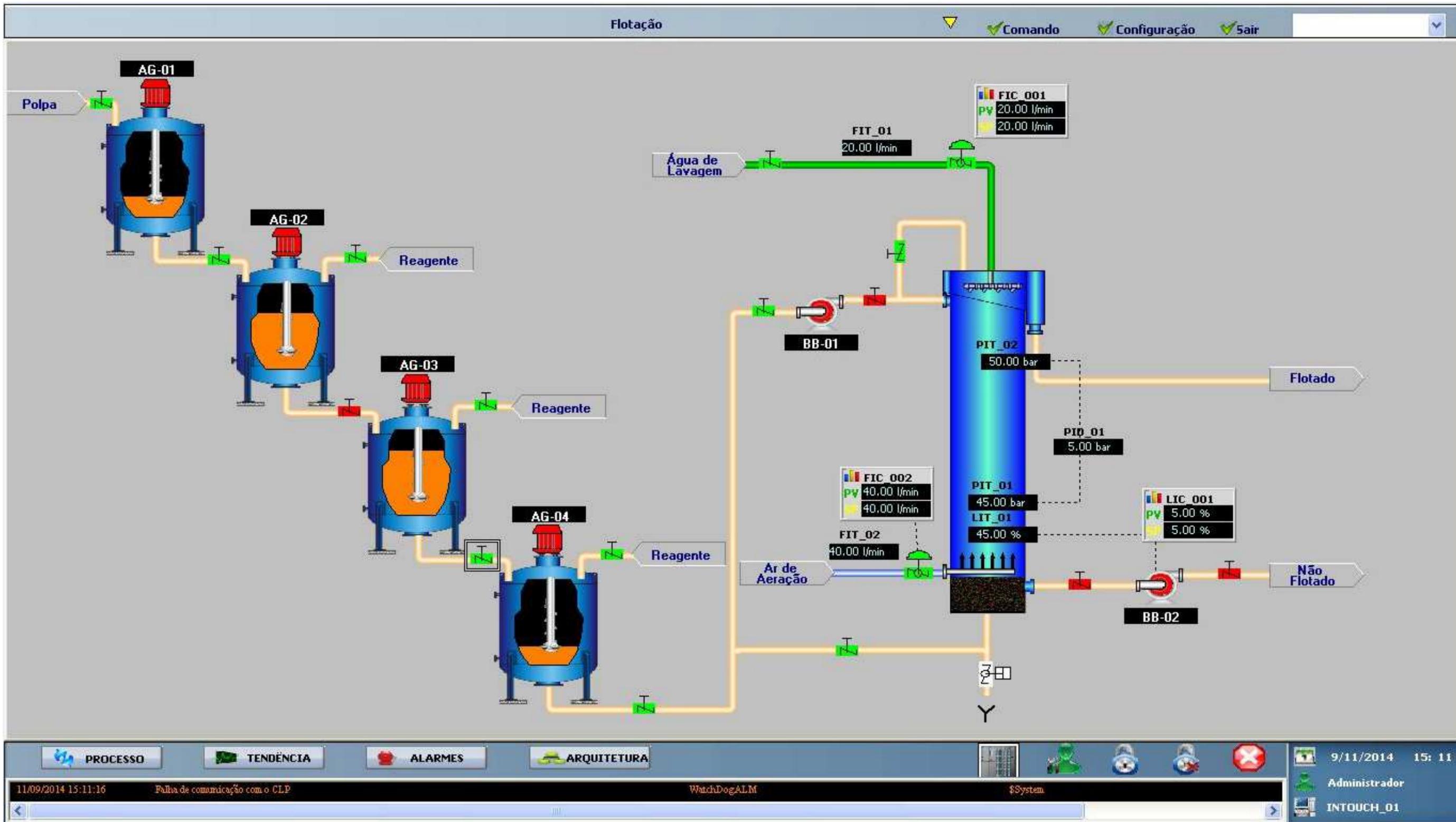


Figura 9: Tela do sistema supervisório.
Fonte: Autor

4 RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Foram realizadas simulações dos subsistemas e do sistema como um todo, permitindo avaliação e testes dos softwares de controle (CLP) e monitoramento. Os comandos digitais foram testados ilustrando abertura e fechamento de válvulas, o que possibilita a visualização do incremento dos níveis dos tanques condicionadores e/ou a transferência de produto entre equipamentos, conforme mostrado na Figura 9.

Ao clicar no símbolo do motor abre-se uma janela de operação, conforme ilustrado na Figura 11, o que possibilita o operador acionar o equipamento, fazendo com que o mesmo comece a girar e passe da cor verde para vermelha, indicado que o mesmo está ligado.

Com relação as válvulas, ao clicar no símbolo, elas comutam de cor, indicado a posição em que se encontra, (verde – fechada e vermelho - aberta). Caso a válvula no topo do tanque esteja aberta, a indicação do nível, de cor laranja, começa a incrementar e no caso da válvula posicionada na parte inferior do tanque seja aberta a indicação do nível decrementa.

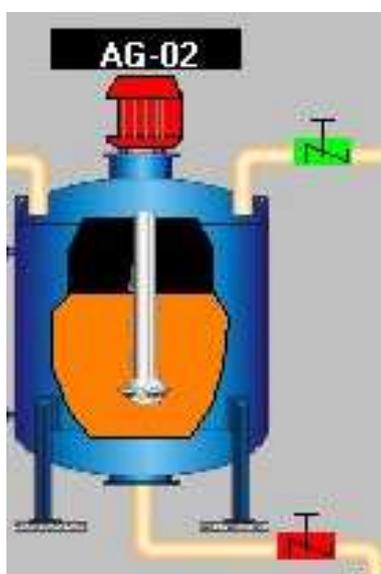


Figura 10: Tanque com indicação de nível, acionamento e válvulas.

Fonte: Autor



Figura 11: Janela de operação do agitador.
Fonte: Autor

As simulações das malhas de controle nos permitiu avaliar as interfaces de entradas e saídas em conjunto com o processamento realizado pelo software do CLP.

O operador ao inserir o valor desejado na malha de controle, como demonstrado no campo "SP" da Figura 13, o controlador inicia o processamento da informação da seguinte forma: lê a variável de entrada, no caso da Figura 12 medição de vazão (FIT-002), processa os cálculos conforme programação desenvolvida no software e atua na variável de saída, que neste caso é o posicionamento da válvula de controle, como exemplificado na Figura 12.

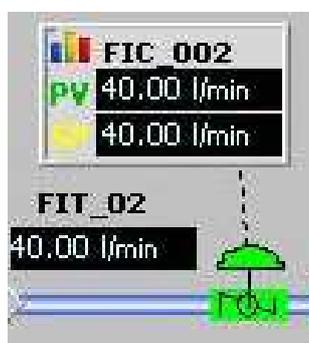


Figura 12: Malha de controle de vazão
Fonte: Autor

As janelas de operação das malhas de controle permitem que o operador module os valores de Set-Point (SP) das malhas de controle, com o objetivo de ajustar as variáveis de processo conforme planejado. Além de disponibilizar ajuste dos ganhos do controlador PID e visualização das tendências das variáveis manipuladas e de processo conforme sintonia ajustada previamente.

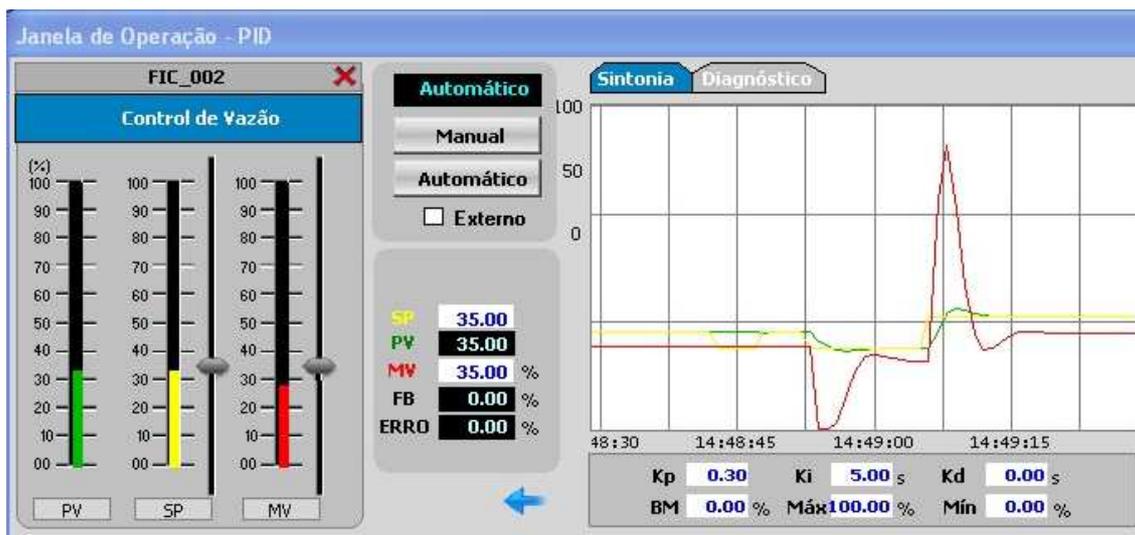


Figura 13: Janela de operação controlador PID

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Conforme proposto, nesta monografia foi estudado a aplicação da automação em colunas de flotação. Para tal foi elaborado um projeto especificando toda a instrumentação, os equipamentos e o sistema de controle necessário para este fim. A instrumentação em colunas de flotação garante condições para implementação de técnicas de controle e supervisão das variáveis importantes inerentes ao processo, como altura da camada de espuma e *hold up* de ar. A especificação dos instrumentos requer especial atenção com relação as faixas de medição para que se possa evitar efeito de variação dos valores medidos.

O desenvolvimento dos *softwares* de controle e supervisão proporcionou uma simulação de controle do processo, onde pode ser verificado a eficiência dos controles das variáveis, através dos instrumentos definidos neste projeto. Os resultados foram satisfatórios, pois os testes demonstraram a capacidade que os sistemas de automação possuem para realizar o controle automático em colunas de flotação, além de proporcionar a possibilidade de aquisição de dados das variáveis medidas para estudo do comportamento das mesmas em diversos tipos minerais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, podemos sugerir os seguintes tópicos a serem desenvolvidos.

- Desenvolver projeto do painel de controle e acionamentos, definindo os modelos dos dispositivos, os tipos de sinais, redes e intertravamentos necessários para o projeto, além dos desenhos de interligações internas do painel;
- Elaborar diagrama de interligação dos equipamentos, instrumentos e acionamentos. Neste documento aparecem os detalhes de ligação dos condutores de sinal e blindagem, bem como as réguas terminais que interligam os instrumentos de campo, os acionamentos e os demais dispositivos eletrônicos do sistema de controle;
- Automatizar dosagem de reagentes nos tanques condicionadores, com o objetivo de garantir a quantidade ideal para cada fase de agitação da polpa durante o condicionamento da polpa;
- Implementar automatismo de temporização para controle de tempo de residência da polpa em cada etapa de agitação nos condicionadores.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LUZ, A. B; SAMPAIO, J.A; ALMEIDA, S.L.M., **Tratamento de Minérios, 4ª Edição revisada e ampliada, CETEM-MCT, RJ**, capítulo Flotação , 2004.
- AQUINO, J. A; OLIVEIRA, M.L; FERNANDES, **Tratamento de Minérios, 4ª Edição revisada, CETEM-MCT, RJ**, capítulo Flotação em coluna, 2006.
- GUIMARÃES, R.C; PERES, A. E. C. **Máquinas de flotação**. Relatório técnico BT/PMI/046. Escola Politécnica - DEM - USP, 1995.
- OLIVEIRA, M.L. **Curso de Tratamento de Minérios**. Apostila de curso dado na CBMM em 2011.
- Boutin, P. and Wheeler, D. (1967). **Column flotation. Mining World**, 20(3):47-50.
- Dell, C. C. and Jenkins, B. W. (1976). **The Leeds Flotation Column**. Seventh International Coal Preparation Congress, Sydney-Australia.
- Yianatos, J. B. (1987). **Flotation column froths**. Ph.D. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- ALTUS SISTEMA DE INFORMÁTICA S. A. **Programação Básica de Controladores Programáveis**, Doc. Mu299026, 2004.
- Siemens. Disponível em: <http://www.siemens.com>. Acesso em: 10 de Agosto de 2014.
- SENAI. **Introdução aos PLC's**. Apostila do SENAI - CENATEC em eletroeletrônica de 2002.
- SENAI. **SCADA**. Apostila do SENAI de 2000.
- PERSECHINI, M. A. et al. Instrumentação de uma coluna de flotação piloto **para desenvolvimento de técnicas de controle avançado**. Rio de Janeiro, 2001, CETEM-MCT.
- OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de Controle Moderno**, 4º Edição, SP, 2003.
- Bega, E. A. (2006). **Instrumentação Industrial (2º ed.)**. Rio de Janeiro: Interciência.
- TAMIETTI,.R..P. (2009); **Engenharia de projetos industriais**, Draft curso EPI Unileste.