

**Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia
Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec**

**ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO, CONTROLE E
ROBÓTICA**

JOÃO MANOEL DE SANTANA CASTRO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS
DE ÁGUA, EM SÉRIE, ENFATIZANDO O CONTROLE
LOCALIZADO**

**Salvador
2007**

**Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia
Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec**

JOÃO MANOEL DE SANTANA CASTRO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA, EM SÉRIE,
ENFATIZANDO O CONTROLE LOCALIZADO.**

Monografia apresentada ao SENAI CIMATEC como requisito para a obtenção do título de Especialista Lato Sensu em Automação, Controle e Robótica.

Orientador: Prof. MSc. Milton Bastos de Souza

SALVADOR
2007

**Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia
Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec**

A Comissão Julgadora do Trabalho de Monografia de Especialização em Automação, Controle e Robótica, em sessão pública realizada em 15 de janeiro de 2007, considerou o candidato João Manoel de Santana Castro aprovado.

Dr. Edmarcio Antonio Belati

Dr. Karla Vittori

MSc. Milton Bastos de Souza

MSc. Marise Carvalho Mota Arnaldo

“A dúvida é o começo da sabedoria”.

Segus

Sumário	Página
Introdução.....	10
CAPÍTULO I - Referencial Teórico/Reflexões.....	12
I.1 – Visão geral de um sistema de abastecimento de água.....	13
I.2 - Elementos de automação	15
I.2.1 Variadores de velocidade.....	16
I.2.2 Controladores.....	20
I.2.3 – Válvulas.....	23
I.3.3.1 - Características Principais.....	23
I.2.3.2 – Válvulas de uso corrente nos sistemas de abastecimento de água	25
I.2.4 Temas dominantes	27
I.2.4.1 - Uso racional de eletricidade e hidráulica, aplicadas	27
I.2.4.2 - Quando permitir/não permitir partidas de motores	28
I.2.4.3 - O que fazer para evitar esvaziamento das adutoras	28
I.2.4.4 - Desligamento condicional – pressão acima do “ <i>set point</i> ”	28
I.2.4.5 - Extravasamento constante em estações elevatórias intermediárias.....	29
I.2.4.6 - Calibração de vazão de forma racional	29
I.2.5 - Problemas mais freqüentes em estações elevatórias intermediárias	29
I.2.6 – Partido hidráulico existente	30
I.2.7 – Partido hidráulico proposto	30
I.3 - Breve Histórico	32
Capítulo II - Modelagem do sistema integrado usando o EPANET	34
II.1 – O que é o EPANET	34
II.2 – Características da modelagem hidráulica	35
II.3 – Seqüência de passos na utilização do programa	36
II.4 – Sistema a modelar	36
II.4.1 - Desenho do projeto na interface	36
II.4.2 - Edição das propriedades dos componentes mais importantes	37
II.4.3 - Descrição das condições operacionais do sistema segundo o modelo ..	39
CAPÍTULO III – Projeto de Automação.....	48
Conclusões	58
Referência bibliográfica	64

Lista de figuras	Página
Figura 1 – Sistema simplificado de transporte de água com adutora de grande extensão	15
Figura 2 - Diagrama conceitual básico de um sistema de controle.....	20
Figura 3 - Gráfico para verificação de cavitação.....	27
Figura 4 - Esquema hidráulico existente.....	30
Figura 5 - Esquema hidráulico proposto.....	32
Figura 6 – Regime permanente do S.I.A Tucano I.....	34
Figura 7 - Desenho do traçado com cotas e extensões de tubulação.....	36
Figura 8 - Pressão em todos os nós.....	38
Figura 9 - Identificação dos trechos	38
Figura 10 – Curva da bomba da EEAT3	40
Figura 11 – Edição dos dados da bomba da EEAT3	41
Figura 12 – Curva da bomba da EEAT5, Cansanção -> Monte Santo	42
Figura 13 – Edição dos dados da bomba da EEAT5	43
Figura 14 – Edição dos dados da bomba da EEAT6	45
Figura 15 – Edição dos dados da bomba da EEAT6	46
Figura 16 – Concepção do esquema de automação para a EEAT5	48
Figura 17 – Esquema de automação para a EEAT6	52
Figura 18 – Esquema de Controle de Partidas e Paradas	53
Figura 19 – Esquema de Controle dos Variadores de Velocidade	54
Figura 20 – Mudança de estado I	55
Figura 21 – Mudança de estado II.	56
Figura 22 – Mudança de estado III	56
Figura 23 – Mudança de estado IV	57
Figura 24. – Dados do Gráfico para o Sistema Hipotético	Apêndice A
Figura 25 – Diagrama final do ladder no microPLC	Apêndice D
Figura 26 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, parte I	Apêndice D
Figura 26 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, parte II.....	Apêndice D
Figura 26 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, parte III.....	Apêndice D
Figura 26 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, parte IV.....	Apêndice D

Lista de tabelas	Página
Tabela 1 – Dimensionamento de válvulas combinadas	26
Tabela 2 - Recomendações para utilização de válvulas.....	Apêndice B
Tabela 3 - Resistência à corrosão de alguns materiais.....	Apêndice B
Tabela 4- Resistência à corrosão de alguns materiais (continuação).....	Apêndice B
Tabela 5 – Dados dos nós mais significativos no projeto de automação	37
Tabela 6 – Dados dos trechos mais significativos	39
Tabela 7 – Vilas, cidades e povoados atendidos a partir de Cansanção	44
Tabela 8 - Variador de Velocidade da EEAT5	50
Tabela 9 – Configuração mínima do controlador PID.....	50
Tabela 10 – Ciclo de operação do controlador PID	51
Tabela 11 – Ciclo de sintonia do controlador PID	51
Tabela 12 – Ciclo de programas do controlador PID	51
Tabela 13 – Ciclo de alarmes do controlador PID	51
Tabela 14 – Ciclo de configuração do controlador PID	51
Tabela 15 – Ciclo de entradas e saídas do controlador PID	52
Tabela 16 - Ciclo de calibração do controlador PID	52

Apêndices	Página
Apêndice A	65
Apêndice B	69
Apêndice C	73
Apêndice D	77

NOTAÇÃO

SIGLAS	SIGNIFICADO
“Booster in line”	Estação Elevatória com sucção e recalque na mesma adutora a montante e jusante respectivamente.
UTR	Unidade Terminal Remota com PLC e Rádio Modem
PLC	O mesmo que CLP que é o Controlador Lógico Programável
CCM	Centro de Controle de Motores (quadro de Comando)
S.I.A	Sistema Integrado de Abastecimento de Água
PID	Parâmetros de um controlador Proporcional, Integral e Derivativo
HMT	Altura Manométrica
Hg	Altura geométrica
Hf	Perda de carga em tubulações
J	Perda de carga unitária em tubulações m/m
C	Coefficiente de rugosidade de tubulações segundo Hazen & Wilhians
P	Potencia hidráulica do conjuntos motor – bombas
EEAT	Estações Elevatórias de Água Tratada
RAP	Reservatório apoiado
REL	Reservatório elevado
SET POINT	Ponto (valor) fixado
NC	Normalmente fechado (naturally closed) (Instrumentos)
NO	Normalmente aberto (naturally open) (Instrumentos)

Resumo

O presente trabalho mostra que a solução de “*booster*” tipo “*in line*” em série, pode ser adotada no transporte de água bruta ou tratada, se fizermos uso de tecnologia adequada tais como: inversor de frequência, microPLC, transdutor de pressão, pressostato e válvulas autooperadas hidráulicamente. O trabalho mostra a parametrização desses instrumentos para obtenção do objetivo desejado sendo dado maior atenção à parametrização do controlador comandando um variador de velocidade de motores tipo inversor de frequência. De forma sucinta mostra o porque da utilização de válvulas autooperadas ao longo das adutoras e em suas derivações, assim como o papel dos reservatórios de compensação instalados ao longo das mesmas.

Palavras chave: “*Booster*”, “*in line*”, pressão, vazão, controle, automação, parametrização, recalque, adução, modelo, simulação.

Abstract

The present work shows that the in serie booster solution, type "*in line*", can be adopted in the rude or treated water transport, if adequate technology is used such as: frequency inverter, microPLC, pressure transducer, pressostato and controlled valves. This work also shows the parametrization of these instruments to obtain the desired objective, giving a bigger attention to the parametrization of the controller commanding the speed variation of engines. In summary, it shows the reason for the use of controlled valves throughout the tubings and in its derivations, as well as the role of the installed reservoirs of compensation throughout the same ones. Words key: Booster "*in line*", pressure, outflow, control, automation, regulation, pumping, transport, model, simulation.

Introdução

Transportar água bruta ou tratada utilizando adutoras extensas vem se tornando uma necessidade cada vez mais freqüente em função da escassez desse produto de fundamental importância para o saneamento ambiental.

Grandes distâncias implicam em elevadas perdas de carga. Exige valores elevados de potência de motores, associados a centro de comando em média tensão, onde os sistemas de controle se mostram extremamente complexos e de alto custo. Tal situação está sempre associada a complexos sistemas de proteção (golpe de aríete) como, por exemplo, o sistema antigolpe existente no S.I.A. Milagres¹ em que é utilizado o gás nitrogênio pela sua compressibilidade.

As estações elevatórias intermediárias são necessárias quando queremos evitar: diâmetros de tubulação de valores elevados, motores de grandes potências, CCM (Centro de Controle de Motores) e situação operacional de alta complexidade. Essas estações elevatórias são denominadas “*booster*” por terem como função primordial elevar a pressão no ponto quando se pretende, ainda, a continuação do transporte do fluido. Esses “*booster(s)*”, normalmente, utilizam “*layout*” tradicional com casa de bombas e poço de sucção.

Evitar diâmetros de tubulação com valores elevados significa menor custo de investimento. Neste sentido tem havido uma tendência em adotar “*booster*” tipo “in line” para evitar roubos ou perdas de água quando elevatórias intermediárias sofrem paralisação acidental. A opção tem sido a utilização de unidades terminais remotas, com uso de PLC(s), rádios módems, e outros que privilegiam a telemetria e o telecomando em detrimento do controle local que visa a manutenção da operação com controle de pressão a jusante e a montante utilizando transdutores de pressão.

Ao optarmos pelos transdutores “trabalhando” em associação com inversores de frequência, pressostatos e válvulas combinadas (autooperadas + multivias) é possível fechar o ciclo de automação com controle de variáveis tais como vazão e/ou pressão sem necessidade de comunicação entre as elevatórias.

¹ O S.I.A Milagres é um sistema integrado de abastecimento de água que atende a várias localidades a partir de uma captação no rio Paraguaçu no município de Santa Terezinha. O diâmetro da adutora de recalque é de 500 mm e potência de motores de 500 CV, para veicular uma vazão de 100 l/s.

Em muitos casos verifica-se uma tendência da operação assistida remotamente em detrimento da automação e controle propriamente ditos onde, na malha local, é permitida a tomada de decisões quando a variável a ser controlada tem seu valor alterado.

O objetivo desse trabalho é comprovar ser necessário e suficiente a opção por um controle e automação local que satisfaça às necessidades do sistema de transporte. A opção, por esse tipo de automação, foi de ordem econômica em função da não disponibilidade de recursos para fazer frente a um sistema de controle de maior sofisticação. Ocorreu durante a realização de uma obra civil cujo objetivo era integrar o sistema de abastecimento de água que atendia as cidades de Cansanção, Monte Santo e diversos povoados situados ao longo do transporte da água ao sistema integrado de abastecimento de água do Tucano I com água proveniente de poços profundos oriundos da região próxima à cidade de Euclides da Cunha.

Utilizamos um “*software*”, denominado EPANET, conhecido internacionalmente pela sua eficácia para modelagem e simulação de sistemas de abastecimento de água, tanto no subsistema produção quanto no subsistema distribuição. Este simulador/modelador permitiu a definição inicial dos parâmetros para a concepção da automação, sem comunicação entre as estações elevatórias de água, situadas no trajeto que vai da cidade de Cansanção à cidade de Monte Santo além da definição final da concepção operacional.

As simulações foram ocorrendo à medida que as unidades iam sendo implantadas e/ou modificadas. Todo o trabalho foi desenvolvido centrado na opção pelas estações elevatórias de água onde o poço de sucção não existe a sucção e recalque, das bombas, estão situados na mesma tubulação e a água não tem contato com a atmosfera. Normalmente em propostas similares, com comandos elétricos tipo “*on/off*”, o maior problema consistia em fazer retornar o sistema após desligamento acidental da última elevatória. Tal situação existia em função de, normalmente, a cota na elevatória de saída ser menor do que a cota na elevatória de chegada. A questão era como fazer o religamento, sem a presença do operador, após o problema ter sido sanado. Se a última entra em operação nada se modifica na penúltima que desligou por ação de um rele de corrente mínima, por exemplo. No presente projeto, essa questão, pretendeu-se resolver com a opção por variadores de velocidade, pressostatos, transdutores de pressão e controladores tipo PID “trabalhando” em cooperação com válvulas diafragmas do tipo combinada e reservatórios de compensação ao longo do sistema de transporte.

CAPÍTULO I - Referencial Teórico/Reflexões

Em malhas de alta velocidade, o controle baseado em controladores tipo PI, associados a válvulas autooperadas hidráulicamente, permite uma automação local de forma satisfatória e com baixo custo de implantação, operação e manutenção. Esta última é a mais importante, quando nos referimos à automação da operação de um conjunto motor – bomba, em função da carência de pessoal qualificado nas empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água e/ou esgotamento sanitário.

Sistemas de controle PID possuem 3 graus de liberdade oferecidos pelo ganho proporcional e pelos tempos integral e derivativo – K_p , T_i e T_d , respectivamente. Estes parâmetros permitem a combinação das características do controlador, com a dinâmica instantânea do processo a ser controlado no intuito de obtermos um comportamento de resposta desejado – velocidade de resposta e proximidade do valor de “*set-point*”, por exemplo. A determinação dos valores ótimos para estas três variáveis é um trabalho bastante difícil, decorrendo daí a necessidade de um especialista em controle, precisar determinar, muitas vezes através de conhecimentos empíricos e por tentativa-e-erro, como um passo crucial no comissionamento da malha, estes valores. Em malhas de alta velocidade o tempo derivativo não se mostra necessário razão de nos referirmos ao controlador PI. Segundo Ogata (1, p. 593) “o controlador PI é um compensador de atraso”. Neste caso a resposta pode ser muito lenta o que exigiria uma banda proporcional muito pequena para que a ação integral faça a malha retornar ao “*setpoint*” em tempo considerado adequado sem a inserção de transientes no sistema de recalque composto por motores, bombas e tubulações. Ogata (1, p. 593) afirma: “o controlador PD é uma versão simplificada do compensador de avanço”. Num sistema hidráulico, mudanças de estado, inseridas de forma muito brusca, definem transientes com conseqüências danosas para as tubulações seja porque essas não possuem capacidade para suportar as pressões advindas desse transiente seja porque a repetição traz o fenômeno da fadiga. A prática comprova Ogata e tem demonstrado que o termo derivativo proporciona a ocorrência de transientes hidráulicos nas tubulações em função da sua ação de aumento, nesse caso instantâneo, da velocidade dos motores para reduzi-la gradativamente até o “*setpoint*”.

“As estações elevatórias, assim como a maioria dos sistemas hidráulicos é dimensionada para operarem em regime permanente. Entretanto, em algumas situações, o escoamento é variado. No caso de estações elevatórias, tais situações ocorrem, por exemplo, durante a partida das bombas, abertura ou fechamento de válvulas, paradas programadas ou não das bombas por queda no fornecimento de energia elétrica.

Durante a ocorrência de qualquer um destes acontecimentos, o sistema sofre flutuações de pressão e vazão e podem ocasionar desde simples perturbações no funcionamento por um período não muito longo de tempo, até o rompimento de tubos e acessórios, cujos casos são fartamente documentados na literatura especializada.

Variações de pressões ou vazões propagam-se ao longo da tubulação desde seu ponto de origem como uma onda de choque e os seus efeitos são, via de regra, tão mais pronunciados quanto mais rápidas sejam essas variações.” Tsutiya(2, p. 318).

Com o passar do tempo, mudanças nas condições de produção e o desgaste e descalibração naturais de componentes da malha, como sensores e atuadores podem afetar a eficácia da regulação. Estes problemas podem variar desde alterações no ganho ou na dinâmica de processo até problemas de operação de válvulas – como histerese, vazamento e “prendimento” – ou aumento nas restrições nas condições de operação do processo. Podemos perceber, portanto, que há uma natural necessidade que a sintonia de malhas de controle seja feita com uma dada frequência, frequência esta que irá se alterar de malha para malha. O objetivo é a restauração das condições originais de operação da planta.

I.1 – Visão geral de um sistema de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água, basicamente, é composto por um sistema de produção e um serviço de distribuição.

Constituição do sistema de produção:

- a) Um ou mais mananciais que podem ser de superfície ou subterrâneo. Se de superfície temos: rios, riachos, lagos naturais, lagos artificiais obtidos por inserção de um barramento no curso de um rio ou riacho. Se subterrâneos temos os poços profundos, as cacimbas, etc..
- b) Uma ou mais captações que podem ser diretas quando uma ou mais tubulações são colocadas diretamente no manancial a uma profundidade suficiente para evitar o vórtice ou indiretas quando uma estrutura é inserida entre a tubulação e o início do transporte.
- c) Sistema de transporte que pode ser por gravidade e/ou por recalque através de conjuntos motor – bombas. Se por gravidade o transporte utiliza, apenas, tubulações em PVC, PVC DeFOFO, Ferro Fundido, RPVC, etc..

Quando o ponto de chegada do fluido fica situado em cota maior que a cota na saída, necessário se faz a implantação de estações elevatórias constituídas de: poço de sucção, casa de bombas, conjuntos motor – bombas e CCM(s) que são os centros de

controle desses motores. Quando o transporte se faz em longas distâncias podemos ter um sistema misto com trechos por gravidade e/ou recalque.

- d) Sistema de tratamento composto por uma estrutura de chegada constituída de câmara tranqüilizadora e calha Parshall. Uma estrutura chamada floculador que pode ser mecânica e/ou por chicanas. Um decantador onde os flocos formados, após passagem da água pelo floculador, são decantados retirando as impurezas constituídas por sólidos em suspensão e/ou matéria orgânica. Uma bateria de filtros para fazer o refinamento do tratamento com retenção dos flocos que não decantaram. Uma estrutura de contato, assim denominada por ser nela que fazemos a desinfecção através do cloro.
- e) Uma estrutura de armazenamento, além do reservatório de contato, onde é iniciado o serviço de distribuição.

È possível verificar que o presente trabalho foca o sistema de produção para uma visão do todo, o sistema de transporte composto por estações elevatórias e tubulações para melhor situar os problemas decorrentes desse processo de transporte e, de forma mais abrangente, as estações elevatórias com proposição para a não utilização dos poços de sucção que nada mais são do que reservatórios construídos em concreto armado. Ao retirar os poços de sucção tornamos essas estações elevatórias num tipo que se convencionou chamar de “*booster in line*” cujo controle operacional pode ser executado de forma manual e/ou automático. A opção por sistema manual implica em situar uma turma de operadores nessas elevatórias tendo como consequência:

- a) Custo de operação elevado;
- b) Custos elevados tem reflexos no custo da tarifa de água;
- c) Essas elevatórias, notadamente as intermediárias, normalmente estão situadas em locais isolados o que implica em perigo de vida para os operadores;
- d) O sistema de transporte automotivo para traslado desses operadores é outro aspecto a ser considerado no que diz respeito aos custos e os perigos decorrentes desse ser feito em estradas de barro que nem sempre oferecem as condições adequadas.
- e) Num sistema de transporte em longas distâncias a automação utilizando estações elevatórias convencionais tem sido sempre do tipo on/off com uso de reles de nível e eletrodos situados nos poços de sucção. Este sistema utiliza-se das funções desliga quando

tem nível baixo e liga quando tem nível alto. Com várias elevatórias em série torna-se praticamente impossível fazer o controle desse nível em função das diferentes vazões apresentadas pelos conjuntos motor – bombas.

- e) As diferentes vazões implicam em fechamento, parcial, dos registros de controle localizados à jusante das bombas, tendo como consequência uma redução drástica da vida útil dos motores e bombas. A figura 1 é um croqui de um sistema de produção qualquer onde temos a indicação de posição e o sistema de transporte até uma estação de tratamento de água. Neste exemplo a tomada é direta com a tubulação de tomada situada dentro do lago e conectada diretamente à tubulação que dá início ao transporte.

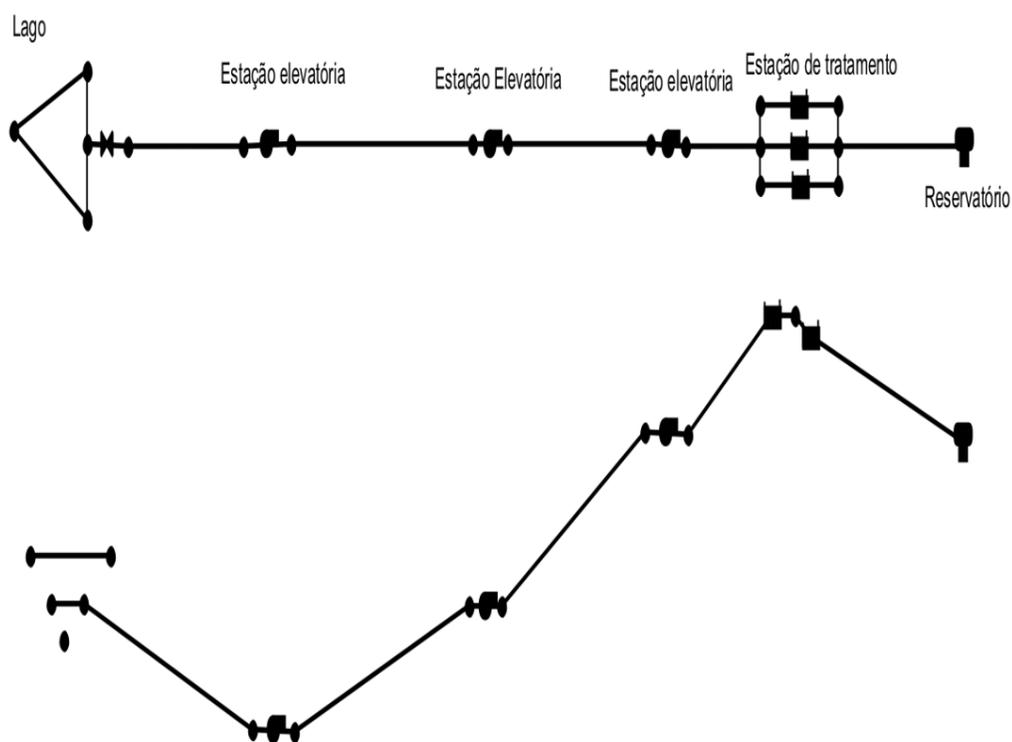


Figura 1 – Sistema simplificado de transporte de água com adutora de grande extensão

I.2 - Elementos de automação

Nesse tópico faremos uma breve descrição dos elementos usados para tornar possível a proposição de eliminar os poços de sucção nas estações elevatórias de água “*booster in line*”, fazer o controle no regime permanente de operação e a automação para viabilizar as partidas e paradas não programadas.

I.2.1 – Variadores de velocidade

Apesar do princípio ser o mesmo, houve grandes mudanças entre os primeiros conversores de frequência e os atuais devidas, principalmente, a evolução dos componentes eletrônicos com destaque aos tiristores e aos microprocessadores digitais.

A grande maioria dos conversores de frequência usados pela indústria para controlar a velocidade de motores elétricos trifásicos de corrente alternada são desenvolvidos de acordo com dois princípios:

- Inversores desenvolvidos sem um circuito intermediário são conhecidos como inversores diretos e;
- Inversores de frequência com um circuito intermediário variável ou fixo.

Os circuitos intermediários podem ser tanto com corrente contínua como com tensão contínua e são conhecidos como conversores com fonte de corrente ou conversores com fonte de tensão.

Os inversores de frequência com circuitos intermediários oferecem inúmeras vantagens sobre os inversores sem circuito intermediário:

- Melhor controle sobre a potência reativa.
- Redução de harmônicas
- Não existem limitações com relação à frequência de saída (mas existe uma limitação nos sistemas de controle e nos componentes utilizados. Inversores de frequência com altas frequências de saída são normalmente inversores com circuito intermediário.)

Inversores diretos são relativamente mais baratos do que inversores com circuitos intermediários, mas sofrem com a baixa redução de harmônicas.

Como a maioria dos inversores de frequência usa circuito intermediário com tensão contínua, nosso trabalho irá focar nesses inversores.

A velocidade, n , do motor é dependente da velocidade do campo girante e pode ser expressa como:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad \text{onde } n = \frac{(1-s) \times f}{p} \quad (01)$$

A velocidade do motor pode então ser alterada através da mudança:

- do número de par de pólos (por exemplo motores de dois enrolamentos);
- do escorregamento do motor (por exemplo motor com rotor bobinado);
- da frequência, f , da alimentação do motor.

Com uma fonte de alimentação com frequência variável é possível controlar a velocidade do motor sem maiores perdas. A velocidade de giro do campo magnético muda com a frequência.

A velocidade do rotor muda proporcionalmente ao campo girante. Para manter o torque do motor a tensão deve também variar com a frequência.

Para uma carga dada a seguinte fórmula se aplica:

$$T = \frac{P \times 9550}{n} = \frac{\eta \times \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi}{60} = k \times \frac{U}{f} \times I \quad (02)$$

$$T \sim \frac{U}{f} \times I \quad (03)$$

Para uma relação constante entre a frequência e a tensão de alimentação do motor, a magnetização na faixa de operação do motor também é constante.”

A utilização de bombas com rotação variável deve ser analisada, num processo de transporte e/ou distribuição de água, com ênfase no controle de pressão em adutoras e/ou redes de distribuição.

Um estudo realizado pela SABESP (PNCDA Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – DTA_D1 - Ministério das Cidades) (4, p. 33), em 1989, com o objetivo de quantificar a redução do consumo de energia elétrica que um sistema de variador de velocidade, tipo inversor de frequência, apresenta em relação a um sistema convencional de velocidade fixa, chegou às seguintes conclusões:

- redução de consumo de energia em 38%
- redução de demanda de energia em 12% , o que representa uma maior disponibilidade de energia na instalação geral e, em sistemas de alta tensão, representa também a redução de custo de energia;

- melhoria do fator de potência, dispensando a instalação de bancos estáticos de capacitores, o que representa, em algumas instalações, redução dos custos das mesmas;
- eliminação do pico de corrente na partida e, conseqüentemente, eliminação da queda de tensão, problema atacado com veemência pelas concessionárias, que exigem sistemas de partidas com limitação de corrente e queda de tensão;
- melhoria na condição de abastecimento, em função da limitação da pressão da rede de distribuição, evitando sobrepressões destrutivas nas mesmas, mantendo o sistema praticamente equilibrado;
- eliminação (ou redução) de vazamento de água provocado por sobrepressão;
- aumento da vida útil do conjunto moto-bomba, em função da temperatura de trabalho do motor e da redução de velocidade do conjunto, apesar do aumento do tempo de operação;
- melhoria do impacto provocado pelo fenômeno destrutivo do golpe de aríete, devido ao desligamento suave através do circuito de rampa;
- retorno do custo de instalação em 2 anos e meio, podendo ser menor em função da potência da instalação para o sistema em estudo.

Entretanto algumas considerações devem ser feitas quando pretendemos usar o inversor de frequência em sistemas adutores de água por recalque. Tem sido muito comum o uso indiscriminado de inversores de frequência seja em Sistema de Abastecimento de Água ou Sistemas de Esgotamento Sanitário sem que algumas regras básicas sejam atendidas. As relações de Rateaux expressam as mudanças nas grandezas H, Q e P com a variação de n, ou seja:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n}, \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \quad \text{e} \quad \frac{P'}{P} = \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \quad (04)$$

Onde:

Q' = Vazão inicial

Q = Vazão final

n' = Rotação inicial do eixo da bomba/motor

n = Rotação final do eixo da bomba/motor

P' = Potência inicial consumida no eixo da bomba/motor

P = Potência final consumida no eixo da bomba/motor

Estas relações são diretamente afetadas pelo uso do variador de velocidade. Entretanto nos deparamos com uma lacuna na literatura quando pretendemos utilizar esse instrumento para controle de variável de processo, no nosso caso pressão e/ou vazão. Não existe referência na literatura técnica que nos permita definir o partido hidráulico onde é adequado o uso do variador de velocidade.

No apêndice A temos os dados de um sistema hipotético que nos permite concluir que:

- 1) Sistemas de recalque com baixa perda de carga não são adequados para uso de variadores de velocidade;
- 2) Tsutiya(6, p. 134) afirma que só é interessante a instalação de inversores de frequência em sistema de recalque composto por bombas, motores e tubulações quando a perda de carga nas tubulações seja igual ou maior que a diferença de cotas entre os pontos de saída e chegada do fluido. Tal afirmação é feita em um livro originado da tese de doutorado desse autor, na realidade a sua própria tese. Indagado se aquela afirmativa baseava-se em estudo prático e/ou teórico respondeu ser afirmação respaldada na prática. A bagagem desse autor lhe permite tal colocação.
- 3) Analisando-se as duas vazões em estudo verificamos que a perda de carga, H_f , em ambos os casos é muito pequena. Verifica-se que para atingir vazão zero basta que a velocidade seja reduzida em 33 RPM. As variações de vazão serão bruscas e parametrizar o inversor extremamente complicado.
- 4) Normalmente, na área de Saneamento Básico, é comum referir-se ao inversor englobando o variador de velocidade e o controlador PID. Para melhor compreensão, neste item, estaremos nos referindo ao controlador. Com uma margem tão pequena para variar a vazão e ou pressão a sintonia dos parâmetros do controlador, buscando-se evitar variações elevadas, exige uma banda proporcional extremamente pequena. Mesmo assim na prática verificamos grandes oscilações e, na maioria das vezes, o equilíbrio não é atingido.

A partir de qual velocidade mínima é interessante utilizar o inversor de frequência associado a um controlador PID? Desconhecemos a existência de trabalho científico que determine essa velocidade mínima. Para o nosso trabalho adotamos valores intermediários que nos permita variar a velocidade nominal de motores em até 30%, para menos.

I.2.2 – Controladores

O controlador é responsável pela execução de um algoritmo de controle para ajustar o sinal recebido do processo a um valor de referência. A Figura 1 (7) representa os componentes envolvidos na implementação de um sistema de controle.

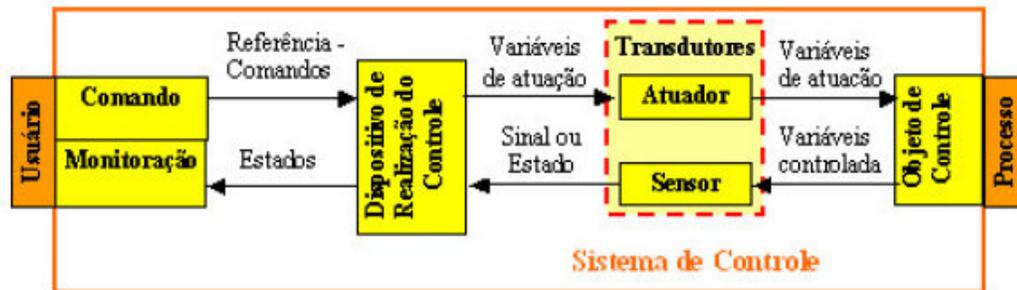


Figura 2 - Diagrama conceitual básico de um sistema de controle. Fonte: (7).

No lado esquerdo temos a interface homem x máquina identificada como IHM onde pode ser visualizado, de forma esquemática, o processo a ser controlado. Essa interface recebe a informação referente ao “*status*” dos elementos controlados e o usuário interfere ou não no processo, através de comandos, usando a interface.

No centro à esquerda temos o dispositivo de realimentação do controle que pode ser representado por um PLC ou um controlador específico.

No centro à direita temos o dispositivo atuador que pode ser um variador de velocidade e o sensor que pode ser representado por um transdutor de pressão, vazão, temperatura, nível, etc.. À direita temos os elementos objeto do controle que constituem o processo que se deseja controlar.

Nesse trabalho o dispositivo de interface homem x máquina foi eliminado dando lugar a um controle local sem interferência humana.

Os variadores de velocidade são controlados por controladores independente desses serem interno ou externo.

O controlador é formado pelo detector de erro e um amplificador, cuja função é transformar o sinal de erro, que é de baixa potência em um sinal de potência um pouco mais elevada. O atuador transforma o sinal de erro amplificado no valor de entrada da planta, com o objetivo de que a saída da planta se aproxime do valor de referência.

A implementação compreende:

Ação de controle: é a maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle.

Controladores: utilizam uma fonte de potência e a operação é feita com um tipo de potência.

Controlador eletrônico: utiliza como fonte de energia a eletricidade.

Controlador pneumático: utiliza como fonte de energia a pressão do ar.

Controlador hidráulico: utiliza como fonte de energia a pressão do óleo.

Terminologia associada:

PV = Process Variable (variável de processo). Variável que é controlada (ex.: pressão, temperatura, umidade, etc).

SV ou SP = Setpoint. Valor desejado para a variável de processo.

MV = Variável Manipulada. Variável sobre a qual o controlador atua para controlar o processo (ex. posição de uma válvula, tensão aplicada a uma resistência de aquecimento, etc).

Erro ou Desvio = (SV - PV), para ação reversa, e (PV - SV), para ação direta.

Ação de Controle = Reversa ou Direta. Atuação aplicada a MV na ocorrência de variações da PV.

Ação Reversa = Se PV aumenta, MV diminui. Exemplo de aplicação: controle de aquecimento.

Ação Direta = Se PV aumenta, MV aumenta. Exemplo de aplicação: controle de refrigeração.

A técnica de controle, atualmente, mais eficaz é definida como controle PID. Este controle pode ser resumido conforme a seguir:

a) Conceito: consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor desejado e do valor atual da variável do processo. Esse valor de atuação sobre o processo é transformado em um sinal adequado ao atuador utilizado (válvula, motor, relé), e deve garantir um controle estável e preciso.

b) P = Proporcional = correção proporcional ao erro.

c) I = Integral = correção proporcional ao produto erro x tempo.

d) D = Derivativa = correção proporcional à taxa de variação do erro.

Ações de controle:

1 - Proporcional

No Controle Proporcional o valor de MV é proporcional ao valor do desvio (em desvio zero $SP = PV$ e, assim, $MV = 0$).

À medida que o desvio cresce, MV aumenta até o máximo valor de 100%.

Banda proporcional: o valor de desvio que provoca $MV = 100\%$ define a BP.

BP alta: saída MV só irá assumir um valor alto para corrigir o processo se o desvio for alto.

BP baixa: a saída MV assume valores altos de correção para o processo mesmo para pequenos desvios. Em resumo, quanto menor o valor da BP, mais forte é a ação proporcional de controle.

Sintonia: processo de ajuste que envolve a definição da banda proporcional.

2 – Integral

Ação integral: consiste em uma resposta na saída do controlador que é proporcional à amplitude e duração do desvio. Erros pequenos, mas que existem há muito tempo, requerem correção mais intensa.

Ação P + I: a ação Integral não é utilizada isoladamente. Sempre vem em conjunto com a ação proporcional. A ação integral tem o efeito de eliminar o desvio característico de um controle proporcional.

3 – Derivativo

Ação derivativa: consiste em uma resposta na saída do controlador que é proporcional à taxa de variação do desvio. Se o erro está variando muito rápido, esta taxa de variação deve ser reduzida para evitar oscilações.

Ação P + D: a ação Derivativa não é utilizada isoladamente. Sempre vem em conjunto com a ação proporcional. A ação derivativa tem o efeito de reduzir a velocidade das variações de PV, evitando que se eleve ou reduza muito rapidamente.

I.2.3 – Válvulas

Estes dispositivos permitem estabelecer, controlar e interromper o escoamento do fluido numa instalação. Cada tipo de válvula pode ser construído para diferentes pressões como, por exemplo, no caso do vapor de água saturado, de acordo com as várias classes definidas na norma ANSI:

- classe 100: pressão de trabalho de 100 lbf/pol²;
- classe 150: pressão de trabalho de 150 lbf/pol²;
- classe 300: pressão de trabalho de 300 lbf/pol².

Os cuidados que devem ser tomados para a seleção do material da válvula no que diz respeito: à corrosão, ação química, resistência mecânica devem aqui ser especialmente considerados devido ao elevado custo dos acessórios.

I.3.3.1 - Características principais

São inúmeros os tipos de válvula existente, pelo que é importante especificá-las corretamente no que diz respeito à sua utilização e aos objetivos pretendidos. Na seleção de uma válvula deve-se considerar os vários aspectos como, por exemplo, os que estão representados nas tabelas 2, 3 e 4 do apêndice B além das especificadas abaixo. Estas tabelas foram elaboradas e são um resumo do material literário para orientação de como usar e porque usar válvulas, de diversos fabricantes. É uma tabulação de caráter informativo e que não deve ser usado como guia exclusivo para definição de válvulas.

(1) **Função desempenhada pelas válvulas:** estas poderão ser de bloqueio, de controle, auto-operadas ou combinadas. As válvulas de bloqueio são utilizadas para controlar a passagem de vazão. As válvulas de controle são automáticas e permitem modular uma qualquer característica como a vazão, a pressão ou a temperatura do escoamento. São de construção semelhante às válvulas de bloqueio, mas concebidas para modulação em regime contínuo, enquanto que as de bloqueio operam segundo a filosofia “*on-off*”. A tabela 2 relaciona as capacidades de vários tipos de válvulas com diversos tipos de utilização.

As válvulas auto-operadas possuem um elemento sensor integrado na própria válvula. Isto pode ocorrer ou por intermédio da inclusão do sensor na válvula, ou porque, pela construção do elemento sensor, este se desloca sob o efeito das variações da grandeza a controlar.

Finalmente, as válvulas combinadas são as que possuem as características combinadas das anteriores.

(2) **Tipo de válvula:** o funcionamento e construção das válvulas permitem designá-las por válvulas de gaveta, globo, esfera, solenóide, agulha, direcional, diafragma, etc, e naturalmente possuem características diferentes.

(3) **Material da válvula:** a válvula deve ser construída com material compatível com a utilização pretendida. As tabelas 3 e 4 permitem consultas sobre este assunto.

(4) **Número de vias:** número de entradas e saídas do fluido na válvula. Existem as válvulas de 2 vias, 3 vias, etc;

(5) **Tipo de ligação:** a ligação da válvula à tubulação ou a um equipamento pode ocorrer de várias formas como, por exemplo, por intermédio de ligação roscada, flangeada, bolsa, ponta, etc;

(6) **Diâmetro nominal da válvula:** O diâmetro nominal da válvula é definido baseado em ábacos dos fabricantes ou na prática de campo. Velocidades abaixo de 1,20 m/s não são adequadas em válvulas de controle, pois necessário se faz uma pressão diferencial de partida, adequada, para que seja possível a correta calibração desses instrumentos de controle. Quanto menor a velocidade menor o range de calibração;

(7) **Fluido em circulação na válvula:** Devemos levar em conta aqui a reatividade química dos fluidos e a erosão que possa provocar;

(8) **Temperatura mínima e máxima de operação do fluido:** na escolha dos materiais da válvula deve-se escolher materiais capazes de manterem as suas características na gama de operação;

(9) **Pressão nominal:** mínima e máxima de operação;

(10) **Vazão:** em circulação na válvula;

(11) **Acionamento da válvula:** pode ser manual, hidráulico, pneumático, elétrico, etc.

I.2.3.2 – Válvulas de uso corrente nos sistemas de abastecimento de água

Os tipos de válvulas escolhidas para uso corrente no processo de integração do S.I.A. Cansanção/Monte Santo foram as de diafragma, utilizando-se as proporcionais combinadas com as multivias, e as válvulas de gaveta de acionamento manual. As válvulas combinadas restringiram-se a dois tipos de válvulas diafragma conhecidas no mercado como válvulas redutoras de pressão (VRP) e válvulas sustentadoras de pressão (VSP).

De acordo com o PNCDA DTA_1 (3, p. 28) a forma adequada para o dimensionamento de válvulas redutoras e/ou sustentadoras de pressão é a seguinte:

“Para dimensionar uma VRP/VSP é necessário saber:

- Pressões máxima e mínima de entrada;
- Pressão de saída;
- Vazão máxima horária;
- Vazão mínima horária.

Cada fabricante tem sua metodologia para o dimensionamento de sua válvula, mas, de maneira geral, a velocidade mínima deve ser de 1,2 m/s (4 pés/s)² e a velocidade máxima de 7,5 m/s (25 pés/s), referentes ao diâmetro nominal da válvula. Caso seja mantida uma vazão constante, esta não deve ter velocidade superior a 6 m/s (20 pés/s). A escolha do diâmetro da válvula deve seguir, então, a tabela 1.

O diâmetro escolhido deve ser aquele com a vazão máxima nominal igual ou maior que a vazão máxima horária do local a ser controlado. A vazão mínima nominal não poderá ser maior que a vazão mínima horária. Caso isso ocorra, deve-se utilizar uma segunda VRP de diâmetro menor (dimensionada para operar com as vazões mínimas) em paralelo à VRP principal, onde a somatória das vazões máximas seja superior à vazão máxima requerida”. PNCDA DTA_1 (3, p. 28).

Durante a implantação do projeto como um todo, verificou-se o uso de válvulas com velocidades variando de 1,2 a 4,0 m/s assim definidas de acordo com as normas dos

² O responsável técnico no Brasil pelas válvulas DOROT, Eng. Francisco Veiga, adota a velocidade mínima de 2,0 m/s

fabricantes. Constatou-se ser mais adequada a velocidade mínima de 2,0 m/s em função da maior facilidade de parametrização sem que isso implique em agressões, tipo cavitação, à válvula.

A Watts Regulator Co. Catálogo “Watts Automatic Control Valves” (4), recomenda o uso de uma tabela onde são relacionados os diâmetros das válvulas e as vazões mínimas e máximas. A tabela 1 apresenta esses valores.

Diâmetro Nominal		Vazão (m ³ /h)		Cv
(mm)	(pol.)	Mínima	Máxima	(m ³ /h)
32	1 1/4"	3	26	8,40
38	1 1/2"	5	36	9,09
50	2"	8	59	12,49
65	2 1/2"	14	84	21,58
80	3"	22	129	28,39
100	4"	34	227	49,97
150	6"	76	522	104,48
200	8"	136	886	190,79
250	10"	212	1363	317,98
300	12"	305	1953	392,93
350	14"	416	2385	522,40
400	16"	543	3180	670,03

Tabela 1 – Dimensionamento de válvulas combinadas. Fonte: (4).

Obs. Para vazões constantes, utilizar como vazão máxima valor 25% menor.

“É necessário verificar se a válvula escolhida não produz uma perda de carga superior à perda desejada (pressão de entrada mínima menos a pressão de saída) durante a vazão máxima horária. A perda de carga a ser produzida pela válvula totalmente aberta é determinada através da seguinte equação:

$$DP = (Q/Cv)^2, \text{ onde:} \quad (05)$$

DP é a perda de carga da válvula totalmente aberta, em mca;

Q é a vazão, em m³/h; e

Cv é o coeficiente de perda de carga relativo a vazões em m³/h.

Caso a perda de carga da válvula seja superior ou fique muito próxima da perda desejada, escolher a válvula com diâmetro nominal imediatamente superior e recalcular. Caso os valores fiquem muito próximos, é preciso verificar a perda de carga dos demais elementos do sistema.

Ainda é necessário verificar o risco de cavitação da válvula. Utilizando o gráfico da figura 3, faz-se o cruzamento da pressão máxima de entrada da VRP com a pressão de saída requerida.

Caso o ponto de cruzamento caia dentro da área sombreada, é sinal de que haverá, além de ruídos, danos físicos à válvula. Nesse caso deve-se prever instalação em série de válvulas com o mesmo diâmetro, ou rever a concepção, criando-se mais de um plano piezométrico na área onde se pretende reduzir a pressão.” PNCDA DTA_1 (3, p. 28).

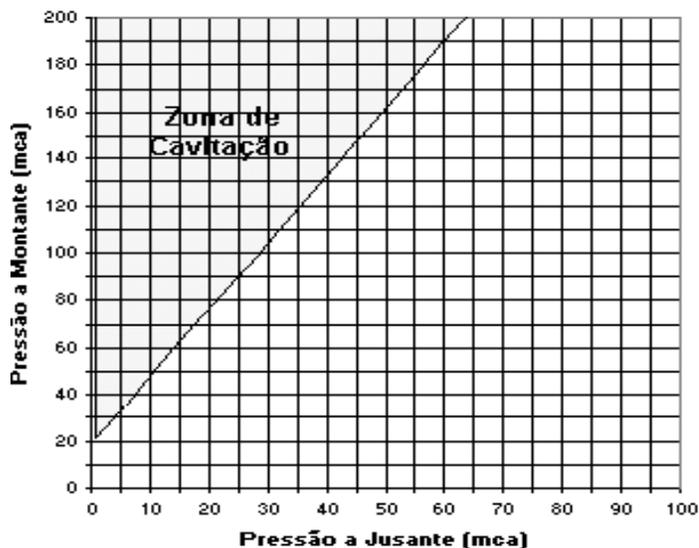


Figura 3 - Gráfico para verificação de cavitação. Fonte: (4)

I.2.4 – Temas dominantes

I.2.4.1 - Uso racional de eletricidade e hidráulica, aplicadas.

Uso racional de eletricidade e hidráulica aplicadas, nos tempos atuais, são temas preponderantes visando o uso racional de energia elétrica e água tratada. A incapacidade de investimento do Governo federal é flagrante e o recurso natural água está se tornando cada vez mais escasso na natureza. De 17 a 21 de outubro de 2005 a ABES Associação Brasileira

de Engenharia Sanitária e Ambiental promoveu o curso intitulado “Combate ao desperdício de energia e água em saneamento ambiental” com apoio de: ELETROBRAS/PROCEL/SANEAR e MCIDADES/PMSS/PNCDA. Um dos cursos apresentados, dentre vários, apresentava o título “Eficientização de energia e água” abordando os temas: Alteração do sistema operacional, automação e geração de energia elétrica.

I.2.4.2 - Quando permitir/não permitir partidas de motores.

Um dos principais problemas de “*booster*” tipo “*in line*” está no fato de que os controles usuais tipo rele de nível, com eletrodos inseridos na tubulação em vez de no poço de sucção, não são confiáveis, pois estes podem ser molhados sem que as condições de operação sejam adequadas como, por exemplo, baixa vazão e pressão à montante do conjunto motor – bomba. Em situação similar os conjuntos não devem ser habilitados para partida.

I.2.4.3 - O que fazer para evitar esvaziamento das adutoras.

Outro problema a ser enfrentado é o esvaziamento das adutoras. Nesta situação a partida dos equipamentos fica prejudicada em função das grandes vazões iniciais determinando correntes elevadas nos motores de indução. Na hipótese do rele térmico atuar adequadamente, no início da operação, várias partidas e paradas serão necessárias reduzindo a vida útil dos equipamentos assim como das tubulações adutoras de água.

I.2.4.4 - Desligamento condicional – pressão acima do “set point”.

Entre uma elevatória e outra podem ocorrer situações onde a pressão de recalque se torna elevada decorrente de fechamento de válvulas, acidentalmente ou programadas. Nestes casos como a operação não é assistida, pressões elevadas podem vir a ocorrer causando quebraimento das tubulações assim como danos nas bombas por recirculação do líquido bombeado.

I.2.4.5 - Extravasamento constante em estações elevatórias intermediárias.

Num sistema de transporte de água, conforme pudemos verificar nos croquis, as Estações Elevatórias intermediárias se tornam necessárias em função das grandes distâncias a serem percorridas.

Nestes casos conseguir o equilíbrio nos poços de sucção é praticamente impossível. Ou o sistema fica a desligar e ligar continuamente ou ocorre o extravasamento. A preocupação com as perdas físicas de água não é somente uma questão puramente econômica é função, também, da sua escassez, cada vez maior. Outro aspecto a ser observado, nesses casos, é a possibilidade de contaminação da água seja por ação humana na manipulação de vasilhames dentro dos poços assim como a condição de limpeza desses reservatórios (poços de sucção).

I.2.4.6 - Calibração de vazão de forma racional

Num “*booster in line*” é imprescindível que a vazão de jusante seja compatível com a vazão de montante para evitar que o equipamento “trabalhe” em regime de cavitação constante.

I.2.5 – Problemas mais freqüentes em estações elevatórias intermediárias

Os problemas mais freqüentes estão relacionados com extravasamentos constantes nos poços de sucção devido à diferença de vazões entre as elevatórias. Na hipótese da existência de derivações para atender pequenas localidades, ao longo do transporte, esta situação se agrava devido à imprevisibilidade no consumo de água por essas localidades. As partidas e paradas constantes determinam o processo de fadiga nas tubulações independente de serem de ferro fundido, aço ou PVC. Quando uma elevatória intermediária sai de operação, de forma accidental, a operação das elevatórias, de montante, só agregam despesas ao sistema já que a água vai ser perdida na elevatória que paralisou primeiro. Diante desses fatos fica-se com a opção de operação assistida localmente, operação assistida remotamente ou automação com controle local.

I.2.6 – Partido hidráulico existente

O esquema hidráulico do sistema, hoje existente, reflete de forma simplificada a realidade do macrosistema onde as pequenas localidades atendidas ai não aparecem.

A água já chega na cidade de Cansanção com vazão aquém da necessária para atender todos os povoados, vilas e cidades a partir dessa cidade. Como a vazão está aquém da necessária é mantida em operação a estação de tratamento de água (ETA) do Jacurici. A água produzida nessa ETA apresenta alto teor de cloretos sendo utilizada, apenas, em função da total escassez nessa região.

Pouca água e de baixa qualidade são as duas razões para a proposição de ampliação do sistema Tucano I com a entrada em operação da elevatória três (EEAT3) além do aumento da vazão que chega ao reservatório apoiado de 2.000,00 m³ (RAP).

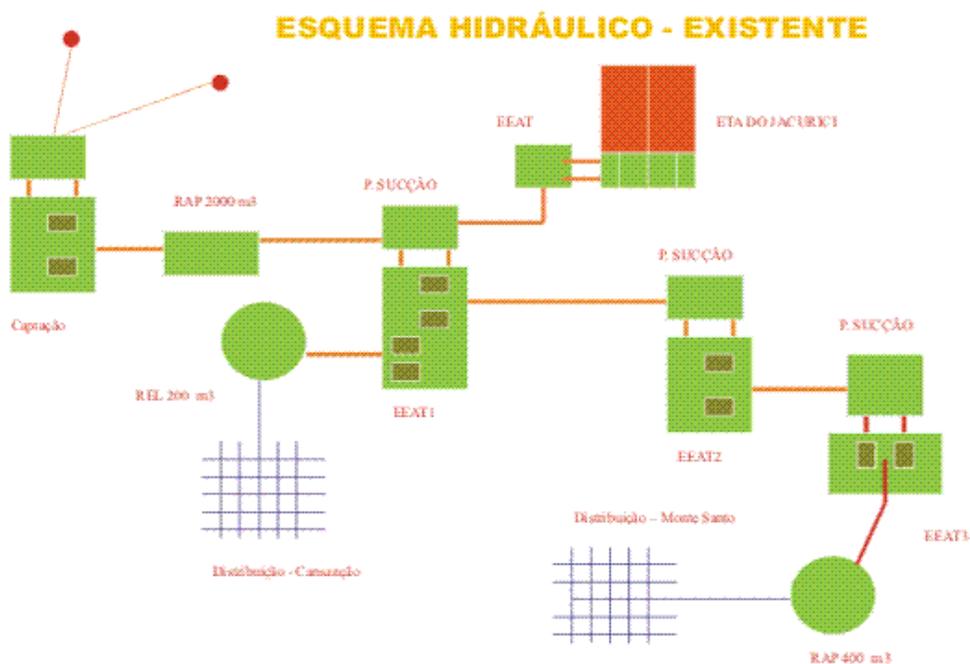


Figura 4 – Esquema hidráulico do sistema existente - Tucano I + Cansanção/Monte Santo

I.2.7 – Partido hidráulico proposto

A proposição de ampliação do sistema integrado Tucano I, aprovada e implantada, está esquematizada na figura 5. Para melhor compreensão da proposição segue, abaixo,

descrição resumida desse sistema integrado em que o sistema de transporte é alvo do presente projeto de automação.

O S.I.A Tucano I é composto por:

- a) Captação em dois poços profundos que recalcam uma vazão total de 110,0 l/s para a estação elevatória de água tratada I (EEAT1);
- b) Na estação elevatória de água tratada I (EEAT1) estão instalados três conjuntos motor-bombas de 350 CV com vazão aproximada de 70,0 l/s, cada um. Operam dois em paralelo;
- c) Dessa EEAT1 a água é recalcada para um reservatório “pulmão” com capacidade para 2.000,000 m³;
- d) Do reservatório pulmão a água é transportada, por gravidade. Abastece vários povoados ao longo da adutora até a cidade de Quijingue onde está localizada a estação elevatória três (EEAT3). Três porque a montante dessa, ainda em projeto, existe a EEAT2 prevista para entrar em operação em 2.014;
- e) A EEAT3 é uma estação elevatória tipo “*booster in line*” sem nenhum tipo de automação a não ser a habilitação de partidas e paradas por um programador horário com reserva de marcha;
- f) Da EEAT3 a água é recalcada até a EEAT5 situada na cidade de Cansanção abastecendo vários povoados ao longo do caminho;
- g) Na EEAT5 temos a chegada de água da ETA do Jacurici (Estação de Tratamento de Água com alto teor de cloretos);
- h) Da EEAT5 a água é recalcada para a EEAT6, com poço de sucção e casa de bombas;
- i) Da EEAT6 a água é recalcada para a EEAT7 de padrão similar;
- j) Da EEAT7 a água é recalcada para o reservatório apoiado (RAP) da cidade de Monte Santo onde termina o sistema Integrado;
- k) As EEAT5, 6 e 7 pertencem, originalmente, ao S.I.A. Cansanção/ Monte Santo que foi integrado ao S.I.A TUCANO I.

ESQUEMA HIDRÁULICO - PROPOSTO

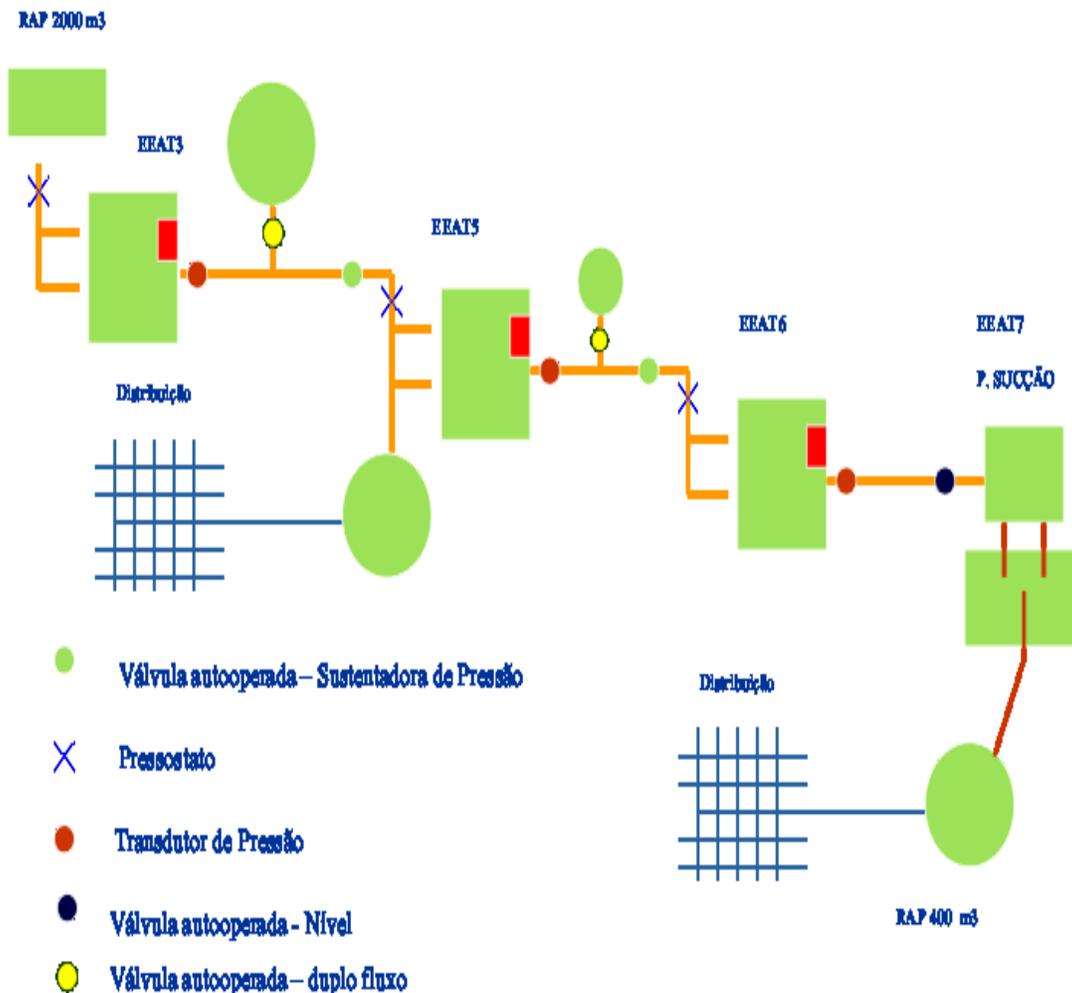


Figura 5 – Esquema hidráulico proposto. As unidades de captação não sofreriam alterações.

I.3. Breve histórico

Automação e controle com uso de controladores, variadores de velocidade, válvulas autooperadas hidráulicamente, PLC(s), rádio modems, redes de unidades computadores, etc., são recentes nas Operadoras de Sistemas de Abastecimento de Água e/ou Esgotamento Sanitário.

Inicialmente, como toda empresa classe II como o são a maioria dessas operadoras, adotou a automação - que até então englobava comandos elétricos para automação tipo on/off - utilizando a informática, telemetria e telecomandos mais como um modismo ou copiando os

modismos, sem maiores cuidados, privilegiando-se os sistemas supervisórios, UTR(s), etc., em detrimento da automação inteligente com controle local capaz de tomar decisões sem necessidade da intervenção do operador.

Apesar de parcialmente satisfatória, pois permitia “ver” as variáveis do processo, este tipo de “automação” deve englobar o controle local, privilegiando-o, para que o sistema não sofra solução de continuidade mesmo que os sistemas de telemetria e telecomando entrem em colapso. É evidente a necessidade de automação para reduzir custos o que permite manter tarifa baixa que, por sua vez, permite atingir um número maior de famílias de baixa renda. A intenção é deixar clara a necessidade maior da automação local com controle inteligente e em segundo lugar a necessidade de visualizar estas variáveis a distancia utilizando solução de alto custo/benefício.

Capítulo II - Modelagem do sistema integrado usando o EPANET

Para melhor compreensão desse tópico será feito uso da figura 6 que representa a operação em regime permanente do sistema integrado de abastecimento de água Tucano I.

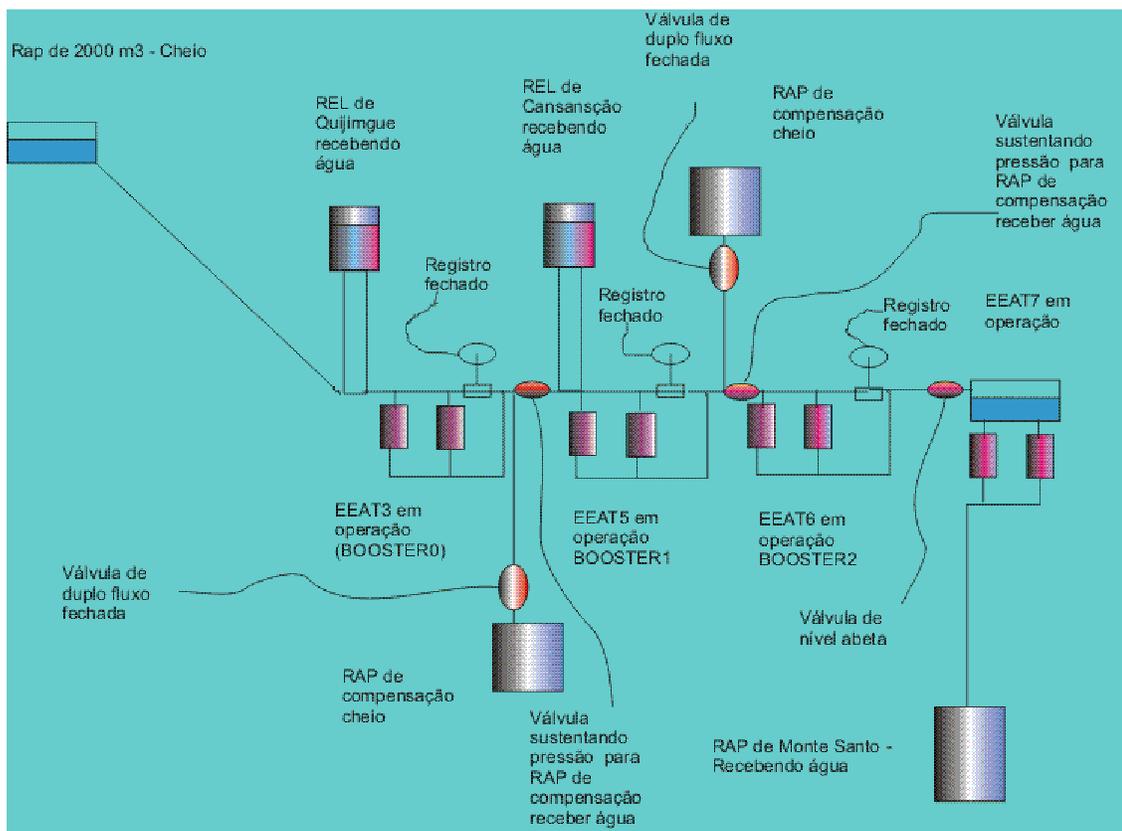


Figura 6 – Regime permanente do S.I.A Tucano I a partir do RAP de 2000,00 m³ e sem as derivações para os povoados que serão apresentados no croqui gerado pelo EPANET.

II.1 – O que é o EPANET

O EPANET é um simulador desenvolvido pela “U.S. Environmental Protection Agency” (USEPA), dos Estados Unidos da América, no ambiente de programação “Delphi”, linguagem Pascal sendo que o “motor de cálculo” foi desenvolvido em C++. Este programa permite simular o comportamento de um sistema de abastecimento de água envolvendo o subsistema de produção e o subsistema de distribuição. O sistema a ser modelado pode ser composto por tubulações, estações elevatórias, diversos tipos de válvulas e reservatórios de nível fixo ou variável. Estes componentes encontram dispositivos que os representam,

fielmente, na interface do EPANET. Este programa permite a obtenção de valores de pressão e vazão em cada trecho do sistema de transporte. A carga hidráulica é obtida nos nós e a vazão nos trechos de tubulação.

A versão atual está disponível em Inglês e também em outros idiomas, inclusive o português. A versão em português foi desenvolvida pela LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), de Portugal, implicando em termos diferentes dos utilizados no Brasil.

É um programa de grande importância para o saneamento, inclusive é utilizado por profissionais em todo o mundo, havendo grupos de usuários que trocam informações no sentido de tirar dúvidas tanto com relação ao funcionamento do programa quanto na modelagem de sistemas hidráulicos.

II.2 – Características da modelagem hidráulica

Este programa possui um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio a simulação hidráulica cujas características mais importantes enumeramos a seguir:

- a) não há limitação para o número de componentes do sistema a analisar;
- b) calcula as perdas de carga por atrito usando as formulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Mannig;
- c) inclui as perdas localizadas ou singulares em curvas, ampliações, reduções, etc.;
- d) simula bombas, funcionando com velocidade fixa ou variável;
- e) calcula a energia de bombeamento;
- f) modela os principais tipos de válvulas incluindo válvulas de seccionamento, de retenção e as combinadas;
- g) modela reservatórios de armazenamento de água de nível variável com diversas formas geométricas;
- h) permite o estabelecimento de diferentes categorias de consumo nos nós;
- i) permite a utilização de diversas regras de operação de um sistema hidráulico para efetuar uma simulação.

II.3 – Sequência de passos na utilização do programa

- desenho do traçado do sistema de transporte;
- edição das propriedades dos componentes do sistema tais como: nós, trechos, bombas, reservatórios e válvulas;
- descrição das condições de operação do sistema;
- opções de simulação que podem ser: dinâmica ou estática. No presente estudo a simulação será estática representando um momento do movimento permanente para definir os valores de vazão e pressão, em todos os nós, e, particularmente, nos nós alvos da automação objeto do trabalho;
- execução da simulação;
- obtenção e análise dos resultados.

II.4 – Sistema a modelar

II.4.1 - Desenho do projeto na interface conforme figura 7. Nessa figura estão representados os componentes constituintes do projeto cujas características são aqui enumeradas para posterior definição dos parâmetros do projeto de automação.

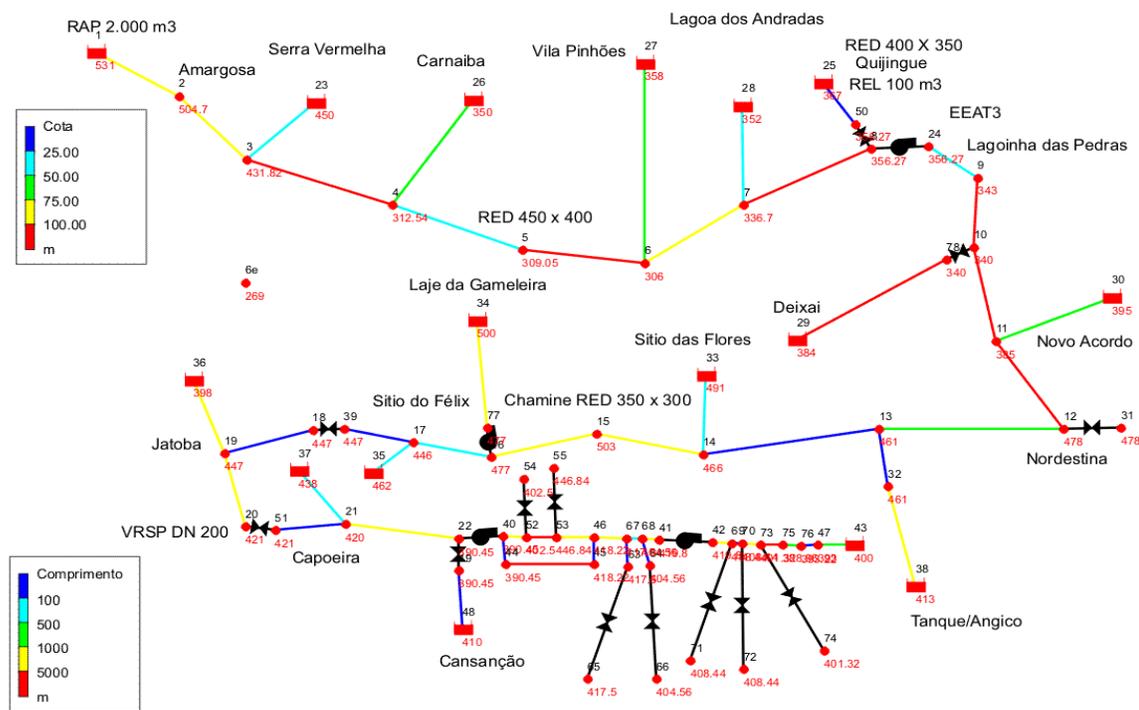


Figura 7 – Desenho do traçado com cotas e identificação dos nós.

O projeto de automação contempla as estações elevatórias em Cansanção (EEAT5), a EEAT6 situada em posição intermediária entre a cidade de Cansanção e Monte Santo e a EEAT7 situada no ponto de número 43 na figura 7. A EEAT7 tem comportamento padrão com poço de sucção e casa de bombas, controle tipo on/off tendo como particularidade a existência de uma válvula de nível, autooperada.

II.4.2 - Edição das propriedades dos componentes mais importantes para o projeto de automação.

Os componentes mais importantes para o projeto de automação são as elevatórias cinco, o REL de Cansanção e a elevatória seis. A simulação contemplou todas as unidades constituintes com apresentação dos resultados, sendo que os dados das unidades citadas anteriormente foram alvo de maiores detalhes. Após a simulação os resultados estão relacionados nas tabelas 5 e 6.

ID do nó	Cota (m)	Carga hidráulica	Pressão (m)
1	531,00	531,00	0,00
8	356,27	439,06	82,79
12	478,00	509,81	31,81
15	503,00	503,01	0,01
39	447,00	492,60	45,60
18	447,00	457,00	10,00
20	421,00	452,45	31,45
22	390,45	442,11	51,66
49	390,45	411,40	20,95
40	390,45	493,07	102,62
41	419,80	425,43	5,63
42	419,80	479,18	59,38
43	400,00	400,00	0,00

Tabela 5 – Dados dos nós mais significativos no projeto de automação.

Os nós em destaque representam as unidades objetos do projeto de automação. É importante verificar a situação da válvula redutora de pressão nos nós 39 e 18, montante e jusante, já existente no trecho relacionado. Na simulação condicionamos uma pressão de jusante de 10,0 mca para permitir pressurização adequada, à montante dessa válvula, onde

vários povoados eram atendidos. Os nós 22, 49, 40, 41, 42 e 43 representam a situação nas elevatórias cinco e seis. Nessas unidades as pressões, nos elementos de controle, serão configuradas de acordo com essas tabelas.

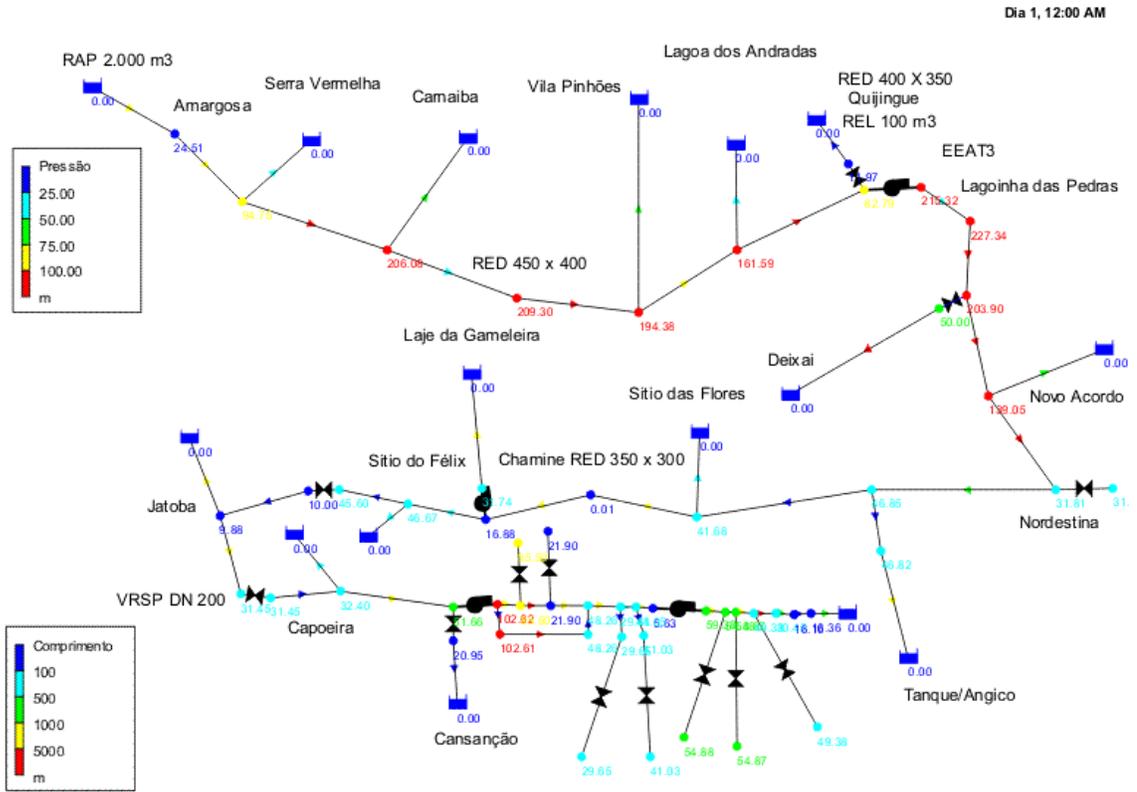


Figura 8 – Pressão em todos os nós

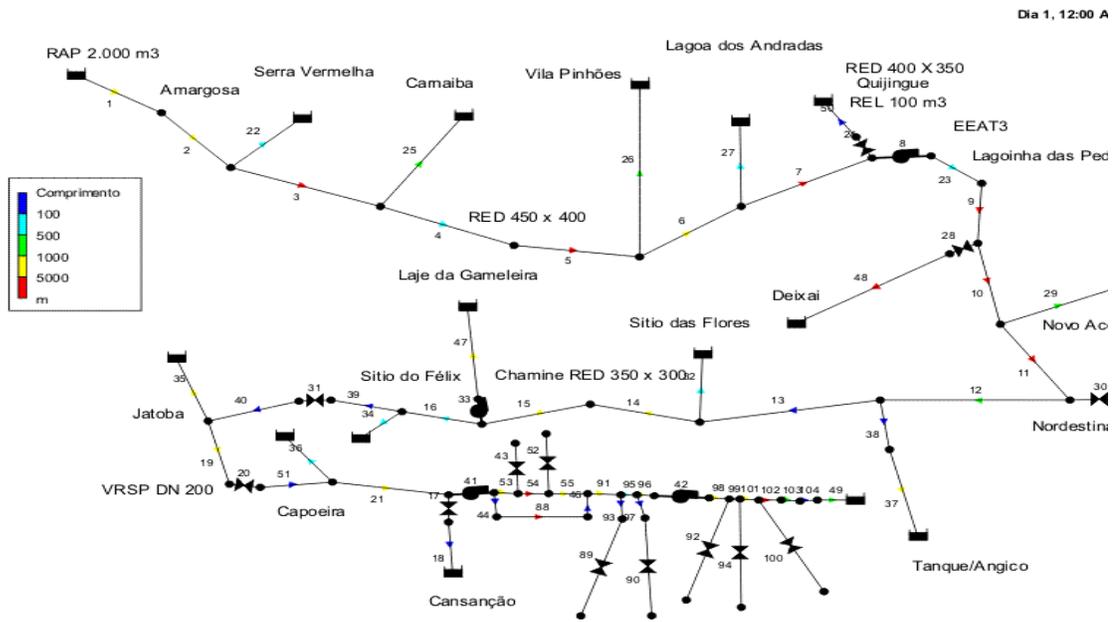


Figura 9 – Identificação dos trechos

ID trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)
7	32.820,00	450,00	99,09	0,79
11	5.489,00	350,00	84,84	0,88
14	2.290,00	350,00	74,55	0,77
39	20,00	300,00	70,42	1,00
21	3.940,00	300,00	66,22	0,94
EEAT3	N/A (Bomba)	N/A	89,09	N/A
EEAT5	N/A (Bomba)	N/A	33,22	N/A
EEAT6	N/A (Bomba)	N/A	28,17	N/A
49	560,00	150,00	20,82	1,18

Tabela 6 – Dados dos trechos mais significativos

As vazões apresentadas no modelo são compatíveis com os equipamentos que já tinham sido adquiridos. Verifica-se a existência de velocidades compatíveis com os projetos dessa natureza, mas o mesmo não ocorreu com relação às válvulas existentes onde, no nó 39, existia uma VRP instalada com diâmetro igual ao da tubulação (300 mm) e velocidade de 1,00 m/s. A parametrização é muito complicada em função de não haver diferencial de pressão inicial que permita a parametrização. O curso de parametrização é muito pequeno necessitando que a regulagem no parafuso da válvula seja feita de forma muito lenta para não “perder” o ponto.

II.4.3 - Descrição das condições operacionais do sistema segundo o modelo

As condições de operação do sistema estão esquematizadas na figura 6 sendo que, nesse tópico, serão apresentadas as curvas das bombas para que, com seus parâmetros seja possível calcular os parâmetros de operação mais precisamente a velocidade de rotação dos motores nas elevatórias cinco e seis. Em primeiro lugar estão os dados da EEAT3.

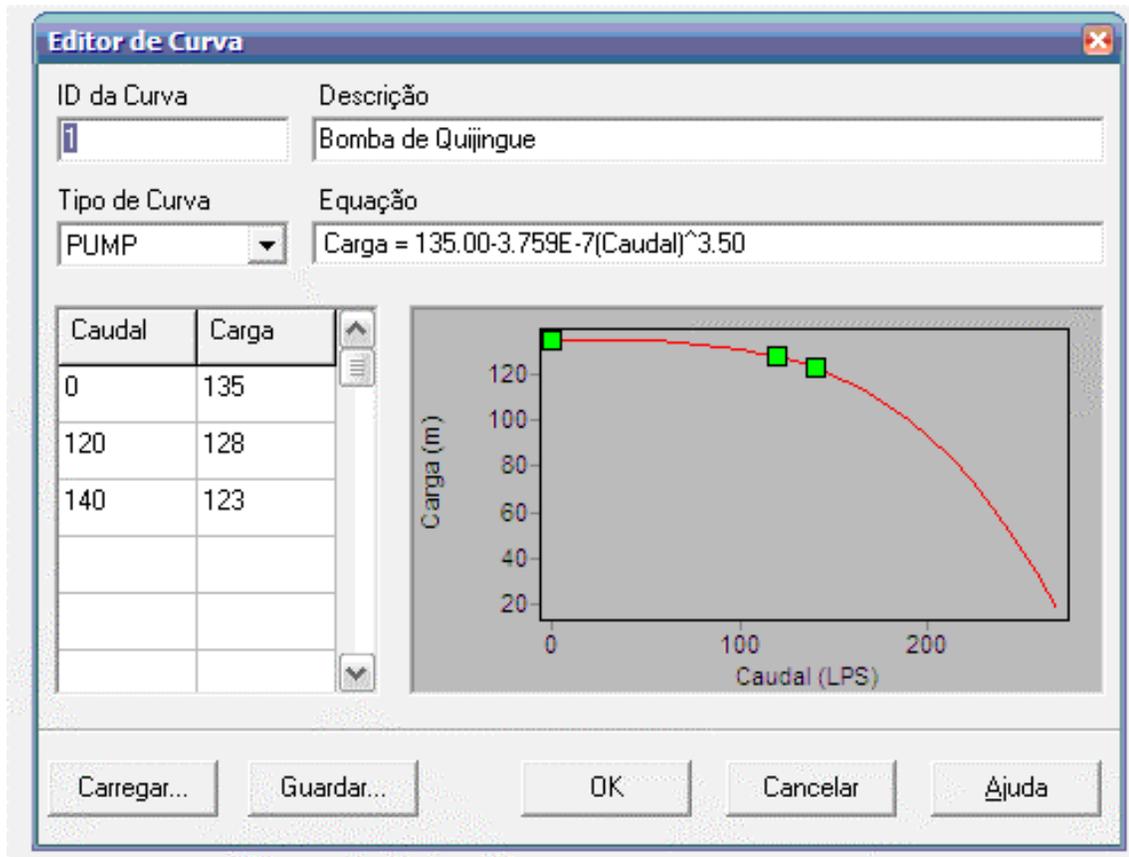


Figura 10 – Curva da bomba da EEAT3

A equação dessa curva pode ser representada conforme a seguir:

$$Y = 135,00 - 3,759 \times 10^{-7} \times Q^{3,50} \quad (06)$$

Este equipamento apresenta as seguintes características:

- 1 – Motor WEG de 250 CV
- 2 – Rotor de 451 mm
- 3 – Ponto de trabalho nominal
 - 3.1 – Q 457 m³/h
 - 3.2 – AMT = 123 mca
- 4 – Corrente nominal – 340 A
- 5 – Tensão de operação – 380 V
- 6 – Modelo da bomba – RDL 150 – 500A
- 7 – Velocidade – 1750 RPM

Essa elevatória três (EEAT3) já estava construída mesmo antes do início da implantação da obra objeto do presente projeto de automação. Representa uma EEAT do tipo “*booster in line*” entretanto sem nenhum tipo de controle a não ser um programador horário que permite o desligamento na hora de pico de consumo de energia elétrica e o religamento após esse período de tempo.

Propriedade	Valor
*ID da Bomba	8
*Nó Inicial	8
*Nó Final	24
Descrição	
Zona	
Curva da Bomba	1
Potência	0
Regulação de Velocidade	
Padrão	
Estado Inicial	Open
Curva de Rendimento	
Preço de Energia	
Padrão de Preço	
Caudal	89,09
Perda de Carga	-132,53
Qualidade	0,00
Estado	Open

Parâmetros de operação da EEAT3 e Válvula VRP DN 300 no nó 39 <->18 no modelo

- 1 – $Q = 89,09$ l/s
- 2 – AMT = 215,32 mca
- 3 - Carga hidráulica de montante = 82,79 mca
- 4 – Carga hidráulica de jusante = 215,32
- 5 – Carga hidráulica para atender a cidade de Quijingue = 82,79 mca
- 6 – Vazão para Quijingue = 10,00 l/s
- 7 – Carga hidráulica a jusante válvula na derivação para Quijingue = 11,97 mca
- 8 – Carga hidráulica a montante da válvula DN 300 = 45,60 mca
- 9 – Carga hidráulica de jusante = 10,00 mca.

Essa carga hidráulica foi definida no processo de modelagem em que a válvula DN 150 colocada à jusante dessa, não sofreu nenhum tipo de ajuste.

Figura 11 – Edição dos dados da bomba da EEAT3

A apresentação dos dados dessa elevatória é importante porque a calibração das válvulas e elevatórias, à jusante dessa, sofrem sua influência. Na figura 11 a vazão apresentada é em l/s o que representa 320,72 m³/h para uma altura manométrica de 215,32 mca. Isso significa que, no modelo, a carga hidráulica de montante é igual a 82,79 mca.

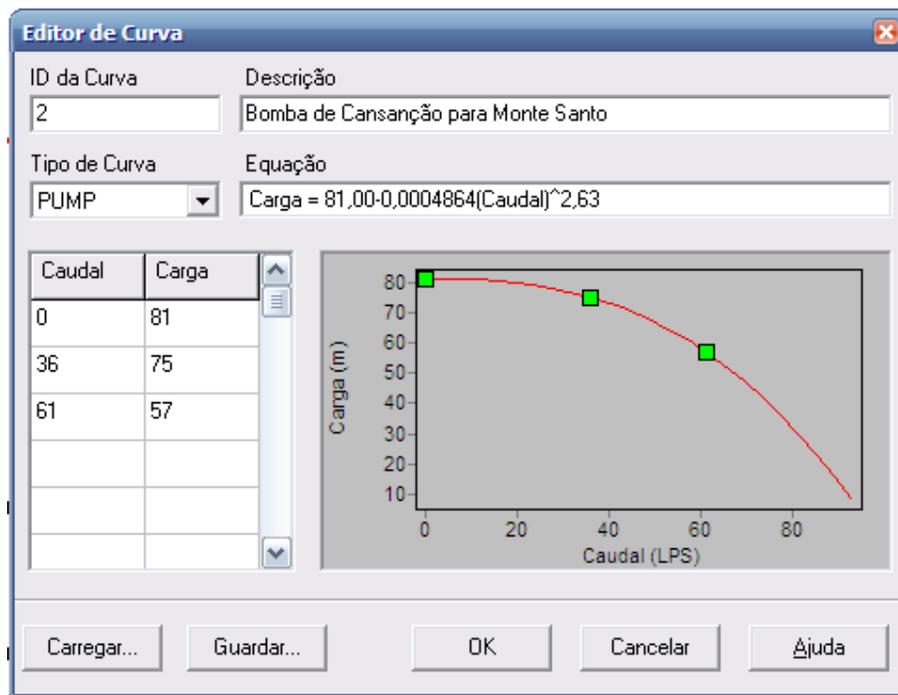


Figura 12 – Curva da bomba da EEAT5, Cansação -> Monte Santo

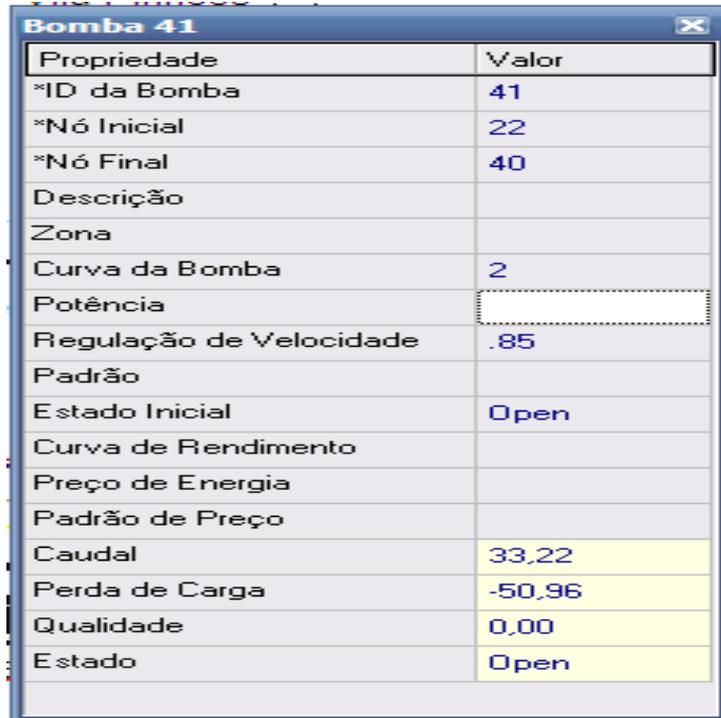
A equação dessa curva pode ser representada conforme a seguir:

$$Y = 81,00 - 0,0004864 \times Q^{2,63} \quad (07)$$

Características do conjunto

- 1 – Motor WEG de 60 CV
- 2 – Rotor de 392 mm
- 3 – Ponto de trabalho nominal
 - 3.1 – Vazão $Q = 36,00$ l/s
 - 3.2 – Altura manométrica $AMT = 75,0$ mca
- 4 – Corrente nominal – 84,5 A
- 5 – Tensão de operação – 380 V
- 6 – Modelo da bomba – KSB MEGANORM 80 - 400
- 7 – Velocidade – 1750 RPM

A elevatória onde está instalada essa bomba (EEAT5) foi implantada para atender a nova situação operacional sendo utilizada para bombear água diretamente para a cidade de Monte Santo através das EEAT6 e EEAT7. A modelagem apresentou vazão compatível com a esperada.



Propriedade	Valor
*ID da Bomba	41
*Nó Inicial	22
*Nó Final	40
Descrição	
Zona	
Curva da Bomba	2
Potência	
Regulação de Velocidade	.85
Padrão	
Estado Inicial	Open
Curva de Rendimento	
Preço de Energia	
Padrão de Preço	
Caudal	33,22
Perda de Carga	-50,96
Qualidade	0,00
Estado	Open

Figura 13 – Edição dos dados da bomba da EEAT5

Na figura 13 é possível verificar que a modelagem já utilizou um valor de velocidade de rotação de 85% da nominal para obter os dados de projeto. Isso significa que a rotação adotada no projeto de automação era de 1487 RPM aproximadamente. Nessa situação a pressão de jusante (carga hidráulica) era de 51,66 metros de coluna de água (mca). Essa vazão seria utilizada para atender diversas vilas, povoados e cidades conforme tabela 4. É importante ressaltar que essas localidades já pertenciam ao sistema integrado de Cansanção/Monte Santo. Os dados de vazão são, apenas, para orientação na calibração do modelo. A vazão real será em função das condições de operação modulando-se o sistema através do “*setpoint*” controlados utilizando-se variadores de velocidade.

Cidade	Vazão (l/s)
Lagoa de Cima e outras	1,37
Genipapo	4,14
Lagoa dos Cavalos	1,37
Várzea dos Bois	0,53
Tapera	0,60
Gameleira	1,78
Curral Velho e outras	0,92
Riacho da Onça	0,55
Maravilha e outras	1,34
Monte Santo	24,32

Tabela 7 – Vilas, cidades e povoados atendidos a partir de Cansanção

Para evitar um congestionamento de derivações, no modelo, várias localidades foram agrupadas para representar uma derivação. No modelo gerado pelo EPANET a vazão para Monte Santo ficou com valor de 20,00 l/s que permitia atender essa cidade por um período de 5,0 anos. Tal modificação se mostrou adequada ao permitir o atendimento das demais localidades que tiveram seus valores de vazão ajustados de acordo com as necessidades atuais no modelo real.

Após simulação do modelo para a EEAT5 obteve-se os dados do projeto de automação conforme a seguir:

- 1) Vazão $Q = 33,02$ l/s
- 2) AMT = 102,62 mca
- 3) Carga hidráulica de montante = 51,66 mca
- 4) Carga hidráulica de montante na válvula autooperada para Cansanção = 51,66 mca.
- 5) Carga hidráulica de jusante na válvula para Cansanção = 20,95 mca
- 6) Vazão Q para Cansanção = 33,00 l/s
- 7) Velocidade de projeto do conjunto motor – bomba = 1.487,0 RPM(s)

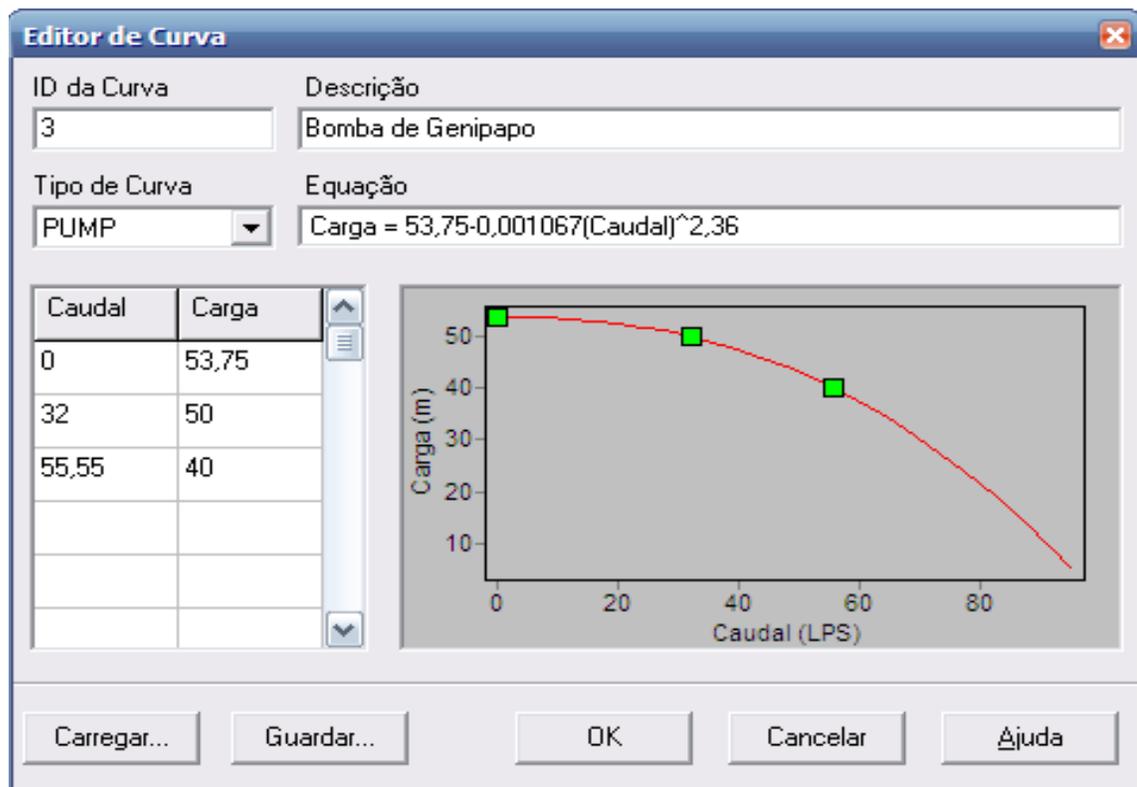


Figura 14 – Edição dos dados da bomba da EEAT6.

A equação dessa curva pode ser representada conforme a seguir:

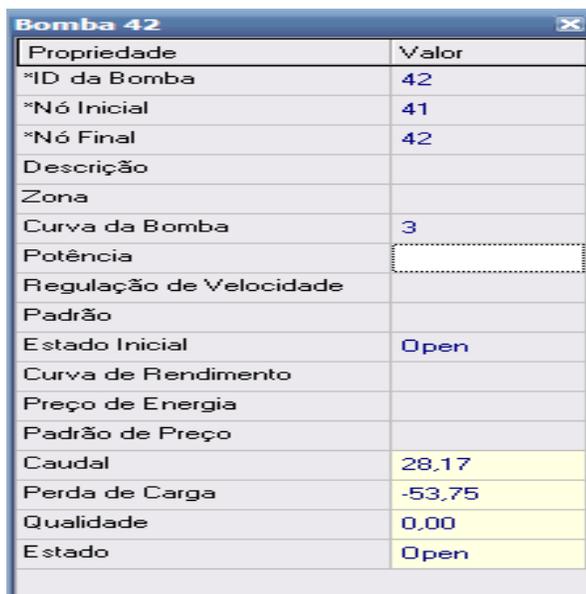
$$Y = 53,75 - 0,001067 \times Q^{2,36} \quad (08)$$

Dados do conjunto.

- 1 – Motor EBERLE de 40 CV
- 2 – Rotor de 319 mm
- 3 – Corrente nominal – 55,2 A
- 4 – Tensão de operação – 380 V
- 5 – Modelo da bomba – INBIL INI 80 - 315
- 6 – Velocidade nominal – 1750 RPM

Essa elevatória pertencia ao sistema integrado Cansanção/Monte Santo e foi modificada passando a ser um “*booster in line*” para atender à nova concepção de projeto adotada nessa proposta de automação de elevatórias em série com exclusão dos poços de sucção pelas razões descritas anteriormente. Entretanto, é importante ressaltar, a situação dessa elevatória que está situada junta a estrada que liga a cidade de Cansanção a Monte Santo. Foi alvo de vários assaltos, com e sem a presença de operadores, o que poderia

significar não ser adequado utilizar-se de mecanismos mais sofisticados de automação. Contudo necessário se faz o enfrentamento da situação sob pena de não ser possível fazer uso dessas tecnologias que tantos benefícios trazem aos sistemas de transporte de água bruta e/ou tratada.



Propriedade	Valor
*ID da Bomba	42
*Nó Inicial	41
*Nó Final	42
Descrição	
Zona	
Curva da Bomba	3
Potência	
Regulação de Velocidade	
Padrão	
Estado Inicial	Open
Curva de Rendimento	
Preço de Energia	
Padrão de Preço	
Caudal	28,17
Perda de Carga	-53,75
Qualidade	0,00
Estado	Open

Figura 15 – Edição dos dados da bomba da EEAT6

Verifica-se que não foi adotada nenhuma redução na velocidade de rotação do conjunto indicando, de acordo com o modelo, que essa elevatória “trabalharia” com sua rotação nominal.

Após simulação do modelo para a EEAT6 obteve-se os dados do projeto de automação conforme a seguir:

- 1- Vazão $Q = 28,17$ l/s;
- 2 – AMT = 59,38 mca;
- 3 – Carga hidráulica de montante = 5,63 mca;
- 4 - Carga hidráulica de jusante = 59,38 mca;

Feita a primeira simulação, alguns parâmetros foram testados em campo antes da definição do tipo de automação a ser levada a efeito nessas duas últimas elevatórias. Estas são, na realidade, os objetos principais do projeto de automação. Em primeiro lugar verificou-se a condição de manobra para a válvula DN 300 (nó 39 <-> 18) onde foi constatado ser impossível obter um valor de 10,00 mca a jusante dela. A pressão mínima obtida foi de 40,00

mca. Diante da situação optou-se por colocar em operação a válvula DN 150 (apenas os flanges são DN 200 para compatibilização com material existente na época), instalada no nó 20 (20 <-> 58) fazendo-se nova simulação com pressão de jusante na válvula DN 300 igual a 40,00 mca. Conforme previsto essa válvula mostrava-se superdimensionada para o local, pois a velocidade não ultrapassava 1,0 m/s. Fazendo-se a proporção entre os diâmetros de 300 mm e 150 mm a velocidade, na válvula, passou a ser de 4,00 m/s. A válvula projetada tinha diâmetro igual a 200 mm sendo necessário a modificação para aproveitar material existente. Ao constatar a nova velocidade foi decidido por uma verificação mais detalhada no que diz respeito ao processo de cavitação, a proporção da redução e a perda de carga inserida. Não foi constatado nenhum impedimento para sua utilização. De posse de todos os dados foi iniciado o processo de concepção do projeto de automação para as duas elevatórias. A terceira elevatória no nó 49 (RNF49) teve, apenas, a previsão de instalação de uma válvula de nível do tipo autooperada.

CAPÍTULO III – O projeto de automação

A proposta inicial, antes do início das obras, era de utilizar os instrumentos de controle citados no resumo desse trabalho. Buscando-se a redução de custos levantou-se a possibilidade de fazer o controle utilizando-se, apenas, um transdutor de pressão à montante dos conjuntos.

Com essa nova concepção excluía-se o pressostato que, naquela altura, não mais se fazia necessário. Entretanto, durante os testes na válvula DN 300, uma condição anormal aconteceu na operação do sistema como um todo. O suprimento de energia da captação entrou em colapso, o sistema integrado teve a sua operação restringida e o RAP2000 começou a esvaziar. A EEAT3 manteve-se em operação, pois não tinha nenhum tipo de controle, e “sugou” toda a água existente nos trechos de montante. Diante disso ficou evidenciada a necessidade do controle de jusante ser do tipo on/off ficando o controle, através do controlador PID, restrito à variável pressão em ponto localizado imediatamente à jusante dos conjuntos motor – bombas. A figura 16, baseada na norma EISA S5.1 retrata a concepção adotada para a EEAT5.

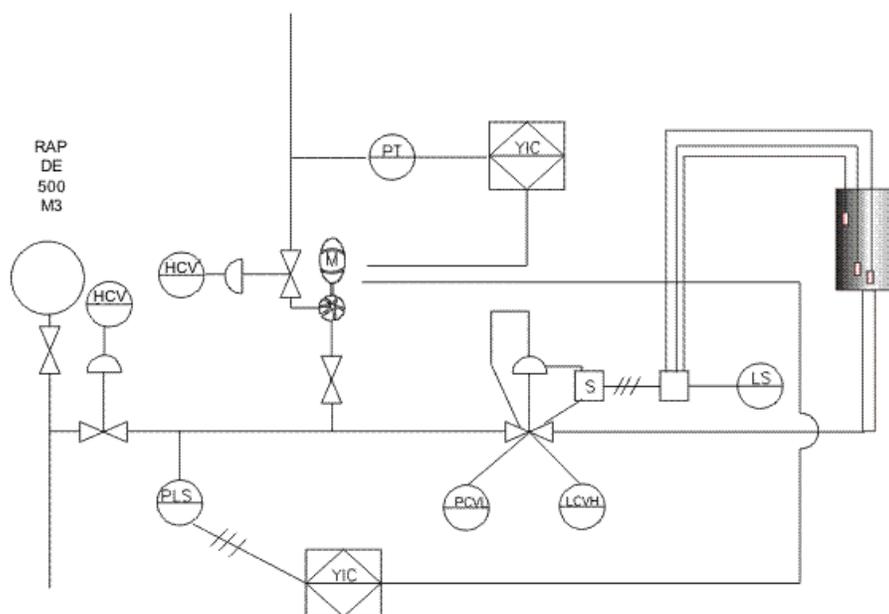


Figura 16 – Concepção do esquema de automação para a EEAT5 englobando o controle para o REL de Cansação. Fonte(5).

O sistema de transporte do projeto Tucano I tinha o seu ponto final no reservatório apoiado (RAP) de 500 m³. Este está situado em área anexa ao complexo de elevatórias que, antes, atendia ao sistema integrado de Cansanção/Cacimbas/Monte Santo, na cidade de Cansanção. Antes da integração do sistema de Cansanção ao Tucano I o povoado de Cacimbas foi integrado a esse sistema.

Conforme pode ser visto no esquema hidráulico do sistema Tucano + Cansanção e outras, nesse reservatório chegava, também, a água proveniente da ETA do Jacurici. A proposta, então, foi a de eliminar essa ETA com a integração total do S.I.A Cansanção e outras ao S.I.A Tucano I. O RAP de 500m³ foi eliminado da concepção ficando a tomada de água inserida diretamente na adutora DN 300. Essa derivação está representada à direita onde existe um registro de gaveta (HCV) e logo após o pressostato.

Para atender a cidade de Cansanção e eliminar a sua elevatória concebeu-se a implantação de válvula de controle, autooperada hidraulicamente, e identificada no esquema de acordo com a norma citada. Abaixo estão identificados os elementos constituintes da automação.

PCVL – Pressão, controle, válvula, nível. Essa função é implementada através da tomada de montante onde uma válvula proporcional “trabalha” pilotada por uma válvula multivias no sentido de sustentar uma pressão mínima conforme indicado no nó 22, início da derivação para o REL de Cansanção. Esta válvula controla o nível de pressão baixo (“*low*”) ao provocar o fechamento parcial e reduzindo a vazão para manutenção da pressão de montante. Não havendo possibilidade de controle a válvula fecha completamente para evitar esvaziamento do trecho.

LCVH – Chave, Controle, Válvula, Nível alto. A jusante, na tomada localizada nessa posição, foi inserida uma válvula solenóide interligada a uma chave de nível constituída de comando com alimentação em 220V e relê de nível comandado por eletrodos situados no REL. Na hipótese do nível atingir o máximo, assim definido, o solenóide é acionado e a válvula fecha.

YIC – Estado, Indicador, Controlador. O controlador, ligado diretamente ao pressostato, é um microPLC que viabiliza as partidas e paradas dos motores. Faz a reversão das bombas conforme recomendação do fabricante e é controlado pelo controlador PID, na hipótese de erro (alarmes “*low*” e “*high*”) nesse controlador. Em tal situação aborta a operação através de contato seco existente no PLC com tensão em 24 VCC proveniente de fonte existente para energização do controlador PID.

YIC – Estado, Indicador, Controlador. O segundo controlador é um controlador universal da NOVUS modelo N1100 com função PID. A variável a ser controlada é a pressão e esta é feita por esse controlador através de um transdutor de pressão (PT Pressão, Transmissão) que envia um sinal de 04 a 20 mA a uma entrada analógica desse controlador. Esse, por sua vez, controla o variador de velocidade (inversor de frequência) para que seja possível manter o valor fixado de pressão a jusante dos conjuntos motor – bombas.

Inversor	
Idioma	Espanhol
Tempo de rampa de partida	15 s
Tempo de rampa de parada	20 s
Entrada analógica	AI2 (20 a 04 mA)
Velocidade mínima	30 Hz
Velocidade máxima	60 Hz
Proteção térmica	84,5 A
Tensão nominal do motor	380 V
Frequência nominal	60 Hz
Corrente nominal	84,5 A
Cós φ	0,86
Economia de energia?	não
Corte de 4 a 20 mA	RLS

Tabela 8 - Variador de Velocidade – Parâmetros modificados relativos aos de fábrica

O parâmetro RLS significa que o variador irá dar partida mesmo que não haja tensão CC nessa entrada analógica. No início da operação o inversor dava mensagem de erro, em função desse parâmetro, já que o comando prevê a habilitação dessa entrada juntamente com o acionamento do motor conforme pode ser visto no diagrama, Apêndice D.

Controlador Universal: Configuração inicial mínima	
Tipo de entrada	04 a 20 mA
Valor do SetPoint de controle	95 mca
Tipo de saída	04 a 20 mA
Parâmetros PID	P = 50, I = 0, D = 0

Tabela 9 – Configuração mínima para permitir entrada em operação

Ciclo de Operação	
PV	Variável de processo apresentada no display na cor vermelha e indica o valor de pressão a jusante dos conjuntos motor – bombas
SP	Set Point – Fixado o valor de 95 mca para início de operação
Modo	Colocado no modo automático
Programa (Pr n)	0 – nenhum programa é necessário
Run	YES – Controle habilitado

Tabela 10 – Ciclo de operação do controlador PID.

Ciclo de Sintonia	
Neste ciclo são definidos os valores de controle PID através de sintonia automática.	

Tabela 11 – Ciclo de sintonia do controlador PID.

Ciclo de Programas	
Pr n	0. Nenhum programa foi elaborado

Tabela 12 – Ciclo de programas do controlador PID

Ciclo de Alarmes	
Valor mínimo para PV (Lo) – Inicialmente fixado um valor de 65 mca. Desabilitamos este parâmetro até a modificação da rotina do Zélio já que este provocava o desligamento do conjunto com partida imediata do segundo conjunto motor – bomba. Parâmetro não necessário, pois o pressostato atua antes;	
Valor máximo para PV (Hi) – Fixado em 115 mca para proteção da adutora em ferro fundido com mais de 40 anos de uso.	

Tabela 13 – Ciclo de alarmes do controlador PID

Ciclo de Configuração	
Tipo de entrada “TYPE”	Fixado o valor 17 para tipo 4 a 20 mA
Características	Linear com indicação programável de -1999 a 1999
Posição do ponto decimal	Fixado para um (01) decimal
Limite inferior de SetPoint	Fixado em zero (0) – valor mínimo p/transdutor de pressão
Limite superior de SetPoint	Fixado em duzentos (200)
Baud Rate de comunicação	9600 bps
Endereço de comunicação	1

Tabela 14 – Ciclo de configuração do controlador PID

Ciclo de Entradas e Saídas	
Fixado apenas a função da I/O 5	Retransmissão de PV 4 a 20 mA código 14 saída analógica

Tabela 15 – Ciclo de entradas e saídas do controlador PID

Ciclo de Calibração
Não foi feita calibração conforme manual. Alguns testes foram feitos medindo-se a corrente contínua assim como a pressão com manômetro calibrado de fábrica. A pressão detectada com manômetro, dentro dos limites da leitura, apresentou valor igual ao da PV mostrada no display do controlador.

Tabela 16 - Ciclo de calibração do controlador PID

Os parâmetros definidos para a EEAT6 levaram em consideração todos os aspectos verificados durante os trabalhos de configuração da automação na EEAT5. Em função disso esses parâmetros não serão apresentados.

A figura 17 representa o esquema de automação implantado na EEAT6, também, de acordo com a norma EISA S5.1.

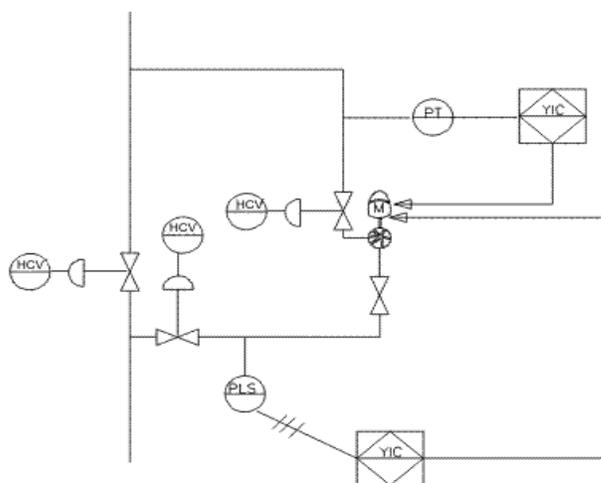


Figura 17 – Esquema de automação para a EEAT6.

Os dois esquemas de automação das elevatórias EEAT5 e EEAT6 possuem dois controladores com funções exatamente iguais e que estão particularizados nas figuras 18 e 19 utilizando-se o recurso de montagem fotográfica.

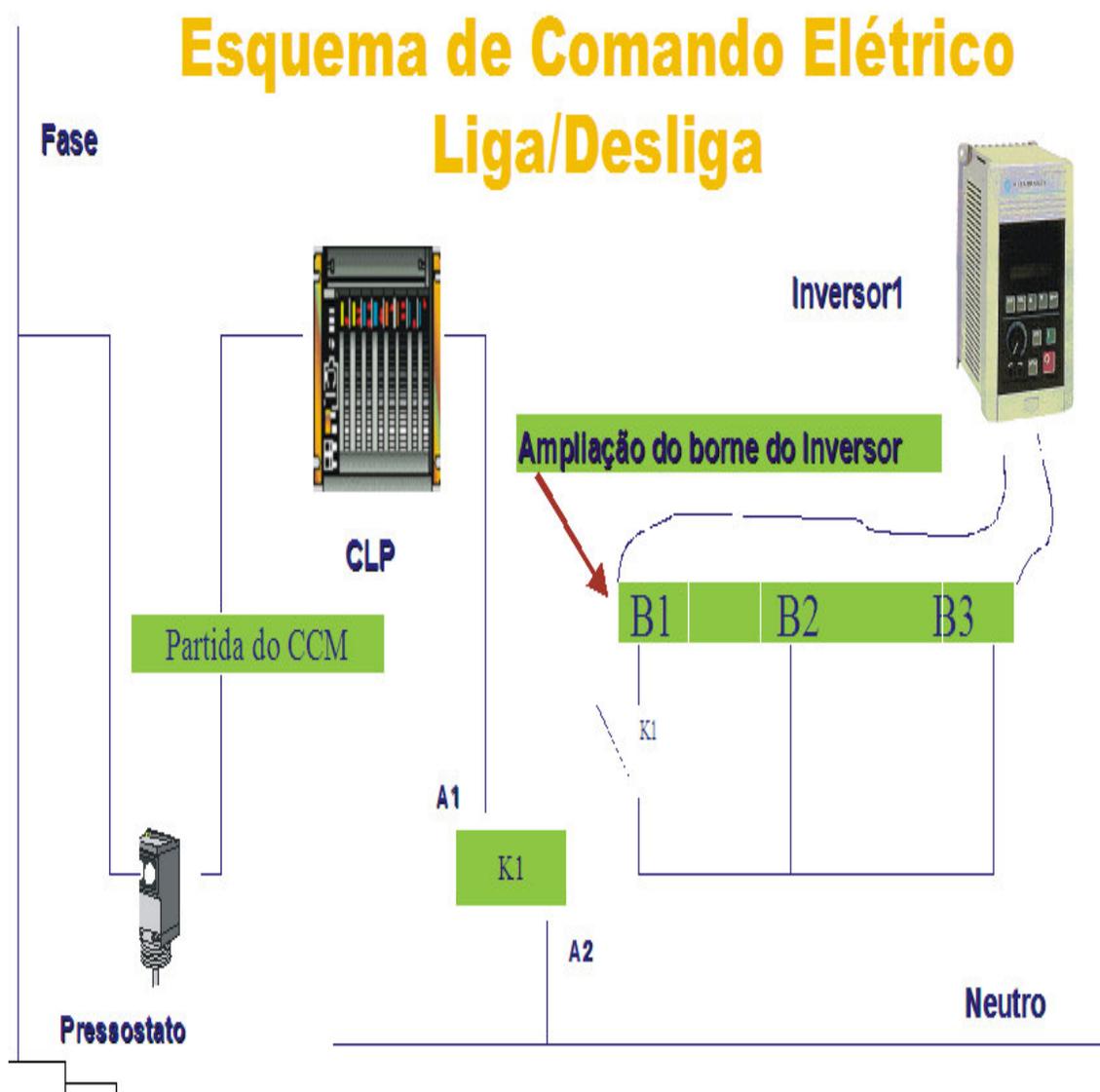


Figura 18 – Esquema de Controle de Partidas e Paradas

Esquema de controle de pressão usando Inversor de Freqüência comandado por um Transdutor de Pressão

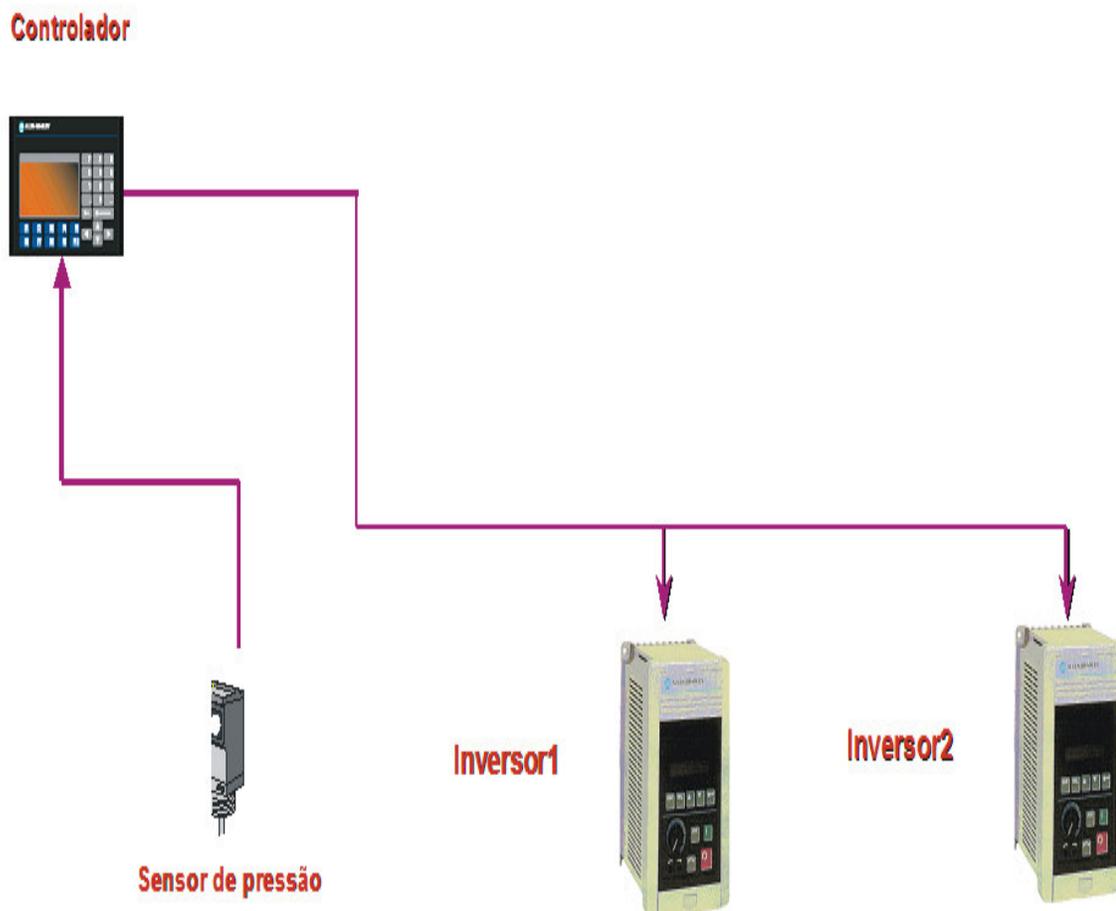


Figura 19 – Esquema de Controle dos Variadores de Velocidade

Esta concepção de automação atende ao sistema integrado, no que diz respeito à operação em regime permanente. Na hipótese da ocorrência de paralisações acidentais tem-se uma mudança de estado inserida no sistema que acarretam dois tipos de problemas. O primeiro diz respeito aos transientes hidráulicos inseridos no sistema com possibilidade de colapsar tubulações de ferro fundido, aço ou PVC. A situação mais negativa está na EEAT3 onde a pressão se mostra muito elevada. Entretanto, durante a fase de projeto do sistema Tucano I, estudos foram efetuados e concluídos pela não existência de problemas relativos

aos transientes. O outro aspecto diz respeito ao sistema de automação, objeto desse trabalho, que optou pela operação não assistida. A partir dessa constatação são feitas quatro simulações de mudança de estados inseridas a partir do RAP2000. Essas simulações serão apresentadas através de quatro figuras conforme a seguir:

Mudança de estado I – Desligamento accidental do sistema Tucano I com vazão zero no RAP de 2.000,00 m3.

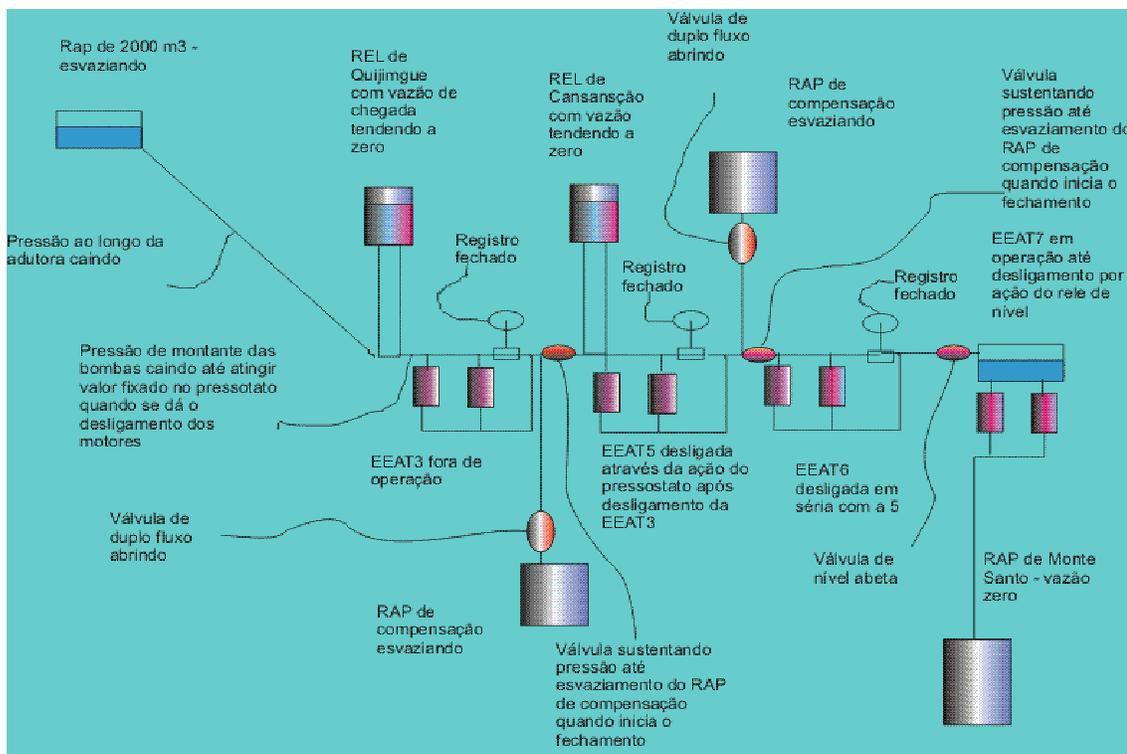


Figura 20 – Mudança de estado I.

Mudança de estado II – Desligamento accidental da EEAT5.

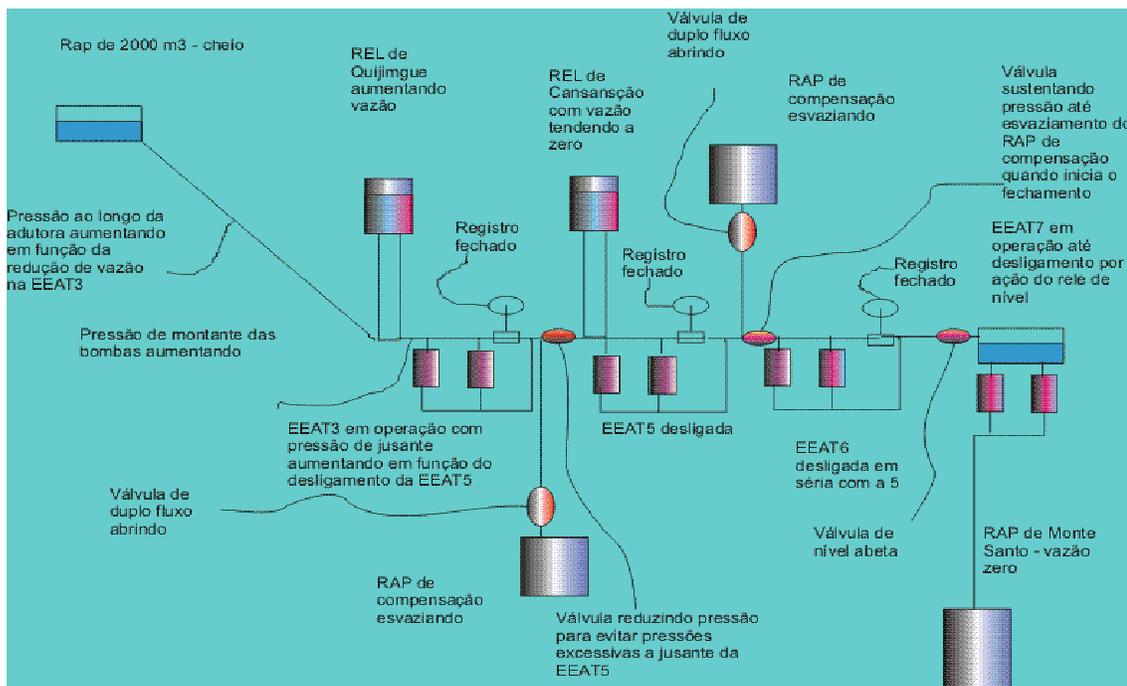


Figura 21 – Mudança de estado II.

Mudança de estado III – Parada accidental na EEAT6

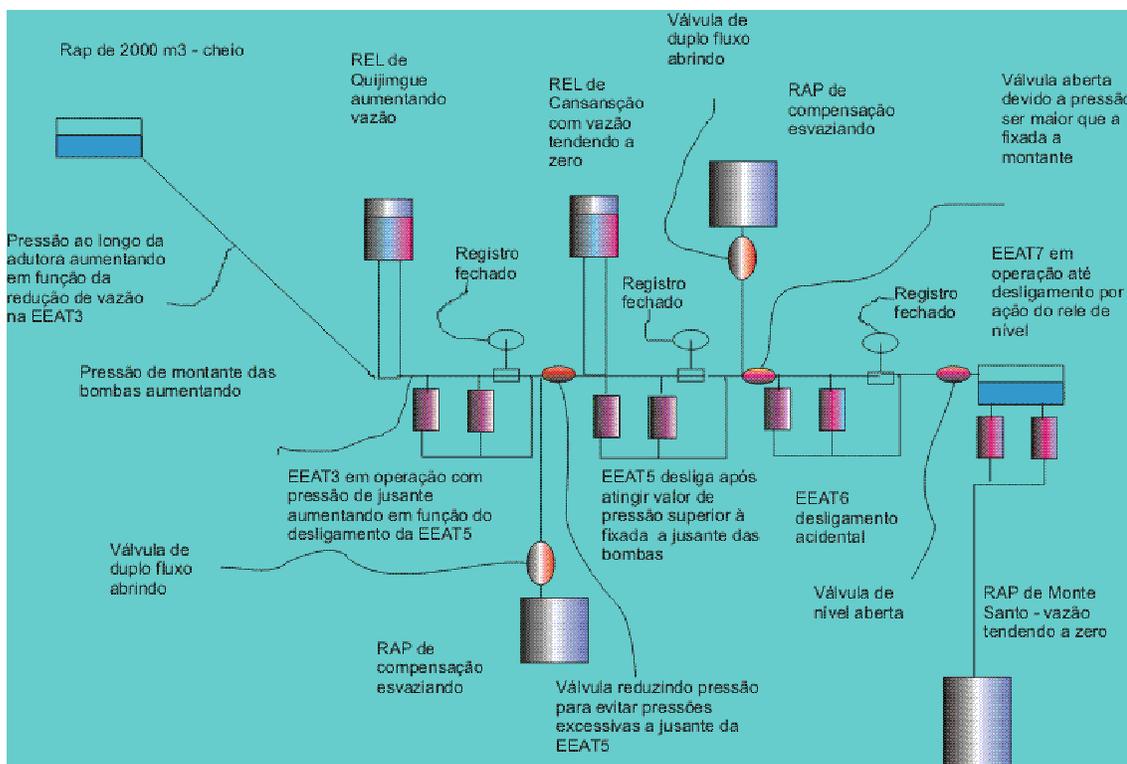


Figura 22 – Mudança de estado III.

Mudança de estado IV – Desligamento accidental na EEAT7

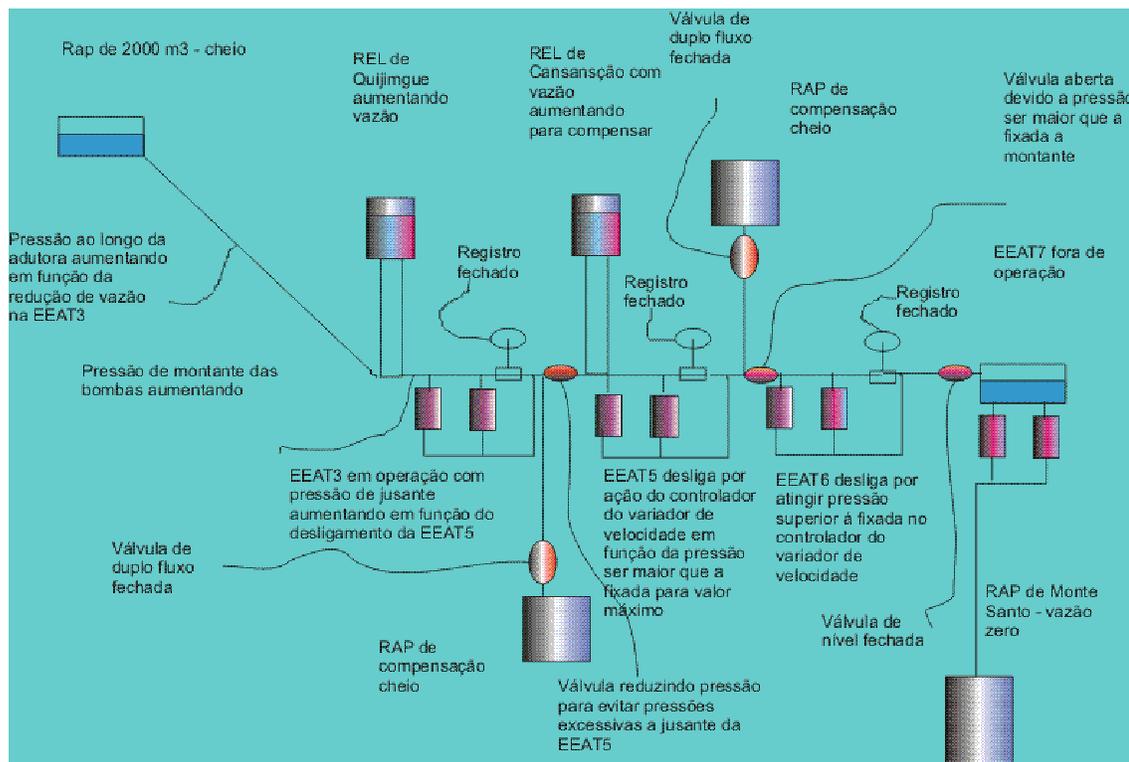


Figura 23 – Mudança de estado IV.

A princípio esta paralisação tornaria sem efeito a concepção adotada para a automação. Entretanto um aspecto de suma importância pode ser constatado em um dos croquis da simulação com o EPANET, a cota na chegada da EEAT7 é menor do que a cota de saída da EEAT6. Tal situação singular permite que, com a saída de operação da EEAT7, o sistema retorne a operação sem a interferência humana.

A paralisação implica em fechamento da válvula de nível e desligamento da EEAT6 por frequência mínima. Na hipótese de consumo ao longo dos trechos de adução a EEAT6 mantém-se em operação com vazão mínima necessária para atender esses povoados. Pressão elevada na saída da EEAT6 significa frequência baixa no inversor podendo ocorrer ou não a paralisação. A EEAT7 Entrando em operação a pressão, ao longo do transporte, cai fazendo com que a vazão para os povoados mais a vazão que chega ao poço de sucção da EEAT7 “exija” um aumento de vazão e conseqüentemente aumento de rotação.

A automação visa dar sustentação ao sistema integrado, como um todo, para que possam ser desativadas todas as elevatórias no horário de pico de consumo de energia elétrica.

Conclusões

Num sistema de tal complexidade, a estratificação da malha permite um número elevado de conclusões. Conclusões relativa à qualidade do produto transportado, pois esse sofre interferência na sua composição através da reação de produtos químicos com a matéria orgânica ainda em decomposição e que não foi retida no processo de tratamento. Tomando esse sistema integrado como exemplo verifica-se um diferencial muito importante que é o fato da matéria prima água ser oriunda de poços profundos. Nessa situação, normalmente, apresenta cor e turbidez com valores próximos de zero. Matéria orgânica “queimando” sob a ação do cloro implica na formação de trihalometânos sendo que a literatura técnica indica serem cancerígenos. O grande mestre Azevedo Neto³ no Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado na cidade de Camboriú no ano de 1983, proferiu palestras e disse não mais acreditar nessa hipótese já que a incidência dessa doença, em termos quantitativos, acontecia com a mesma intensidade tanto em comunidades que usavam águas com a presença de trihalometânos e comunidades que não as usavam.

É possível estudar formas de aplicação do cloro no início do transporte sem que esse produto, tão volátil, venha a se perder antes de atuar no processo de remoção de bactérias presentes na massa de água. A perda é crucial nos pontos onde a água entra em contato com a atmosfera (poços de sucção de estações elevatórias) já que esse produto tem avidez pelo oxigênio. Evitar esses poços de sucção é uma solução que reduz essa perda proporcionando que o produto transportado mantenha as qualidades no que diz respeito à sua potabilidade.

Com relação à hidráulica aplicada, o uso de válvulas de retenção de acionamento ultrarrápido mostra-se capaz de atenuar as conseqüências após ocorrência de transiente hidráulico mais precisamente o “golpe de aríete” nas tubulações adutoras.

O uso de válvulas combinadas permite o controle das pressões à montante e a jusante dessas válvulas proporcionando a eliminação de reservatórios nas comunidades situadas e atendidas ao longo do percurso. Isso representa sensível economia na implantação de sistemas similares sendo necessário apurado cuidado no processo de escolha dessas válvulas para que esse objetivo seja alcançado. Com relação a essas válvulas é possível concluir que a

³ José Martiniano de Azevedo Neto, professor e autor de vários livros no ramo da hidráulica aplicada e estudioso dos processos de transporte e tratamento da água, já falecido.

velocidade mínima é fator fundamental na determinação do seu diâmetro para que o processo de parametrização seja facilitado além de não permitir que esse mecanismo de controle seja super ou subdimensionado. Quando superdimensionado acarreta na impossibilidade de obtenção das pressões mínimas de controle seja a montante ou a jusante. Quando subdimensionadas reduz drasticamente a capacidade de manutenção dos valores desejados para a vazão.

A inserção de reservatórios de compensação, em cooperação com as válvulas combinadas que podem ser instaladas tanto no ramo principal quanto nos ramos derivados, permitem a manutenção do sistema adutor com volume mínimo de água ao atender os povoados situados ao longo do trajeto. Isso evita os problemas decorrentes das partidas em vazio que podem vir a se repetir várias vezes, após desligamento acidental, dependendo do tipo de controle utilizado nessas elevatórias.

A automação de estações elevatórias de água com controle local da variável pressão ou vazão, existentes num processo de transporte de grande extensão, é fator fundamental para a redução das probabilidades da ocorrência dos fenômenos negativos anteriormente citados. As opções são de natureza variada podendo-se optar por toda a pirâmide que representa os processos de automação lembrando, apenas, das dificuldades e dos custos de implantação, operação e manutenção que são infinitamente maiores do que numa indústria onde tudo está “a mão”; recursos humanos e materiais. A primeira opção deve ser a manutenção do processo o que significa dizer a manutenção do transporte da água. Todos os custos de implantação e/ou operação possíveis de serem eliminados devem ser eliminados para permitir a sobrevivência das concessionárias de abastecimento de água além da manutenção de baixas tarifas para que a visão do social não se perca. É importante ressaltar que no subsistema de distribuição a automação e controle, com uso de telemetria e telecomando, se mostram na mesma condição que o controle localizado nos sistemas de transporte de água.

Outro aspecto a ser considerado é a realização da modelagem através das ferramentas de simulação seja essa estática ou dinâmica. A modelagem estática auxilia de forma adequada nos processos de implantação de sistemas para a definição de parâmetros e os tipos de elementos a serem inseridos sendo a sua escalabilidade fator fundamental desde quando, num processo desse tipo, os parâmetros de operação variam em função do clima, culturas locais, etc.. A modelagem dinâmica se mostra mais apropriada para os sistemas em operação quando

é possível medir as variáveis intervenientes no processo e calibrar o modelo. Num processo de implantação pode-se fazer uma simulação dinâmica utilizando dados de sistema similar.

Nesse trabalho foi utilizado o EPANET onde as simulações eram realizadas à medida que as unidades do sistema eram implantadas e colocadas em operação. O processo repetiu-se por inúmeras vezes até a obtenção dos parâmetros adequados para um sistema desse porte.

Diante do exposto é possível afirmar terem sido atingidos os objetivos do processo de automação de estações elevatórias em série com ênfase no controle local. Finalmente são apresentados, a seguir, os parâmetros operacionais obtidos após a integração do sistema de abastecimento de água Cansanção/Monte Santo ao sistema Tucano I.

Parâmetros de operação

Iniciada a operação do novo sistema o primeiro problema surgiu. Na EEAT3, pronta há dois anos e meio sem ter sido testada, após partida do equipamento no modo automático ou manual, não recalava a água e mantinha a corrente elétrica elevada. Utilizava um softstarter parametrizado para 1,50 vezes a corrente nominal do motor e, após o fim da rampa, não bombeava e se mantinha com esse valor.

As condições locais indicam uma pressão de 11,0 kg/cm² com a EEAT3 fora de operação. Aparentemente não há motivo para tal situação, entretanto a bomba está preparada para operar a partir de um certo valor de pressão e, na partida, deve superar esse patamar para começar a bombear. O ponto de trabalho da bomba é de 457 m³/h para 123 mca. Como para essa vazão, na curva do sistema, a altura manométrica é de 180 mca verificamos que bomba bombeia a partir do patamar de 57 mca. Feita a alteração para 2, 3 e 4 vezes a corrente nominal obteve-se a operação normal.

1 - EEAT3

A pressão de jusante, medida com manômetro não aferido, foi de 152 mca para uma vazão de 84,06 l/s. Valor compatível com a situação prevista de operação. Os parâmetros de projeto da HISA⁴ se mostravam próximos da realidade de operação.

⁴ HISA Empresa consultora e autora do projeto para o SIA TUCANO I

2 - EEAT5

- 1 – Pressão de montante – 36 mca (3,60 kg/cm²);
- 2 – Pressão de jusante – 100 mca (10,00 kg/cm²);
- 3 – Corrente de operação – 60 A;
- 4 – Corrente nominal – 84,5 A;
- 5 – Tensão de operação – 380 V;
- 6 – Vazão - 32,0 l/s;
- 7 – Velocidade de operação – 1510 RPM quando da medição de vazão.

2.1 - Características do controle automático

- 1 – Pressostato da Altronic à montante dos conjuntos, range de 0 a 20 kg/cm²;
- 2 – PLC Zélio da Schineider modelo RS2B121BD para monitorar pressostato e fazer reversão de bombas;
- 3 – Variador de velocidade da Schineider modelo Altivar38;
- 4 – Controlador Universal da NOVUS modelo N1100;
- 5 – Transdutor de pressão da NOVUS.

2.3 - Parâmetros:

Pressostato – Habilita sistema com pressão mínima de 30 mca;

MicroPLC – Ladder conforme última versão no apêndice D

Variador de velocidade – Parâmetros conforme tabela 5

Controlador universal:	
Ciclo de operação:	
Set Point	Fixado em 102 mca
Modo	Automático
Controle	Habilitado

Ciclo de Alarmes	
Valor máximo para PV (Hi)	Fixado em 115 mca
Ciclo de Configuração	
Tipo de entrada “TYPE”	Fixado o valor 17 para tipo 4 a 20 mA
Posição do ponto decimal	Fixado para um (01) decimal
Limite inferior de SetPoint	Fixado em (0)–valor mínimo do range do transdutor de pressão
Limite superior de SetPoint	Fixado em duzentos (200)
Baud Rate de comunicação	9600 bps
Endereço de comunicação	1
Ciclo de Entradas e Saídas	
Fixado apenas a função 5 da I/O, Retransmissão de PV 4 a 20 mA, código 14, saída analógica	

3 - EEAT6

- 1 – Pressão de montante – 30 mca;
- 2 – Pressão de jusante – 50 mca;
- 3 – Corrente de operação – 30 A;
- 4 – Vazão - 26,0 l/s;
- 5 – Velocidade de operação – 1400 RPM quando da medição de vazão.

3.1 - Características do controle automático

- 1 – pressostato da Altronic à montante dos conjuntos, range de 0 a 10 kg/cm²;
- 2 – PLC Zélio da Schineider modelo RS2B121BD para monitorar pressostato e fazer reversão de bombas;
- 3 – Variador de velocidade da Schineider modelo Altivar38;
- 4 – Controlador Universal da NOVUS modelo N1100;
- 5 – Transdutor de pressão da NOVUS

3.2 - Parâmetros:

Pressostato – Habilita sistema com pressão mínima de 30 mca;

Variador de Velocidade – Parâmetros conforme tabela 5

Controlador Universal:	
Ciclo de Operação:	
Set Point	Fixado em 48 mca
Modo	Automático
Controle	Habilitado
Ciclo de Alarmes	
Valor máximo para PV (Hi)	Fixado em 60 mca
Ciclo de Configuração	
Tipo de entrada “TYPE”	Fixado o valor 17 para tipo 4 a 20 mA
Posição do ponto decimal	Fixado para um (01) decimal
Limite inferior de SetPoint	Fixado em (0), valor mínimo do range do transdutor de pressão
Limite superior de SetPoint	Fixado em cem (100)
Baud Rate de comunicação	9600 bps
Endereço de comunicação	1
Ciclo de Entradas e Saídas	
Fixado apenas a função 5 da I/O, Retransmissão de PV 4 a 20 mA, código 14, saída analógica	

Os valores diferentes do previsto foram configurados em função das não conformidades encontradas no projeto hidráulico como, por exemplo, as cotas de implantação das elevatórias EEAT6 e EEAT7 não se confirmaram e os consumos das derivações que se apresentaram com sensível diferença para o projetado, mais por conta dos hábitos de consumo diário quando, em certos momentos, temos vazão plena chegando nas estações elevatórias.

3.3 – Resultados das mudanças de estado

3.3.1 – Mudança de estado I – O sistema, retorna automaticamente assim que houver pressões de montante conforme configuração do pressostato. A última elevatória retorna pelo nível no poço de sucção.

3.3.2 – Mudança de estado II – O sistema opera por gravidade a partir da EEAT3 sendo que a válvula situada a montante da EEAT5 limita esse abastecimento até a cota onde está localizado o reservatório de compensação de 200 m3.

3.3.3 – Mudança de estado III – EEAT5 desliga por frequência ou opera com vazão mínima suficiente para atender aos povoados até a EEAT7. Esta irá operar até nível mínimo.

3.3.4 – Mudança de estado IV – Conforme página 57.

Referência bibliográfica

- [1] Ogata, K. Engenharia de controle moderno; tradução Paulo Álvaro Maya; revisão técnica Fabrizio Leonardi.. et al,4a edição, São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [2] Tsutiya, M. T. Abastecimento de água, 2ª edição, São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.
- [3] Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água, DTA_D1.
http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_D1.pdf
- [4] Watts Regulator Co., Catálogo “ Watts Automat ic Control Valves”, 1996
- [5] EISA S5.1 - - Instrumentation Symbols and Identification
- [6] Tsutiya, M. T. Redução de custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. ABES. São Paulo, 2001.
- [7] MIYAGI, P. E. Controle Programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos. Rio de Janeiro: Ed. E. Blücher, 1996.

Apêndice A	Página
Dados para construção da curva do sistema hipotético tipo Vazão x Altura Manométrica	66
Figura 24 – Gráfico para o Sistema Hipotético	67

Sistema hipotético para análise da oportunidade do uso de inversores de frequência

1 – Elevatória sobre o flutuante situado no lago formado pela barragem do rio da Donna

1.1 - Motor

1.1.1 - Marca.....: WEG

1.1.2 - Modelo...: Carcaça 180M

1.1.3 - Potência.: 30 CV

1.1.4 - Tensão...: 440 V

1.1.5 - Rotação...: 1750 RPM

1.2 - Bomba

1.2.1 - Marca.....: KSB

1.2.2 - Modelo...: MEGANORM 150 - 200

1.2.3 - Vazão.....: 113 l/s

1.2.4 - HMT.....: 12 mca

1.2.5 - Rotor.....: 218 mm

2 - Estação Elevatória de Recalque situada nas margens do lago onde existem três conjuntos motores – bombas com características:

2.1 - Motor

2.1.1 - Marca.....: WEG

2.1.2 - Modelo...: AGA 315C

2.1.3 - Potência.: 550 CV

2.1.4 - Tensão...: 440 V

2.1.5 - Rotação...: 1775 RPM

2.2 - Bomba

2.2.1 - Marca.....: WORTHINGTON

2.2.2 - Modelo...: 8 LN 21

2.2.3 - Vazão.....: 225 l/s

2.2.4 - HMT.....: 120 mca

2.2.5 - Rotor.....: 20,5”

3 – Adutora de Recalque :

Cota na saída - 164,0 m

Cota no stand - pipe - 288,00

Hg = 124,00 m

L = 5.530,0 m

Q = 469,0 m³/h - vazão do projeto

Q = 850,0 m³/h - vazão atual

Rendimento da bomba 80%

Q = 469,0

| Q = 850,0

J = 0.000311611

| 0.001262547

V = 0,41 m/s

| 0,84 m/s

H_f = 3,50 mca

| 5,18 mca

H_g = 124,0 m

| 124,0 m

P = 349,68 CV (257,36 KW) | 521,96 CV (396,69 KW)

HMT = 127,50

| 129,18 mca

C = 120

D = 600



0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
124,00	124,10	124,36	124,75	125,28	125,94	126,72	127,61	128,63	129,75

Figura 24. – Dados do Gráfico para o Sistema Hipotético

Para esta situação verificaremos qual é o número de rotações necessário para se atingir vazão zero ou seja $H = H_g$.

$$H_1 = 128,63 \text{ mca para } Q = 850,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_2 = 124,00 \text{ mca para } Q = 0,00 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_1 = 1.775 \text{ RPM para } Q = 850,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_1 / N_1^2 = H_2 / N_2^2 \rightarrow N_2 = 1742$$

$$N_1 - N_2 = 33 \text{ RPM.}$$

Apêndice B	Página
Tabela 2 - Recomendações para utilização de válvulas.....	70
Tabela 3 - Resistência à corrosão de alguns materiais.....	71
Tabela 4- Resistência à corrosão de alguns materiais (continuação).....	72

Tabela 2- Recomendações para utilização de válvulas

AR – Acionamento Rápido; BPD – Baixa Pressão Diferencial; B – Bloqueio; CP – Controle de Pressão;
 FD – Fluidos Densos; OF – Operações Freqüentes; PL – Passagem Livre; PR – Prevenção de refluxo
 OS – Prevenção de sobrepressão; R - Regulagem

Válvulas	AR	BPD	B	CP	FD	OF	PL	PR	OS	R
Agulha										*
Borboleta	*	*	*		*	*	*	*		
Diafragma	*	*	*		*		*			*
Esfera	*	*	*		*	*	*			*
Gaveta	*	*	*				*			
Globo			*			*				*
Guilhotina	*	*	*		*		*			
Macho	*	*	*			*	*			*
Mangote		*	*		*		*			*
Oblíqua			*			*				*
Retenção fundo de poço								*		
Retenção horizontal								*		
Retenção Portinhola		*						*		
Redutora de Pressão			*	*						
Sustentadora de Pressão			*	*						

Tabela 3 - Resistência à corrosão de alguns materiais (R- resistente; N- não resistente).

Bro – Bronze; Lt – Latão; FF – Ferro Fundido; I13% Cr – Inox 13% Cr; I188CrNi – Inox 18-8-Cr-Ni; Ti – Titânio;
Ne – Neoprene; PII – Polipropileno

	Bro	L	FF	I13%Cr	I188CrNi	Ti	Ne	PTFE	PVC	PII
Acetaldeído	R	R	R		R	R	N	R	R	R
Acetato de Chumbo	N	N	N	R	R	R	R	R	R	R
Acetileno	N	R	R	R	R	R	R	R	R	
Acetato de Amilo	N	N	R	R	R	R	N	R	N	N
Acetona	R	R	R		R	R	N	R	N	R
Ácido Acético	R	N	N		R	R	R	R	R	R
Ácido Benzóico	R	R	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Bórico	R	R	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Brômico (50%)	N	N	N		N	R	R	R	R	R
Ácido Carbônico	N	N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Cianídrico	N	N	R	N	R		R	R	R	R
Ácido Cítrico	R	N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Clorídrico (10%)	R	N	N	N	N	R	R	R	R	R
Ácido Clorídrico (conc)	R	N	N	N	N	R	R	R	R	R
Ácido Cloroacético		N	N	N	N	R	R	R	R	
Ácido Clorossulfúrico	N		R	R	R	N	N	R	R	N
Ácido Cresílico (50%)	R	N	N	R	R	R	N	R	N	
Ácido Crômico (80%)	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
Ácido Fluorídrico (40%)	R	N	N	N	N	N	R	R	R	R
Ácido Fluorídrico (75%)	N	N	N	N	N	N	R	R	N	R
Ácido Fluossílico	N	N	N	N	N	N	R		R	R
Ácido Fórmico	R		N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Fosfórico (25%)		N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Fosfórico (50%)		N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Fosfórico (95%)		N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Ftálico	R		N			R	R	R	R	
Ácido Graxo	R	N	N	R	R	R	R	R	R	R
Ácido Láctico (100%)	R	N	N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Maleico		N	N		R	R	R	R	R	R
Ácido Muriático	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
Ácido Nítrico (L 25%)	N	N	N	R	R	R	R	R	R	R
Ácido Nítrico (50%)	N	N	N	R	R	R	N	R	R	N
Ácido Nítrico (95%)	N	N	N		R	R	N	R	N	N
Ácido Oxálico	R		N	N	R	R	R	R	R	R
Ácido Perclórico	N		N	N	N	R	N	R	R	N

Tabela 4 - Resistência à corrosão de alguns materiais (continuação) (R- resistente; N- não resistente).

Bro – Bronze; Lt – Latão; FF – Ferro Fundido; I13% Cr – Inox 13% Cr; I188CrNi – Inox 18-8-Cr-Ni; Ti – Titânio;
Ne – Neoprene; PII – Polipropileno

	Bro	L	FF	I13%Cr	I188CrNi	Ti	Ne	PTFE	PVC	PII
Ácido Pírico	N	N	N	N	R		R	R	R	R
Ácido Silfícico	N		N	R		R	R	R	R	
Ácido Sulfônico	N	N	N		R	N	R		R	R
Ácido Sulfúrico (45%)	R	N	N	N	N	R	R	R	R	R
Ácido Sulfúrico (70%)	R	N	R	N	N	R	R	R	R	R
Ácido Sulfúrico (95%)	R	N	R	N	R	N	R	R	R	R
Ácido Tânico (10%)	R	R	N		R	R	R	R	R	R
Ácido Tartárico	R	R	N	N	R	R	R	R	R	R
Açúcar	R	R	R	R	R		R	R	R	R
Água Destilada	R	N	R	R	R	R	R	R	R	R
Água Doce	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Água Dura	R	R	R		R	R	R	R	R	R
Água de Mar	R	R	R		R	R	R	R	R	R
Álcool	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Alume	R	N	N	R	R	R	R	R	R	R
Amido	R		R		R	R	R	R	R	R
Amônia Anidra	R	R	R		R	R	R	R	R	R
Amônia Aquosa	N	N	R		R	R	R	R	R	R
Anidrido Acético	R	N	R	N	R	R	R	R	N	R
Anilina	N	N	R		R	R	N	R	N	R
Ar	R	N	N	R	R	R	R	R	R	R
Bissulfeto de Carbono		R	R		R	R	N	R	N	N
Bromina	N	N	N	N	N	R	N	R	N	N
Cal	R	R	R		R		R	R	R	R
Carbonato de Sódio	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Cera de Parafina	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Cerveja	R	R	R		R	R	R	R	R	R
Ciclohexano	R	R	R	R	R	R	N	R	N	N
Clorato de Bário	R	N	N		R	R		R	R	R
Clorato de Potássio	R	N	N	N	R	R		R	R	R
Clorato de Sódio	R	N	N	N	R	R		R	R	R
Cloreto de Alumínio	R	N	N		R	R	R	R	R	R
Cloreto de Amônia	N	N	R	N	R	R	R	R	R	R
Cloreto de Bário	R	N	R		R	R	R	R	R	R

Apêndice C	Página
Tabela 5. Rotina do microPLC.....	74

Tabela 5. Rotina do PLC.

Linha	Contatos	Contatos Intermediários	Bobina Acionada	Comentários
001	I1 (NC)		M1	Modo TeleInterruptor
002	IC (NO)		M1	Em paralelo com I1 quando acionada irá provocar o desligamento do motor por ação do controlador PID
003	I1 (NO)	IC (NC)	TT1	Quando acionada a entrada I1, por ação do pressostato, o temporizador T1 irá começar a contar tempo para acionar Q3 que por sua vez irá acionar o contator auxiliar X3 já no circuito de comando elétrico
004	T1 (NO)		Q3	Bobina de saída
005	Q3 (NO)	IC(NC);I2(NO);M1(NO);M3(NO)	Q1	Acionado Q1 do Zélio o contator auxiliar X1 irá ser acionado já no circuito de comando elétrico, que por sua vez irá permitir partida do motor 01 quando no modo

Linha	Contatos	Contatos Intermediários	Bobina Acionada	Comentários
				automático
006	Q3 (NO)	IC(NC);I3(NO);M1(NO);M4(NO)	Q1	Acionado Q1 do Zélio o contator auxiliar X2 irá ser acionado já no circuito de comando elétrico, que por sua vez ira permitir partida do motor 02 quando no modo automático. A alternância é permitida pela bobina lógica que habilita os contatos, fechado ou aberto, a cada acionamento
007	T1 (NO)		TT2	TT1 aciona TT2 que por sua vez ira acionar as bobinas lógicas M3 e M4. Nas linhas 005 e 006 verificamos a presença dessas bobinas para permitir partida dos motores
008	I4 (NO)		M3	A entrada I4 é habilitada quando o Inversor 1 é acionado
009	T2 (NO)		M3	TT2 é energizado na

Linha	Contatos	Contatos Intermediários	Bobina Acionada	Comentários
				partida tipo passagem ativação de comando. Conta 10 segundos e abre o contato. É tempo suficiente para o inversor energizar a entrada I4
010	IB (NO)		M4	A entrada IB é habilitada quando o Inversor 2 é acionado
011	T2 (NO)		M4	TT2 é energizado na partida tipo passagem ativação de comando. Conta 10 segundos e abre o contato. É tempo suficiente para o inversor energizar a entrada IB

Apêndice D	Página
Diagrama do microPLC	78
Circuito de Comando dos CCM(s) parte I	79
Circuito de Comando dos CCM(s) parte II	80
Circuito de Comando dos CCM(s) parte III	81

Diagrama do microPLC

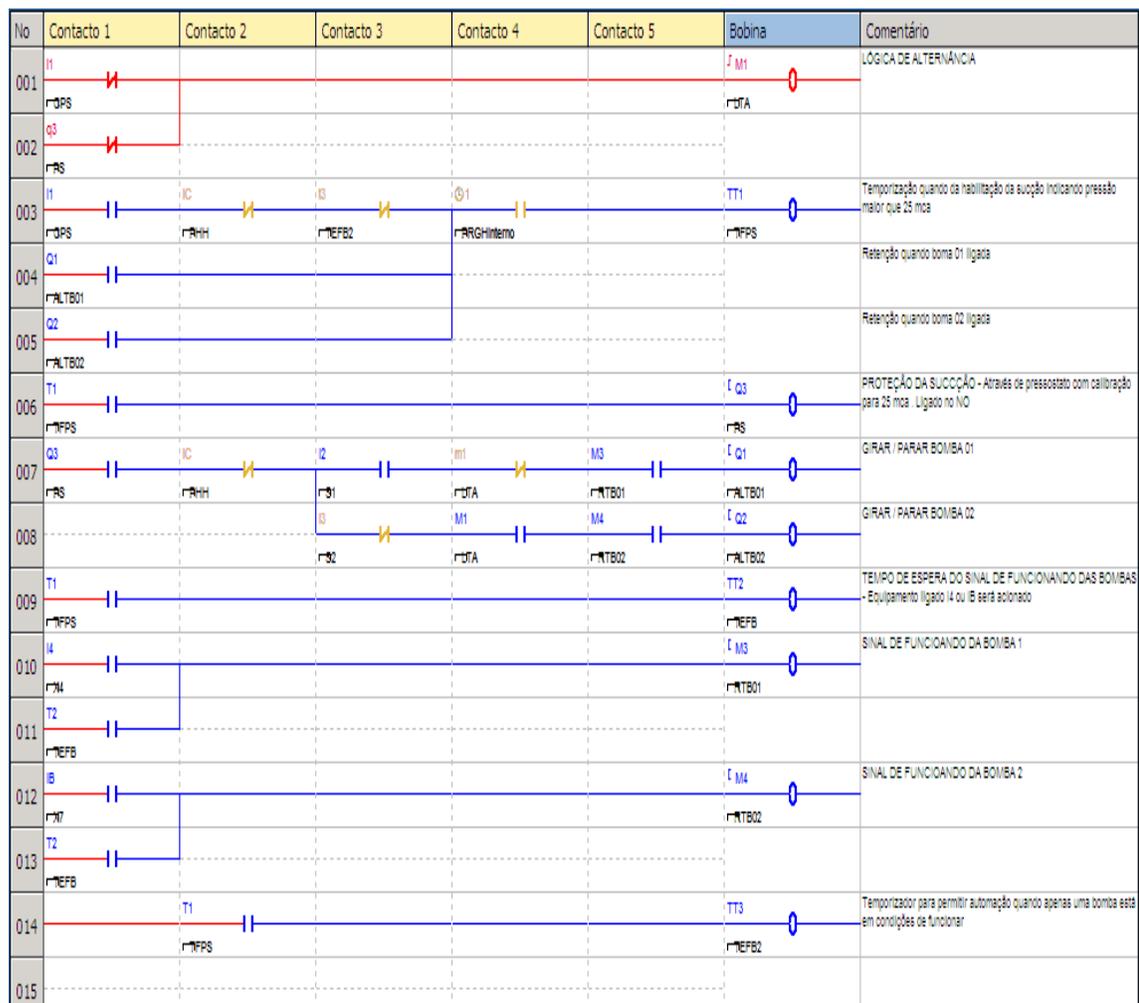


Figura 25 – Diagrama final do ladder no microPLC

Circuito de Comando dos CCM(s) – Parte I

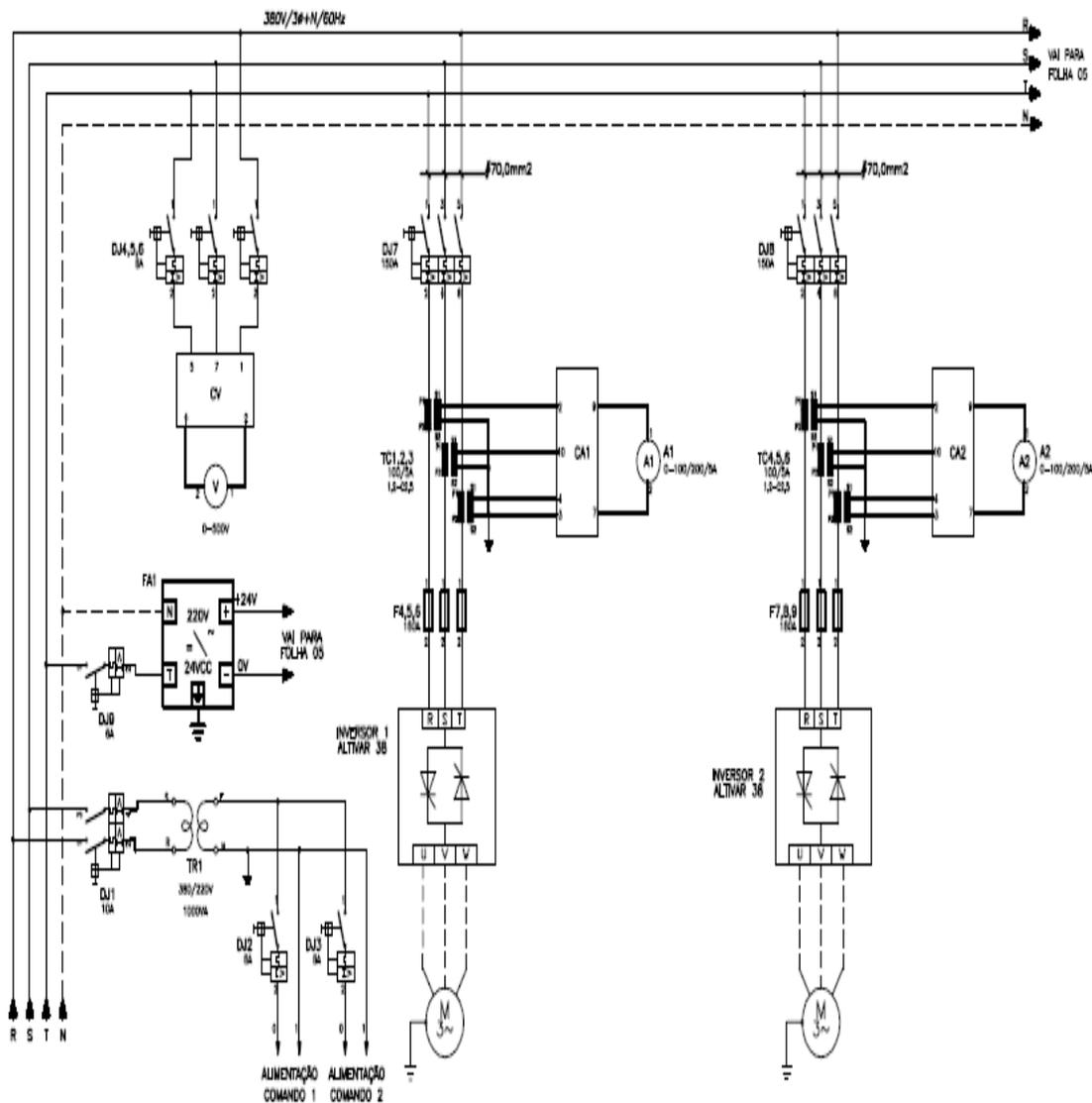


Figura 26 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, primeira parte.

Circuito de Comando dos CCM(s) – Parte II

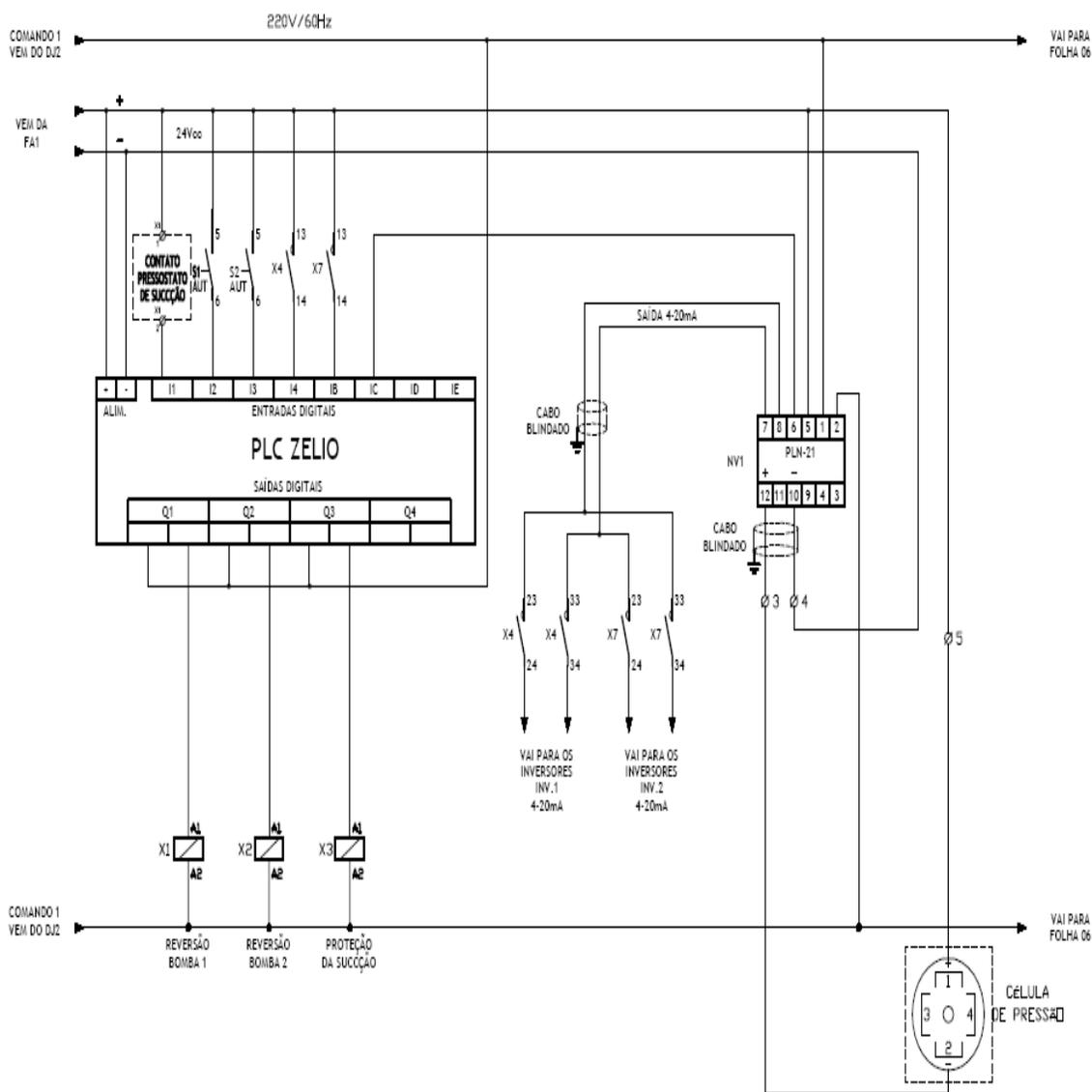


Figura 27 – CCM para as elevatórias EEAT5 e EEAT6, segunda parte.

