



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

FRANCIELLY APARECIDA BORGES

**AUTOMATIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE ENSAIOS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UMA SALA DE TREINAMENTO**

ARAXÁ-MG

2017

FRANCIELLY APARECIDA BORGES

**AUTOMATIZAÇÃO DE UMA PLANTADE ENSAIOS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UMA SALA DE TREINAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Alexandre Dias Linhares.

ARAXÁ-MG

2017

FRANCIELLY APARECIDA BORGES

**AUTOMATIZAÇÃO DE UMA PLANTA DE ENSAIOS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UMA SALA DE TREINAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Automação Industrial.

Defesa: Araxá, 6 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Me. ALEXANDRE DIAS LINHARES - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. ALMIR KAZUO KAMINIZE - Avaliador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Dr. DOMINGOS SÁVIO DE RESENDE - Avaliador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

RESUMO

No setor de eletromecânica da cidade de Araxá, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG), possui uma planta de ensaios de distribuição de água onde é possível simular partidas, funcionamentos e defeitos. Esta planta não possui automatização alguma, sendo que o conjunto motobomba parte por meio do fechamento de contadores em sistema estrela-triângulo, podendo ser automático ou manual. Este trabalho consiste em automatizar esta planta no sistema de distribuição em marcha utilizando um inversor de frequência, um transmissor de pressão e um CLP, além de montar um sistema supervisório. A pressão da tubulação de recalque será constantemente monitorada por meio do transmissor de pressão que através da abertura ou do fechamento de uma válvula no recalque promove o aumento ou a diminuição da velocidade do conjunto motobomba. Com estes equipamentos incorporados na planta a vazão da água somente altera quando os consumidores necessitam, mantendo a pressão constante na linha. O sistema de supervisão permite avaliar/simular distúrbios até então de difícil detecção, como fuga fraudulenta, vazamentos, consumo repentino. Treinamentos numa planta com essas características deverão ser implantados, uma vez que os benefícios decorrentes são promissores, quando se espera uma diminuição de custo de energia elétrica através da redução de partidas dos conjuntos motobombas.

Palavras-chave: Automatização. Pressão. Distribuição de água.

ABSTRACT

In the sector of electromechanical in the city of Araxá, the Sanitation Company of Minas Gerais (COPASA-MG), has a plant testing of water distribution where it is possible to simulate, matches, runs, and defects. This plant has no automation whatsoever, being that the set motor pumps part by means of the closing of contactors in the system stat-triangle, and can be automatic or manual. This work consists in automating this plant in the distribution system in march using a frequency inverter, a pressure transmitter and a PLC, in addition to setting up a supervisory system. The pressure of the piping discharge the opening or the closing of a valve in the discharge promotes the increase or decrease of the speed of the set motor pump. With these equipment incorporated in the plant the water flow only changes when consumers need, keeping constant pressure on the line. The supervision system allows to evaluate simulate the disturbances, until then, difficult to detect, such as leakage, fraudulent, leaks, consumption sudden. Training in a plant with these characteristics should be deployed, once the benefits are promising, when it is expected a decrease of cost of electrical power by reduction of departures of sets pump motor.

Keywords: Automation. Pressure. Distribution of water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos básico de uma instalação de bombeamento.	14
Figura 2 - Diagrama de blocos representativos em malha fechada.	22
Figura 3 - Exemplo de aplicação de controle liga-desliga.	25
Figura 4 - Exemplo de aplicação do controle auto-operado.	26
Figura 5 - Semelhança entre os esquemas elétricos e a primeira linguagem.	31
Figura 6 - Materiais incorporados na planta.	37
Figura 7 - Dados de placa do motor.	38
Figura 8 - Transmissor de pressão.	38
Figura 9 - Inversor de frequência.	39
Figura 10 - CLP acrescido do cartão de entrada e saída analógicos.	39
Figura 12 - Variável SETPOINT ajustada para zero.	42
Figura 13 - Modo automático definido como falso.	42
Figura 14 - Valores de ganho (GAIN).	43
Figura 15 - Regulagem AT_PARAMETROS.	43
Figura 16 - INITIALIZE e AUTOTUNE verdadeiros.	44
Figura 17 - MV e AUTOTUNE com os mesmos valores.	44
Figura 18 - INITIALIZE definido como falso.	45
Figura 19 - AT_WARNING igual a dois.	45
Figura 20 - AUTOTUNE falso.	46
Figura 21 - Valores GAIN encontrados.	46
Figura 22 - Linha do código desenvolvido.	48
Figura 23 - Bloco de transformação e escalonamento.	49
Figura 24 - Bloco PID.	49
Figura 25 - Tela de alarme criada.	50
Figura 26 - Uma parte da nova programação desenvolvida.	51
Figura 27 - Bloco PID utilizado.	52
Figura 28 - Bloco SIN e / utilizados.	53
Figura 29 - Falhas desenvolvidas.	53
Figura 30 - Tela do supervisório desenvolvido.	54
Figura 31 - Posição Local/Manual.	55
Figura 32 - Posição Local/Automático.	55
Figura 33 - Posição Remoto.	56

Figura 34 - Chave seletora na opção de Remoto/Manual.	56
Figura 35 - Partida em Remoto/Automático.	57
Figura 36 - Sistema em falha.	58
Figura 37 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,3.....	59
Figura 38 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,5.....	59
Figura 39 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,8.....	60
Tabela 1 - Parâmetros ajustados.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCW	Connected Components Workbench
CLP	Controlador Lógico Programável
COPASA-MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DN	Diâmetro Nominal
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
RTU	<i>Remote Terminal Units</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
SP	<i>Set Point</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Instalação Elevatória	13
2.2	Reservatórios	16
2.3	Bombas Hidrodinâmicas.....	17
2.4	Sistemas de Automação - Sistema de Controle em Malha Fechada..	21
2.5	Controlador Lógico Programável	28
2.6	Sistema Supervisório	33
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	Materiais	37
3.2	Métodos	40
3.3	Programação.....	47
3.4	Observações complementares.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	Programação.....	51
4.2	Sistema Supervisório	53
4.3	Resultado Final	58
5	CONCLUSÕES.....	61
6	SUGESTÕES.....	62

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas de distribuição de água a automação é importante para evitar perdas do produto final que podem ocasionar um impacto profundamente negativo para o balanço financeiro das organizações e também para o meio ambiente. Para o meio ambiente a automação pode contribuir positivamente para que os recursos naturais sejam mais eficientemente aproveitados e os desperdícios sejam os mínimos possíveis.

Para que um sistema de automação na produção e distribuição de água seja construído e mantido são necessários esforços e recursos elevados o que algumas das organizações responsáveis por prestar esses serviços para a população prescindem.

Os investimentos em automação neste setor são justificados quando resultados importantes são alcançados nas organizações como a melhoria contínua na qualidade da água, através de controle e monitoramento constantes; a redução da pressão nas tubulações que poderiam ocasionar o rompimento inesperado ou até prematuro das tubulações; a detecção de vazamentos, resultando em reparos mais eficientes e eficazes; a redução do consumo de energia e as ligações clandestinas, que ocasionam perdas no sistema.

Com a implantação da automação, também não há a necessidade de operadores realizando manobras, desligando e ligando bombas. O sistema pode ser controlado e monitorado em centros de controles para que as ações e operações possam ser realizadas sem nenhum tipo de insegurança para o operador.

A grande maioria dos sistemas de captação, tratamento e distribuição de água funciona da seguinte maneira: após a captação da água de rios, lagos ou represas, poços artesianos ou perfurações nos terrenos, a água é encaminhada para as Estações de Tratamento, por meio da gravidade ou por bombeamento. Nas Estações de Tratamento, a água irá passar por várias etapas a fim de eliminar os metais nela presentes bem como as sujeiras, impurezas e germes nocivos à saúde. A água é então armazenada em reservatórios com a finalidade de manter a regularidade dos abastecimentos e atender às demandas extraordinárias. A seguir, a água passa pelas redes de distribuição e chega aos consumidores.

Os sistemas de distribuição podem operar de várias maneiras: por gravidade, quando os centros consumidores estão localizados abaixo do nível dos

reservatórios; por bombeamento, com controle automático através de boias eletrônicas relés de nível superior e inferior e via rádio.

A proposta deste trabalho é promover o controle automático em um sistema de distribuição de água, utilizando uma planta de treinamento já existente, alcançando o controle automático e efetivo da vazão da água da planta piloto, além de utilizá-la como ensaio experimental para diversos treinamentos de controle e automação.

Os sistemas de distribuição de água que não possuem nenhum tipo de automatização podem apresentar um controle insuficiente, pois, quando ocorrem falhas como, por exemplo, vazamentos nas tubulações, as equipes de manutenção e operação só conseguem detectar após longos períodos.

Outro problema recorrente envolvendo sistemas de distribuição com automatização ineficiente é quando os conjuntos motobombas falham por algum motivo, ocasionando vazamentos e até desabastecimento.

Com o sistema proposto o abastecimento ocorre somente quando os consumidores necessitarem, mantendo a pressão constante na bomba e evitando, assim, desperdícios de água, de energia, além de partidas desnecessárias da bomba, etc.

Ademais, com a utilização deste sistema, não seria necessária a construção de reservatório elevado, sendo possível também a economia na construção de redes, pois, após a água sair da Estação de Tratamento, ela seria direcionada para um reservatório e, então, encaminhada para a área a ser abastecida, não passando pelo reservatório elevado, para o qual seria preciso a utilização de redes com diâmetro maior.

A planta onde se desenvolveu o trabalho está localizada em uma sala de treinamento no setor de Eletromecânica da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG), na cidade de Araxá, Minas Gerais. Futuramente esta planta poderá ser utilizada para realizar treinamentos sobre como automatizar sistemas de distribuição de água, controlar e operar o sistema proposto, entre outros.

A fim de atingir o objetivo geral do projeto, executou-se: instrumentalização da planta, acrescentando-se um inversor de frequência, um transmissor de pressão, um manômetro e um Controlador Lógico Programável (CLP); criada uma lógica de controle; desenvolvido o sistema supervisor da planta; ajustado e feito o comissionamento das ligações elétricas, para evitar erros que

poderia causar a queima em componentes por curto circuito ou ligações erradas e parametrizado o inversor de frequência com o software de supervisão e controle.

Nos próximos capítulos serão apresentadas as referências técnico/científicas, o levantamento acerca da automatização e de sistemas de distribuição de água, a metodologia de todas as etapas contempladas para o projeto, os resultados obtidos e sua análise e as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

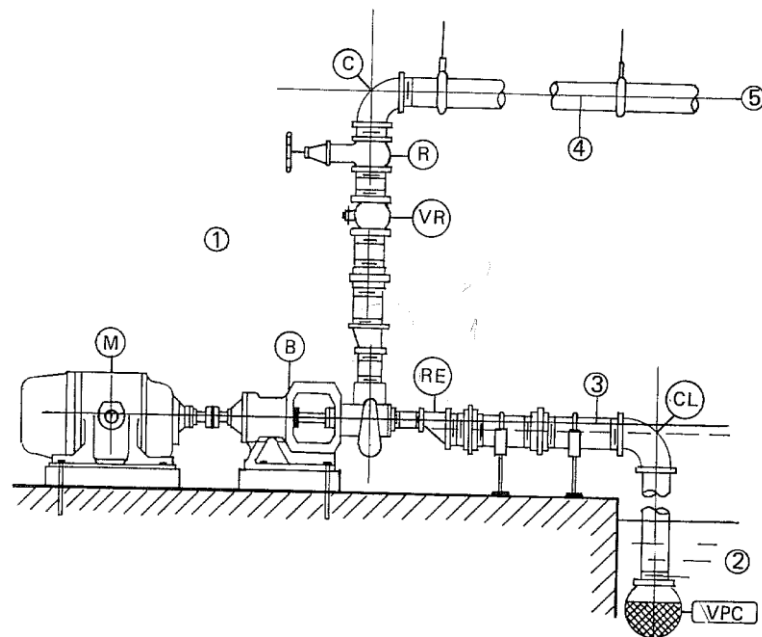
Uma instalação elevatória de distribuição de água a comunidades compõe-se basicamente de reservatórios, sistemas de bombeamento, linhas de distribuição e componentes para automação.

2.1 Instalação Elevatória

A sobrevivência do homem, desde os tempos remotos, dependia da disponibilidade de água. Um problema que o homem apresentou, uma insuficiência de sua própria força, era a dificuldade de como transportar os fluídos ou a água (CARVALHO, 1999). No início o homem aliou-se a forças animais e a outros tipos de artifícios para tentar contornar esta situação. Contudo, com o aumento das pessoas, com a água sendo utilizada para novas atividades, por exemplo com a irrigação agrícola, o consumo foi aumentando. Em função do aumento do consumo de água a força animal se tornou insuficiente e algumas técnicas tornaram-se até ultrapassadas. Com o passar dos tempos, com as necessidades aumentando e com os avanços tecnológicos o homem começou a usar em larga escala um dispositivo criado pelo filósofo grego Ctesibius e aperfeiçoado por Hero: uma bomba de pistão acionada a força vapor (CARVALHO, 1999). Os avanços tecnológicos permitiram que novos dispositivos fossem criados para esta finalidade como por exemplo os motores de alta rotação, o que permitiu a construção de bombas centrífugas com ótimo desempenho, capazes de trabalhar não somente com água mais também com outros tipos de fluidos.

As instalações de elevatórias são sistemas de bombeamento cujo objetivo é conduzir fluidos entre níveis com pressões diferentes e, de acordo com o fluido que trabalham, podem ser divididas em instalações elevatórias de água bruta ou de água tratada.

Os elementos básicos de uma instalação de bombeamento típica com sucção positiva, podem ser observados na figura a seguir, sendo:



LEGENDA	
1- Casa de bombas	M- Motor
2- Reservatório de sucção	B- Bomba
3- Linha de sucção	RE- Redução excêntrica
4- Tubulações	CL- Curva de raio longo
5- Linha de recalque	VPC- Válvula de pé e crivo
	VR- Válvula de retenção
	R- Registro de gaveta
	C- Curvas

Figura 1 - Elementos básico de uma instalação de bombeamento.
Fonte: CARVALHO (1999, p. 19).

De forma mais detalhada, os elementos se agrupam na seguinte forma:

- Casa de bombas: constituída de um motor e uma bomba. O motor é o elemento responsável pelo acionamento da bomba e pode ser elétrico, de combustão interna, a turbina hidráulica ou a gás. Alguns aspectos são levados em consideração na escolha do motor, dentre eles o custo e a disponibilidade de energia, a quantidade de fluido que deverá ser bombeado, dentre outros. A bomba é responsável por succionar o fluido e a escolha de qual modelo mais adequado para a sua necessidade irá depender da vazão a ser recalçada e da altura manométrica da instalação. O consumo diário que a instalação deverá atender, quanto tempo a bomba irá ficar trabalhando e o número de bombas na instalação, são os três elementos essenciais para o cálculo da vazão a ser recalçada por uma bomba.
- Reservatório, poço ou manancial: local de onde a água será succionada.
- Tubulação de sucção: Neste elemento é possível encontrar as peças válvula de pé com crivo, curva longa 90° e redução excêntrica. A válvula de pé com crivo é um

dispositivo que permite a passagem do fluido em um único sentido mantendo a bomba sempre escorvada (tubulação de sucção e a bomba cheias de fluido). Esta válvula impede o retorno do fluido para o reservatório de sucção quando o motor é desligado. A redução excêntrica é utilizada para evitar que ocorra a formação de bolsas de ar, que pode estrangular a passagem do mesmo o que dificultaria o funcionamento normal da bomba. Em tubulações de sucção de pequeno diâmetro a utilização desta redução é dispensável e ela liga ao bocal de entrada da bomba, normalmente menor, ao final da tubulação de sucção, normalmente maior. Usualmente, um método para especificar o diâmetro da tubulação de sucção é a medida comercial imediatamente acima do diâmetro da tubulação de recalque.

- Tubulação de recalque: Aqui podem ser encontrados a válvula de retenção, registro, curvas e joelhos ou cotovelos. A função da válvula de retenção é impedir que em caso de paradas emergenciais ou de manutenção no bombeamento a água não vá retornar com um impacto muito forte (golpe de aríete) contra a bomba, mantendo o fluido em uma única direção. Outra função deste dispositivo é impedir que a bomba funcione como turbina, podendo atingir altas velocidades danificando-a. Isso acontece porque a válvula de retenção evita que ocorra refluxo do fluido através da parte de baixo do reservatório superior. Quando a válvula de retenção é utilizada juntamente com a válvula de pé, ocorre a escorva automática da bomba, chamado de “by-pass”. Outro acessório que também pode ser encontrado na tubulação de recalque é o registro de recalque que através da sua abertura e do seu fechamento controla o fluxo de fluido na tubulação.

Todos os acessórios e as tubulações oferecem resistência à passagem do fluido e é nessa resistência que consiste as perdas de carga. Quando a perda de carga ocorre nos trechos retilíneos das tubulações diz-se que ela é contínua. A natureza do fluido, o diâmetro e o comprimento da tubulação utilizada, se o escoamento é laminar ou turbulento e de que material é feita a tubulação são aspectos que podem influenciar nesta perda. Já quando a perda de carga ocorre nos acessórios ela é localizada ou acidental podendo influenciar a idade da tubulação, o estado de conservação das tubulações, dentre outros fatores.

As instalações elevatórias podem estar localizadas próximo ou no meio de mananciais, juntas ou próximas das estações de tratamento de água ou dos reservatórios de distribuição de água bem como da rede de distribuição de água.

Vários motivos podem impactar na escolha do local onde será construída a instalação elevatória, sendo alguns desses motivos, um menor trajeto para a tubulação de recalque, a topografia do terreno, a disponibilidade de energia elétrica, entre outros.

2.2 Reservatórios

Os reservatórios são unidades hidráulicas responsáveis por manter a regularidade do abastecimento mesmo quando é necessário que a produção seja paralisada para a realização de manutenções ou quando ocorrem paradas não programadas, além de atender às demandas extraordinárias que ocorrem nos sistemas de abastecimento de água.

Devem estar situados em locais estratégicos dos sistemas para garantir o abastecimento. A localização dos reservatórios também é importante para garantir que tenha água suficiente em determinadas situações, como por exemplo, para combater incêndios.

De acordo com a sua função em um sistema de distribuição de água os reservatórios podem ser classificados em reservatórios de acumulação ou reservatórios de distribuição.

Os reservatórios de distribuição são construídos para garantir que os centros consumidores sejam abastecidos e com uma pressão mínima. Também são utilizados para que as variações entre as vazões de distribuição e de adução sejam regularizadas.

Para que uma área seja criada com o intuito de armazenar certos volumes de água para serem usados para o abastecimento das populações, abastecimento de indústrias, irrigação, ente outras situações, os reservatórios de acumulação devem ser construídos.

Outra classificação que os reservatórios podem apresentar é segundo a sua localização no sistema de distribuição de água podendo ser, a montante ou a jusante que também é conhecido como de sobra.

Os reservatórios a montante, estão localizados antes das redes de distribuição e eles são construídos para conservar a altura manométrica e a vazão do sistema de adução de água constante. Quando ocorrem acidentes na tubulação principal o abastecimento deve ser paralisado. Nos sistemas de distribuição de água

que utilizam este tipo de reservatório, a jusante, podem apresentar oscilações de pressão na rede.

Já os reservatórios a jusante ou de sobra estão localizados após as redes de distribuição. Uma única tubulação é utilizada como entrada e como saída das vazões de água, com isso os diâmetros iniciais de montante e a altura física das redes são reduzidas.

Com relação a localização no terreno os reservatórios podem ser classificados basicamente em enterrados, quando estão embutidos completamente no solo; semienterrado, quando uma parte está embutida no solo e a outra parte não e elevado, quando o reservatório está apoiado em uma estrutura de elevação.

Dependendo dos custos de elevação, escavação e também da estabilidade dos reservatórios, principalmente para grandes reservas, os reservatórios apoiados e semienterrado são uma melhor opção de construção, desde que as cotas do terreno sejam propícias.

Os reservatórios elevados são construídos em locais onde não há a necessidade de garantia de pressão mínima na rede e onde as cotas do terreno não oferecem condições para a construção de outro tipo de reservatório. A construção deste tipo de reservatório pode apresentar custo elevado para grandes volumes de reservas. A estabilidade também é um ponto relevante na construção dos reservatórios elevados.

Por gastar menos material, a forma circular é a mais econômica, porém a forma retangular é a mais fácil de ser executada.

A escolha do-material que irá ser utilizado para construir um reservatório vai depender de inúmeros fatores. Por exemplo, da disponibilidade de recursos, do local onde o reservatório será construído, das características dos centros consumidores que ele irá abastecer, entre outros aspectos. Os reservatórios podem ser construídos de diferentes materiais, de concreto armado, madeira, aço, etc.

2.3 Bombas Hidrodinâmicas

As bombas são utilizadas nos circuitos hidráulicas para transformar energia mecânica em energia hidráulica, que é transferida ao líquido sob as formas de energia e cinética e de pressão.

As bombas podem ser divididas basicamente em hidrodinâmicas (também chamadas de deslocamento não positivo, rotodinâmicas, dinâmicas ou turbobombas) e hidrostáticas (ou de deslocamento positivo ou volumétricas). Essa divisão ocorre conforme é realizada a transformação do trabalho em energia hidráulica e qual o recurso para cedê-la ao líquido.

As bombas de deslocamento positivo, podem possuir uma ou mais câmaras. Internamente nestas câmaras o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento, logo as condições para que se realize o escoamento na tubulação de sucção até a bomba e na tubulação de recalque até o local de utilização são proporcionadas. A principal característica desta classe de bombas é que uma parte do líquido fica em contato com o órgão, responsável por comunicar energia, tendo praticamente a mesma trajetória que a do ponto do órgão com o qual está em contato.

As bombas hidrodinâmicas, são caracterizadas por possuírem um rotor, que é um órgão rotativo que possui perfis hidrodinâmicos para impulsionar o fluido (pás ou aletas). A função deste rotor é fornecer aceleração à massa líquida, para que a massa adquira energia cinética e então realize a transformação de energia. Este rotor exerce sobre o líquido forças que resultam em uma aceleração que imprime movimento ao fluido. Essa aceleração não é no mesmo sentido e nem na mesma direção do líquido em contato com as pás, como ocorre nas bombas de deslocamento positivo. O rotor pode ser fechado, quando existe uma coroa circular também presa às pás ou aberto, quando não existe essa coroa circular, ou ainda semiaberto, numa combinação dos dois tipos.

Para que a transformação da maior parte da elevada energia cinética com que o líquido sai do rotor, em energia de pressão, as bombas hidrodinâmicas precisam de outro órgão, um difusor. O difusor pode ser de tubo reto truncônico nas bombas axiais ou de caixa com forma de caracol ou voluta, nas bombas centrífugas. Entre a saída do rotor e o caracol, em determinadas bombas é utilizado palhetas devidamente posicionadas, as pás guias. As pás guias são utilizadas para que o líquido que sai do rotor seja levado até a transformação da energia cinética em energia potencial de pressão com mínimo de perdas sejam elas por atrito ou turbulência.

As bombas hidrodinâmicas podem ser classificadas ainda de diversas maneiras: segundo a trajetória do líquido no rotor, segundo o número de rotores empregado, número de entradas para aspiração e tipos de difusores.

Quanto a trajetória elas podem ser classificadas em bombas centrífuga pura ou radial e bomba de fluxo misto de diagonal que pode ser bomba helicocentrífuga, bomba helicoidal ou semiaxial.

Nas bombas centrífugas pura ou radial o líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo levado pelas pás para a periferia, de acordo com a trajetória contidas em planos normais ao eixo. Portanto, as trajetórias são curvas praticamente planas dentro de planos radiais. Podem possuir pás fixadas a um disco e a uma coroa circular (rotor fechado) ou a um disco apenas (rotor aberto, para bombas de água suja e esgoto, na indústria de papel e celulose). Pela sua simplicidade, essas bombas podem ser produzidas em série sendo muito utilizadas na grande maioria das instalações comuns de água limpa e, para pequenas, médias e grandes alturas de elevações. Essas bombas podem ser utilizadas também no bombeamento de água, condensados, óleos, entre outros (MACINTYRE, 1997).

Nas bombas helicocentrífugas, as pás, que possuem bordo de entrada são curvas e inclinadas em relação ao eixo, são atingidas após o líquido penetrar axialmente no rotor. O líquido segue uma trajetória que é curva reversa e atinge o bordo de saída que é paralelo ao eixo ou ligeiramente inclinado em relação a ele, pois as pás são de dupla curvatura. A pressão é informada através da força centrífuga e pela ação de sustentação de propulsão das pás.

Nas bombas helicoidal ou semiaxial a trajetória do líquido é uma hélice cônica, reversa, pois líquido atinge o bordo das pás que é curva e bastante inclinada em relação ao eixo e suas pás são superfícies de dupla curvatura. Nas pás o bordo de saída é uma curva inclinada em relação ao eixo. Por apresentarem pás de dupla curvatura, seu projeto e sua fabricação são mais complexos. Normalmente os rotores deste tipo de bomba possuem apenas uma base de fixação das pás em forma de cone ou de uma ogiva. Essas bombas são utilizadas para alturas de elevação pequenas e médias (MACINTYRE, 1997).

Por último, nas bombas axiais ou propulsoras a trajetória do líquido, de acordo com a configuração das pás do rotor e de suas pás guias se inicia paralelamente ao eixo e se transformam em hélices cilíndricas. Esse tipo de bomba

é bastante empregada para descargas grandes e alturas de elevação maiores de quarenta metros (MACINTYRE, 1997).

A segunda classificação que as bombas hidrodinâmicas podem apresentar é segundo o número de rotores empregado.

Segundo o número de rotores as bombas hidrodinâmicas podem ser classificadas em simples e múltiplo estágio. Nas bombas de simples estágio existe um único rotor, então, a energia ao líquido é fornecida em um único estágio. Essas bombas apresentam um baixo rendimento, dimensões grandes e um custo elevado de fabricação, logo, ela não é muito empregada para alturas de elevações grandes (MACINTYRE, 1997).

Já nas bombas hidrodinâmicas de múltiplo estágio, existe dois ou mais rotores fixados ao mesmo eixo e colocados em uma caixa, que através da sua forma permite o escoamento. Quando são grande as alturas de elevação o líquido passa sucessivas vezes por estes rotores e pelo difusor, o que é denominado um estágio na operação. Essas bombas podem ser utilizadas em instalações de alta pressão, alimentação de caldeiras, poços profundos de água e na pressurização de poços de petróleo.

A terceira classificação que as bombas hidrodinâmicas podem apresentar é segundo o número de entradas para aspiração. Segundo o número de entradas para aspiração as bombas podem ser de aspiração simples ou entrada unilateral ou de aspiração dupla de entrada bilateral.

Nas bombas de aspiração simples a entrada do líquido é de um lado e por uma abertura circular na coroa do rotor.

Nas bombas de aspiração dupla o rotor comporta o líquido por dois sentidos opostos e paralelamente ao eixo de rotação.

A quarta classificação é de acordo com os tipos de difusores, pois, é no difusor que ocorre a transformação da energia cinética em energia de pressão. Quanto ao tipo de difusor as bombas hidrodinâmicas podem ser de difusor com pás guias ou diretrizes colocadas entre o rotor e o coletor, com coletor em forma de caracol ou voluta e com difusor axial truncônico, com pás guias.

Para que bombas hidrodinâmicas funcionem quando operadas com linha de sucção positiva, ou seja, a bomba está acima do reservatório de sucção, elas devem ser primeiramente preenchidas com o líquido a ser bombeado, ou seja, elas devem ser escorvadas. Devido as folgas entre o rotor e o coletor e o restante da

carcaça o ar do corpo da bomba e da tubulação não consegue ser expulso sozinho, então a rarefação deve ser forçada. Ao ser criada a rarefação, a pressão atuando no líquido do reservatório faz com que o líquido ocupe o vazio deixado pelo ar e a bomba possa bombear. A força centrífuga decorrente do movimento do rotor e do líquido dentro dos canais formados pelas pás cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e, uma zona de menor pressão na sua entrada, gerando o deslocamento do líquido em direção à saída dos canais do rotor e à base de recalque da bomba. Em função das pressões existentes entre a entrada e a saída da bomba um gradiente hidráulico é estabelecido entre a entrada e a saída da bomba. Por causa da diferença de pressões no interior da bomba, a pressão na entrada do rotor fica inferior à pressão efetiva no reservatório gerando o escoamento do líquido através da tubulação de sucção, do reservatório para a bomba. Ao mesmo tempo em que na tubulação de recalque o líquido é obrigado a escoar para um lugar com cota superior ou um local de pressão considerável, pois, a energia na boca de recalque da bomba fica superior à pressão estática que a base da coluna líquida na tubulação de recalque está submetida. Com a bomba em funcionamento é formada então a trajetória do líquido a ser bombeado. A passagem do líquido pelo rotor, é onde acontece a transformação da energia mecânica em energia de pressão e energia cinética. Quando sai do rotor o líquido encontra o difusor, onde parte da energia cinética é transformada em energia de pressão e então o líquido segue para a tubulação de recalque.

No caso das bombas hidrodinâmicas, utilizadas neste projeto, o funcionamento se dá pela ação mecânica no rotor, que cria um vácuo parcial na entrada da bomba, permitindo que a pressão atmosférica obrigue o fluido, através da linha de sucção, a penetrar na bomba. O fluido passará para a abertura de descarga da bomba, forçando-a através do sistema hidráulico.

2.4 Sistemas de Automatização - Sistema de Controle em Malha Fechada

A interconexão de componentes, buscando que a resposta desejada seja encontrada, é um sistema de controle, formado pelo controlador e o sistema que deseja controlar.

Os sistemas de controle podem ser em malha aberta, quando a saída ou resposta não influencia na entrada do sistema ou em malha fechada quando a saída

ou resposta influencia na entrada do sistema, ou seja, neste tipo de sistema ocorre a realimentação.

A FIG. 2 representa de uma forma geral um diagrama de blocos representativos em malha fechada.

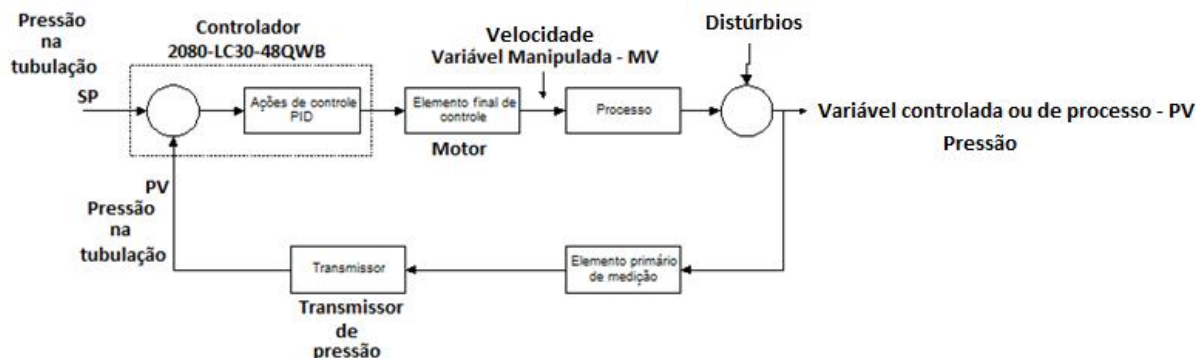


Figura 2 - Diagrama de blocos representativos em malha fechada.

No projeto desenvolvido o SP, que é o *set point* (SP), é a pressão desejada na tubulação; a PV, que é a variável de processo, é a pressão atual na tubulação; a MV, que é a variável manipulada, é a frequência/rpm do motor, o controlador é o CLP 2080-LC30-48QWB e o elemento final de controle é o conjunto motobomba.

Uma das vantagens do sistema de controle em malha fechada é que, como ele utiliza realimentação, fica insensível a distúrbios externos e as variações internas de parâmetros. Porém, uma de suas desvantagens é para que se obtenha um ótimo controle o sensor deve ser preciso o que as vezes pode apresentar um custo elevado. Outra desvantagem que este sistema apresenta, em relação ao sistema de controle em malha aberta, é que como ele busca a eliminação dos erros pode acabar causando oscilações de amplitude constante ou variável na busca pela estabilização do sistema, sendo que essa estabilidade é encontrada com mais facilidade nos sistemas de controle em malha aberta.

É recomendado que um sistema utilize o controle em malha aberta quando ele não apresenta algum tipo de distúrbio e quando a entrada do sistema é previamente conhecida no tempo, sendo que, adicionando a realimentação um sistema de controle em malha aberta pode ser transformado em um sistema de controle em malha fechada. Já quando distúrbios imprevisíveis podem acontecer no sistema é aconselhável que se utilize o controle em malha fechada.

O objetivo de um sistema de controle em malha fechada é fazer que a variável que está sendo manipulada no processo fique sempre dentro dos limites definidos pelo operador, ou seja, o sistema irá controlar uma variável manipulada. Este controle consiste em executar correções em outra variável do processo que é denominada de variável manipulada.

O controle pode ser feito manualmente (operador humano) ou automaticamente (instrumentos).

O operador, se for manualmente, ou algum instrumento, se for automaticamente, irá medir a variável que deseja controlar (variável controlada) e então ele irá tentar corrigir a variável que deseja ser controlada através de uma variável manipulada de forma a tentar manter a variável controlada no valor desejado (ponto de ajuste ou SP), ou seja, todas as ações no sistema visam que a variável do processo se aproxime ou iguale ao SP.

Caso o processo ocorra manualmente, o operador irá medir a variável que se deseja controlar, este valor irá ser comparado mentalmente com o SP que é o valor desejado para a variável que se deseja controlar, de acordo com esta diferença entre a variável que deseja ser controlada e o SP, que pode ser chamado de erro ou *offset*, o operador vai definir o que irá ser feito para que a variável controlada alcance o SP, ou seja, ele irá atuar fazendo uma correção no sistema.

As ações de correção no sistema podem ocorrer automaticamente, isso ocorre quando o sistema não opera manual e sim automático. Todas as ações realizadas pelo operador serão feitas pelo sistema de controle automático.

Para tentar diminuir o tempo gasto para que as ações de controle sejam efetivas e para tentar aumentar o rendimento do sistema e tornar as operações adequadas aos equipamentos mais simples, uma coisa que pode ser feita é especificar o sistema de controle mais adequado às particularidades do processo. Isso acontece pois, as características do processo a ser controlado não podem ser alteradas.

Os sistemas de segurança também estão presentes nos processos industriais. Os sistemas de controle irão realizar alguma ação enquanto o processo estiver operando dentro das suas condições normais para as quais ele foi projetado. Já os sistemas de segurança irão atuar quando condições anormais ocorrerem, ou seja, quando o processo chegar próximo ou atingir um valor limite podendo ser ele máximo ou mínimo para o qual o processo foi projetado. Condições essas que

possam causar dificuldade, risco ou até acidentes operacionais às pessoas, ao meio ambiente, aos equipamentos ou ao processo.

O controlador é o elemento responsável por determinar a melhor alternativa sobre o elemento final de controle, que deverá manusear a variável manipulada para manter a variável de processo no SP ou valor desejado. Um dispositivo transmissor envia um sinal equivalente a variável de processo que é recebido pelo controlador. O controlador compara a variável de processo com o SP gerando o erro, e então ele atua sobre a variável manipulada através deste erro fazendo com que a variável de processo alcance ou tente ficar mais próxima possível do SP.

Existem algumas ações de controle que são utilizadas com esta finalidade, que serão descritas a seguir. São os controles: controle liga-desliga (*on-off*); controle auto-operado; controle proporcional; controle proporcional-integral; controle proporcional derivativa e controle proporcional-integral-derivativa.

O controle tipo *on-off* é geralmente utilizado em sistemas que podem assumir alguma variação frequente da variável de controle ao redor do SP. É uma ação que só admite duas posições para o elemento final de controle ou totalmente aberto ou totalmente fechado, com isso, a variável manipulada vai de um valor máximo para um valor mínimo ou vice-versa. Conforme Bega (2006, p .460), “à medida que o sinal do erro passa pelo zero, ou seja, quando a variável passa pelo ponto de ajuste a saída de um controlador liga-desliga muda de ligada para desligada, ou vice-versa”. Um exemplo de um elemento final de controle é uma válvula solenoide, que assume duas posições, ou totalmente aberta ou totalmente fechada. Um exemplo de uma aplicação deste tipo de controle pode ser ilustrado na FIG. 3.

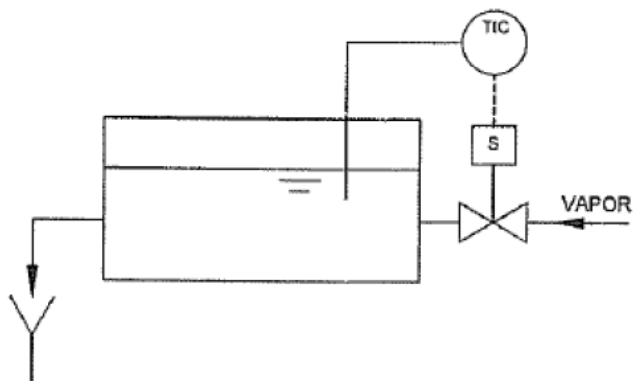


Figura 3 - Exemplo de aplicação de controle liga-desliga.
Fonte: BEGA (2006, p.460).

A principal característica deste tipo de controle, como já foi citado anteriormente, é que a variável de controle é levada a variar em volta do ponto de ajuste ou SP. Por ser um tipo de controle relativamente mais simples e barato são amplamente utilizados podendo ser empregados nas indústrias, na segurança de dispositivos e em sistemas que assumem malhas menos significativas. Outros sistemas que utilizam este tipo de controle são em fornos de secagem, fornos elétricos, entre outros.

Para tentar reduzir as variações da variável de controle e também a deterioração do dispositivo final é frequente utilizar este controle acrescido de uma zona morta (diferencial) ao controlar. Porém, o que pode acontecer é uma redução da qualidade do controle. Algumas características básicas deste tipo de controle são: eles causam mais oscilações nos processos; a correção não depende do valor do desvio, dentre outras. Alguns equipamentos que utilizam o controle liga-desliga são os pressostatos, termostatos, dentre outros.

No controle auto-operado, o fluido do próprio sistema é utilizado no processo de controle, ou seja, a energia essencial para o funcionamento do processo é retirada do próprio sistema. Alguns exemplos de controle auto-operado são: uma válvula autorreguladora de pressão controlando a pressão em uma tubulação de gás, como pode ser observado na FIG. 4, válvulas autocontroladoras trabalhando com o próprio fluido, por exemplo, água em um recipiente, controlando o nível deste recipiente.

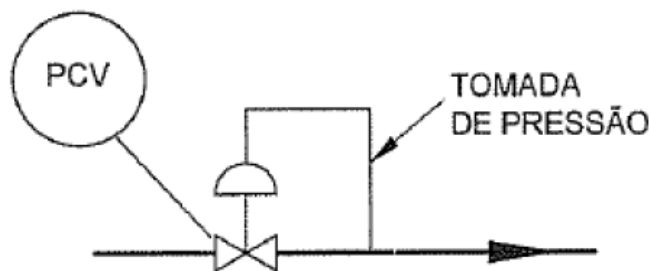


Figura 4 - Exemplo de aplicação do controle auto-operado.
Fonte: BEGA (2006, p. 461).

Este tipo de controle é mais utilizado em processos envolvendo pressão sendo também utilizado, porém, em menor escala em processos envolvendo nível e temperatura.

No controle proporcional, a ação corretiva que será aplicada a variável manipulada é proporcional ao desvio, sendo o desvio a variável do processo subtraída do SP. A aplicação do desvio faz que ocorra no sistema menos oscilações, porém algumas desvantagens surgem com esta utilização. O operador deve refazer o reajuste manualmente, tentando acabar com o erro, pois, o sistema não consegue permanecer em equilíbrio sem que ocorra o surgimento do erro de *off-set*. O controle proporcional necessita apenas do valor do erro para o seu desempenho ou seja, quando o erro está em um valor constante o controle não opera. A velocidade e o tempo, por exemplo, do erro são irrelevantes para que o controle comece a trabalhar. As pessoas que trabalham envolvidas com este tipo de controle, costumam denominar o erro como sendo banda proporcional, sendo estabelecida com um valor de erro exigido para fazer com que o dispositivo ou equipamento, que está sendo utilizado para realizar o controle, vá do seu valor mínimo para o seu valor máximo. A banda proporcional também pode ser apresentada na forma de porcentagem. O ganho proporcional e o erro ou banda proporcional, são inversamente proporcionais, ou seja, quando o ganho aumenta a banda proporcional diminui na mesma escala. Em sistemas em malha fechada quando o erro ou ganho proporcional aumenta o erro diminui, pois, como já foi citado eles são inversamente proporcionais. Com isso acontecendo no sistema ele começa a reagir mais rapidamente, logo o ganho deve ser regulado no menor valor possível. Porém, com o erro sendo reduzido, as variações começam a aumentar significativamente aumentando, também, o tempo que o sistema leva para ficar em equilíbrio. Alguns controladores permitem que ocorra o reajuste manualmente, pelo operador, ou

automaticamente. Este reajuste consiste em regular o ganho e o erro ou banda proporcional de maneira que o erro seja capaz de ser compensado. Para que a variável volte ao seu valor requerido após uma estipulada variação de carga a ação proporcional sozinha não é o bastante o que acontece é o *offset* que é a diferença entre o valor que a variável equilibrou e o valor desejado.

No controle proporcional-integral, o erro é abolido de forma automática. Conforme Bega (2006, p. 466) “uma vez que, enquanto a saída da ação proporcional é proporcional ao erro, a saída da ação integral é função da integral do erro”. No momento em que o processo encontra a estabilidade o *offset* é extinto devido a sua particularidade, que é mudar a saída a todo o momento que ocorre um erro. Uma peculiaridade curiosa que o controle proporcional-integral apresenta é a oportunidade que o controlador perquire integrando a sua operação e variando a sua saída através do limite operacional que o processo apresenta.

A ação derivativa não pode ser aplicada isoladamente em um sistema, então ela é aplicada em conjunto com outros controles, como o proporcional-derivativo. O resultado da ação derivativa é uma função derivada do erro em relação ao tempo. Já o resultado da ação proporcional é proporcional ao erro. A verificação da denominada ação derivativa é realizada geralmente por meio de uma variação da variável do processo caracterizada como “rampa”, pois o resultado do controlador é equivalente à derivada do erro, impedindo a avaliação por meio de uma variação em “degrau”, posto que a derivada de um valor constante é zero. Neste tipo de controle é acrescentada na parte proporcional uma quantia referente à derivada do erro, isto é, a velocidade de variação, denominada por ação antecipatória recebendo este nome pois a partir do momento que o erro começa a mudar a ação corretiva inicia-se. A avaliação do resultado deste tipo de controle é realizado em uma variação em “rampa” do erro em relação ao tempo. Adicionando a parte derivativa ao controle, o sistema estabiliza mais rapidamente. Usando as duas ações em conjunto o que se pode perceber é um sistema em que o ganho torna-se maior sem que se perca a estabilidade.

A ação proporcional acrescenta ao controle estabilidade, já a ação derivativa acrescenta a anulação do erro mais a ação integral formam um tipo de controle denominado controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Uma desvantagem surge com a utilização deste controle, pois três parâmetros devem ser acertados, o ganho proporcional, o tempo integral e o tempo derivado ficando a sua

utilização mais complexa. Este controle somente deve ser empregado em situações onde é realmente necessário, pois a ação derivativa faz com que o controle fique mais trabalhoso de se tornar estável. Processos onde é bastante empregado este tipo de controle são os que envolvem temperatura, controle de PH, entre outros. Com o controle proporcional-integral-derivativo a estabilização do sistema é mais rápida, porém mais oscilações são criadas.

2.5 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP ou PLC, do inglês, Programmable Logic Controller) é um equipamento de controle industrial microprocessado, criado inicialmente para efetuar especificamente o controle lógico de variáveis discretas, e atualmente usado para praticamente todos os tipos de controle. (EGÍDIO ALBERTO BEGA, 2006, p. 515)

Por causa de um pedido da General Motors Co. da sua divisão de hidramáticos, o CLP foi criado em 1968 com o nome de Modular Digital Controller. Seu primeiro nome, dado pelo seu fabricante, foi MODICON e sua “criação” foi atribuída a Richard (Dick) Morley (BEGA, 2006).

Os programas anteriores, feitos através da interligação de relés, eram muito difíceis de serem modificados e quando ocorriam problemas a detecção dos erros também eram muito complicados.

Inicialmente o CLP foi criado para dar lugar a essas ligações anteriormente utilizadas, os relés de um circuito lógico sequencial ou combinacional ocupando menos espaço, sendo mais confiável e flexível, pois sua programação é mais facilmente alterada. Outra característica que o CLP também deveria possuir era de resistir a diferentes ambientes industriais agressivos.

A primeira utilização de um CLP foi em uma linha de fabricação de automóveis, em um giro de teste para cambagem, na General Motors Co (BEGA, 2006).

Anualmente a aplicação industrial mudava, por exemplo, quando novos modelos de automóveis eram introduzidos nas fábricas, e então o “programa” do teste de chicotes (cabeação elétrica) tinha que ser alterado também. Nos “programas” anteriores feitos através da interligação de relés, as alterações realizadas por meio da religação da fiação eram muito complicadas e muito caras

para serem feitas de ano em ano. Além de a mudança demorar muito. Os relés também possuíam vida útil limitada o que era muito mais acentuado pelos programas de manutenção periódica. Outro problema que a interligação por relé apresentava era, quando surgia um defeito o uso da giga de teste tinha de ser interrompida sendo os defeitos muito difíceis de serem localizados.

Com isso os novos dispositivos que fossem criados deveriam fáceis de serem reprogramados, apresentarem uma linguagem de programação conhecida para as pessoas envolvidas, apresentar vida útil longa, as mudanças serem feitas rapidamente e quando se ocorre defeitos os mesmos fossem facilmente localizados.

O CLP nos anos entre 1970 a 1974, sofreu uma grande evolução com as inovações em tecnologia dos microprocessadores dando-lhes mais flexibilidade e inteligência. Algumas melhorias resultaram em uma nova visão na utilização dos CLP's no chão de fábrica das indústrias. Algumas dessas melhorias são que as interfaces ficaram mais amigáveis; com relação a manipulação dos dados e comunicação e capacidade computacional aritmética. Foi possível ao CLP funcionar juntamente com outros instrumentos que fornecessem dados numéricos através da adição de conjuntos de instrução e de funções aritméticas. Buscando acomodar em seu interior cálculos com base em dados numéricos, as tarefas lógicas e sequenciais poderiam ser ampliadas. Com isso foi possível por exemplo, tomar medidas corretivas nos processos, controlar bateladas na produção, etc.

As principais melhorias que podem ser observadas nos anos de 1975 a 1980 foram com relação ao controle sobre entradas e saídas remotas, capacidade de memória e controle de variáveis analógicas. Outra melhoria também neste período, foi que, com a utilização dos CLP's ocorreu uma redução dos custos com fiação e instalação. Com essas novas mudanças o CLP poderia ser utilizado em um número muito maior de aplicações. Foi possível o armazenamento de programas maiores, através da expansão da memória, permitindo a lógica, o sequenciamento, a aquisição e a manipulação dos dados. Com a flexibilidade não era mais necessário que mudanças nos parâmetros fossem feitas com o processo de produção paralisado. Neste período também outro desenvolvimento importante foram os módulos de controle de posição do CLP, controlando na saída os motores a passo (*step-motors*) e a partir de *encoders* na entrada usando realimentação. A Unidade Central de Processamento usa a transformação de um trem de pulsos vindo de um transdutor externo de uma interface de entrada em um valor numérico como

verificação da amplitude do movimento pretendido. Um trem de pulsos que comanda o motor é gerado do módulo de saída do controle a partir de um comando da Unidade Central de Processamento. Com isso foi possível controlar aceleração, posição e velocidade em um processo. O CLP já era capaz de comandar, por exemplo, uma fresa ou um torno multiferramentas, sendo estes avanços muito importantes para a automação nas indústrias.

A própria filosofia do projeto do sistema de controle e processos do CLP também sofreu impactos com os avanços tecnológicos. No *hardware* também ocorreram melhoras como diminuição do tempo de varredura; criação de CLP de baixo custo, sendo capazes de substituir de 4 a 10 relés e com isso também diminuindo o espaço ocupado nos quadros de comando; foi possível o processamento distribuído de aplicações como por exemplo, o controle PID de variáveis analógicas, comunicação alfanumérica ASCII, comunicação com o computador-mestre através de interfaces de entrada e saída inteligentes; transmissores, como por exemplo, termopares e termo resistências e módulos de respostas rápidas.

Em consequência destas evoluções tecnológicas o CLP passou a exercer funções que não lhe foram atribuídas anteriormente. O controle de variáveis analógicas em um processo é um exemplo de atribuição que não era esperada. O CLP se tornou muito importante em indústrias que utilizam processos em bateladas, onde alterações nos programas são necessárias frequentemente e em processos com inúmeras variáveis. Praticamente todas as aplicações nas indústrias necessitam de algum tipo de controle elétrico e atualmente quase não se encontram mais indústrias que não utilizam os CLP's.

Para fazer com que um dispositivo, por exemplo um CLP, execute determinadas ações uma série de instruções ou comandos são desenvolvidos por um usuário em um programa.

A linguagem de programação é utilizada para fazer com que instruções compreendidas pelo ser humano possam ser traduzidas em instruções que consigam ser efetuadas por uma UCP, sendo que as instruções efetuadas por uma UCP são denominadas de baixo nível. Através da linguagem de programação deve ser possível que o usuário converse com um CLP através de uma unidade ou de algum software que tenha a opção de programação, para que então ele possa ser programado.

A primeira linguagem de programação desenvolvida aos CLP's foi o denominado Histograma de Contatos ou Diagrama de Escada (*Ladder Diagram*). Esta foi a primeira linguagem que destinou a substituir as lógicas de relés empregada anteriormente e é semelhante aos esquemas elétricos utilizados pelas pessoas responsáveis por montar e consertar os armários de relés, como pode ser observado na FIG. 5.

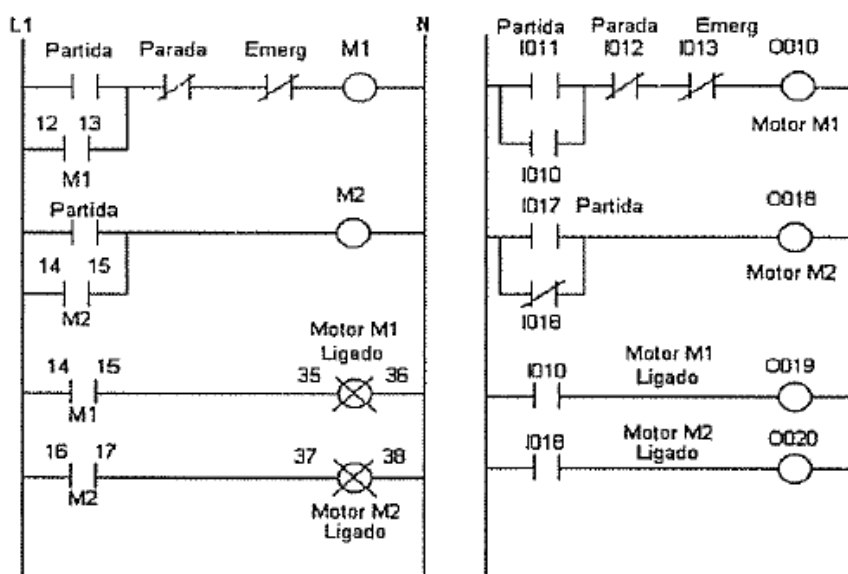


Figura 5 - Semelhança entre os esquemas elétricos e a primeira linguagem.
Fonte: BEGA (2006, p. 522).

Algumas das mais relevantes linguagens utilizadas para fazer programação, são:

- Histograma de Contatos (*Ladder Diagram*): como já foi citado anteriormente, foi a primeira linguagem utilizada pois, ela se assemelhava as ligações dos gabinetes que eram utilizadas anteriormente.
- Linguagem de Álgebra Booleana: para associar endereços de entrada e saída este tipo de linguagem utiliza funções booleanas do tipo “E”, “OU”, “XOU”, “NÃO”, entre outras. Algumas pessoas podem apresentar dificuldades em trabalhar com este tipo de linguagem.
- Descrições Computadorizadas: neste tipo de programação são utilizados termos como por exemplo, E, OU, STO, LDA, entre outras. É uma linguagem que mais se parece com as linguagens denominadas de baixo nível, empregadas em computadores do tipo *assembler*.

- Linguagens em Alto Nível: são as linguagens chamadas como “C”, “C++”, entre outras.
- “Linguagem” Estruturada Grafcet: desenvolvida na França, nos tempos atuais é altamente difundida. Na América do Norte é chamada de *Sequency function chart*. Para algumas pessoas a “linguagem” estruturada Grafcet não é conhecida como linguagem pois a única coisa que ela faz é organizar os blocos de comando para serem executados. Quando utilizado em programas com várias sub-rotinas se apresenta um ótimo instrumento. Com este tipo de “linguagem” é mais fácil encontrar falhas, defeitos e *bugs* nos programas.

Em uma tentativa de padronização entre os vários tipos de fornecedores a *International Electrotechnical Comission* (IEC) criou a norma IEC-61131. Essa padronização ocorreu com o intuito de permanecer maior a portabilidade de programas entre diferentes plataformas. As linguagens que são padronizadas pela norma são: Texto Estruturado (ST); Lista de Instruções (IL); Diagrama *Ladder*; Diagrama Blocos Funcionais e Sequenciamento Gráfico de Funções. Sendo as duas primeiras linguagens textuais a última é para organização de programas e as duas outras são linguagens gráficas.

Como já foi citado anteriormente o Histograma de Contatos ou Diagrama de Escadas (*Ladder Diagram*) foi a primeira linguagem a ser criada, pois ela era semelhante aos esquemas elétricos dos gabinetes de relés utilizados anteriormente. Esta linguagem é padronizada pela Norma IEC 61131 e ela constitui em sinais gráficos sendo muito difundida entre os programadores. A linguagem em *ladder* é constituída de uma barra de alimentação vertical a esquerda, uma linha vertical a direita que é o retorno comum e entre essas linhas verticais em linhas horizontais é desenvolvido o programa adicionando contadores, temporizadores de acordo com o que se deseja desenvolver. Algumas das vantagens deste tipo de linguagem são: é a fácil visualização dos estados das variáveis e para programas menores e menos complexos está linguagem se apresenta muito eficiente. Uma desvantagem, porém, desta linguagem é que para situações complexas o programa pode ficar extenso e lento sendo melhor utilizar outro tipo de linguagem. Outro aspecto que também pode ser considerado como uma desvantagem é que o programador deve estar familiarizado com a álgebra *booleana*. Boa parte dos CLP's de pequeno porte são programados por este tipo de linguagem.

2.6 Sistema Supervisório

Também chamados de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), esses sistemas possibilitam que as informações possam ser rastreadas e monitoradas de uma instalação física ou processo produtivo, sendo essas informações, manipuladas, analisadas e armazenadas após serem coletadas por um equipamento de aquisição de dados, e depois mostrados para ao usuário.

Os primeiros sistemas SCADA, não apresentavam nenhum tipo de interface aplicacional com o operador. Eram basicamente telemétricos e os seus sinais representativos de medidas e o estado do dispositivo eram monitorados, permitindo com isso informar periodicamente o estado de correndo do processo (SILVA, 2004).

Com a automatização dos sistemas industriais, que começaram a utilizar tecnologia de computação e comunicação, a apresentação para o operador ficou muito mais amigável e com recursos gráficos aperfeiçoados e também com conteúdo multimídia. Foi possível também que processos industriais complexos fossem monitorados e seus dados coletados e apresentados graficamente.

Para que isso fosse possível, todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas (*tags*) que fazem parte do processo são identificadas no sistema SCADA e a partir desta identificação funções computacionais como por exemplo, operações matemáticas, lógicas, com strings, vetores, entre outros podem ser realizadas ou dados do processo que está sendo controlado mostrado por pontos de entrada e/ou saída. A ligação entre o controlador e o sistema corresponde às variáveis do processo real como por exemplo, pressão, vazão, temperatura, nível, entre outros. É apresentado ao usuário os dados coletados com base nos valores das *tags*.

De acordo com Silva (2004), o sistema SCADA é possível também programar a gravação de registro em Bancos de Dados, mudar de cor, o envio de mensagem por Pager, e-mail, ativação de som, quando o valor de uma tag ultrapassa uma faixa de condição pré-definida o sistema SCADA verifica condições de alarme.

De forma resumida os componentes de um sistema de supervisão podem ser divididos em:

- **Sensores e Atuadores:** os sensores transformam parâmetros físicos como velocidade, nível de água, temperatura em sinais digitais e analógicos que possam ser identificados pela estação remota, são monitorados pelo sistema SCADA e conectados aos equipamentos de controle. Os CLP's e *Remote Terminal Units* (RTU) tem a função de ler entradas, realizar cálculos de controle e atualizar saídas, sendo utilizados em instalações fabris ou em qualquer outro tipo de instalação que deseja monitorar, sendo unidades computacionais específicas. Os CLP's possuem maior flexibilidade na linguagem de programação e maior controle de entradas e saídas que os RTU's. Já os cartões de entrada e saída dos RTU's apresentam maior precisão e sequenciamento de eventos e as unidades de processamento central possuem uma arquitetura mais distribuída que os CLP's. A leitura dos valores atuais e o respectivo controle dos dispositivos que estão conectados nas estações remotas inicia o processo de controle e aquisição de dados.
- **Rede de Comunicação:** Dependendo da distância a rede de comunicação pode ser feita através de cabos Ethernet, fibra óptica, linha deal-up, linhas dedicadas. A rede de comunicação é por onde as informações caminham do CLP ou RTU para o sistema SCADA.
- **Estações Remotas, aquisição e controle, e de Monitoração Central, sistema computacional SCADA:** são as principais unidades de um sistema SCADA. As estações remotas irão gerar informações sendo as estações de monitoração central responsáveis por colher estas informações e com isso agir de acordo com os eventos detectados. O compartilhamento das informações coletadas pode ocorrer em um único computador, sendo então centralizadas, ou em uma rede de computadores distribuída.

As primordiais tarefas de um sistema SCADA internamente, podem ser separadas em blocos ou módulos, para possibilitar uma maior ou menor robustez e flexibilidade de acordo com a aplicação desejada. O núcleo principal do software é responsável por repartir e coordenar o fluxo das informações para os outros módulos e é para este núcleo que as informações são enviadas pelos processos de comunicação com os equipamentos de campo e a regra geral para o funcionamento do sistema SCADA parte dessa comunicação. A informação é distribuída para os demais núcleos até que elas cheguem à forma desejada para o operador do sistema, na interface gráfica ou console de operação com o processo, geralmente seguida por gráficos, animações, relatórios, entre outros. Com isso a evolução do

estado do processo controlado e do dispositivo podem ser exibidas possibilitando que anomalias sejam informadas, reagir automaticamente ou aconselhar medidas a serem tomadas. O sistema SCADA, com as novas tecnologias computacionais utilizadas, tem evoluído bastante nos últimos tempos permitindo que o sistema aumente sua conectividade, confiabilidade e flexibilidade. O tempo gasto na configuração e adaptação do sistema às necessidades de cada instalação foi reduzido com a inclusão de novas ferramentas.

A troca de informações é a principal funcionalidade de um sistema SCADA podendo ocorrer basicamente a comunicação com os CLP's ou RTU's, com outras estações SCADA ou com outros sistemas. Denominada por *Report by Exception*, podendo acontecer por *polling* ou por interrupção é a comunicação com os equipamentos em campo. Esta comunicação ocorre por meio de um protocolo comum, podendo ser de acesso restrito ou de domínio público sua metodologia. A estação remota (Escrava ou *Slave*) somente responde a um pedido após a estação central (Mestre ou *Master*) fazer e enviar uma solicitação, pois é a estação central que apresenta o controle absoluto das comunicações. Sendo esta a comunicação por *polling (Master/Slave)*. Esta comunicação é do tipo *half duplex* e o *polling* dos dados de cada estação remota é enviado sequencialmente. Uma incapacidade que este sistema apresenta é que a estação remota não consegue, por iniciativa própria, comunicar determinadas situações à estação central. Ainda de acordo com SILVA (2004), algumas das vantagens deste tipo de comunicação são de que não existe colisão, o processo de coleta de dados é mais simplificado e outra vantagem é a facilidade para deletar falhas de ligação, além da utilização de estações remotas não inteligentes. Ao encontrar alguma mudança significativa de valores que extrapolem os limites estipulados dos valores de entrada dos CLP ou RTU, que são constantemente monitorados, é encaminhada informações para a unidade central, sendo está denominada a comunicação por interrupção. A vantagem deste tipo de comunicação é de que ela evita que informações desnecessárias sejam transferidas, com isso ocorre uma redução do tráfego na rede, além que informações denominadas urgentes são mais rapidamente detectadas entre as estações remotas (*slave-to-slave* ou escravo-para-escravo). Algumas das desvantagens da comunicação por interrupção é somente depois de um tempo definida, ou seja, após o *polling* ser executado no sistema, é que a estação central consegue identificar alguma falha na ligação. Outra desvantagem também é para obter valores

atualizados o operador deve executar alguma ação ou é necessário que outros métodos sejam utilizados. O próprio fabricante também pode desenvolver um protocolo próprio para a comunicação com outras estações em SCADA. Podendo ser desenvolvido via rede Ethernet TCP/IP, linhas discadas ou privadas. Como meio de comunicação a Internet está cada vez mais sendo utilizada para esta finalidade com os sistemas em SCADA. Os dados e as informações das diversas áreas de controle e produção de diferentes áreas de uma fábrica, utilizando as tecnologias relativas a Internet, e padrões como TCP/IP, Ethernet, HTTP e HTML, sejam acessadas e compartilhadas. Com a utilização de um protocolo HTTP o browser comunica com o servidor web e recebe uma resposta na forma de página HTML após enviar o pedido relativo à operação desejada. É possível que utilizando o browser de Internet, uma máquina seja controlada, em tempo real, em qualquer parte do mundo. Interação simples, já conhecida para a grande parte das pessoas, manutenção mais fácil em somente um servidor são algumas das vantagens da interface de visualização SCADA com a utilização da Internet e do *browser*. Para a comunicação com outros sistemas, como por exemplo, as de ordem corporativa, pode ser utilizada a implementação de modos específicos com outras tecnologias como o XML e o OPC ou via Bando de Dados.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

A bancada é o protótipo de uma planta em circuito fechado de distribuição de água, onde é possível simular o seu funcionamento e possíveis defeitos.

A FIG. 6 apresenta uma fotografia da planta com seus equipamentos, com exceção do CLP que estava fixado dentro do quadro de comando



Figura 6 - Materiais incorporados na planta.

Os componentes mecânicos desta planta são: bomba hidrodinâmica da marca IMBIL modelo INI50200 acoplada a um motor assíncrono fechado IP55 com 3 CV, 4 polos, 1750 rpm, alimentado em 220V conforme dados de placa mostrado na FIG. 7.



Figura 9 - Inversor de frequência.

Foi utilizado um controlador da Allen-Bradley, família Micro830™ cujo modelo é 2080-LC30-48QWB para o controle e ensaio. Este controlador possui 28 entradas e 20 saídas digitais, entrada de 24Vca/cc e suas saídas são à relé. Foi incorporado ao CLP um cartão com 4 entradas analógicas, 2080-IF4, e um cartão com 2 saídas analógicas, 2080-OF2, conforme FIG. 10.



Figura 10 - CLP acrescido do cartão de entrada e saída analógicos.

Para a supervisão do processo, foi utilizado um sistema supervisório da Rockwell o Factory Talk View Studio. Todo o procedimento foi desenvolvido em *ladder* em um programa também da Rockwell, o Connected Components Workbench (CCW), baixado gratuitamente (ROCKWELL AUTOMATION, 2017).

3.2 Métodos

A forma de partida do conjunto motobomba pode ser estrela-triângulo, podendo ser automático ou manual. O desenvolvimento deste projeto permite que a planta continue partindo em estrela-triângulo, porém é possível dar partida no conjunto utilizando o inversor de frequência que também tem a opção de manual ou automático. A automatização dá-se utilizando um transmissor de pressão, um inversor de frequência e um CLP.

Uma maneira comum de controle da pressão na tubulação de recalque é através de válvulas com posicionamento pneumático e, nesta planta existe essa válvula (válvula redutora de pressão). No entanto, para este projeto a pressão da tubulação de recalque será constantemente monitorada através do transmissor de pressão que, de acordo com a sua variação, promove a variação da velocidade mecânica de rotação do motor por meio do inversor de frequência, sendo tudo controlado pelo CLP.

A montagem teve início com o acréscimo dos componentes necessários para a automatização do sistema. Alguns desses componentes foram, dentre outros, relés, temporizadores, fonte.

Posteriormente foram adicionados os dois cartões analógicos no CLP e, juntamente com o transmissor de pressão e o inversor de frequência os três foram acomodados na planta. O inversor de frequência foi parametrizado de acordo com os dados de placa do motor e os endereços dos cartões, conforme TABELA 1. Os outros parâmetros do inversor permaneceram com o ajuste de fábrica.

Tabela 1- Parâmetros ajustados.

Parâmetro	Descrição	Ajuste	Unidade
P121	Referência Tecla	1740	rpm
P133	Referência de Velocidade Mínima	0	rpm
P134	Referência de Velocidade Máxima	1740	rpm
P201	Seleção do Idioma	0	-
P218	Ajuste de Contraste do Display	150	-
P220	Seleção Local/Remoto	1	-
P223	Seleção Giro Local	0	-
P226	Seleção Giro Local	0	-
P235	Sinal Entrada AI1	1	-
P267	Função Entrada DI5	0	-
P268	Função Entrada DI6	0	-
P277	Função Relé RL1	11	-
P279	Função Relé RL2	11	-
P280	Função Relé RL3	25	-
P295	Corrente Nominal	13	-
P400	Tensão Nominal do Motor	220	V
P401	Corrente Nominal do Motor	16,6	A
P402	Velocidade Nominal do Motor	1740	rpm
P403	Frequência Nominal do Motor	60	Hz
P404	Potência Nominal do Motor	6	-

Após a finalização da montagem foi desenvolvida a lógica de programação. Com toda a programação concluída, foi realizada a parametrização do PID, utilizando sintonia automática, porém, foi detectada a necessidade de realizar ajustes manuais nos ganhos.

A sintonia automática do PID foi realizada utilizando a função IPIDController, disponível no CCW. As etapas executadas para a obtenção dos parâmetros automáticos são apresentadas abaixo com as suas respectivas figuras.

1ª Etapa: A variável definida como SETPOINT foi ajustada para zero, conforme FIG. 11.

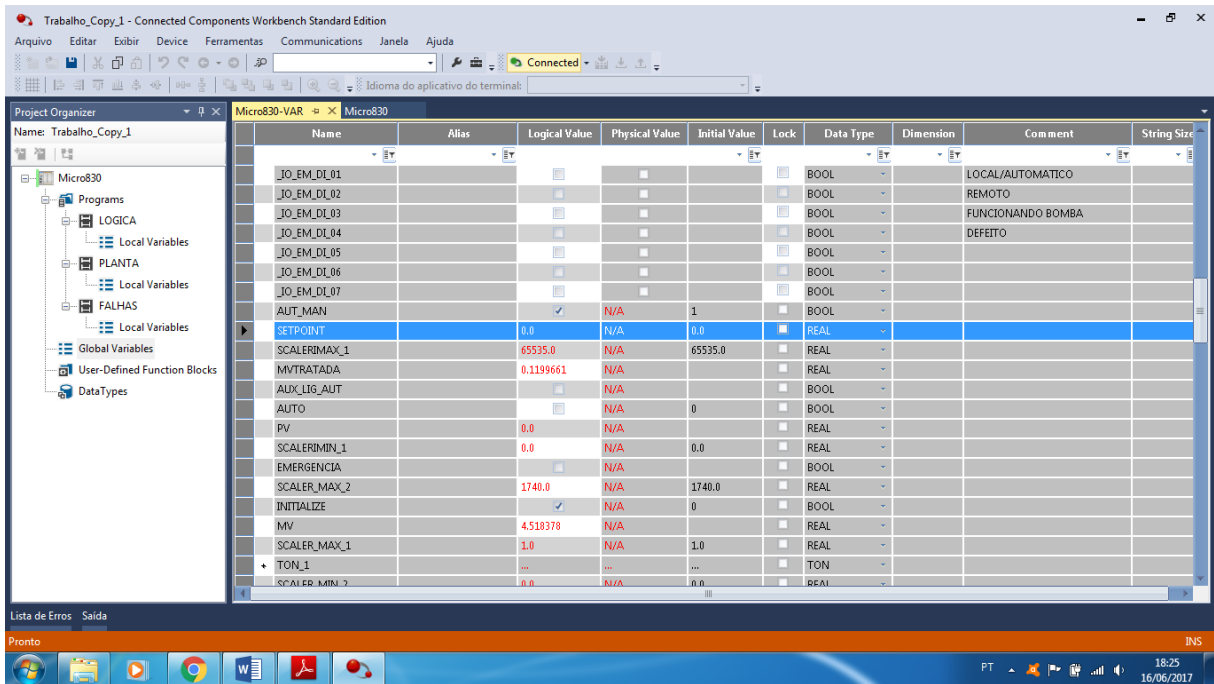


Figura 11 - Variável SETPOINT ajustada para zero.

2ª Etapa: O modo automático (AUTO) foi definido como falso, conforme FIG. 12.

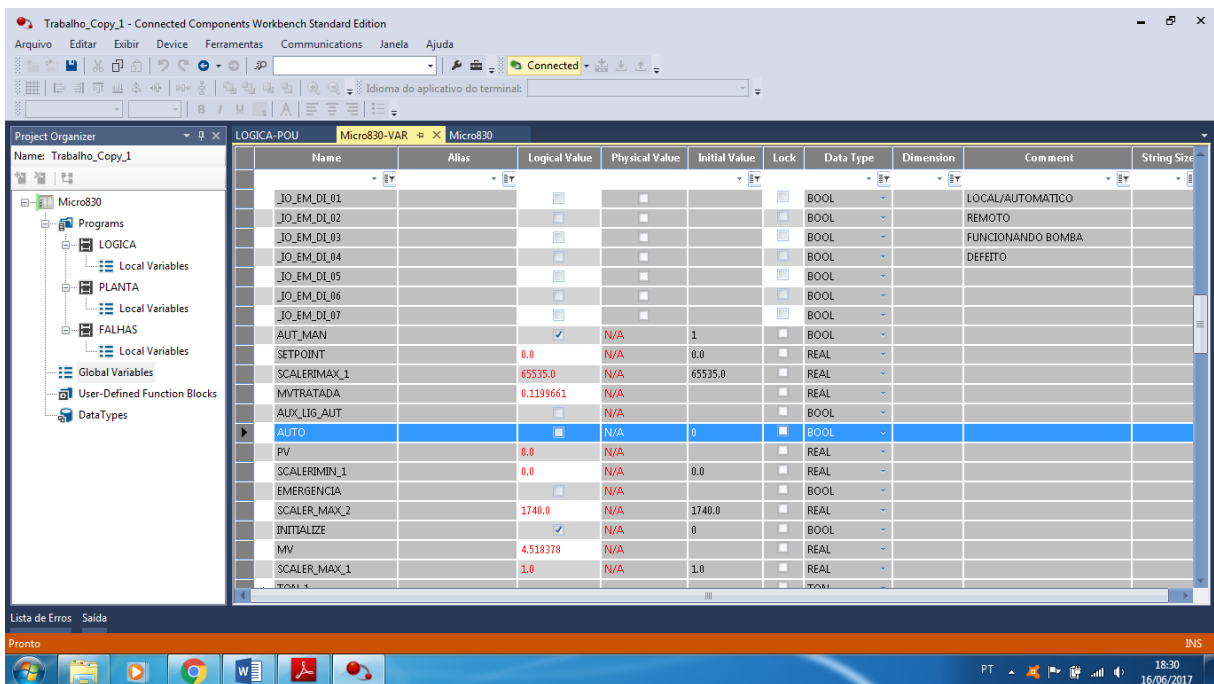


Figura 12 - Modo automático definido como falso.

3ª Etapa: Foram atribuídos valores de ganho (GAIN), conforme FIG. 13.

The screenshot shows the 'Variable Monitoring' window with the following data:

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
LIGA_REM		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
DESLIGA_REM		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
AUX_LIG_MAN		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
BTN_FALHA_MOTOR		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
AUT_MAN		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	1	<input type="checkbox"/>	BOOL			
SETPOINT		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
SCALERIMAX_1		65535.0	N/A	65535.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
MVTRATADA		0.1193661	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
AUX_LIG_AUT		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
AUTO		<input type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			
PV		0.0	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
SCALERIMIN_1		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
EMERGENCIA		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
SCALER_MAX_2		1740.0	N/A	1740.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
INITIALIZE		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			
MV		4.518378	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
TON_1		<input type="checkbox"/>	TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
GAIN		<input type="checkbox"/>	GAIN_PID			
GAIN DirectActing		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
GAIN ProportionalGain		0.0	N/A	0.1	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN TimeIntegral		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN TimeDerivative		0.0	N/A	2.552429E+38	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN DerivativeGain		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
BOMBA		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
AUTOTUNE		<input type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			

Figura 13 - Valores de ganho (GAIN).

4ª Etapa: Determinado parâmetros de regulagem automático (AT_PARAMETROS), conforme FIG. 14.

The screenshot shows the 'Variable Monitoring' window with the following data:

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
AUTO		<input type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			
PV		0.0	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
SCALERIMIN_1		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
EMERGENCIA		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
SCALER_MAX_2		1740.0	N/A	1740.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
INITIALIZE		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			
MV		4.518378	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
TON_1		<input type="checkbox"/>	TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
GAIN		<input type="checkbox"/>	GAIN_PID			
GAIN DirectActing		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL		*	
GAIN ProportionalGain		0.0	N/A	0.1	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN TimeIntegral		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN TimeDerivative		0.0	N/A	2.552429E+38	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
GAIN DerivativeGain		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL		*	
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
BOMBA		<input type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	BOOL			
AUTOTUNE		<input type="checkbox"/>	N/A	0	<input type="checkbox"/>	BOOL			
AT_PARAMETROS		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A		<input type="checkbox"/>	AT_PARAM			
AT_PARAMETROS Load		50.0	N/A	50.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
AT_PARAMETROS Deviation		0.0	N/A	0.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
AT_PARAMETROS Step		20.0	N/A	20.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
AT_PARAMETROS ATDynaSet		600.0	N/A	600.0	<input type="checkbox"/>	REAL			
AT_PARAMETROS ATReset		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	1	<input type="checkbox"/>	BOOL			
PVTRATADA		0.0	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
ABSOLUTE_ERROR		0.01000143	N/A		<input type="checkbox"/>	REAL			
AT_WARNING		0	N/A		<input type="checkbox"/>	DINT			
TIMER1		T#2s	N/A	T#2S	<input type="checkbox"/>	TIME			

Figura 14 - Regulagem AT_PARAMETROS.

5ª Etapa: Estabelecidos INITIALIZE e AUTOTUNE como verdadeiros, conforme FIG. 15.

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
INITIALIZE		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	0		BOOL			
MV		4518378	N/A			REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0		REAL			
TON_1			TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0		REAL			
GAIN			GAIN_PID			
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
BOMBA		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
AUTOTUNE		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A	0		BOOL			
AT_PARAMETROS		0.0	N/A			AT_PARAM			
PVTRATADA		0.0	N/A			REAL			
ABSOLUTE_ERROR		0.01000143	N/A			REAL			
AT_WARNING		0	N/A			DINT			
TIMER1		T#2s	N/A	T#2S		TIME			
OUTGAIN			GAIN_PID			
LOCAL_MAN		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
BTN_FALHA_SENSOR		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
BTN_REARME		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
LOCAL_AUT		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
REMOTO		<input checked="" type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
SAIDA_INV		<input type="checkbox"/>	N/A			BOOL			
TON_2			TON			
TIMER2		T#5s	N/A	T#5S		TIME			
TIMER3		T#2s	N/A	T#2S		TIME			
TIMER4		T#5s	N/A	T#5S		TIME			
TIMER5		T#8s	N/A	T#8S		TIME			
TON_3			TON			

Figura 15 - INITIALIZE e AUTOTUNE verdadeiros.

6ª Etapa: Foi observado que a saída (MV) ficou com o mesmo valor de carga da AT_PARAMETROS quando AUTOTUNE foi definido como verdadeiro, conforme FIG. 16.

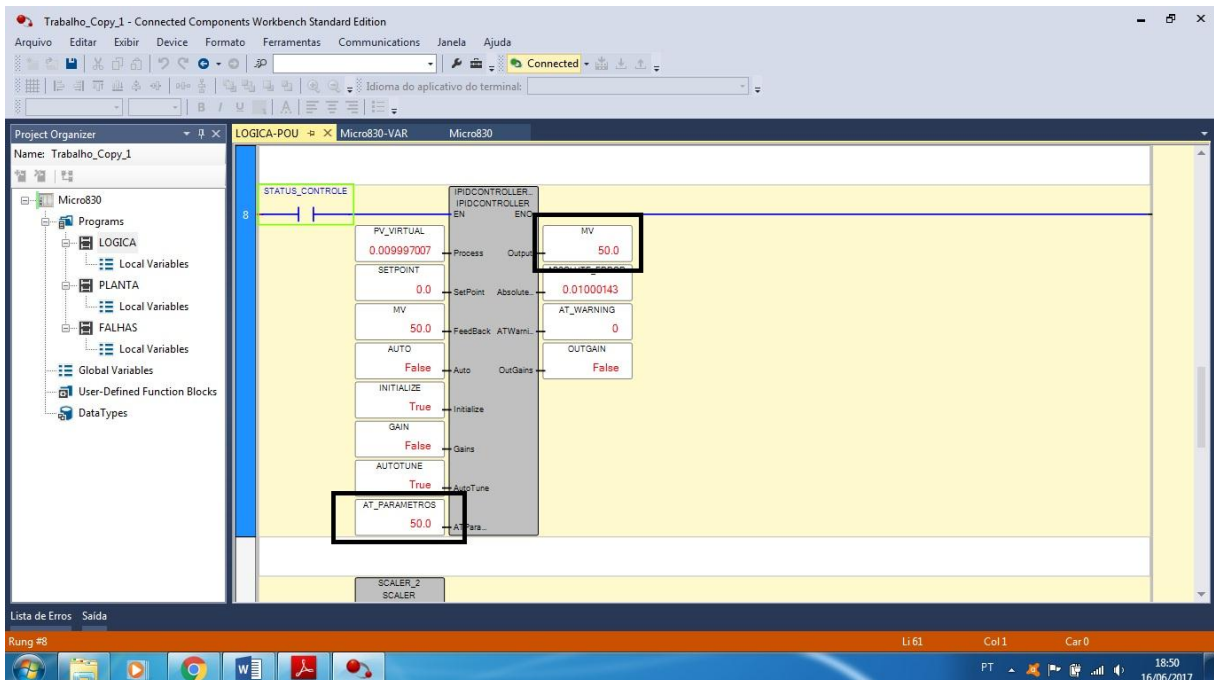


Figura 16 - MV e AUTOTUNE com os mesmos valores.

7ª Etapa: Definido INITIALIZE como falso, conforme FIG.17.

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
INITIALIZE		0	N/A	0		BOOL			
MV		50.0	N/A			REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0		REAL			
TON_1			TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0		REAL			
GAIN			GAIN_PID			
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
BOMBA			N/A			BOOL			
AUTOTUNE			N/A	0		BOOL			
AT_PARAMETERS			AT_PARAM			
PVTRATADA		0.0	N/A			REAL			
ABSOLUTE_ERROR		0.01000143	N/A			REAL			
AT_WARNING		0	N/A			DINT			
TIMER1		T#2s	N/A	T#2S		TIME			
OUTGAIN			GAIN_PID			
LOCAL_MAN			N/A			BOOL			
BTN_FALHA_SENSOR			N/A			BOOL			
BTN_REARME			N/A			BOOL			
LOCAL_AUT			N/A			BOOL			
REMOTO			N/A			BOOL			
SAIDA_INV			N/A			BOOL			
TON_2			TON			
TIMER2		T#5s	N/A	T#5S		TIME			
TIMER3		T#2s	N/A	T#2S		TIME			
TIMER4		T#5s	N/A	T#5S		TIME			
TIMER5		T#8s	N/A	T#8S		TIME			
TON_3			TON			

Figura 17 - INITIALIZE definido como falso.

8ª Etapa: Com AT_WARNING se tornando dois, o processo de regulagem foi realizado com sucesso, conforme FIG. 18.

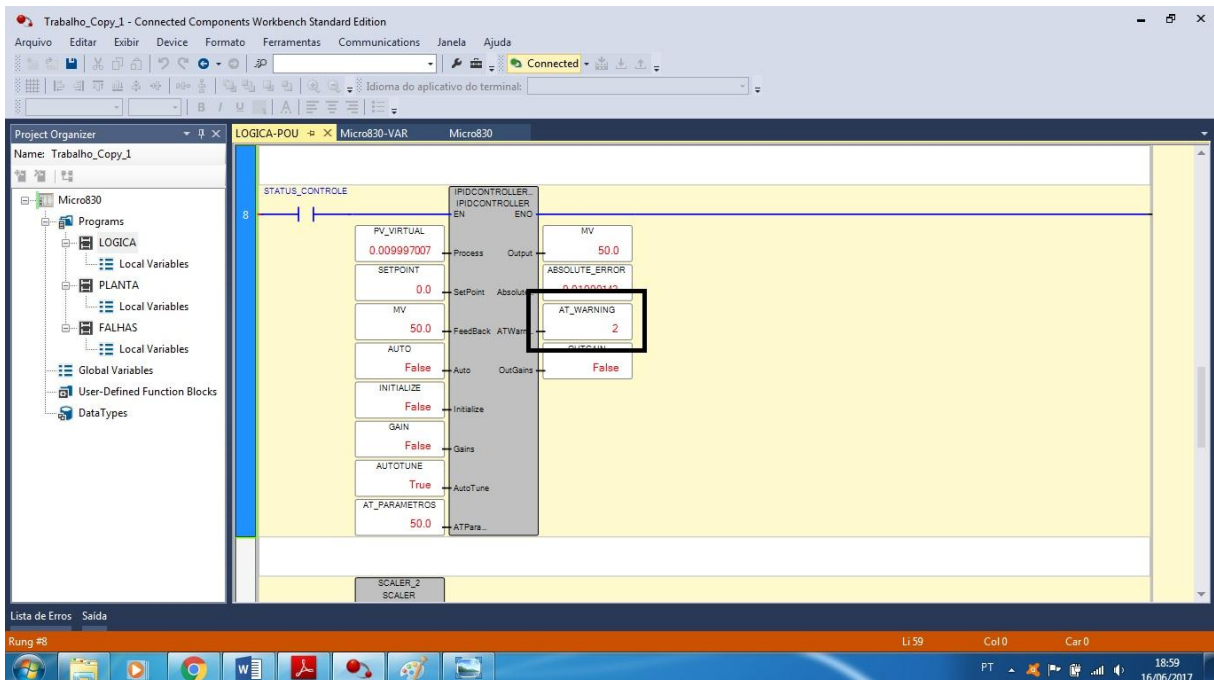


Figura 18 - AT_WARNING igual a dois.

9ª ETAPA: AUTOTUNE determinado como falso, conforme FIG. 19.

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
AUTO			N/A	0		BOOL			
PV		0.0	N/A	0.0		REAL			
SCALERIMIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
EMERGENCIA			N/A			BOOL			
SCALER_MAX_2		1740.0	N/A	1740.0		REAL			
INITIALIZE			N/A	0		BOOL			
MV		50.0	N/A			REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0		REAL			
TON_1			TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0		REAL			
GAIN			N/A			GAIN_PID			
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
BOMBA			N/A			BOOL			
AUTOTUNE			N/A	0		BOOL			
AT_PARAMETROS			AT_PARAM			
PVTRATADA		0.0	N/A			REAL			
ABSOLUTE_ERROR		0.01000143	N/A			REAL			
AT_WARNING		2	N/A			DINT			
TIMER1		T#2s	N/A	T#2S		TIME			
OUTGAIN			N/A			GAIN_PID			
LOCAL_MAN			N/A			BOOL			
BTN_FALHA_SENSOR			N/A			BOOL			
BTN_REARME			N/A			BOOL			
LOCAL_AUT			N/A			BOOL			
REMOTO			N/A			BOOL			
SAIDA_INV			N/A			BOOL			
TON_2			TON			

Figura 19 - AUTOTUNE falso.

10ª ETAPA: Foi observado que os valores foram atribuídos nos ganhos (GAIN) após o processo de regulação automática, conforme FIG. 20. Como já foi citado anteriormente o ganho Proportional Gain foi ajustado manualmente para o valor apresentado na figura abaixo, pois com este ajuste a planta respondeu mais rapidamente às mudanças.

Name	Alias	Logical Value	Physical Value	Initial Value	Lock	Data Type	Dimension	Comment	String Size
SCALERIMAX_1		65535.0	N/A	65535.0		REAL			
MVTRATADA		0.0	N/A			REAL			
AUX_LIG_AUT			N/A			BOOL			
AUTO			N/A	0		BOOL			
PV		0.0	N/A	0.0		REAL			
SCALERIMIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
EMERGENCIA			N/A			BOOL			
SCALER_MAX_2		1740.0	N/A	1740.0		REAL			
INITIALIZE			N/A	0		BOOL			
MV		0.0	N/A			REAL			
SCALER_MAX_1		1.0	N/A	1.0		REAL			
TON_1			TON			
SCALER_MIN_2		0.0	N/A	0.0		REAL			
GAIN			N/A			GAIN_PID			
GAIN.DirectActin			N/A			BOOL			
GAIN.Proportion		0.1	N/A	0.1		REAL			
GAIN.TimeIntegr		0.0001	N/A	0.0001		REAL			
GAIN.TimeDeriva		2.552429E+38	N/A	2.552429E+38		REAL			
GAIN.DerivativeG		0.0	N/A	0.0		REAL			
SCALER_MIN_1		0.0	N/A	0.0		REAL			
BOMBA			N/A			BOOL			
AUTOTUNE			N/A	0		BOOL			

Figura 20 - Valores GAIN encontrados.

Por fim foi desenvolvido o supervisório e os testes finais foram executados.

3.3 Programação

Toda a programação foi desenvolvida em linguagem *ladder* no software CCW da Rockwell Automation.

A FIG. 21 representa uma parte da programação desenvolvida e mostra a posição na qual a chave seletora se encontra, chave esta que está localizada no quadro de comando. São três as posições possíveis: Local/Manual - em que o acionamento do motor ocorre por meio do fechamento de contadores em estrela-triângulo após o acionamento de uma botoeira de liga, ter sido pressionada no quadro de comando; Local/Automático - após um tempo programado em um relé ter decorrido ocorre a partida automática do motor, também através do fechamento de contadores em estrela-triângulo; e Remoto - onde o acionamento do motor ocorre por meio de um inversor de frequência controlado por um CLP, podendo ser automático ou manual. A opção de Remoto/Manual e Remoto/Automático é selecionada através do supervisório, sendo que para ocorrer o funcionamento deste sistema a chave deve estar obrigatoriamente nesta posição. É mostrado na figura abaixo o acionamento do motor na posição Remoto/Manual ou Remoto/Automático.

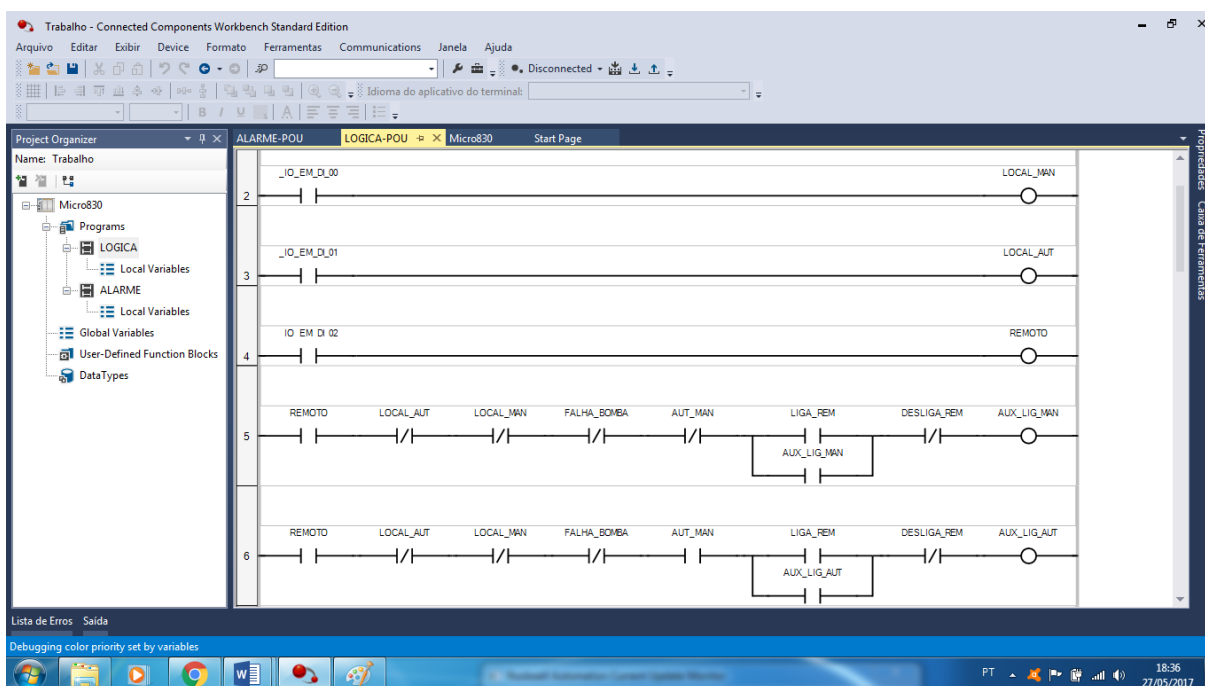


Figura 21 - Linha do código desenvolvido.

Para o funcionamento do bloco PID foi necessário realizar dois tratamentos, como pode ser observado na FIG. 22. O primeiro é que o valor da Variável de Processo (PV) deve ser em unidade de pressão (bar), então foi usado um bloco de conversão de sinal analógico para um valor que a represente, sob a forma de número natural – chamado “real”. O segundo tratamento imprescindível foi a utilização de um bloco que fizesse escalonamento. Os valores utilizados foram o range (0 a 1 bar) do transmissor de pressão e a resolução de bits do conversor (0 a 65536).

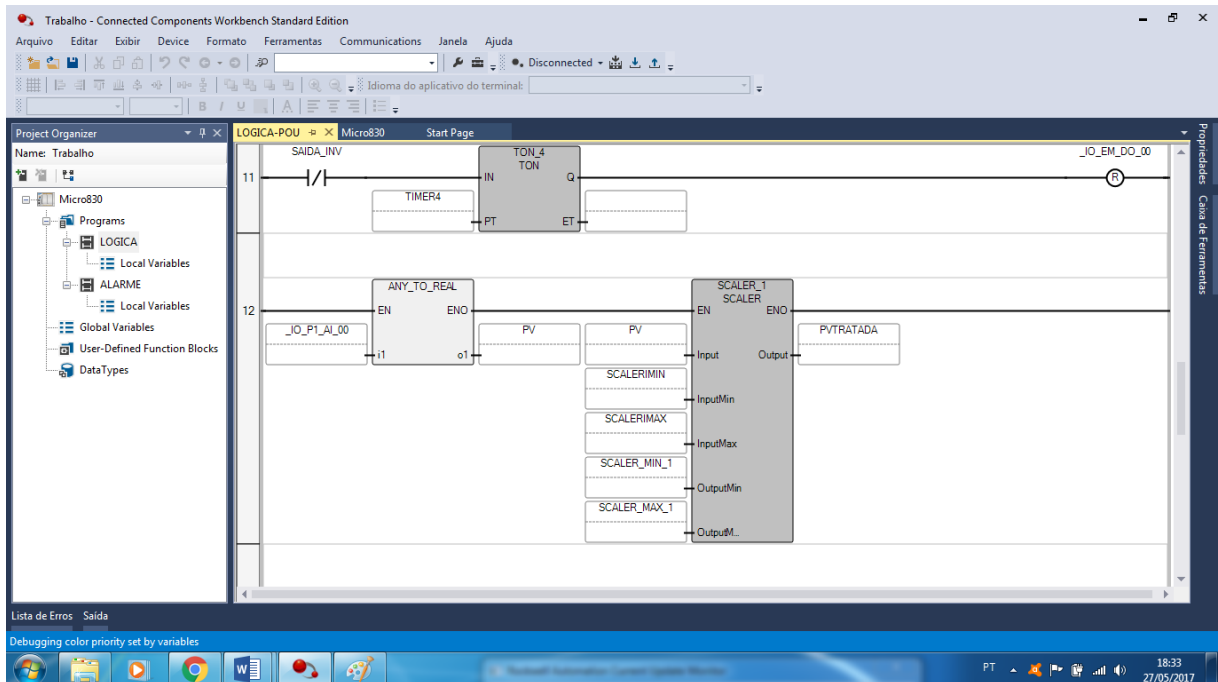


Figura 22 - Bloco de transformação e escalonamento.

A FIG. 23, representa o bloco PID utilizado no desenvolvimento do projeto. Este bloco é do próprio programa CCW e seus parâmetros são calculados automaticamente através de um procedimento de auto ajuste. Porém, para uma melhor desempenho no controle foi necessário um ajuste manual no ganho.

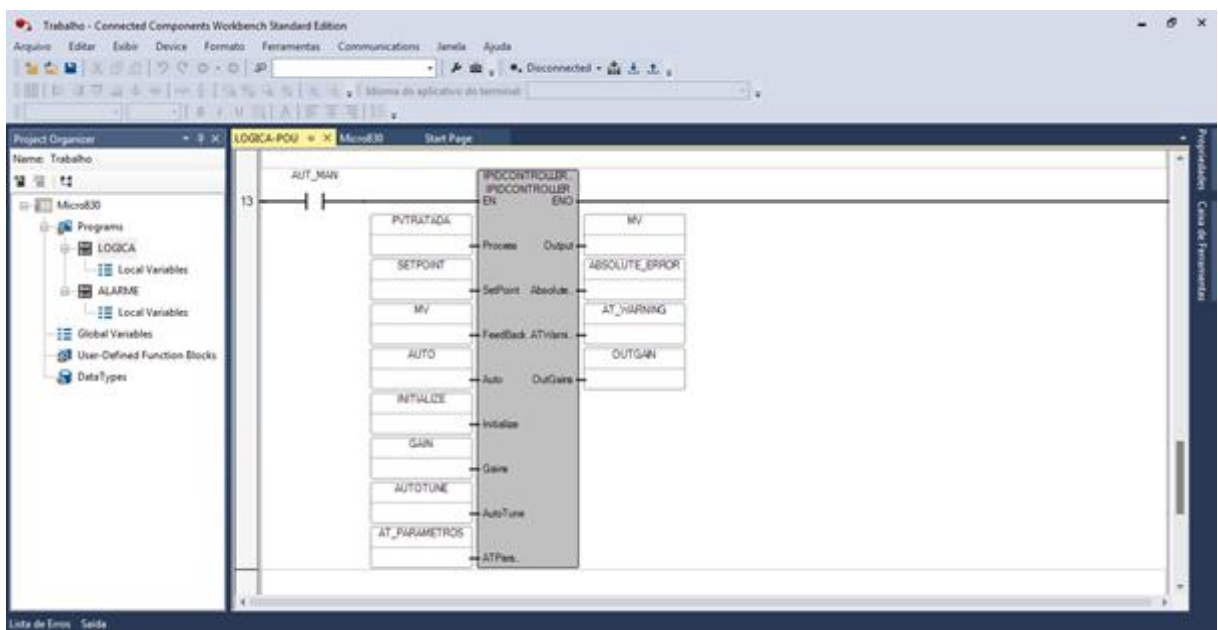


Figura 23 - Bloco PID.

Na FIG. 24 pode ser visto alguns dos alarmes criados para o projeto. Os alarmes são sinais digitais recebidos de falha do inversor e a interrupção do sinal

análogo do sensor, sendo que se qualquer um destes sinais atuar, o funcionamento do sistema em Remoto/Manual ou Remoto/Automático é desligado.

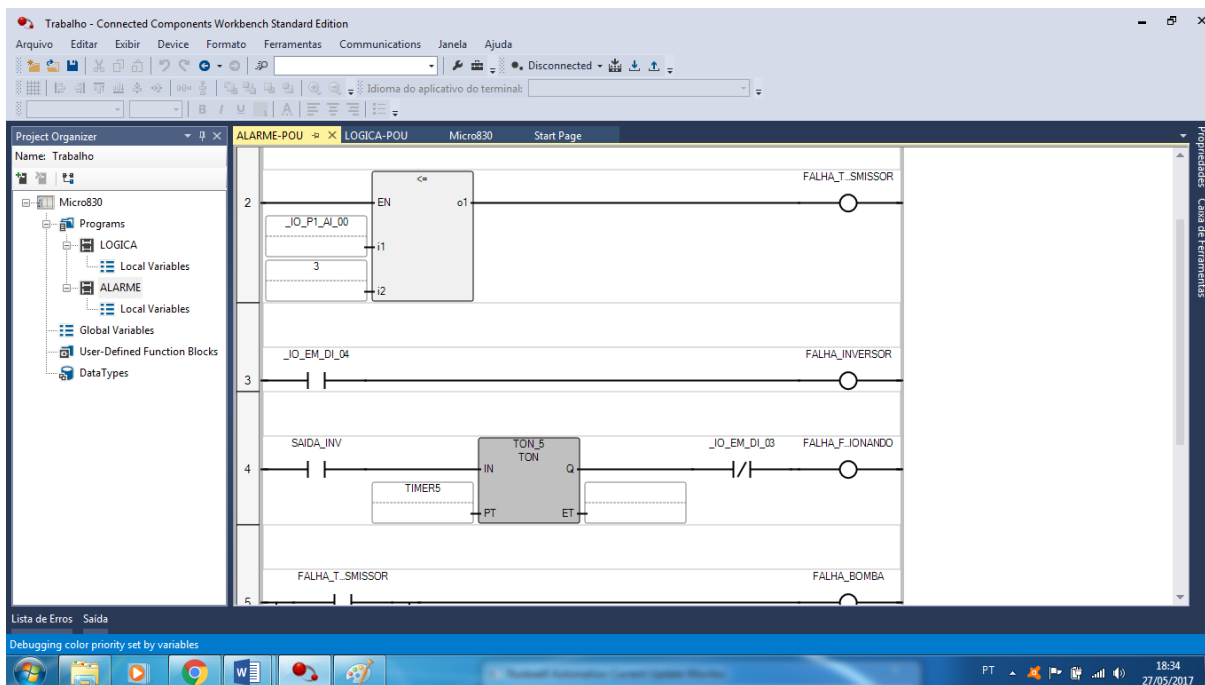


Figura 24 - Tela de alarme criada.

3.4 Observações complementares

Durante o processo de pareamento do supervisório e o CLP utilizou-se versão para estudante do Factory Talk View Studio e licença gratuita do CCW (para a programação em *ladder*). Buscou-se de diversas formas a interligação. Sem sucesso, consultou-se especialistas (professores e fornecedor). No entanto a suspeita do insucesso da interligação direcionou-se para o quadro comando de motores, pois o sistema partia e logo depois a interligação caía. Chamou-se eletricitistas para a averiguação e o quadro desmontado. Face ao exíguo tempo para a correção, com a anuência do orientador, partiu-se para a simulação do mesmo processo. Dessa forma, a partir deste ponto são apresentados os métodos e materiais, bem como resultados do processo simulado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Programação

A programação do sistema simulado continuou a ser desenvolvida no programa CCW da Rockwell Automation em *ladder*.

A FIG. 25, apresenta uma parte da nova programação. Logo as três primeiras linhas continuam mostrando qual posição a chave seletora se encontra, porém esta chave agora está localizada no próprio supervisor.

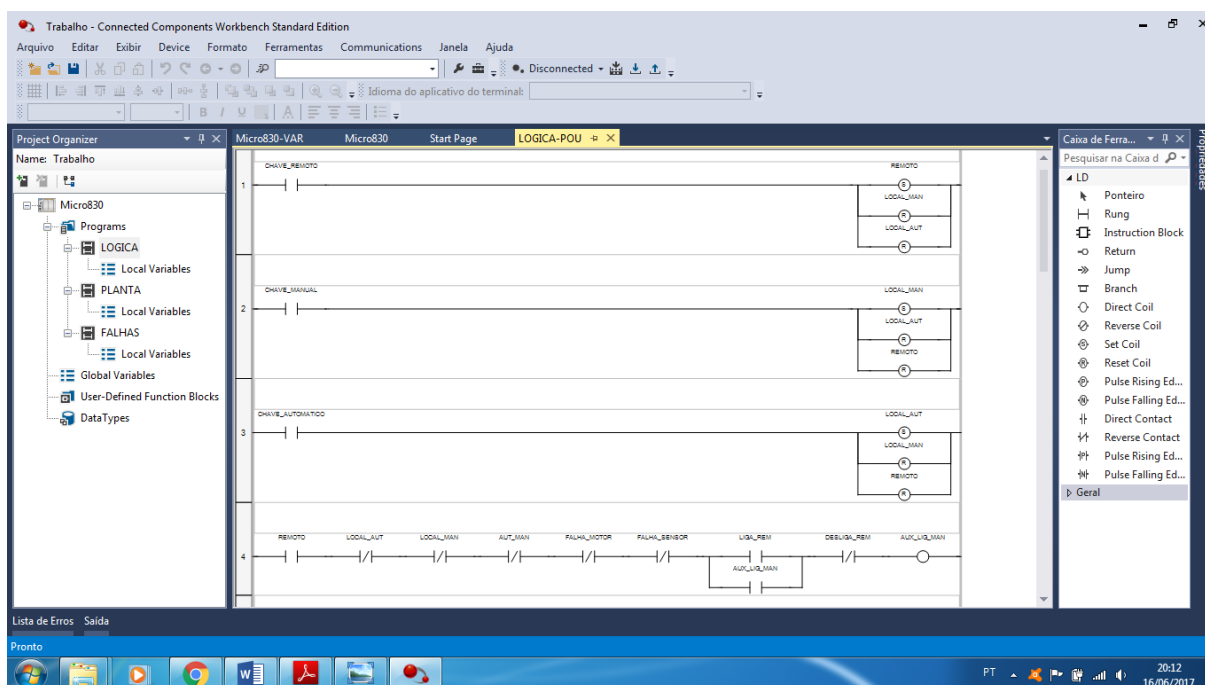


Figura 25 - Uma parte da nova programação desenvolvida.

A FIG. 26 mostra o bloco PID que foi utilizado. Como não houve a necessidade de uma nova sintonia automática, os parâmetros permaneceram os mesmos dos já apresentados anteriormente (3.2 Métodos).

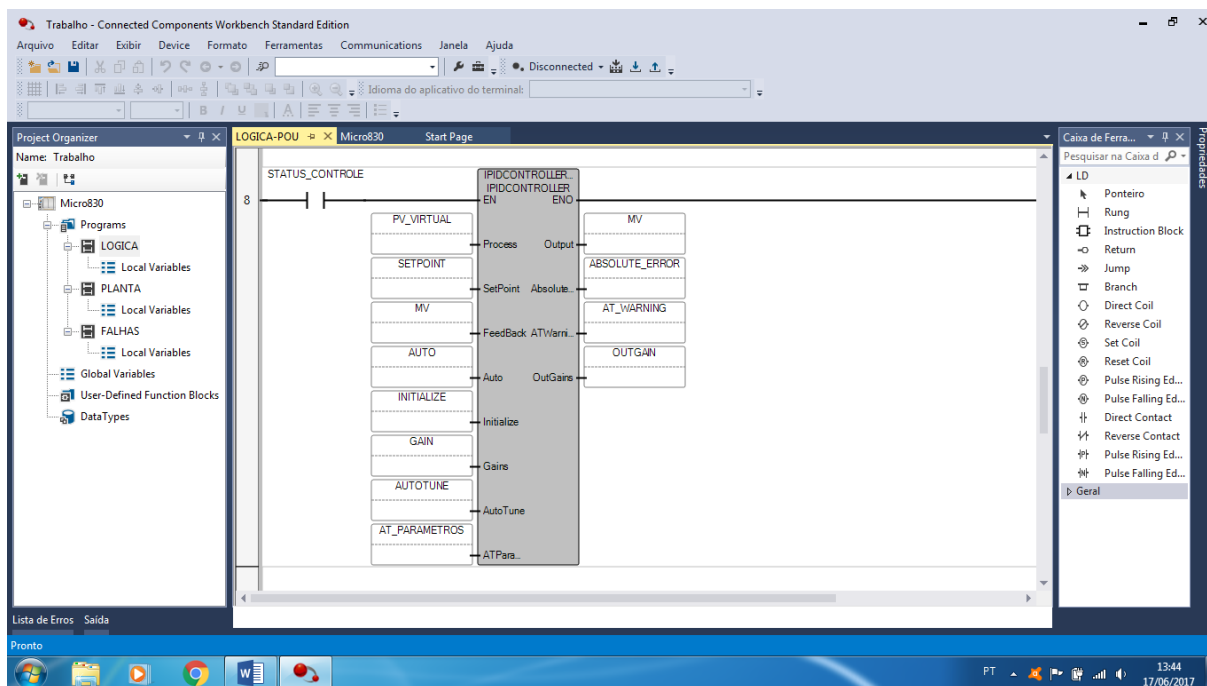


Figura 26 - Bloco PID utilizado.

Como o processo foi simulado foi necessário utilizar um bloco que simulasse o sinal lido pelo transmissor de pressão. O bloco escolhido, dos disponíveis pelo programa, foi o SIN, pois apresenta uma forma de onda senoidal, similar à forma de onda de uma corrente de 4 a 20 mA. Foi observado que a constante de tempo da planta é de aproximadamente 20 segundos, tempo encontrado por meio da realização de um ensaio. Este ensaio foi feito acompanhando o comportamento da planta por meio da variação da pressão desejada, assim obtendo intervalos de tempo para cada variação de pressão. Para que a simulação ficasse condizente com o funcionamento real da planta foi necessário utilizar um bloco aritmético de divisão (/) para ajustar a constante de tempo da simulação para o valor aproximado de 20 segundos, como pode ser visto na FIG. 27.

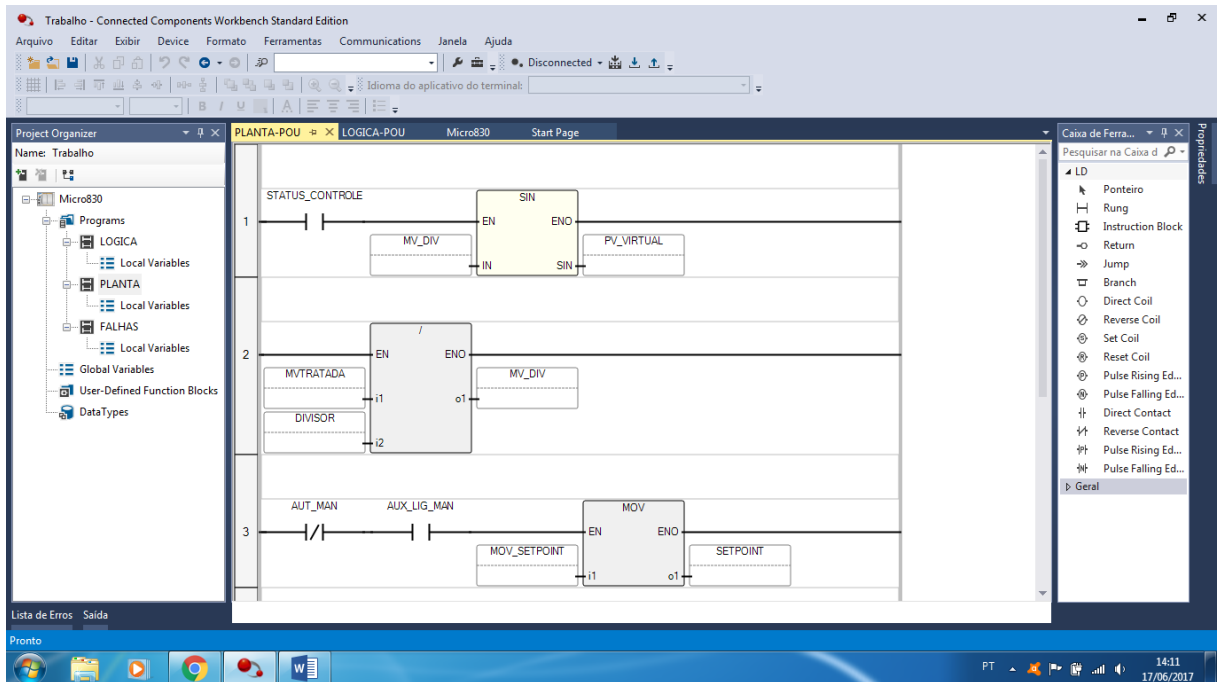


Figura 27 - Bloco SIN e / utilizados.

A FIG. 28 apresenta a lógica de falhas desenvolvidas para a simulação.

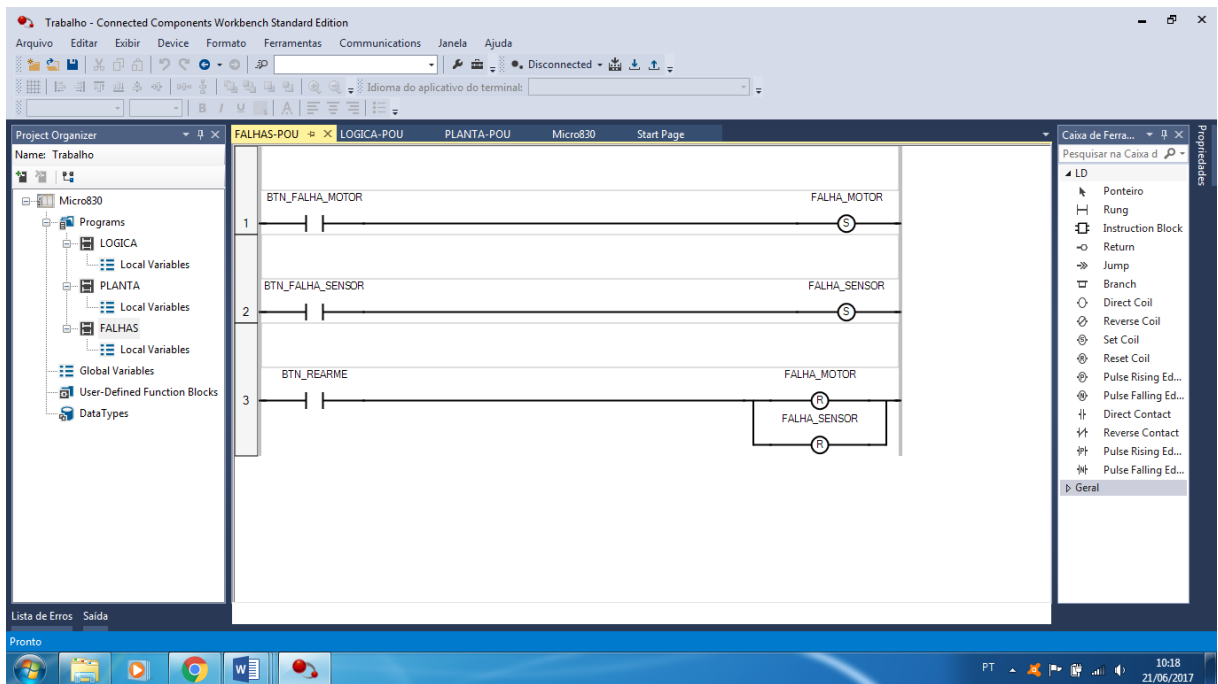


Figura 28 - Falhas desenvolvidas.

4.2 Sistema Supervisório

A FIG. 29 apresenta a tela desenvolvida para o processo simulado. Foi criada uma chave seletora de três posições similar a chave que o quadro de

comando possui da planta física. Foram desenhados todos os componentes que a planta física tem como as válvulas, manômetro e as tubulações. Para o acionamento e o desligamento do motor foi desenhado dois botões LIGA e DESLIGA. Em cima do transmissor de pressão existe uma caixa com a indicação de qual a pressão a tubulação de recalque se encontra e é possível que o operador entre com o valor desejado. No canto inferior direito é possível observar três barras sendo elas a indicação do SP digitado pelo operador, em azul, a variável de processo, em vermelho, e a variável manipulada do processo, em verde. Abaixo das barras tem-se um gráfico com as mesmas três variáveis mostradas simultaneamente e em tempo real. Todas as características possíveis da planta física foram mantidas, com exceção do distúrbio.

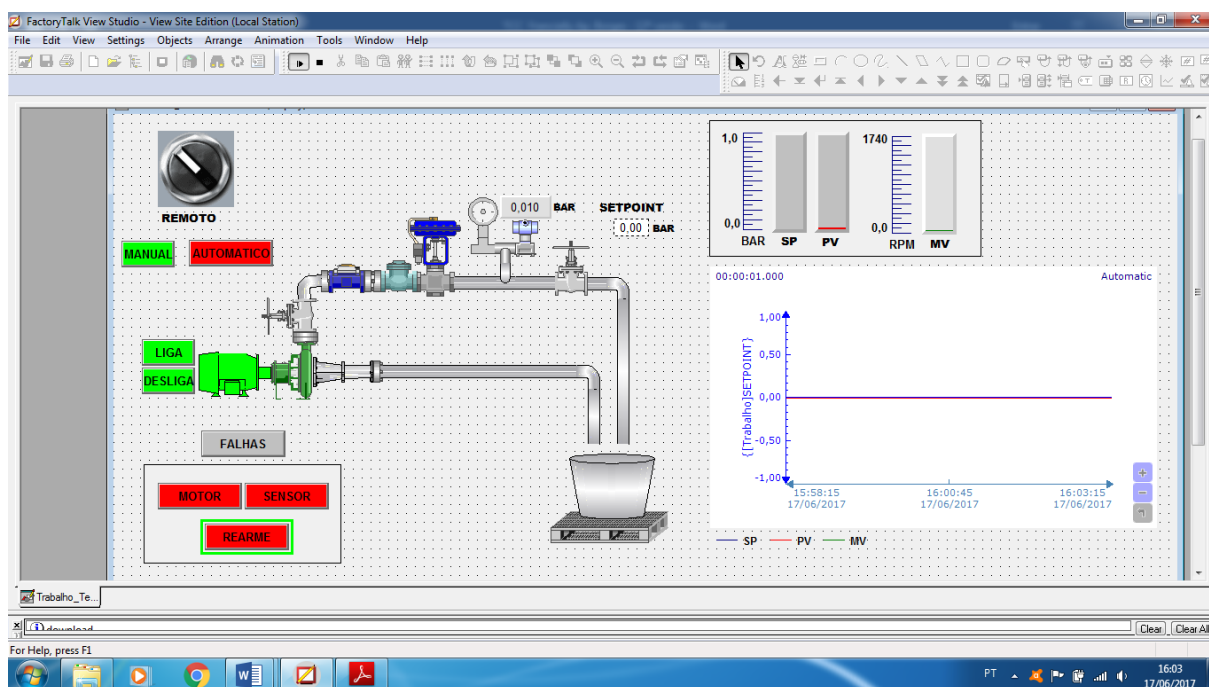


Figura 29 - Tela do supervisorio desenvolvido.

A FIG. 30 e FIG. 31 representam a posição Local/Manual e Local/Automático do quadro de comando da planta física, onde o conjunto parte por meio do fechamento de contadores em estrela-triângulo.

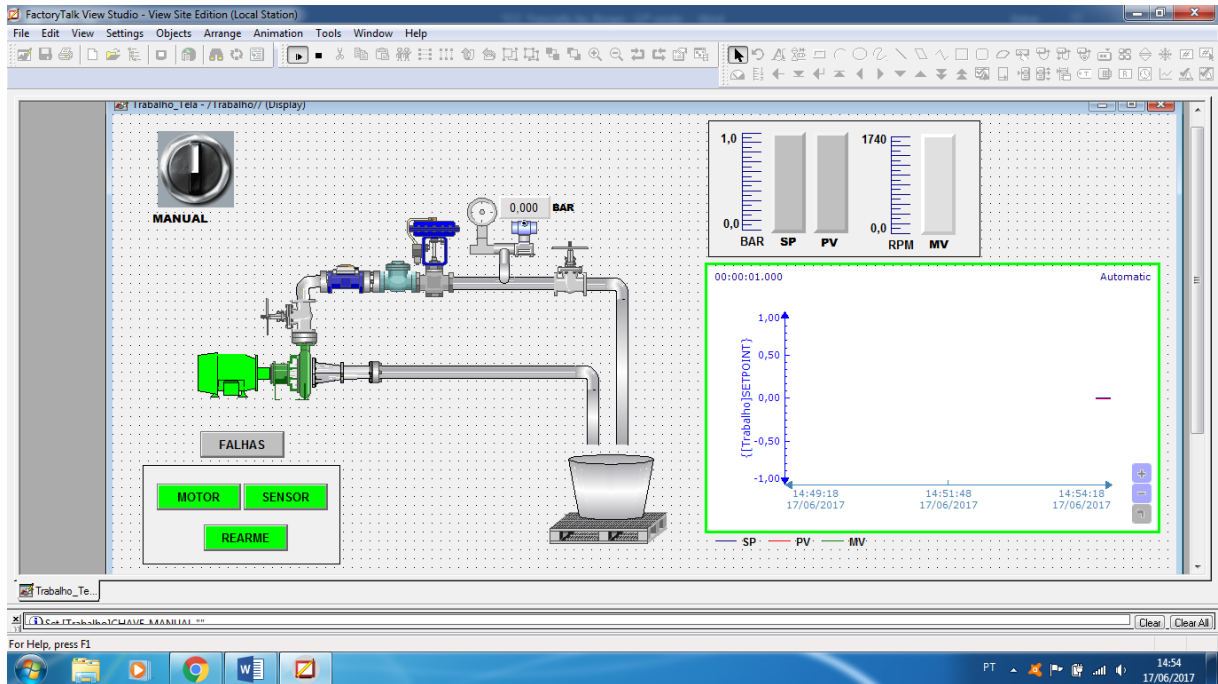


Figura 30 - Posição Local/Manual.

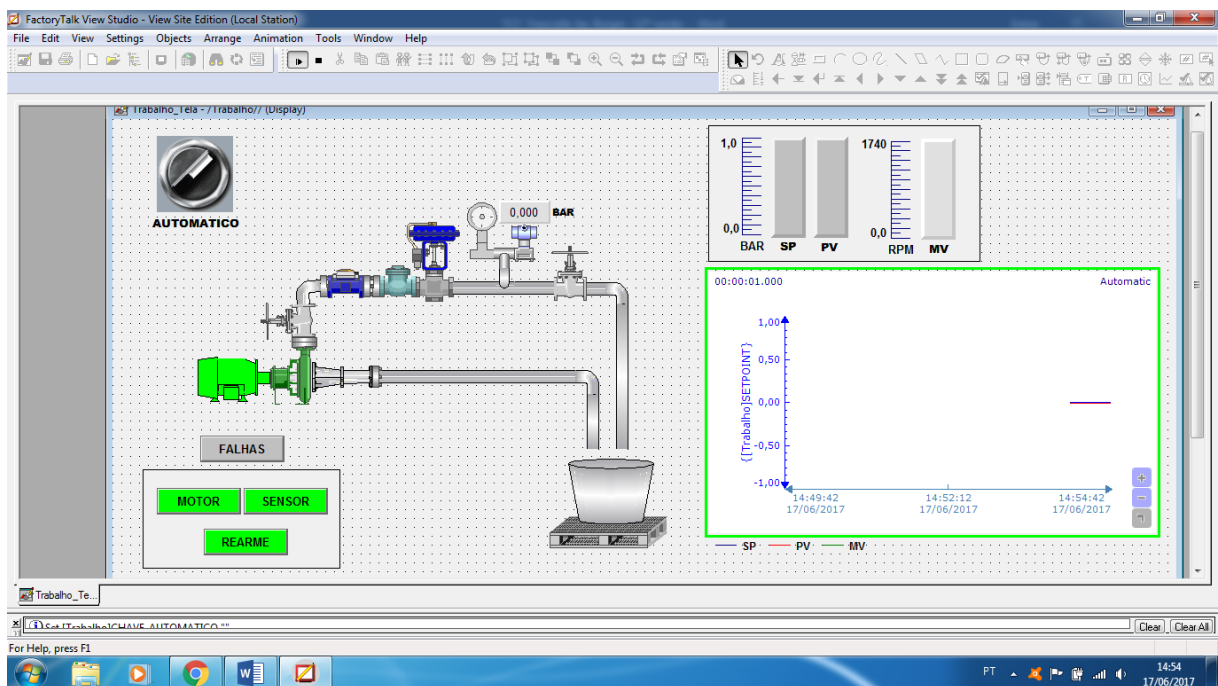


Figura 31 - Posição Local/Automático.

Para o funcionamento da planta automatizada a chave deve estar na posição de Remoto, como na planta física, liberando os botões de comando do supervisor, como pode ser visto na FIG. 32. Quando esta opção é selecionada é possível o controle em automático e manual por meio do supervisor.

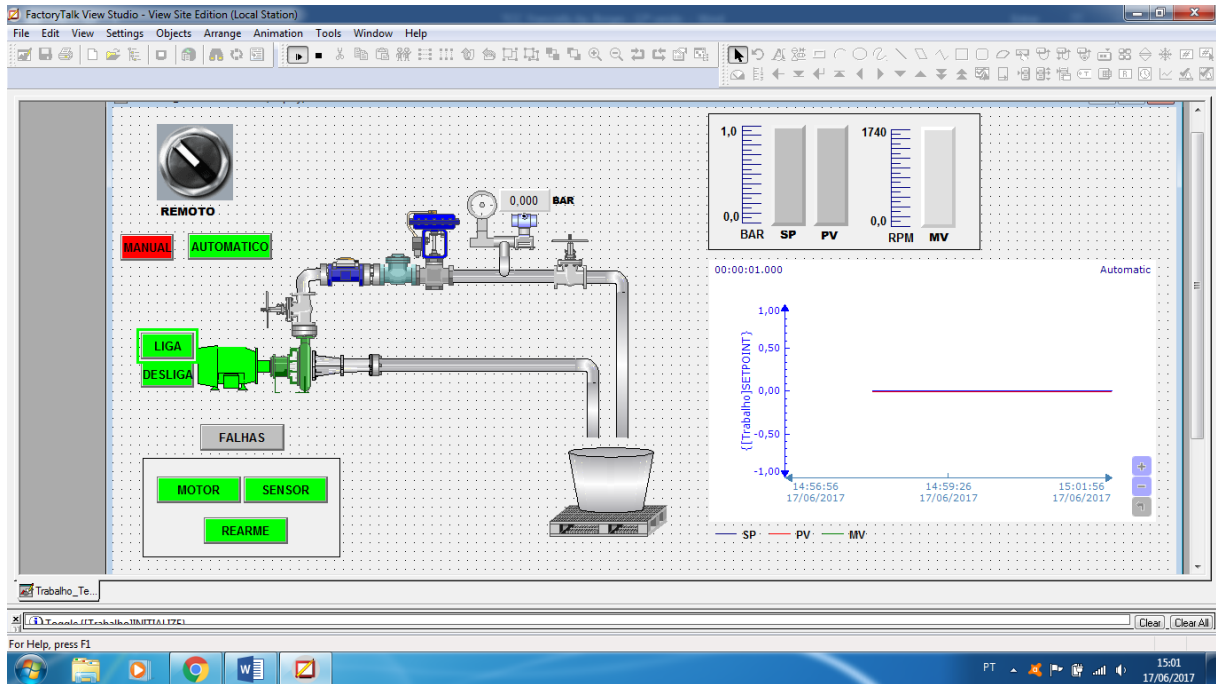


Figura 32 - Posição Remoto.

Quando a opção da chave seletora estiver em remoto e deseja que o conjunto motobomba parta manualmente o botão LIGA deve ser pressionado e então o motor trabalha na rotação máxima fazendo que o sistema atinja pressão máxima, como pode ser observado na FIG. 33.

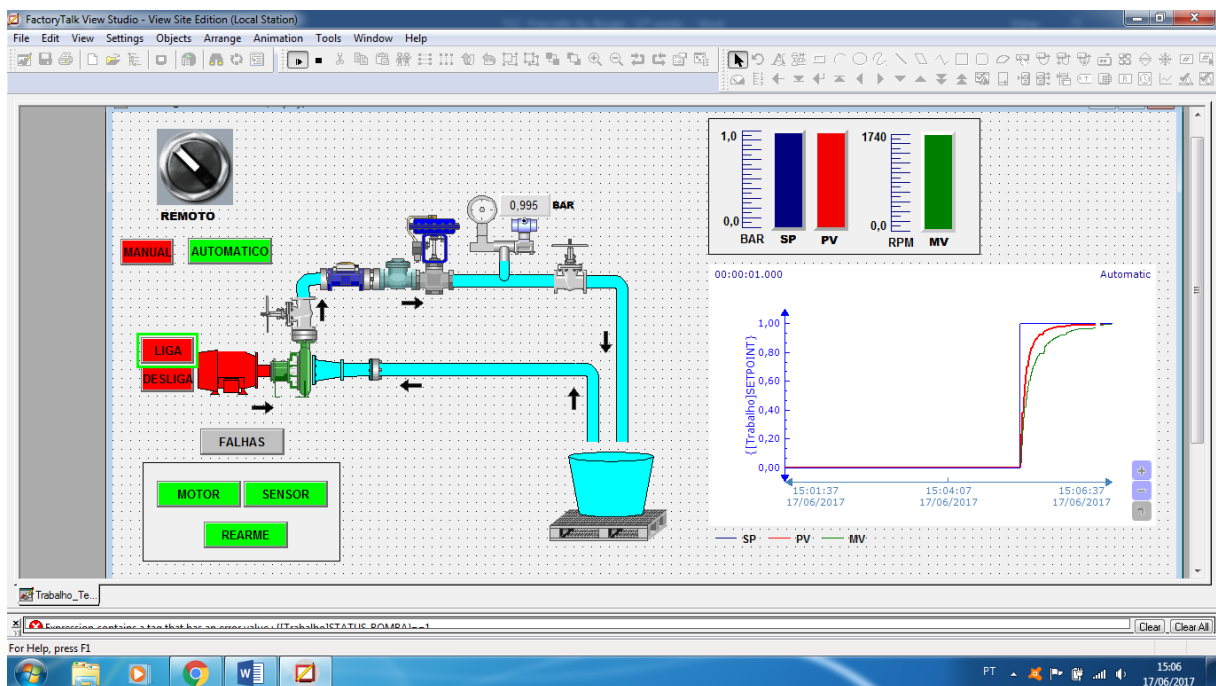


Figura 33 - Chave seletora na opção de Remoto/Manual.

Para a partida Remoto/Automático é necessário escolher um valor de SP inicialmente, entre 0 e 1 bar, em seguida deve-se clicar no botão LIGA para o acionamento da bomba e o início do controle PID do sistema, como pode ser observado na FIG 34.

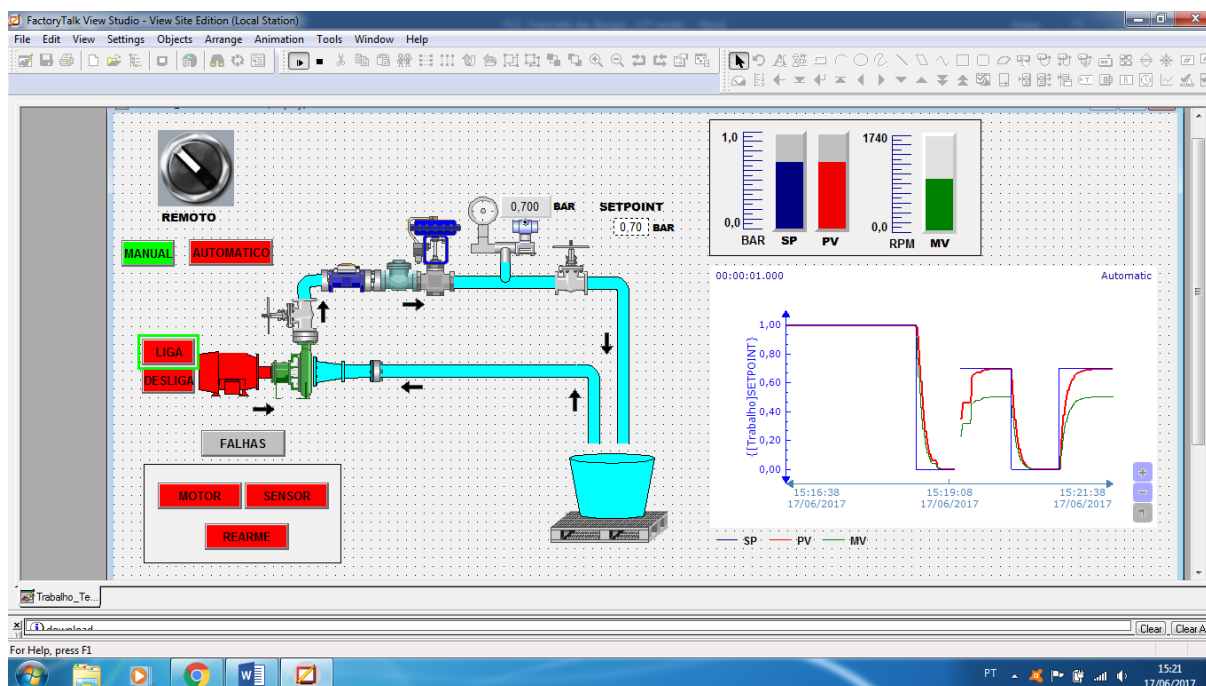


Figura 34 - Partida em Remoto/Automático.

Quando alguma falha acontece no sistema, o inversor desliga o acionamento da bomba e o supervisor indica o tipo de falha que ocorreu no sistema, sendo necessário o rearme (reset) do sistema para que o mesmo possa entrar em funcionamento novamente. Como a planta foi simulada a geração destas falhas foram desenvolvidas no próprio supervisor como ilustrado na FIG. 35.

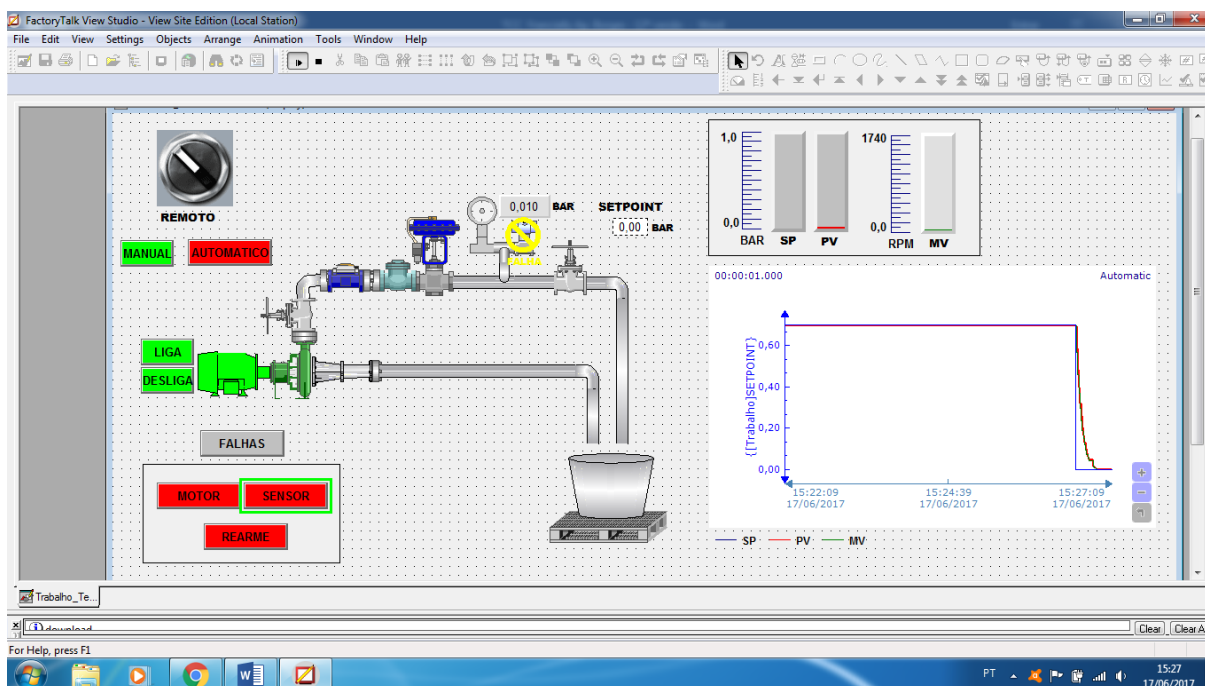


Figura 35 - Sistema em falha.

4.3 Resultado Final

A partir das respostas satisfatórias do sistema projetado, passou-se a simular condições operacionais diversas, com três degraus na válvula de recalque (demanda repentina). Isso foi simulado através de alterações nos valores de SP de pressão da linha de recalque. As respostas são apresentadas na FIG. 36, FIG. 37 e FIG. 38.

Como se observa na FIG. 35, a resposta ocorreu a partir de 2 segundos, provavelmente um atraso de resposta do sensor e a rotação atingiu cerca de 400 rpm.

Aumentando o degrau para 0,5 (FIG. 36) sem retirá-lo do 0 rpm (a partir de 400 rpm) a resposta foi imediata atingindo cerca de 700 rpm.

Aumentando novamente o degrau para 0,8 (FIG. 37) sem retirá-lo do 0 rpm (a partir de 700 rpm) a resposta foi imediata atingindo aproximadamente 1044 rpm.

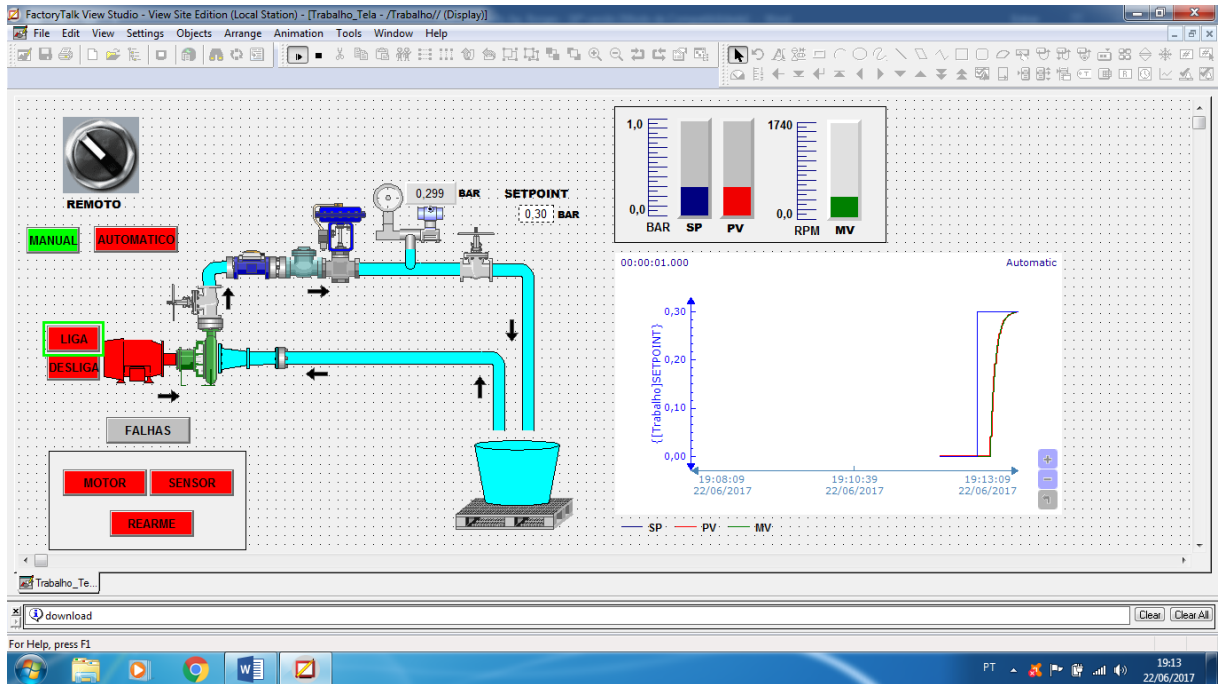


Figura 36 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,3.

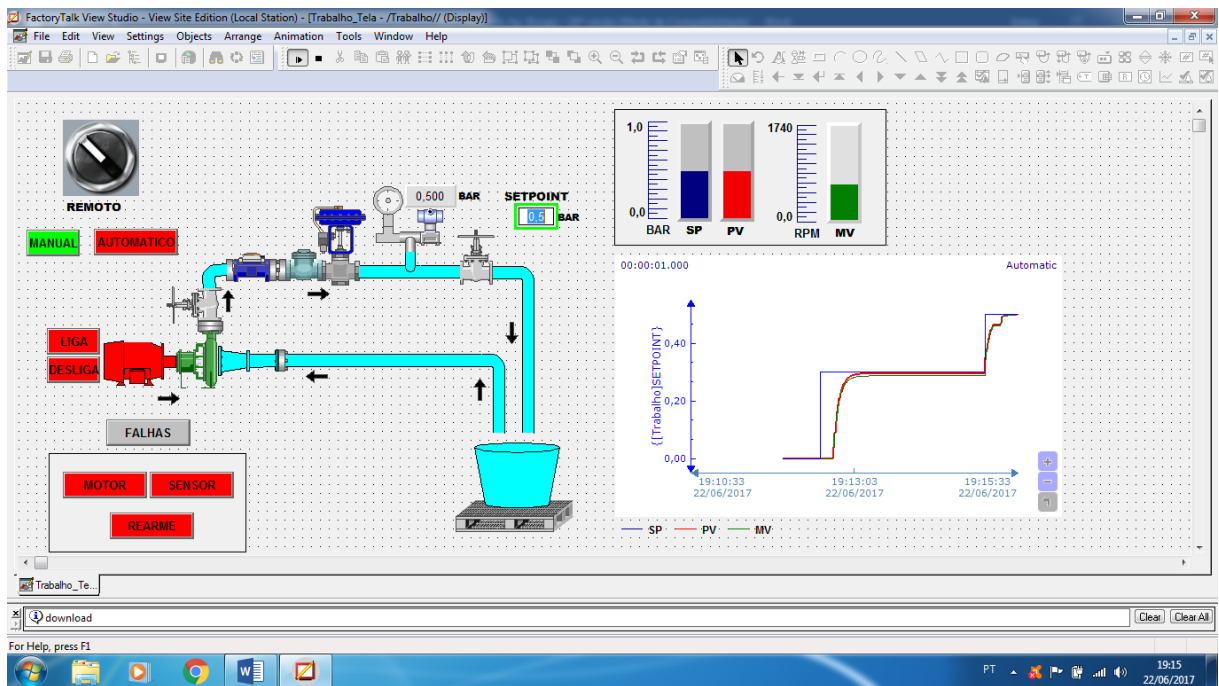


Figura 37 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,5.

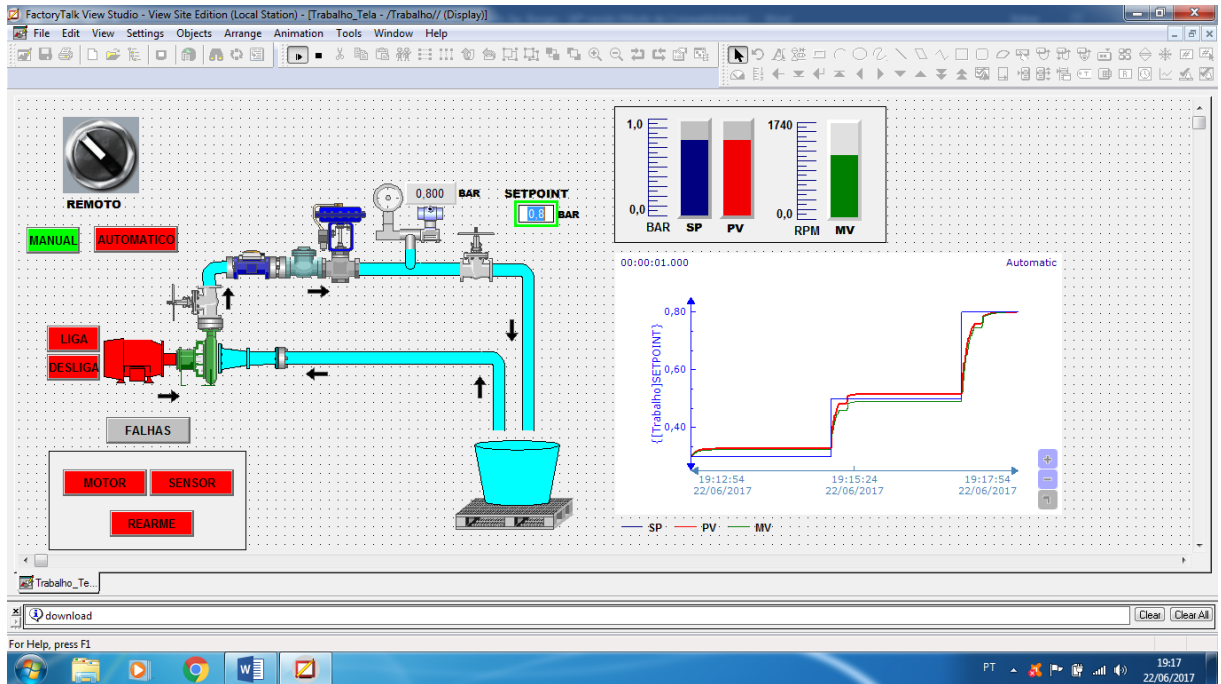


Figura 38 - Resposta apresentada para o valor de SP de 0,8.

5 CONCLUSÕES

Ao término deste trabalho pode-se concluir que inúmeros problemas surgem na etapa de execução de um projeto, que podem inviabilizar a finalização da maneira esperada.

O objetivo inicial do projeto, que era a automatização de uma planta de ensaios de distribuição de água localizada na COPASA-MG no setor de eletromecânica, foi cumprido em partes. Devido ao problema de comunicação serial apresentado entre o CLP utilizado e o programa para desenvolvimento do supervisório, alterando substancialmente o cronograma acordado com o orientador, foi necessário realizar o projeto de maneira simulada.

Para o desenvolvimento do projeto simulado todas as características possíveis da planta física foram mantidas e o funcionamento ocorreu da forma esperada. As simulações responderam a contento: a rotação do conjunto motobomba alterada sempre que solicitada. Atrasos de respostas na simulação não apareceram, porém na planta física eles deverão ser analisados, uma vez que essa planta deve entrar em efetiva operação para treinamentos internos organizados pela autora desse trabalho.

Um sistema de abastecimento automatizado pode apresentar vantagens para os diversos níveis operacionais e gerenciais da instituição. Redução de custos e desperdícios, facilidade de manutenção e operação, aumento da vida útil de equipamentos, possibilidade de controle do sistema a longa distância, utilização dos recursos naturais de maneira inteligente, dentre outros.

6 SUGESTÕES

Espero poder avançar nesta proposta de efetivamente colocar a planta em funcionamento e planejar os treinamentos. Acredito que trabalhos futuros nessa linha de automatização de plantas de distribuição em marcha possam cada vez mais contribuir para reduções de custo e aumento da satisfação dos consumidores.

REFERÊNCIAS

BEGA, Egídio Alberto (Org.) et al. **Instrumentação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência / IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2006. 583 p.

CARVALHO, D. F. **Instalações Elevatórias. Bombas**. 6. ed. Belo Horizonte: FUMARC, 1999.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Distribuição de Água. Disponível em:

<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=35>>. Acesso em: 11 set. 2016.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Tratamento de Água**.

Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agua-de-qualidade/tratamento-de-agua>>. Acesso em: 10 set. 2016.

MACINTYRE, A. J.; **Bombas e Instalações de Bombeamento**, 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara S. A.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da; SALVADOR, Marcelo. O que são sistemas supervisórios? **RT 025.04**. Criado: 10/09/2004, Atualizado: 20/12/2005. Disponível em: http://www.wectrus.com.br/artigos/sist_superv.pdf. Acesso em: 20 maio 2017.

SILVA, E. C. N.; MOURA, R. T. **Apresentação Bombas Hidráulicas**. Escola Politécnica de São Paulo, S.d. Disponível em:

<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2841/Hid_Bombas_hidraulicas.pdf>. Acesso em: 16 set. 2016.

TSUTIYA, M. T. Utilização de Inversores de Frequência para Diminuição de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Bombeamento. In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., 2006, João Pessoa. Disponível em:

<<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/conferencia/VI%20palestra/p05.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.