



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA
DE PETRÓLEO



Sistema Supervisório para Poços de Petróleo Baseados no Método de Elevação Artificial *Plunger Lift*

Lennedy Campos Soares

Orientador: Prof. Dr. Adelardo Adelino Dantas de Medeiros

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo da UFRN (área de concentração: Automação) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo.

Natal, RN, março de 2010

Seção de Informação e Referência

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Soares, Lennedy Campos.

Sistema supervisorio para poços de petróleo baseados no método de elevação artificial Plunger Lift. - Natal, RN, 2011.

52f. ; il.

Orientador: Adelardo Adelino Dantas de Medeiros

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo.

1. Métodos de elevação - Dissertação. 2. Sistemas supervisórios - Dissertação. 3. *Plunger Lift* - Dissertação. 4. Redes de Petri - Dissertação. I. Medeiros, Adelardo Adelino Dantas de. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 622.276.5: 681.5

Sistema Supervisório para Poços de Petróleo Baseados no Método de Elevação Artificial *Plunger Lift*

Lennedy Campos Soares

Dissertação de Mestrado aprovada em 22 de março de 2010 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Adelardo Adelino Dantas de Medeiros (orientador) DCA/UFRN

Prof. Dr. André Laurindo Maitelli DCA/UFRN

Eng. Dr. Benno Waldemar Assmann Petrobras

Prof. Dr. Luiz Affonso Henderson Guedes de Oliveira DCA/UFRN

*Aos meus pais que me forneceram
todo o apóio por toda a minha vida e
principalmente no curso deste
trabalho.*

Agradecimentos

Ao meu orientador e amigo, professor Adelardo pelos inestimáveis conhecimentos transmitidos ao longo deste trabalho.

Ao professor Maitelli pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do LAUT pelas momentos de descontração e incentivo sem os quais, a conclusão deste trabalho, seria mais difícil. Em especial para Alan, Cristiano, Evelyne e Filipe pela amizade, sugestões e auxílio.

Aos demais colegas de pós-graduação, pelas críticas e sugestões.

À minha família pelo apoio durante esta jornada.

À Petrobras, pelo apoio financeiro.

Resumo

Os vários métodos de elevação artificial de petróleo e os diferentes equipamentos de automação existentes muitas vezes levam a que os sistemas supervisórios sejam dedicados a um único método e/ou a um único fabricante de equipamentos. Para contornar este problema, foi desenvolvido o sistema SISAL, capaz de supervisionar poços com diferentes métodos de elevação e equipamentos de automação. Atualmente, o SISAL está em operação em diversos poços em vários estados do Brasil, supervisionando poços de bombeio mecânico. O objetivo deste trabalho é desenvolver um módulo de supervisão para o método de elevação artificial *plunger lift*, com as mesmas características de poder trabalhar com *hardwares* de automação de diferentes fabricantes. O módulo desenvolvido será integrado ao SISAL, de forma a incorporar ao sistema a capacidade de supervisionar este novo método de elevação.

Palavras-chave: Métodos de Elevação, Sistemas Supervisórios, *Plunger Lift*, redes de Petri.

Abstract

The several existing methods for oil artificial lifting and the variety of automation equipment for these methods many times lead the supervisory systems to be dedicated to a unique method and/or to a unique manufacturer. To avoid this problem, it has been developed the supervisory system named SISAL, conceived to supervise wells with different lifting methods and different automation equipments. The SISAL system is working in several Brazilian states but, nowadays, it is only supervising rod pump-based wells. The objective of this work is the development of a supervision module to the plunger lift artificial lift method. The module will have the same characteristics of working with automation hardware of many manufacturers. The module will be integrated to the SISAL system, incorporating the capacity to supervise the plunger lift artificial lift method.

Keywords: Supervisory Systems, SCADA, Artificial Lift , Plunger Lift, Petri net.

Sumário

Sumário	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Símbolos e Abreviaturas	v
1 Introdução	1
1.1 Organização do texto	3
2 Método de Elevação <i>Plunger Lift</i>	4
2.1 Outros Métodos de Elevação Artificial	5
2.1.1 Bombeio Mecânico	5
2.1.2 Bombeio por Cavidades Progressivas	5
2.1.3 Bombeio Centrífugo Submerso	7
2.1.4 <i>Gas-Lift</i>	7
2.2 <i>Plunger Lift</i>	10
2.2.1 Classificação de Acordo com o Tipo de Instalação	10
2.2.2 Fases de Operação	12
2.2.3 Acompanhamento do Poço	13
3 Sistemas Supervisórios	15
3.1 Características dos Sistemas Supervisórios	15
3.1.1 Componentes de um Sistema de Supervisão	15
3.1.2 Arquitetura de <i>Hardware</i>	16
3.2 Sistema Supervisório SISAL	19
3.3 Estado da Arte	19
4 Desenvolvimento e Resultados	23
4.1 Servidor	23
4.2 Cliente	23
4.2.1 Tela de Supervisão	24

4.2.2	Histórico	26
4.2.3	Tela de Ciclos	26
4.2.4	Configuração do Poço	27
4.2.5	Comandos Avançados	27
4.2.6	Cadastro de Poços	30
4.2.7	Comunicação do Cliente-Servidor	30
4.3	Mestre de Banco	32
4.3.1	Compressão de Dados	32
4.4	Mestre de Campo	33
4.4.1	Comunicação com o Servidor	34
4.4.2	Estudo do Controlador	34
4.4.3	Estudo da Comunicação	34
4.4.4	Reestruturação do Mestre	40
4.4.5	Modelagem em Rede de Petri	44
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	50
	Referências bibliográficas	52

Lista de Figuras

2.1	Equipamento para Elevação Bombeio Mecânico [Thomas 2001]	6
2.2	Equipamento para Elevação por Bombeio Mecânico [Thomas 2001]	7
2.3	Equipamento para Elevação Bombeio Centrífugo Submerso [Thomas 2001]	8
2.4	Equipamento Básico para <i>Gas-Lift</i> [Thomas 2001]	9
2.5	Equipamento Básico para o Método de Elevação Artificial <i>Plunger Lift</i> . .	11
3.1	Arquitetura de <i>Hardware</i>	17
3.2	Arquitetura do SISAL	20
4.1	Posição do Servidor na Arquitetura	24
4.2	Tela de Supervisão Sem Dreno	25
4.3	Tela de Supervisão Com Dreno	25
4.4	Tela de Dados Históricos	26
4.5	Tela de Históricos de Ciclos	27
4.6	Tela de Configuração do Poço 1	28
4.7	Tela de Configuração do Poço 2	28
4.8	Tela de Configuração do Poço 3	29
4.9	Tela de Configuração do Poço 4	29
4.10	Tela de Comandos Avançados	30
4.11	Tela de Cadastro de um Poço com o Método de Elevação <i>Plunger Lift</i> . .	31
4.12	Janelas de Comunicação de Aquisição de Dados	37
4.13	Rotina para determinar o mínimo tempo para a aquisição de dados históricos	38
4.14	Rotina para modificar taxa de aquisição entre dados histórico e dados atuais	39
4.15	Algoritmo para realizar a aquisição dos dados	40
4.16	Módulos do mestre de campo <i>plunger lift</i>	41
4.17	<i>Buffer</i> do Mestre de Campo para diversos controladores e métodos de elevação	42
4.18	<i>Buffer</i> do Mestre de campo antes da reestruturação	43
4.19	Estrutura Existente para cada Controlador	44
4.20	Rede de Petri para determinar qual o tipo de dado deve ser lido	45

4.21	Rede de Petri para thread que adquire dados do sistema	47
4.22	Thread que envia os dados ao mestre de banco	49

Lista de Símbolos e Abreviaturas

JN	Janela de tempo disponível para um dia
P_i	Tempo para obter os dados do poço i (segundos)
TT	Tempo total comunicação para obter os dados de todos os poços
TT_h	Tempo total para aquisição dos dados históricos
T_a	Tempo de aquisição dos dados Atuais e de Ciclo (segundos)
T_h	Tempo de aquisição dos dados de histórico (segundos)
T_x	Taxa de produção de dados (dados/segundo)
T_{min}	Tempo mínimo de aquisição de dados históricos
nH_i	Número de dados históricos para o poço i
$totalHist$	Número total de dados históricos
PCab	Pressão existente na cabeça do poço
PLS	Pressão existente na linha que escoo o petróleo até os tanques de separação
PRev	Pressão existente entre a coluna de produção e o revestimento do poço
TAF	Tempo de <i>After Flow</i> : Tempo logo após a chegada do pistão enquanto é retirado o excesso de gás do poço
TF	Tempo Fechado: tempo em que a válvula do poço está fechada acumulando energia através do aumento de pressão
TVP	Tempo de Viagem do Pistão: Tempo enquanto a válvula do poço está aberta e é esperada a chegada do pistão

Capítulo 1

Introdução

Devido à constante necessidade de aumentar produção e diminuir os custos nos mais diversos meios de produção, a automação mostrou-se uma ótima alternativa para substituição de métodos manuais de controle e gerenciamento. Desta forma, a utilização de equipamentos capazes de armazenar e executar técnicas de controle de forma automática vem sendo feita para tornar mais eficiente a produção. No entanto, quando tais equipamentos se encontram muito dispersos em uma região, em locais de difícil acesso ou em grande número, a inspeção de cada equipamento para análise de seu funcionamento ou do processo torna-se difícil ou até mesmo impraticável. Para solucionar tal problema, os sistemas supervisórios surgiram com a incumbência de adquirir os dados dos equipamentos dispersos em uma região, centralizá-los e então expor aos operadores do processo.

A automação está presente em diversos campos da produção humana, sendo um destes campos a indústria de exploração do petróleo. Uma das aplicações da automação na indústria do petróleo é a de controlar a extração de petróleo dos poços de forma a garantir a maior produção possível com o menor custo. Devido ao grande número de poços dispersos em uma vasta região, o uso de um sistema supervisório, adquirindo informações do sistema automatizado que controla os poços, torna-se essencial para o funcionamento e aperfeiçoamento da extração do petróleo.

Existem várias diferenças entre as reservas de petróleo existentes, tais como: profundidade, diferentes composições de hidrocarbonetos e pressão no reservatório. Estas diferenças fazem da extração de hidrocarbonetos dos reservatórios uma atividade onde podem ser aplicados diferentes métodos. Estes diferentes métodos para extrair os hidrocarbonetos dos reservatórios são chamados de métodos de elevação. Uma característica essencial para determinar qual o método de elevação será instalado no poço é determinar a pressão existente no reservatório, pois será possível determinar se um poço pode produzir os seus hidrocarbonetos ou se será necessário o uso de algum método auxiliar na retirada dos hidrocarbonetos. Um método de elevação que auxilia a elevar o petróleo existente no

poço é chamado de método de elevação artificial.

Existem diversos métodos de elevação artificial, tais como: bombeio mecânico, bombeio centrífugo submerso, bombeio por cavidades progressivas, *gas-lift* contínuo, *gas-lift* intermitente e *plunger lift*. Cada método é indicado para um poço que possui características que permitam ao método elevar o petróleo com uma maior eficiência.

O método de elevação bombeio mecânico, por exemplo, utiliza um sistema que transforma um movimento de rotação de um motor, presente na superfície, em um movimento alternado. Este movimento é transferido para uma bomba de subsuperfície encarregada de elevar o líquido para a superfície. O equipamento utilizado no bombeio mecânico pode ser visto na figura 2.1 na página 6 .

O princípio de funcionamento do método de elevação *plunger lift* difere do método de elevação bombeio mecânico, pois o método *plunger lift* utiliza o gás expelido do reservatório para o poço para impelir um pistão em direção à superfície, carregando junto consigo o líquido que estiver presente acima do pistão, provocando produções intermitentes de líquido na superfície.

O controle da subida do pistão é feito abrindo ou fechando uma válvula presente no fim do poço e no começo do duto que leva o petróleo para receber os primeiros tratamentos.

Como cada método de elevação artificial possui um princípio de funcionamento diferente, isto obriga a que a automação presente em um determinado poço seja diferente da automação de um poço com outro método de elevação. Por exemplo, as principais variáveis para análise do comportamento do método bombeio mecânico são a produção e o gráfico da carga elevada em relação à posição da haste que provoca o movimento alternado (carta dinamométrica), enquanto no método *plunger lift* as principais variáveis analisadas são as pressões existentes no poço, a velocidade do pistão e a produção. Com variáveis analisadas tão diferentes, os sistemas automatizados de cada método são diferentes.

Com uma diferente automação para cada método de elevação e diferentes variáveis para serem adquiridas e exibidas, uma solução comum seria utilizar um sistema supervisor para cada método de elevação, o que aumentaria a complexidade da análise de dados de um mesmo campo de produção de petróleo. Para solucionar este problema, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em parceria com a Petrobras, desenvolveu um supervisor com capacidade de supervisionar diferentes métodos de elevação chamado SISAL [de Souza et al. 2006].

O software SISAL é constituído por vários módulos diferentes, onde cada módulo é responsável por realizar uma determinada tarefa dentro da arquitetura projetada. Os módulos são: cliente, servidor, mestre de campo e mestre de banco. O cliente é responsável

por apresentar os dados ao usuário; o servidor é encarregado de interligar os mestres e o cliente; o mestre de banco é encarregado de comunicar-se com o banco de dados que armazena os dados do supervisório; o mestre de campo é responsável por adquirir os dados dos poços.

Apesar do supervisório SISAL ter sido concebido para supervisionar diversos métodos de elevação, este foi destinado, inicialmente, para supervisionar somente poços de bombeio mecânico. Com o desenvolvimento do supervisório concentrado em poços que utilizam o método de elevação bombeio mecânico, o supervisório SISAL ainda não atingiu completamente as expectativas iniciais de ser um *software* com a capacidade de supervisionar vários métodos de elevação. Este trabalho pretende preencher parcialmente esta lacuna, acoplando ao SISAL a capacidade de supervisionar poços com o método de elevação *plunger lift*.

1.1 Organização do texto

O segundo capítulo deste trabalho apresenta alguns métodos de elevação, dando maior ênfase ao método de elevação *Plunger Lift*. O capítulo 3 apresenta as principais características dos sistemas supervisórios, como também o *software* utilizado para este trabalho, detalhando sua arquitetura e características. O quarto capítulo apresenta os resultados deste trabalho.

Capítulo 2

Método de Elevação *Plunger Lift*

A indústria do petróleo é responsável por explorar, produzir e refinar o petróleo. A exploração consiste em determinar onde as reservas de petróleo estão depositadas através de métodos sísmicos, gravimétricos, geológicos, etc. Depois de determinada uma reserva de petróleo, se inicia a produção, que consiste em extrair o petróleo, encontrado no reservatório, para a superfície. Quando o petróleo encontra-se na superfície, este é refinado para obter os seus derivados.

Das três áreas apresentadas, o trabalho terá um foco na produção. Existem duas formas básicas de extração de petróleo: quando o mesmo encontra-se com pressão suficiente no reservatório para elevar-se sozinho à superfície (poço surgente) e quando a pressão não é suficiente para gerar uma produção aceitável e se faz necessário utilizar algum método de elevação artificial, para prover energia necessária à elevação.

- Elevação Natural (Poço Surgente): Neste caso, o único equipamento necessário na cabeça de poço é um conjunto de válvulas encarregadas de cessar ou diminuir o fluxo dos fluidos. Tal conjunto de válvulas é chamando de árvore de natal.
- Elevação Artificial: Neste caso é necessário utilizar técnicas que permitam extrair o petróleo que não consegue chegar à superfície. Estas técnicas são chamadas de Métodos de Elevação Artificial de Petróleo. Atualmente, as principais técnicas utilizadas são: *Gas-Lift*, Bombeio Centrifugo Submerso (BCS), Bombeio Mecânico (BM) e Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP) [Thomas 2001]. Além destes métodos, também é importante citar um método de elevação que trabalha com um princípio semelhante ao *gas-lift*, chamado de *Plunger Lift*, ao qual este trabalho se refere.

2.1 Outros Métodos de Elevação Artificial

Na presente seção é apresentado um resumo sobre o funcionamento dos principais métodos de elevação utilizados pela indústria do petróleo.

A escolha de um método de elevação em detrimento de outro é feita levando em consideração fatores como o número de poços, a produção de areia, profundidade do reservatório, disponibilidade de energia, viscosidade do fluido, presença de gás, equipamento disponível, treinamento de pessoal e custo operacional.

2.1.1 Bombeio Mecânico

O método de elevação bombeio mecânico é o mais utilizado no mundo. Seus principais elementos são bomba de subsuperfície, coluna de hastes, unidade de bombeio e motor, como pode ser visto na figura 2.1. O princípio do bombeio mecânico é transformar o movimento rotativo, fornecido por um motor, em um movimento alternado. Esse movimento alternado é transmitido pela coluna de hastes até a bomba de subsuperfície. Na bomba de subsuperfície, o movimento alternado é transformado em diferencial de pressão, o que provoca a elevação do fluido.

Este método tem a característica de funcionar bem para vazões médias e poços não profundos. No entanto, para poços muito profundos, este método não pode produzir a uma grande vazão. Este método também não se adapta bem em poços onde existe a produção de areia, já que areia danifica a bomba de subsuperfície. Poços que possuem uma alta razão gás-óleo também não são indicados a produzir através deste método, devido ao fato do gás diminuir a eficiência da bomba.

O acompanhamento de um poço em produção através do método de elevação bombeio mecânico é realizado através de testes de produção e cartas dinamométricas. Cartas dinamométricas consistem de gráficos da carga elevada pela coluna de hastes em relação à posição da coluna.

2.1.2 Bombeio por Cavidades Progressivas

O método de elevação bombeio por cavidades progressivas faz a transferência de energia através de uma bomba de cavidades progressivas. É uma bomba de deslocamento positivo que trabalha dentro do poço de petróleo, constituída por rotor e estator. A geometria do conjunto é tal que forma uma série de cavidades herméticas idênticas. O rotor, ao girar no sentido da sucção para a descarga, realiza a ação de bombeio [Thomas 2001, Assmann 2008].

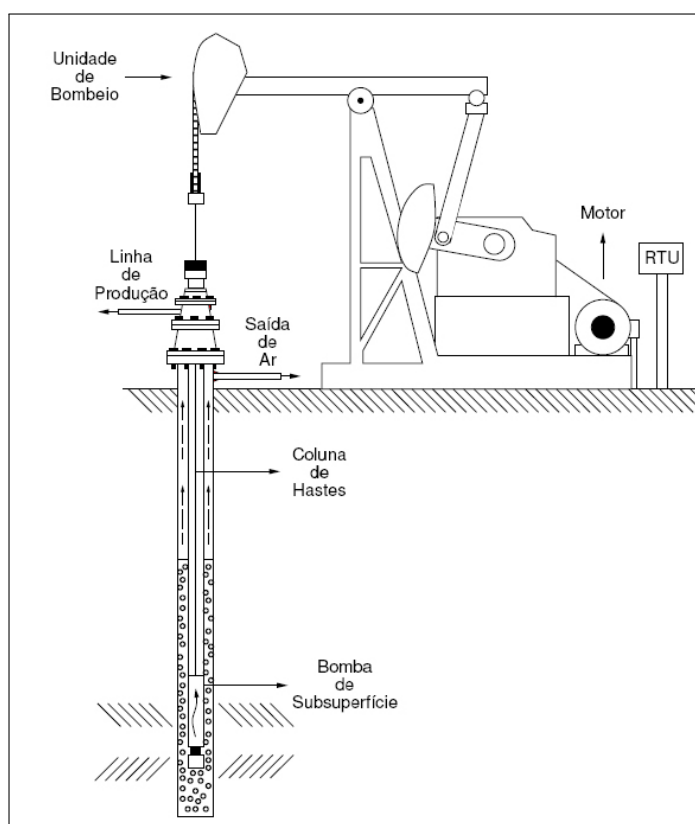


Figura 2.1: Equipamento para Elevação Bombeio Mecânico [Thomas 2001]

Os componentes básicos do método de elevação BCP são: um motor, normalmente de superfície; uma transmissão composta por polias e uma caixa de redução; uma coluna de hastes que transmite o movimento de rotação; uma bomba de subsuperfície.

O método de elevação BCP é utilizado para poços com fluidos de alta e de baixa viscosidade, óleos parafínicos e fluidos com areia. No entanto, este método não é aconselhado para poços muito profundos devido à limitação do diferencial de pressão sobre a bomba e de como a energia é transmitida à bomba.

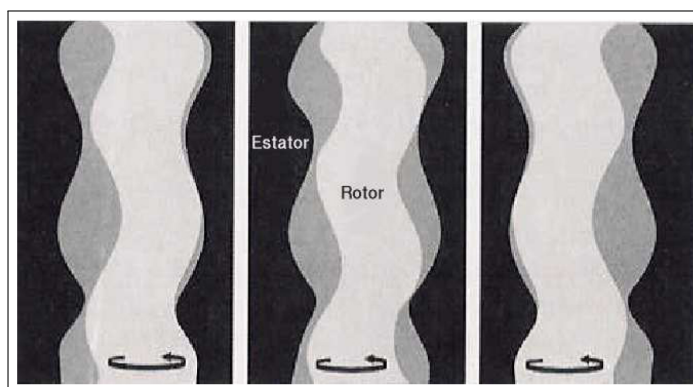


Figura 2.2: Equipamento para Elevação por Bombeio Mecânico [Thomas 2001]

2.1.3 Bombeio Centrífugo Submerso

O princípio básico do Bombeio Centrífugo Submerso é gerar um diferencial de pressão que permita ao poço produzir ou aumentar a sua produção. Para gerar este diferencial de pressão, o método BCS possui um motor localizado no fundo do poço que transforma a energia elétrica em um movimento de rotação. Este movimento é transferido para uma bomba centrífuga que gera o diferencial de pressão. Os principais elementos que formam o conjunto BCS são a bomba, a admissão da bomba, o motor elétrico, o protetor e o cabo elétrico. Este método se adapta bem a poços que possuem uma alta vazão sob influência do influxo de água e com baixa razão gás-líquido.

2.1.4 *Gas-Lift*

O princípio do método de elevação *Gas-Lift* é utilizar o gás para elevar o líquido para a superfície. É possível elevar o fluido através do método *gas-lift* de duas formas diferentes. A primeira utiliza o princípio da gaseificação do fluido e é chamado de *Gas-Lift* Contínuo. Esta funciona, como o próprio nome sugere, pela injeção contínua de gás a alta pressão na

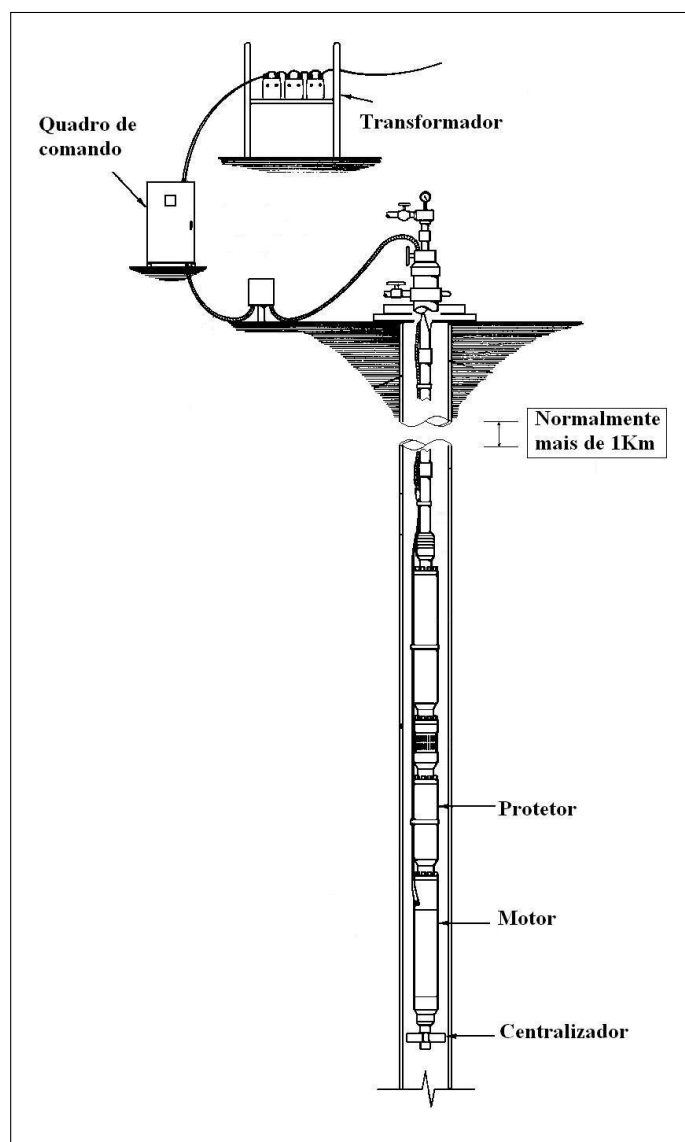


Figura 2.3: Equipamento para Elevação Bombeio Centrífugo Submerso [Thomas 2001]

coluna de produção. O gás na coluna faz o fluido ficar com uma densidade menor, o que diminui a pressão no fundo do poço com o conseqüente aumento do fluxo. Além disso, como o gás possui uma densidade menor que a do líquido, este se eleva e o movimento de subida do gás acaba elevando também o líquido. A segunda forma de elevar o fluido é chamada de *Gas-Lift* Intermitente e funciona com a injeção de gás na coluna de produção de forma intermitente. O gás injetado se expande ao subir para a superfície, carregando junto parte do fluido que estiver acima do ponto onde o gás foi injetado e produzindo na superfície uma saída intermitente de fluido (golfada).

Os principais equipamentos para permitir a elevação por *gas-lift* podem ser vistos na figura 2.4: fontes de gás de alta pressão (compressores); controlador de injeção de gás na superfície (*choke* ou *motor valve*); controlador de injeção de gás de subsuperfície (válvulas de *gas-lift*); equipamentos para separação e armazenamento dos fluidos produzidos (separadores, tanques, etc.).

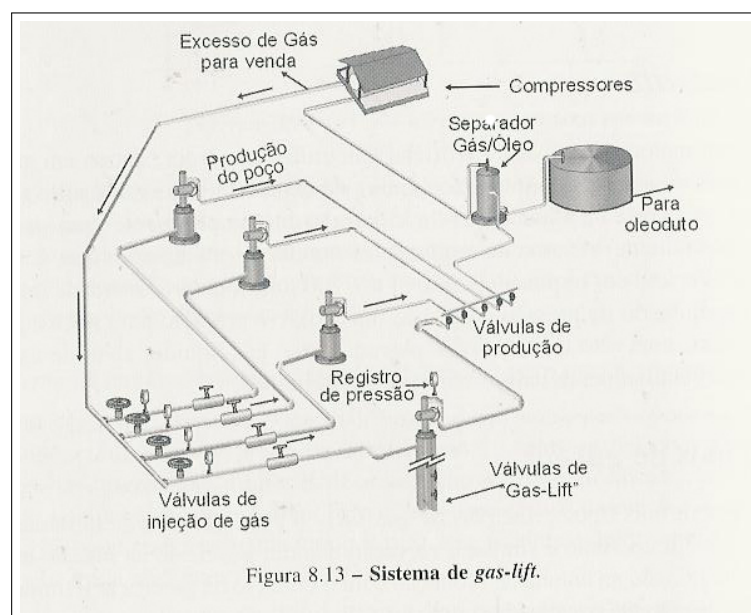


Figura 8.13 – Sistema de *gas-lift*.

Figura 2.4: Equipamento Básico para *Gas-Lift* [Thomas 2001]

O método de elevação por *gas-lift* tem aplicações em poços com várias profundidades (até 2.600 metros, dependendo da pressão do gás) e vazões (1 a 1.600 m³); também é aconselhável utilizar este método em poços com alto teor de areia e/ou elevada razão gás líquido. Outra característica deste método é que o mesmo possui custos de operação relativamente baixos [Thomas 2001].

2.2 *Plunger Lift*

O método de elevação *plunger lift* possui um princípio de funcionamento semelhante ao método de elevação *gas-lift*. Ambos os métodos de elevação utilizam o gás para elevar os fluidos presentes no poço para a superfície. A diferença fundamental entre o método de elevação *plunger lift* para o método *gas-lift* intermitente é que o método *plunger lift* possui um pistão que separa o gás injetado do líquido que será elevado.

O pistão possui função primária de fazer com que todo o líquido que se encontra acima do pistão alcance a superfície, impedindo, desta forma, que o líquido retorne ao fundo do poço (*fallback*). Em poços que possuem deposição de parafina, incrustações ou hidratos, o pistão exerce uma função tão ou mais importante do que elevar o líquido que é evitar o acúmulo destes depósitos [Baruzzi 1994].

O método de elevação *plunger lift* é indicado para poços que possuem uma alta razão gás líquido, na remoção do líquido acumulado no fundo de poços de gás, no controle de parafina e em poços de *gas-lift* intermitente que possuam problema de *fallback* [Morrow et al. 2006].

2.2.1 Classificação de Acordo com o Tipo de Instalação

Os equipamentos básicos de um método *plunger lift* podem ser vistos na figura 2.5. Nesta figura é possível observar o motor e a válvula que fecham e abrem o fluxo de fluidos do poço permitindo que o funcionamento do método. Na parte superior da figura está o lubrificador responsável por absorver o impacto de subida do pistão. Ainda na parte superior está a válvula mestre responsável por fechar o poço manualmente. Na parte de baixo da figura está a mola amortecedora e o batente responsáveis por absorver o impactor da queda do pistão. Logo acima da mola amortecedora está o *plunger* também chamado de pistão. Por fim o líquido que vai ser elevado está representado acima do pistão com o nome de golfada.

O método de elevação *plunger lift* pode ser classificado em três tipos diferentes quanto ao tipo de instalação: *plunger lift* com gás intermitente; *Plunger lift* com um isolador entre o anular do poço e a região produtora (*packer*); *Plunger lift* sem *packer*.

***Plunger Lift* com gás intermitente:** É normalmente utilizado para aumentar a produtividade em poços que utilizam *gas-lift* intermitente através da contenção do *fallback*. É utilizado em poços profundos que possuem baixa pressão estática. Os equipamentos utilizados assemelham-se aos do *gas-lift*. O conjunto de subsuperfície deve ser assentado logo acima da válvula injetora de gás.

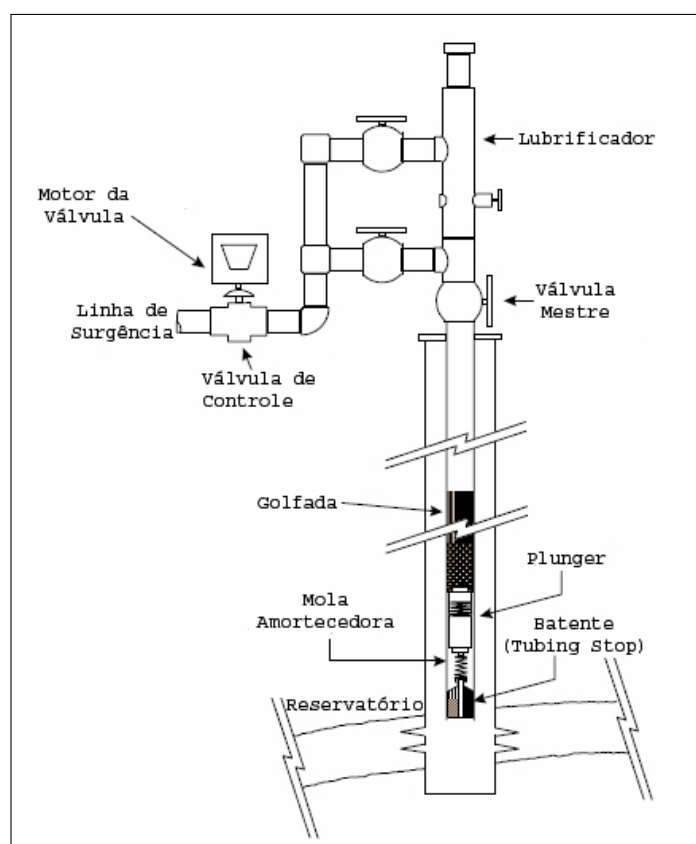


Figura 2.5: Equipamento Básico para o Método de Elevação Artificial *Plunger Lift*

Plunger Lift com packer: É utilizado normalmente em poços produtores de gás que necessitam remover líquido do fundo do poço. É o menos utilizado. Possui um isolador que impede a comunicação entre o anular do poço e a formação impedindo, desta forma, a injeção de gás no fundo do poço.

Plunger Lift sem packer: É a instalação mais comum em poços produtores de líquido. É utilizada para poços produtores de líquido que possuem alta razão gás líquido.

As instalações de *plunger lift* sem *packer* podem ser divididas em mais 3 tipos de instalações com relação à quantidade de gás existente na formação. Os três tipos de instalação de *plunger lift* sem *packer* são descritas abaixo:

Autônomo: Utiliza somente o gás da formação para operar.

Assistido: Uma porção adicional de gás deve ser adicionada no poço para elevar o líquido. Esta porção adicional de gás é injetada através do espaço entre a coluna de produção e o envoltório do poço chamado anular.

Dreno: É utilizado um dreno para remover o excesso de gás existente na formação. Também é utilizado o espaço anular do poço para remover o excesso de gás existente na formação

2.2.2 Fases de Operação

A operação de um poço que utiliza o método de elevação *plunger lift* pode ser dividida em quatro fases: *after-flow*, *buildup*, viagem do pistão e produção.

After-Flow: Esta fase corresponde ao tempo em que a válvula de controle fica aberta permitindo o fluxo do excesso de gás existente no poço, e ao mesmo tempo empurrando a golfada de líquido que se encontra na linha de produção para os tanques de separação. Esta fase ocorre sempre após a produção de uma golfada de líquido.

Buildup: Após o *after-flow* ocorre a fase de *buildup*, quando a válvula de controle é fechada e o gás existente no sistema começa a acumular-se, aumentando a pressão na cabeça do poço. Durante este período, o pistão que se encontrava na superfície deve percorrer o seu trajeto até o fundo do poço.

Viagem do Pistão: Após o período de acumulação de energia com o aumento da pressão dentro do poço, a válvula de controle é aberta, o que finalizará a fase de *buildup* e iniciará a fase de viagem do pistão. Nesta fase, o gás aprisionado no poço impulsiona o pistão para cima e conseqüentemente também impulsiona o líquido, no fundo do poço, em direção a superfície.

Produção: O fim da fase de viagem do pistão ocorre quando o líquido em deslocamento alcança a superfície e começa a ser transferido da coluna de produção para a linha de produção. Ao finalizar a fase de produção ocorrerá novamente a fase de *after-flow* reiniciando o ciclo.

2.2.3 Acompanhamento do Poço

Para acompanhar o funcionamento de um método de elevação é necessário determinar quais variáveis devem ser monitoradas como forma de determinar o comportamento do poço ou do reservatório que o alimenta.

O método de elevação *plunger lift* utiliza dois tipos de informações para analisar o seu funcionamento: a pressão e a velocidade de viagem do pistão.

Em princípio quanto maior a velocidade do pistão, mais rápido o mesmo chega a superfície, o que conseqüentemente implica em um maior número de ciclos, em um mesmo intervalo de tempo, com um conseqüente aumento da produção. Também com uma velocidade maior do pistão, uma menor quantidade de gás passa pelo espaço entre o pistão e a parede do tubo de produção para o líquido, o que aumenta a eficiência do método. No entanto, uma velocidade muito grande pode causar danos mecânicos aos equipamentos de superfície e pode aumentar o *fallback*, o que acarretaria uma perda de produção.

Além da velocidade do pistão, também é necessário monitorar algumas pressões existentes, tais como: pressão na cabeça do poço (PCab), pressão no revestimento (PRev) e pressão na linha de surgência (PLS).

PCab A pressão na cabeça do poço corresponde à pressão medida na região da árvore de natal

PRev A pressão de revestimento é a pressão medida no revestimento do poço que corresponde à pressão do fundo do poço. Este ocorre devido ao fato de não haver um *packer* que isole o revestimento do fundo do poço.

PLS A pressão na linha de surgência corresponde a pressão medida na linha que leva o fluido produzido para os vasos de separação.

O acompanhamento destas pressões em relação ao tempo informa se o poço está produzindo de forma eficiente. A pressão na cabeça é a pressão correspondente à parte acima do pistão, enquanto a pressão de revestimento informa a pressão abaixo do pistão. Quanto maior esta diferença de pressão maior será a energia transmitida ao pistão, o que elevará a velocidade do mesmo, gerando tempos menores para a subida do pistão, com o conseqüente aumento da produção. Portanto, ao observar as pressões durante o período de

buidup, é de se esperar que a diferença de pressão entre PCab e PRev aumente gradual e continuamente, devido ao acúmulo de líquido no fundo do poço. No entanto, se a diferença entre as duas pressões diminuir isto pode significar que o poço está trabalhando com excesso de gás no sistema, ou mesmo se a pressão aumenta rapidamente pode ser devido ao fato do poço está trabalhando com pouco gás.

O uso de uma pressão maior do que a necessária impõe uma pressão maior no fundo do poço, diminuindo a produção do poço. Além disso, com uso de uma pressão PRev muito elevada, a tendência é que a diferença entre PRev e PCab diminua o que também diminui a eficiência do método.

Uma quantidade menor de gás do que a necessária faz com que a diferença de pressão, que eleva o pistão à superfície, não possua energia suficiente para elevar todo o líquido. Desta forma, uma quantidade sempre crescente de líquido vai se acumulando no fundo do poço, o que cedo ou tarde leva o método de elevação *plunger lift* a não possuir energia suficiente para elevar o líquido existente no poço (amortecimento).

Capítulo 3

Sistemas Supervisórios

O crescimento da automação dos mais diversos sistemas exigiu que os equipamentos utilizados na automação de poços fossem supervisionados para encontrar algum dispositivo com falha ou para aperfeiçoar o funcionamento do processo. Os sistemas supervisórios surgiram para suprir esta carência da indústria, sendo encarregados de adquirir as variáveis do processo, exibi-las e controlar os dispositivos de automação para interferirem nos processos.

3.1 Características dos Sistemas Supervisórios

Um sistema supervisório tem como funções básicas adquirir dados, exibir os dados adquiridos e permitir a intervenção do usuário no sistema supervisionado [de Souza 2005]. Estas características básicas impõem que o sistema supervisório esteja conectado aos dispositivos de automação, para obtenção dos dados e envio de comandos. Além disso, o supervisório deve possuir uma interface para apresentação intuitiva dos dados aos usuários do sistema.

Os sistemas supervisórios são formados por elementos de *hardware* e *software*. O primeiro é responsável por adquirir as variáveis do sistema supervisionado e enviá-las para o segundo. O *software* é responsável por receber e armazenar os dados supervisionados, realizar algum tratamento nos dados e apresentar estes ao usuário. Abaixo serão apresentadas as características gerais do *hardware* de um sistema supervisório e em seguida serão apresentadas as características do *software* de supervisão utilizado neste trabalho.

3.1.1 Componentes de um Sistema de Supervisão

Os componentes físicos de um sistema de supervisão podem ser descritos, de forma simplificada, em sensores e atuadores, estações remotas (UTRs) ou controladores lógicos

programáveis (CLPs), rede de comunicação e sistema de monitoração central (sistema computacional SCADA).

Os sensores e atuadores são componentes presentes no chão de fábrica, responsáveis por fazer a leitura das variáveis monitoradas ou atuar no processo supervisionado, tais como: sensores de pressão, sensores de temperatura e válvulas. As estações remotas são responsáveis por executar algoritmos de controle para automatização dos processos observados, armazenar os dados monitorados que no futuro estarão disponíveis aos operadores e realizar algum tratamento dos dados obtidos dos sensores. As redes de comunicação são formadas para permitir que uma estação central obtenha os dados armazenados nos diversos CLPs utilizados para monitorar os processos. As tecnologias utilizadas para realizar este intento são as mais diversas possíveis, por exemplo: redes sem fio, redes Ethernet e fibras ópticas. Por fim a monitoração central é formada por um ou mais computadores que possuem a responsabilidade de adquirir os dados desejados dos CLPs.

3.1.2 Arquitetura de *Hardware*

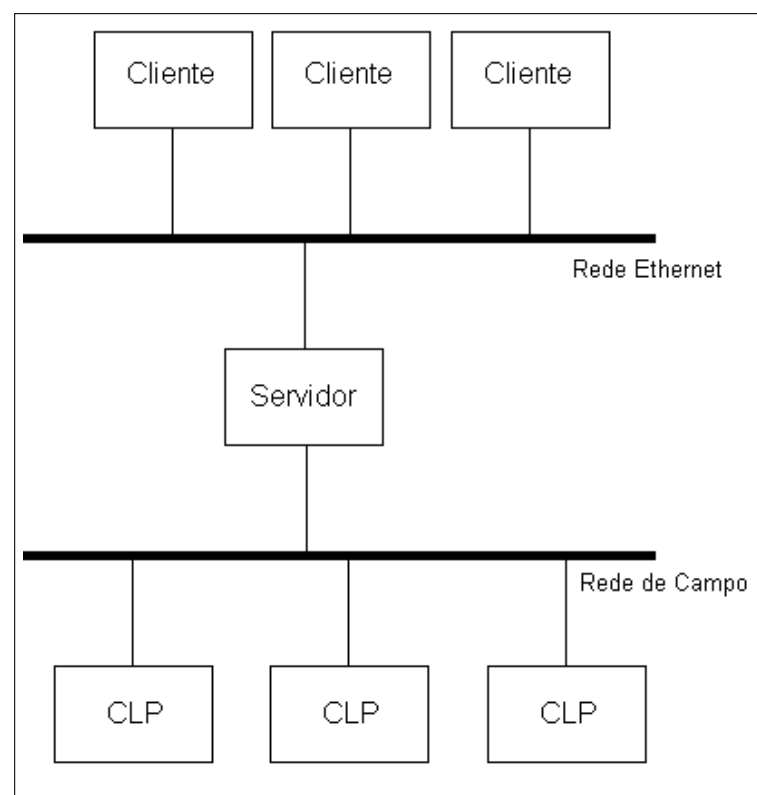
A arquitetura de *Hardware* de um Sistema Supervisório pode ser dividida em 3 camadas [Qingquan & Sitao 2000]: a primeira é a camada dos CLPs, encarregada de adquirir dados dos sensores; a segunda é a camada do cliente; e a última é a camada de dados. Na camada de dados são encontrados os dispositivos que realizam a comunicação entre os controladores de processos (CLPs) e a camada do cliente, que utilizam redes para a comunicação. Na camada do cliente estão os dispositivos encarregados de realizar a interação com os usuários do sistema e estes dispositivos normalmente são interligados por redes ethernet [Daneels & W.Salter 1999].

Hardware Utilizado para Este Trabalho

O hardware utilizado na aquisição de dados possui algumas características que influenciarão o desenvolvimento deste supervisório para *plunger lift*.

Neste trabalho, a rede de comunicação utilizada para realizar a comunicação com os CLPs é formada por um enlace de rádio utilizando uma topologia mestre escravo onde um rádio central comunica-se com todos os rádios presentes nos CLPs.

A supervisão de poços que utilizam o método de elevação *plunger lift* 2 possui a característica de, na maior parte dos casos, utilizar somente a energia do próprio reservatório para mover o pistão e assim expelir o líquido. Quando o reservatório do poço não possui gás suficiente para realizar a elevação com o método *plunger lift* é injetado gás no poço para compensar esta deficiência. Portanto, como o método *plunger lift* não faz uso

Figura 3.1: Arquitetura de *Hardware*

de energia elétrica para elevar o líquido do poço torna-se um empecilho o uso de cabos elétricos para alimentar exclusivamente os CLPs. Para evitar este empecilho os CLPs utilizados são alimentados por baterias e estas são carregadas utilizando painéis solares. O uso de baterias alimentando os CLPs vai influenciar algumas das características do CLP e conseqüentemente na forma de aquisição dos dados.

O uso de baterias pelos CLPs leva à impossibilidade de comunicação com os CLPs durante a noite, já que estas são alimentadas por luz solar. Devido a esta realidade os CLPs possuem memórias persistentes que armazenam durante toda a noite os dados adquiridos pelos sensores. Dependendo das configurações de aquisição dos sensores esta memória pode adquirir uma massa de dados significativamente grande que devem ser adquiridos pelo supervisor.

As características dos CLPs utilizados que influenciarão o desenvolvimento deste trabalho são: alimentação provida por baterias, as quais são carregadas por energia solar, e a existência de uma memória persistente que acumula uma quantidade significativa de dados quando o supervisor não pode adquirir os mesmos.

A Arquitetura de Hardware e os Sistemas Supervisórios

Na figura 3.1 é possível observar que a rede de campo comunica-se com diversos CLPs. Tais CLPs podem ser do mesmo fabricante, o que facilita a aquisição de dados pois todos os CLPs se comunicam utilizando o mesmo protocolo. Apesar de ser possível monitorar todo um conjunto de plantas com CLPs de um mesmo fabricante, isto é incômodo, pois torna o usuário do sistema refém de um único fabricante. A utilização de conjuntos de CLPs fabricados por empresas diferentes leva à necessidade de dois supervisórios diferentes, o que também é indesejável pois acarreta um novo fator de complexidade para a supervisão dos equipamentos. A solução para este problema é a utilização de um supervisor que seja capaz de se comunicar com vários tipos de CLPs utilizados, independente do fabricante do CLP. Para este objetivo foi desenvolvido o *software* supervisor SISAL [de Souza et al. 2006].

O mesmo problema ao utilizar CLPs de diferentes fabricantes pode ser observado quando se supervisiona diferentes métodos de elevação de petróleo. Ao supervisionar vários métodos de elevação, existem diferentes variáveis a serem monitoradas e métodos com diferentes princípios de funcionamento. Isto obriga os CLPs a possuírem diferenças para cada método de elevação. A diferença entre os diversos métodos de elevação obrigaria a haver um supervisor para cada método de elevação; no entanto, o supervisor SISAL se propôs a solucionar este problema.

3.2 Sistema Supervisório SISAL

O sistema supervisório SISAL foi elaborado para supervisionar a elevação artificial de petróleo. O SISAL foi concebido para permitir que diferentes tipos de equipamento de *hardware* realizem a leitura dos dados no campo. Este também foi desenvolvido para realizar a supervisão de vários métodos de elevação diferentes. Adicionalmente, o SISAL foi desenvolvido para otimizar o uso do rádio utilizado para adquirir os dados de interesse dos poços de petróleo.

Com o objetivo de atender às necessidades apresentadas no parágrafo anterior, o SISAL foi concebido com uma arquitetura apresentada na figura 3.2. A arquitetura é formada por clientes, servidor e mestres. O módulo cliente do SISAL é responsável por exibir os dados adquiridos através de interfaces gráficas amigáveis e intuitivas para o usuário. O módulo servidor possui a responsabilidade de interligar todos os outros módulos. Os dados exibidos pelo cliente são adquiridos através do módulo servidor e estes módulos interagem através de uma topologia cliente-servidor. Os “mestres” interagem com o servidor seguindo uma topologia mestre-escravo, onde o servidor comporta-se como mestre enquanto os “mestres” são os escravos em relação ao servidor. Os mestres são responsáveis por adquirir dados nos poços de petróleo através de um enlace de rádio. Existe também um mestre responsável por se comunicar com o banco de dados e adquirir os dados ali existentes. Do ponto de vista dos mestres, os CLPs presentes nos poços são seus escravos, por isso, a comunicação entre os dois segue uma topologia mestre-escravo.

O objetivo da arquitetura apresentada na figura 3.2 é dividir o sistema em módulos onde as características de cada CLP possam ficar concentradas em um único módulo. Esta proposta concentra a complexidade de comunicação do sistema em um único módulo do *software* simplificando o funcionamento e desenvolvimento dos outros módulos.

A arquitetura apresentada no SISAL se baseia em um paradigma cliente/servidor quando disponibiliza os dados para os usuário e apresenta um paradigma mestre/escravo quando obtém os dados da rede campo.

3.3 Estado da Arte

O estado da arte deste trabalho exhibe dois temas relacionados à concepção dos *softwares* de supervisão. São estes: a arquitetura de sistemas supervisórios *on-line* e o gerenciamento de aquisição de dados para sistemas supervisórios. Existem poucos trabalhos práticos na literatura a respeito, principalmente na literatura de petróleo. Isto ocorre devido, principalmente, à maior parte das soluções encontradas nesta área serem soluções

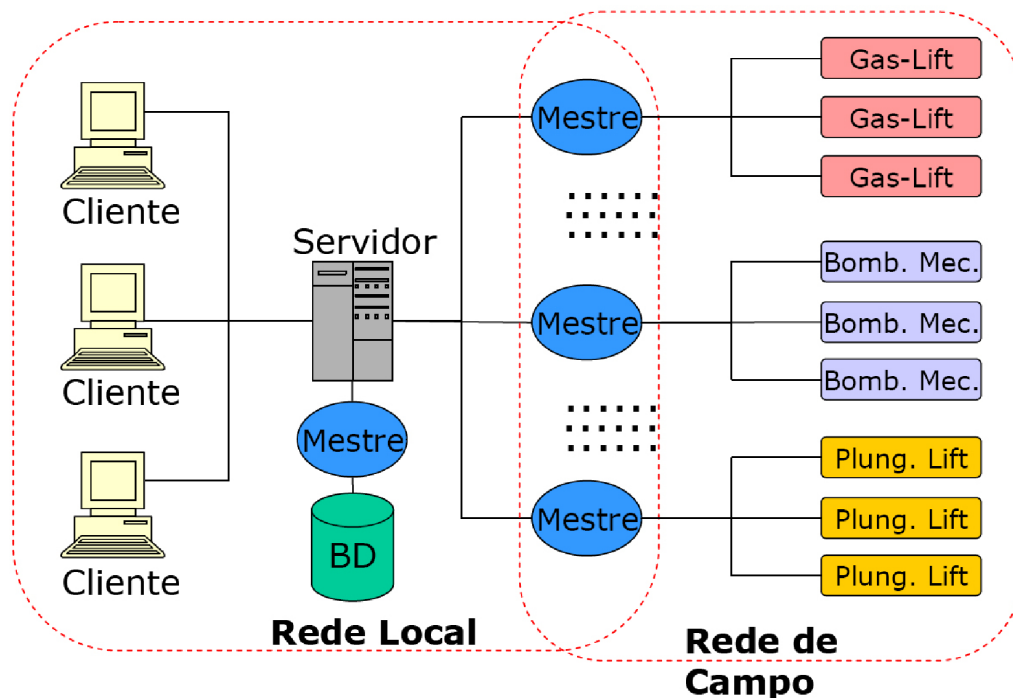


Figura 3.2: Arquitetura do SISAL

proprietárias as quais não são amplamente divulgadas.

Esta seção tratará dos artigos de arquitetura dos sistemas supervisórios, exibindo arquiteturas propostas e em que aplicações estas são utilizadas. Os artigos subsequentes exploram técnicas de aquisição de dados, levando em consideração que o fornecimento de energia do sistema se dá só no momento em que houver luz solar.

Jie et al. (2006) desenvolveram um sistema supervisório para uma planta de produção de energia eólica, utilizando uma rede CAN (*Controller Area Network*) para comunicação. O sistema foi desenvolvido em três camadas: camada de aquisição, camada de processamento, camada de transmissão e camada de usuário. Os autores utilizaram um protocolo mestre escravo sobre o protocolo CAN e desenvolveram um *software* para exibir os dados adquiridos. De acordo com os autores, o sistema desenvolvido tem um bom desempenho, com relação a análise de tempo real. O uso de redes CAN é indicado para realizar supervisão em tempo real, devido a sua fácil implementação; além disso, a topologia das redes CAN é mais indicada para redes dispersas. Neste artigo os autores utilizaram uma arquitetura de software de supervisão, onde existe um servidor adquirindo os dados de supervisão e repassando para os clientes. A arquitetura de software apresentada possui a característica de ser dependente do sistema supervisionado e o *hardware* que supervisiona o sistema, representando um bom exemplo da maioria dos sistemas de

supervisão atuais.

Vinh et al. (2007) tratou do desenvolvimento de um modelo e de um *software* para sistemas SCADA baseados em *web*. Utilizando políticas de segurança e o atual acesso de baixo custo à internet, o autor propõe a utilização de um modelo que permita a utilização de um sistema SCADA de tempo real. De acordo com os resultados experimentais, obtidos no trabalho, é possível obter uma rápida e fácil mudança dos sistemas desenvolvidos para o modelo proposto. A arquitetura apresentada neste artigo aproxima-se da arquitetura do *software* SISAL, pois ambos propõem sistemas modulares. Além disso, a arquitetura do SISAL apresenta características que o enquadram no conceito de sistemas SCADA baseados em *web*. Apesar das semelhanças teóricas entre as arquiteturas, a arquitetura do artigo não trata de independência dos equipamentos de *hardware*, como ocorre com a arquitetura do SISAL.

Chikuni & Dondo (2007) realizou este trabalho que trata da segurança de sistemas SCADA em um ambiente onde o sistema encontra-se conectado a redes internas e externas, o que leva a vulnerabilidades de segurança aplicadas as redes serem aplicadas aos sistemas SCADA. De acordo com o autor, os sistemas SCADA devem possuir todas as políticas de segurança usuais como: autenticação de usuários e dados criptografados. Além das soluções usuais, o sistema supervisório deve possuir uma robusta política de segurança, que impeça que comandos prejudiquem o funcionamento do sistema monitorado. Para tanto, o sistema SCADA deve se certificar da necessidade dos comandos antes de executá-los na planta.

O autor realizou os estudos para aplicação em redes de distribuição de energia. No entanto, o seu trabalho é válido para qualquer sistema de supervisão. As políticas sugeridas pelo autor serão aplicadas durante o transcorrer do desenvolvimento do supervisório deste trabalho, com exceções. Atualmente o SISAL não faz uso de dados criptografados na transmissão de dados na rede local, devido ao uso de uma rede local privada que supõem-se que seja segura. No entanto, este é um trabalho para ser desenvolvido em etapas futuras.

Jian et al. (2005) trata do estudo de uma base de dados para tempo real. No artigo é introduzido o conceito de uma base de dados e um supervisório para tempo real. Além disso, comenta-se sobre a implementação de uma base de dados de tempo real para um supervisório de um sistema de geração de energia. O autor comenta as dificuldades para realizar a aquisição de dados em supervisórios de tempo real. É importante observar que este artigo trata do relacionamento entre o banco de dados e o sistema supervisório de tempo real, da mesma forma como é necessário haver neste trabalho, devido à geração contínua e volumosa de dados.

Wang et al. (2006) propõe arquitetura e *scheduling* para acessar dados em redes *wireless*, em ambientes industriais, em tempo real. O autor aplicou o seu modelo de *scheduling* em uma arquitetura com dois níveis de acesso que suportam duas diferentes frequências de comunicação. O *scheduling* apresentado trabalha com recepção de dois tipos diferentes de dados, no entanto, em canais de frequência separados. O mecanismo de *scheduling* apresenta uma comunicação baseada em “*deadline*”, ou seja, quando uma mensagem estiver sendo enviada o espaço somente será liberado para outras quando o tempo programado for cumprido. O modelo de *scheduling* utilizado neste artigo é feito para sistemas de tempo real e portanto trabalha com pacote de dados pequenos o que não é o caso da aplicação deste trabalho.

Sastry et al. (2006) propôs a apresentação de uma arquitetura de sensores sem fio alimentados por baterias, e de um algoritmo para obtenção de dados, chamado, *Pipelined Time-division Model* (PTM). O PTM utiliza uma técnica que divide o tempo de comunicação entre os sensores, como forma de otimizar a obtenção de dados, ao mesmo tempo que utiliza mais de um canal de frequência para comunicar-se com os sensores. O PTM é baseado em uma arquitetura em árvore com vários níveis, onde os nós filhos só podem comunicar-se com os nós pais. De acordo com o trabalho a comunicação entre níveis diferentes sempre se dará de forma intercalada, ou seja, enquanto o nível 4 da árvore comunica-se com o nível 3, o nível 2 comunica-se com o nível 1. O trabalho ainda exhibe que o PTM possui uma menor complexidade de execução em relação ao TinyDB [Zhao & Guibas 2004] e o Direct Diffusion [Intanagonwiwat et al. 2000]. O artigo baseia-se no princípio que devem existir diversos canais de transmissão para enviar os dados o que difere do pretendido neste trabalho, além do que, propõe o uso de uma arquitetura diferente da utilizada neste trabalho. O uso de divisão do tempo para adquirir dados é uma interessante proposta apontada neste artigo e que deve ser utilizada, pois como o próprio artigo comenta: a técnica de divisão do tempo é importante para prolongar o uso de baterias.

Capítulo 4

Desenvolvimento e Resultados

Este trabalho consistiu em acrescentar ao supervisorio SISAL a capacidade de supervisionar poços com o método de elevação artificial *plunger lift*. A metodologia para realizar este trabalho subdividiu o problema principal em sub-problemas, de acordo com a estrutura modular existente no *software* SISAL: Mestre de Campo, Mestre de Banco, Cliente e Servidor. A comunicação entre os módulos internos do mestre de campo e com os controladores foi modelada em rede de Petri.

Por fim é importante salientar que foi publicado o artigo “Sistema Supervisorio para o Método de Elevação *Plunger Lift*” no congresso no 5º congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás que remete ao trabalho desenvolvido nesta dissertação.

4.1 Servidor

O servidor SISAL tem o propósito de interligar todos os módulos existentes no sistema supervisorio, como pode ser visto na figura 4.1. Devido a esta atividade, o servidor receberá todas as informações dos vários módulos, o que obriga a que qualquer mudança ou adição de funcionalidades leve a alterações no servidor.

Portanto, as alterações no servidor foram a adição de novas funções do protocolo do sistema SISAL. Estas funções são para a aquisição dos novos tipos de dados necessários à supervisão do método de elevação *plunger lift*.

4.2 Cliente

Como a figura 4.1 explicita, o cliente está localizado mais próximo ao usuário do que qualquer outro módulo, o que portanto leva a alterações significativas na implementação deste módulo. O módulo cliente é encarregado de exibir as variáveis adquiridas do poço

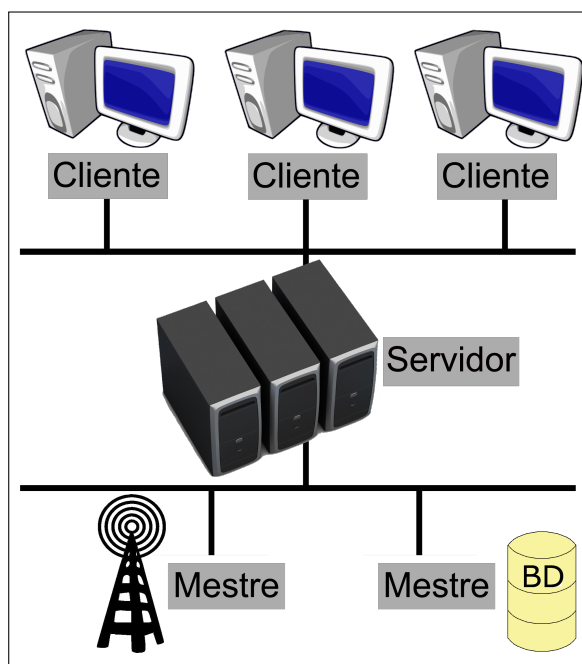


Figura 4.1: Posição do Servidor na Arquitetura

fazendo uso de gráficos, imagens ou quaisquer outros meios que tornem a visão do processo mais intuitiva ao usuário.

4.2.1 Tela de Supervisão

Para desenvolver um módulo cliente com capacidade de expor as variáveis do método de elevação *plunger lift* é necessário desenvolver diversas telas que exponham as variáveis deste método de elevação. A primeira e mais importante tela desenvolvida é a tela que representa o poço e que concentra as principais informações do método de elevação, chamada tela de supervisão.

A tela de supervisão, além de exibir os dados de supervisão, permite acessar diversas funcionalidades. Alguns exemplos das funcionalidades propostas são: habilitar ou desabilitar controles PID's existentes no CLP, fechar ou abrir válvulas e observar alguns alarmes específicos do *plunger lift*.

A tela de supervisão é uma representação do poço e de seu comportamento. Esta representação de um poço com o método de elevação *plunger lift* pode ser vista na figura 4.2 e na figura 4.3, onde a primeira representa um poço sem a presença de dreno enquanto a segunda representa um poço com o dreno (capítulo 2).

Através da tela de supervisão ainda é possível acessar um conjunto de outras telas para

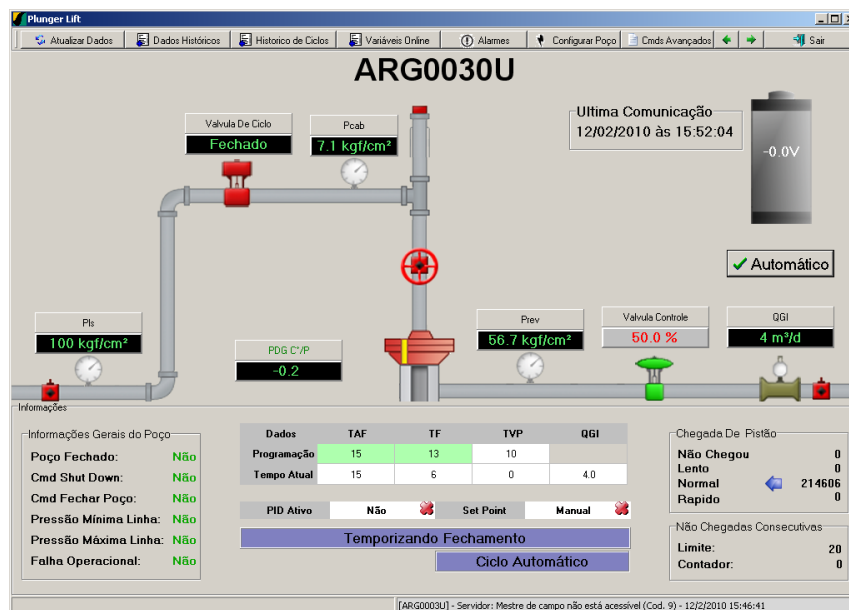


Figura 4.2: Tela de Supervisão Sem Dreno

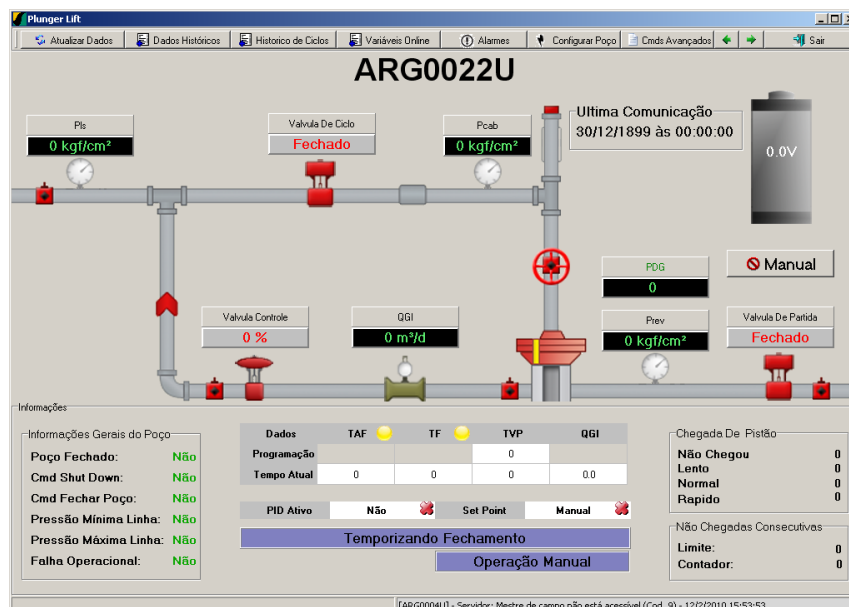


Figura 4.3: Tela de Supervisão Com Dreno

exibir os dados coletados dos controladores. Tais telas são: dados históricos, histórico de ciclos, alarmes, configuração de poço e comandos avançados.

4.2.2 Histórico

Esta interface exibe todas as informações adquiridas, de um determinado poço, desde o ponto onde foi iniciada a supervisão deste. Como pode ser visto na figura 4.4, os dados são exibidos em forma de gráfico e é possível filtrar os dados para exibir somente uma faixa de tempo de interesse.

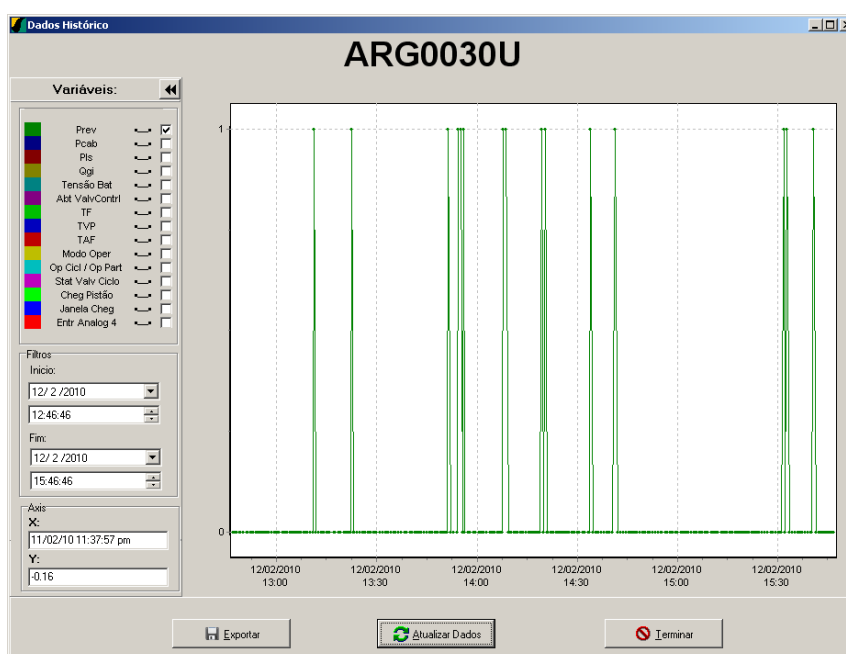


Figura 4.4: Tela de Dados Históricos

4.2.3 Tela de Ciclos

O Histórico de Ciclo possui a função de exibir os dados recentes do poço. Os dados recentes do poço são exibidos através de uma tabela, onde são apresentados os últimos 10 ciclos de um determinado poço. Cada ciclo é composto das seguintes variáveis: o horário da aquisição do dado, o Tempo de *After-Flow* (TAF), Tempo de Fechamento (TF), Tempo de Viagem do Pistão (TVP), Janela de chegada do Pistão, Fluxo de Gás (QGI), Pressão na Linha de Surgência (PLS) mínima e máxima, Pressão no Revestimento (PRev) mínima e máxima, Pressão na Cabeça do poço (PCab) mínima e máxima. É possível observar a interface na figura 4.5.

Últimos 10 Ciclos											
Horário	TAF	TF	TVP	Janela	QGI	PLS		PREV		PCAB	
sexta-feira 16:00:41	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 16:00:13	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:59:45	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:59:17	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:58:49	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:58:21	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:57:25	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:56:57	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.7	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:56:29	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.7	56.8	7.1	7.1
sexta-feira 15:56:01	15	13	0	Normal	4	100.0	100.0	56.8	56.8	7.1	7.1

ARG0030U

Configuração Ideal do Ciclo Automático:

TF: 13 SP para QGI: 35

TAF: 15 Data Dados: 2/12/2009 20]

Atualizar Dados

Zerar Dados

Sair

Tempo Mínimo Programado:

Tempo Mínimo Programado para TF: 13

Tempo Mínimo Programado Para TAF: 15

Figura 4.5: Tela de Históricos de Ciclos

4.2.4 Configuração do Poço

A funcionalidade de Configuração do Poço tem o objetivo de permitir ao usuário configurar os dados do método de elevação *plunger lift* remotamente. Cada interface foi concebida para concentrar os parâmetros que possuam características em comum; como por exemplo, todos os parâmetros relacionados à calibração dos instrumentos estarão concentrados na mesma interface.

É possível observar as interfaces gráficas desenvolvidas nas figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9. Cada figura, apresentada nesta subsecção, mostra uma interface que é responsável por exibir um conjunto de dados que possuem características em comum.

É interessante observar que, nestas telas de configuração, para cada parâmetro é possível observar dois valores. Os valores que estão à esquerda correspondem aos valores que estão no controlador neste exato momento, enquanto os valores que estão à direita correspondem aos valores que estão no banco. O usuário pode alterar somente os dados do banco de dados mas o sistema automaticamente envia uma cópia da informação modificada para o controlador.

4.2.5 Comandos Avançados

A funcionalidade Comandos Avançados conta com uma série de comandos para o poço, que estão disponíveis somente a um grupo restrito de usuários. Tais comandos englobam ações como limpar a memória do controlador, fechar o poço, etc. É possível observar esta interface gráfica na figura 4.10

Configurações Plunger

Gerais | Ciclo Automático | Ciclo de Realivação e Partida | Instrumentos do Poço

Cont BD

Parâmetros Gerais

Tipo do Poço Plunger: ☒ Assistido ☐ Assistido

Cont BD

Limites De Alarma

Pls Mínimo(kg/cm²) ☒ 10 10

Pls Máximo(kg/cm²) ☒ 500,45 500,45

VBat Mínimo(Volts) ☒ 8 8

Cont BD

Pistão

Tipo de Pistão Instalado ☒ Sólido ☐ Sólido

Cont BD

Aquisição

Nº de Amostra Aquisição Filtro 0(Max 8): ☒ 8 8

Nº de Amostra Aquisição Filtro 1: ☒ 6 6

Intervalo para Aquisição Filtro 1 (seg): ☒ 3 3

Desabilita Filtro 1 para Prev, PCAB e PLS: ☒ Não Não

Desabilita Salvar Dados na Data Flash: ☒ Não Não

Nº de amostra para armazenamento na Data Flash: ☒ 3 3

Período p/ armazenamento da conf. inicial do Ciclo(h): ☒ 5 5

Nº Consecutivos de chegadas normais p/ salvar config: ☒ 8 8

Atualizar

ARG0030U

Salvar

Check All

Check Diff

Finalizar

Uncheck All

Figura 4.6: Tela de Configuração do Poço 1

Configurações Plunger

Gerais | Ciclo Automático | Ciclo de Realivação e Partida | Instrumentos do Poço

Cont BD

PID de Operação Cíclica

SP Inicial p/ QGI(m³/g) ☒ 15 15

Ganho KP - PID de Operação Cíclica ☒ 0,0008 0,0008

Alfa - PID de Operação Cíclica ☒ 3 3

Tempo Integral(0.001 - 50000) - PID de Op. Cíclica ☒ 1 1

Tempo Derivativo(0 - 1000) - PID de Op. Cíclica ☒ 0 0

Cont BD

Janelas de Chegada

Limite de tempo de Janela de chegada Rápida(seg) ☒ 0 0

Limite de tempo de Janela de chegada Lenta(seg) ☒ 20 20

Limite de tempo de Janela de não chegada(seg) ☒ 30 30

Nº Máximo de não chegadas p/ fechar o poço ☒ 20 20

Cont BD

Tempo de Alter Flow

TAF Inicial(seg) ☒ 15 100

TAF Mínimo Admissível(seg) ☒ 15 11

TAF Máximo Admissível(seg) ☒ 200 200

Redução do TAF se chegada Lenta(seg) ☒ 0 0

Aumento do TAF se chegada Rápida(seg) ☒ 0 0

Cont BD

Tempo de Fechamento

TF Inicial(seg) ☒ 13 100

TF Mínimo Admissível(seg) ☒ 13 12

Aumento do TF se chegada Lenta(seg) ☒ 0 0

Redução do TF se chegada Rápida(seg) ☒ 0 0

Aumento do TF se não chegada(seg) ☒ 0 0

Atualizar

ARG0030U

Salvar

Check All

Check Diff

Finalizar

Uncheck All

Figura 4.7: Tela de Configuração do Poço 2

Configurações Plunger

Gerais | Ciclo Automático | Ciclo de Reativação e Partida | Instrumentos do Poço

		Cont	BD
Transferência(m²/d)			
TT - Tempo de Transferência	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
SP p/ QGI de transferência(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	65	65
Geral			
Prev Máx de Op. Ciclica(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	80	80
Prev de Transferência p/ Op.Ciclica(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	20	20
PID de Reativação e Partida			
SP p/ QGI de Reativação e Partida(m²/g)	<input checked="" type="checkbox"/>	35	35
Ganho KP - PID de Reativação e Partida	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05	0.05
Alfa - PID de Reativação e Partida	<input checked="" type="checkbox"/>	3	3
Tempo Integral(0.001 - 50000) - PID Reat. e Partida	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1
Tempo Derivativo(0 - 1000) - PID Reat. e Partida	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Ciclos de Transição			
SP p/ QGI 1º Ciclo Transição(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	1.94	1.94
Tempo Aberto 1º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Tempo Fechado 1º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
SP p/ QGI 2º Ciclo Transição(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.61	0.61
Tempo Aberto 2º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Tempo Fechado 2º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
SP p/ QGI 3º Ciclo Transição(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.85	0.85
Tempo Aberto 3º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Tempo Fechado 3º Ciclo Transição(seg)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

Atualizar | Salvar | Finalizar

ARG0030U | Check All | Uncheck All

Check Diff

Figura 4.8: Tela de Configuração do Poço 3

Configurações Plunger

Gerais | Ciclo Automático | Ciclo de Reativação e Partida | Instrumentos do Poço

		Cont	BD
Aquisição de QGI			
Densidade do Gás(sgl)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Diâmetro do Orifício da linha de Gás(D[pol])	<input checked="" type="checkbox"/>	110	110
Valor Mínimo da escala QGI(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	5	5
Valor Máximo da escala QGI(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	900	900
Valor Mínimo da escala Hw(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Valor Máximo da escala Hw(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	120	120
Valor Mínimo da escala PGL(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Valor Máximo da escala PGL(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	50	50
Valor Mínimo da escala TGL(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Valor Máximo da escala TGL(m²/d)	<input checked="" type="checkbox"/>	1000	1000
Configuração dos Instrumentos			
Habilitar Sensor PDG	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	Não
Valor do Endereço do sensor PDG	<input checked="" type="checkbox"/>	6100	0
Valor Mínimo de escala de PREV(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	2	2
Valor Máximo de escala de PREV(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	100	100
Valor Mínimo de escala de PCAB(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1
Valor Máximo de escala de PCAB(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	10	10
Valor Mínimo de escala de PLS(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Valor Máximo de escala de PLS(Kg/cm²)	<input checked="" type="checkbox"/>	100	100
Valor Mínimo de escala do instrumento EA4	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Valor Máximo de escala do instrumento EH4	<input checked="" type="checkbox"/>	1000	1000

Atualizar | Salvar | Finalizar

ARG0030U | Check All | Uncheck All

Check Diff

Figura 4.9: Tela de Configuração do Poço 4

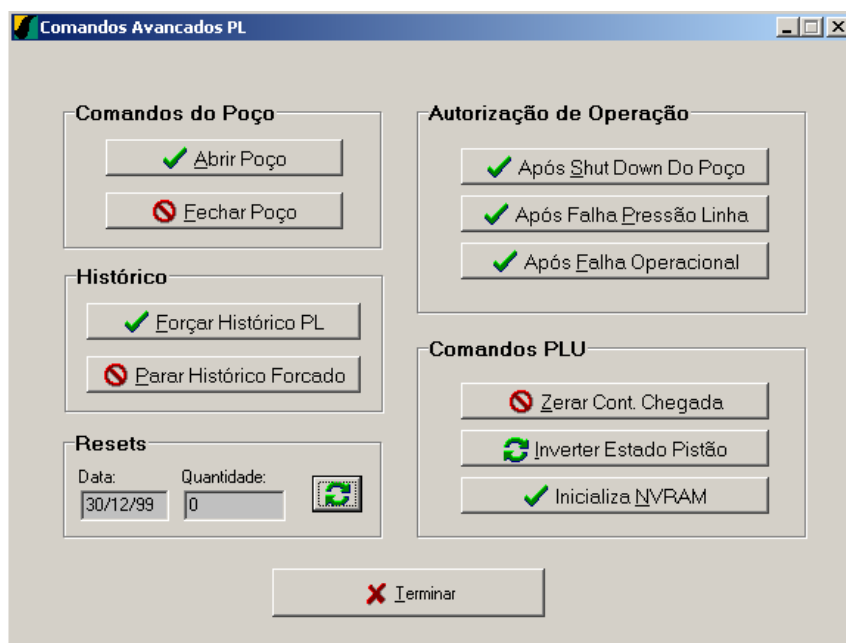


Figura 4.10: Tela de Comandos Avancados

4.2.6 Cadastro de Poços

Esta interface gráfica é utilizada para cadastrar novos poços no banco de dados do supervisor SISAL.

Na figura 4.11 é possível observar a interface gráfica de cadastro de um poço para o método de elevação *plunger lift*. Esta interface gráfica é subdividida em 5 subgrupos diferentes: Identificação, Controlador, Fluido e Reservatório, Grupos de Uso Geral e *Plunger Lift*. É importante salientar que nesta interface gráfica só foi desenvolvido o subgrupo *Plunger Lift*; todos os outros subgrupos já estão presentes atualmente no SISAL e são responsáveis por especificar dados gerais de cadastro de um poço, enquanto que o subgrupo *Plunger Lift* é responsável por cadastrar dados específicos ao método *plunger lift*.

4.2.7 Comunicação do Cliente-Servidor

De forma simplificada, o cliente do sistema supervisor SISAL deve possuir duas capacidades básicas: exibir os dados e comunicar-se com o servidor para obter tais dados. As interfaces gráficas são responsáveis por exibir os dados. A comunicação com o servidor é responsabilidade de um conjunto de funções de comunicação, capazes de receber os dados enviados pelo servidor e tratá-los para apresentar na interface gráfica. Para cada interface gráfica foi desenvolvida também a funcionalidade de comunicação que permite

Cadastro de Poços

Cadastro de Novos Poços | Auxílio - SIP | Auxílio - SEP | Lista de Poços no Servidor

Identificação

Método de Elevação: Plunger Lift
Campo de Produção: Fazenda Belém
Prefixo: CAP
Estação: CAP
UF: CE
Número do Poço: 123
Tipo de Coluna: Única
Perfil Geométrico: Vertical

Controlador

Controlador: ZAP-901
Endereço do Controlador: 123
Mestre de Campo: FZB1
☐ Poço Secundário

Fluido e Reservatório

Grau API: 12 BSW (%): 32
Pressão no Revestimento (Kgf/cm²): 123
Pressão na Cabeça (Kgf/cm²): 321

Grupos de Uso Geral

Grupo 1:
Grupo 2:
Grupo 3:

Plunger Lift

Tipo de Poço: Com Drenho
Topo Canhoneados (m): 1500
Base Canhoneados (m): 1503

Novo Cadastrar

Figura 4.11: Tela de Cadastro de um Poço com o Método de Elevação *Plunger Lift*

ao cliente obter os dados destas interfaces do servidor.

4.3 Mestre de Banco

O mestre de banco é o módulo encarregado de realizar a comunicação com o banco de dados. O desenvolvimento deste módulo pode ser dividido nas seguintes linhas de ação: adição de novas tabelas ao banco, desenvolver novas funções de comunicação com o servidor e desenvolver a capacidade de compressão de dados.

Novas tabelas do banco de dados foram criadas pois novos e diferentes dados foram incorporados ao sistema supervisor.

O desenvolvimento da comunicação entre o servidor e o mestre de banco equivale ao mesmo trabalho para desenvolver a comunicação entre o cliente e o servidor. Neste caso foram desenvolvidas diversas funções de comunicação entre o mestre de banco e o servidor para toda nova comunicação entre os módulos do SISAL e o banco de dados.

4.3.1 Compressão de Dados

Até este trabalho o *software* SISAL era utilizado somente para a supervisão de poços com o método de elevação bombeio mecânico. No entanto, o volume de dados produzidos em um poço com este método de elevação é muito inferior ao volume de dados produzidos por um poço com o método de elevação *plunger lift*. Devido a esta constatação e sabendo que os dados devem ser armazenados em banco de dados, é interessante que seja desenvolvido dentro do mestre de banco a funcionalidade que permita comprimir dados. De outra forma, o tamanho do banco pode crescer e tornar impraticável o armazenamento de dados por um período prolongado.

O conjunto de dados que devem ser comprimidos, como pode ser visto na tabela 4.1, é formado por três tipos de dados: booleanos, reais e inteiros. Os dados inteiros e reais adquiridos dos controladores se caracterizam por apresentarem uma pequena variação nos valores, desta forma, os inteiros e reais que são formados por 4 bytes armazenam valores que variam normalmente de 0 a 1000. Devido à faixa de valores limitada destes tipos de dados é possível representar os dados com uma menor quantidade de bytes, realizando uma compressão de dados. Além dos dados de tipo inteiro e real, ainda existem os dados booleanos que podem ser representados em um único byte.

Como pode ser visto na tabela 4.1 o número de bytes retirados os bytes redundantes é 25 enquanto que o número de bytes com redundância é de 52, portanto, foi possível realizar uma compressão de aproximadamente 52%.

Tabela 4.1: Características dos dados de compressão

Tipo de dado	Número de Dados	Número de Bytes	Total de Bytes	Bytes Sem Redundância
Booleano	4	1	4	1
Inteiro	4	4	16	8
Real	8	4	32	16
Total	16	9	52	25

Para aumentar a taxa de compressão os dados resultantes da primeira compressão são submetidos a uma nova compressão. Esta nova compressão é realizada através de um algoritmo de Ruffman modificado disponibilizado pela biblioteca Zlib [Roelofs & Adler n.d.].

Tabela 4.2: Resultado da compressão utilizando o algoritmo de Ruffman

Poço	Amostra	Bytes não Comprimidos	Bytes Comprimidos	Taxa Compressão
1	1	132462	38097	71%
1	2	140994	43404	69%
1	3	232605	61471	74%
2	1	183546	55686	70%
2	2	221562	73794	67%
2	3	67446	24329	64%
3	1	145206	41901	71%
3	2	43227	10679	75%
3	3	94311	25727	72%

Utilizando dados coletados em poços reais foi possível obter os valores presentes na tabela 4.2. A taxa média de compressão entre os dados de todos os poços ficou em torno de 70%. Se for adicionada ainda a primeira compressão realizada, a taxa de compressão aumenta para 86%.

4.4 Mestre de Campo

O mestre de campo tem a função de adquirir os dados dos poços e repassá-los ao servidor. Este módulo do SISAL é o mais especializado, pois possui a incumbência de representar os CLPs dentro da arquitetura do SISAL.

Tal como no cliente e no mestre de banco, é possível afirmar, de forma simplificada, que o mestre de campo possui duas funcionalidades básicas. São estas funcionalidades: comunicar-se com o servidor e comunicar-se com os CLPs. Portanto, para desenvolver o mestre de campo é necessária a realização das seguintes tarefas: desenvolvimento das

funções de comunicação com o servidor e o desenvolvimento da comunicação com os CLPs. A segunda tarefa ainda pode ser subdividida em estudo do CLP para determinação das variáveis a serem adquiridas e estudo da comunicação para determinação da forma mais eficiente de realizar a leitura dos controladores. Ainda é proposta uma terceira tarefa para a reestruturação do mestre em termos de engenharia de *software* para permitir um desenvolvimento mais rápido, menos propenso a erros e tornar a manutenção mais eficiente. Por fim é necessário modelar a comunicação do mestre de campo com os controladores para otimizar o funcionamento do sistema.

4.4.1 Comunicação com o Servidor

A comunicação entre o mestre de campo e o servidor consiste em utilizar o protocolo definido pelo SISAL [de Souza 2005] para enviar os dados que serão lidos pelo cliente quando os dados chegarem ao seu destino. Portanto, esta atividade consiste em encapsular os dados para enviá-los ao servidor.

Todas as novas funcionalidades criaram a necessidade de novas funções de comunicação com o servidor, as quais foram todas desenvolvidas.

4.4.2 Estudo do Controlador

Esta atividade consistiu em estudar o CLP para determinar quais registradores contêm os dados que estão sendo adquiridos para o sistema supervisório. É possível observar a lista de variáveis adquiridas pelo sistema supervisório abaixo.

Dados Atuais São dados adquiridos a cada *pooling* do sistema para serem exibidos na tela de supervisão do poço. É possível observar tais dados na tela da figura 4.2 na página 25.

Dados de Ciclo São dados que formam um histórico recente dos dados adquiridos do poço e são exibidos na tela da figura 4.5 na página 27.

Dados Históricos São dados armazenados no CLP que representam o histórico propriamente dito do poço. Estes dados são exibidos na tela da figura 4.4 na página 26.

4.4.3 Estudo da Comunicação

O mestre de campo, além de ser o elemento mais especializado da arquitetura do SISAL, também é o elemento que gerencia a aquisição de dados. A aquisição de dados deve ser realizada de tal forma que otimize a aquisição das informações dos poços. Além

disso, a quantidade de dados gerados em um poço com o método de elevação *plunger lift* é muito superior à quantidade de dados hoje adquirida no supervisório SISAL. Devido a estas duas realidades, é necessário alterar a estratégia de aquisição dos diferentes tipos de dados, necessários à supervisão deste método, em relação ao que ocorre hoje no SISAL.

No supervisório SISAL existem, atualmente, três tipos de dados pedidos ao poço. O primeiro consiste em um pedido direto do usuário, o segundo corresponde aos dados atuais e o último corresponde ao pedido de carta dinamométrica, já que até este trabalho o supervisório era voltado unicamente para a supervisão do método de elevação bombeio mecânico.

Abaixo é possível observar uma breve explicação sobre cada um dos pedidos ao poço que ocorre atualmente no SISAL.

Pedidos do Usuário Havendo necessidade, o usuário do SISAL pode fazer um pedido diretamente ao controlador de diversos dados. Para garantir que o usuário seja atendido o mais rápido possível, esta categoria de pedido possui uma prioridade superior a todas as outras.

Dados Atuais São dados adquiridos a todo instante pelo sistema para serem exibidos na tela de supervisão do poço. Antes deste trabalho todos dados eram do método bombeio mecânico.

Carta Dinamométrica O pedido carta dinamométrica consiste somente em um pedido de dados atuais acrescido do pedido de uma carta dinamométrica. Ao fazer um pedido de carta dinamométrica são adquiridos um número de *bytes* cerca de 10 vezes superior ao pedido nos dados atuais; por isso, esta forma de pedido ocorre de forma intermitente, por exemplo, a cada 5 pedidos dos dados atuais ocorrerá um pedido de carta dinamométrica.

Um supervisório para trabalhar com o método de elevação *plunger lift* deve trabalhar com os seguintes pedidos ao poço:

Pedidos do Usuário Tal como ocorre hoje no SISAL os pedidos do usuário são para observar as variáveis presentes no controlador. Ao solicitar um dado o pedido deve ser atendido com a maior prioridade.

Dados Atuais É um conjunto de dados adquiridos a todo instante pelo sistema, sem a interferência do usuário, para serem exibidos na tela de supervisão do poço. Neste caso, são exibidos dados do método de elevação *plunger lift*.

Dados de Ciclo Estes dados têm o objetivo de mostrar o comportamento recente do poço. Os dados de ciclo são adquiridos em conjunto com os dados atuais. Estes possuem

um tamanho equivalente aos dados da carta dinamométrica do método de elevação bombeio mecânico.

Dados de Histórico Estes dados possuem a função de informar a história do poço. Os dados históricos são adquiridos no decorrer do *pooling*. No entanto, a quantidade de *bytes* adquiridos nos dados históricos, no pior caso, é da ordem de 100 vezes o tamanho dos dados de ciclo. Esta diferença ocorre pois a quantidade deste tipo de dado se acumula no decorrer do tempo no CLP, o que pode gerar uma quantidade de dados muito superior aos outros tipos de pedidos.

A aquisição de dados, através do pedido do usuário e através dos dados atuais, serão executados como ocorre atualmente no SISAL, ou seja, em qualquer momento o sistema deve fazer a aquisição dos dados atuais e no momento que o usuário solicitar qualquer pedido, este será atendido antes do próximo pedido de dados atuais.

Os dados de ciclo possuem um tamanho aproximado ao da carta dinamométrica. Por essa razão, a sua lógica de aquisição é semelhante à utilizada na aquisição da carta dinamométrica, ou seja, depois de “n” pedidos ao conjunto de todos os poços é feita a aquisição dos dados de ciclo.

Existe ainda a possibilidade de otimizar o uso da banda de comunicação ao diminuir o número de pedidos de aquisição dos dados de ciclo, pois, ao contrário do que ocorre com uma carta dinamométrica, os dados de ciclo correspondem aos dados de vários momentos acumulados no controlador, até o limite de 10 dados de ciclo. Desta forma, sabendo quando é feita aquisição dos dados de ciclo de um poço, é possível determinar quanto tempo levaria para que todos os dados de ciclo fossem completados, e só então adquirir tais dados. O tempo de aquisição de um dado de ciclo é uma informação armazenada no controlador. Este tempo pode ser adquirido automaticamente pelo mestre de campo, para calcular o tempo necessário para adquirir sempre 10 novos dados de ciclo.

Ao contrário dos dados de ciclo e dos dados atuais, os dados de histórico possuem um volume de dados armazenados no CLP muito grande, já que os dados históricos são armazenados dentro do controlador, o que impossibilita a utilização das estratégias anteriores para solucionar o problema. Outro problema enfrentado, para realizar a leitura dos dados históricos, é que estes dados são armazenados em uma memória de tamanho finito no CLP e quando a memória estiver completamente preenchida qualquer adição de dados gerará uma perda dos dados mais antigos.

A leitura dos dados históricos deve permitir que todos os dados armazenados na memória do CLP sejam adquiridos. Quando não for possível realizar tal tarefa, o usuário deve ser informado que dados estão sendo perdidos. Apesar da necessidade de obter os

dados de histórico o mais rapidamente possível, a leitura destes dados não pode ocupar todo o tempo de transmissão, impedindo que os dados atuais e os dados de ciclo sejam adquiridos e, principalmente, impedindo que os pedidos do usuário sejam atendidos.

Existem, portanto, dois problemas opostos a serem resolvidos na leitura dos dados de histórico:

1. Não perder os dados na memória do controlador.
2. Não impedir que outros tipos dados sejam adquiridos.

Para adquirir os dados históricos sem deixar os dados atuais desatualizados, é proposto um modelo de aquisição de dados através de janelas de tempo dinâmicas. Na figura 4.12 é possível observar a janela JN , que tem início quando houver luz do sol e finaliza quando anoitecer. Esta janela, portanto, possui um tamanho fixo que depende do tempo de luz solar durante o dia.

O tempo que leva para todos os poços serem lidos é denominado Tempo Total de Comunicação (TT) e pode variar dependendo do número de poços como também do tempo levado para realizar a leitura de um poço. Os tempos P_1 , P_2 e P_n representam o tempo para realizar a leitura do poço 1, poço 2 e do n -ésimo poço, respectivamente.

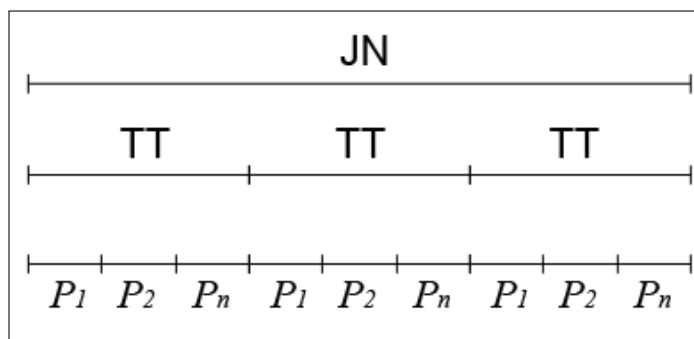


Figura 4.12: Janelas de Comunicação de Aquisição de Dados

$$TT = \sum_i^n P_i \quad (4.1)$$

$$P_i = T_{a,i} + T_{h,i} \quad (4.2)$$

Onde $i = 1, 2, \dots, N$.

O valor de T_a , em uma transmissão sem falhas, é sempre constante, pois obtêm sempre a mesma quantidade de dados, ao contrário de T_h que pode variar dependendo do número de dados históricos pedidos ao controlador.

Tabela 4.3: Definição dos símbolos utilizados neste trabalho

Símbolo	Significado
JN	Janela de tempo disponível para um dia
TT	Tempo total comunicação para obter os dados de todos os poços
P_i	Tempo para obter os dados do poço i (segundos)
T_a	Tempo de aquisição dos dados Atuais e de Ciclo (segundos)
T_h	Tempo de aquisição dos dados de histórico (segundos)
T_x	Taxa de produção de dados (dados/segundo)
T_{min}	Tempo mínimo de aquisição de dados históricos

Controlando o valor de T_h é possível determinar se a aquisição dos dados dos controladores vai privilegiar a leitura dos dados históricos ou dos dados atuais. Quanto menor T_h maior o número de períodos TT que aparecerão em uma mesma janela JN , o que informa que os dados atuais estão sendo atualizados numa frequência maior.

No entanto, para evitar o aumento do número de dados históricos no controlador:

$$T_{h,i} > T_{min,i} \quad (4.3)$$

Onde:

$$T_{min,i} = T_{x,i} \sum_{j=1}^N P_j \quad (4.4)$$

O algoritmo para realizar o cálculo do tempo mínimo é exibido na figura 4.13.

```
float MinTempoHistorico(int pocoAtual){
    for(i=1 ate numero_Pocos){
        if(i != pocoAtual){
            TempoMinimo += P[i]
        }
    }
    TempoMinimo = TempoMinimo * Tx[pocoAtual]

    return TempoMinimo;
}
```

Figura 4.13: Rotina para determinar o mínimo tempo para a aquisição de dados históricos

Determinar o tempo mínimo para adquirir os dados históricos impede que os mesmos sejam perdidos sem o conhecimento dos usuários. Pois quando se tem o tempo mínimo determinado é possível gerar alarmes aos usuários para que os mesmos sejam alertados

sobre o problema da perda de dados. No entanto, ainda é possível aperfeiçoar a aquisição dos dados permitindo que uma quantidade maior de dados históricos possam ser adquiridos em um menor tempo. Para aumentar a quantidade de dados históricos adquiridos é possível aumentar o tempo de aquisição dos dados históricos em detrimento dos dados atuais. O favorecimento de um tipo de aquisição em relação ao outro é possível pois em muitos momentos os usuários não estarão necessitando dos dados atuais o que torna desnecessária uma frequência alta na atualização dos dados atuais.

Na figura 4.14 é apresentado um algoritmo para permitir comportamento adaptativo na aquisição dos dados históricos e dados atuais. Este algoritmo baseia-se na frequência dos pedidos dos usuários para determinar se deve privilegiar a aquisição dos dados históricos ou atuais. Portanto, quando muitos pedidos forem feitos ao sistema os dados atuais serão adquiridos com uma frequência maior. Quando não houver pedidos de dados atuais, por parte dos usuários, os dados históricos serão privilegiados em relação aos dados atuais. No algoritmo da figura 4.14 é possível observar que existe um limite de tempo mínimo para aquisição dos dados históricos já que é necessário esvaziar os dados existentes no controlador. Da mesma forma que existe um tempo mínimo para a aquisição dos dados de histórico também é interessante que exista um tempo mínimo para os dados atuais (MinTempoDadoAtual) para impedir que os dados atuais fiquem desatualizados por um longo período de tempo.

```
void modificaTempoAquisicao() {  
    TempoDadoAtual = MinTempoDadoAtual + ConstDA * frequencia_requisicoes;  
    TempoHistorico = TEMPO_MAX - TempoDadoAtual;  
    if(TempoHistorico < MinTempoHistorico()) {  
        TempoHistorico = MinTempoHistorico();  
        TempoDadoAtual = TEMPO_MAX - TempoHistorico;  
    }  
}
```

Figura 4.14: Rotina para modificar taxa de aquisição entre dados histórico e dados atuais

Com o algoritmo apresentado na figura 4.14 é possível determinar se os dados históricos vão ser privilegiados em relação aos dados atuais ou o oposto. No entanto, quando um poço produzir uma maior quantidade de dados históricos em relação aos outros, não é possível, com o algoritmo da figura 4.14, privilegiar o poço com a maior quantidade de dados. Para proporcionar uma nova otimização é proposto um algoritmo que divida a quantidade de tempo total do histórico em partes não iguais entre os poços. Desta forma, os poços com maior número de dados devem receber uma maior parte do tempo de aquisição en-

quanto os poços com menor quantidade de dados recebem um tempo menor.

O algoritmo apresentado na figura 4.15 permite a mudança nos tempos de leitura de cada poço, permitindo que os poços com a maior quantidade de dados sejam privilegiados em relação aos poços que possuem uma menor quantidade de dados. Esta mudança é realizada através de uma média ponderada onde a quantidade de dados de um poço é dividida pela quantidade total de dados de todos os poços e por fim é multiplicado pelo tempo total para leitura de todos os dados históricos.

$$T_{h,i} = (nH_i / totalHist) * TT_h \quad (4.5)$$

O algoritmo para aquisição dos dados apresentado na figura 4.15 possui a incumbência de modificar a relação entre tempo de dados atuais e tempo de dados históricos. O próximo passo consiste em aumentar o tempo de leitura de histórico dos poços que possuem uma maior quantidade de dados e diminuir o tempo dos poços que possuem poucos dados. E por fim são adquiridos os dados de todos os poços.

```
void AdquireDados() {

    modificaTempoAquisicao();

    for(i=1 ate num_poco)
        totalDadosHist += DadosPoco[i].numDados();
    for(i=1 ate num_poco)
        TempoPedido[i] = (DadosPoco[i].numDados / totalDadosHist) * TempoTotalHist();

    for(i=1 ate num_poco) {
        tempoInicial = tempoAtual();
        while(tempoInicial - tempoAtual() < TempoPedido[i]) {
            adquiereDadosHistoricos(i);
        }
        adquiereDadosAtuais(i);
    }
}
```

Figura 4.15: Algoritmo para realizar a aquisição dos dados

4.4.4 Reestruturação do Mestre

O *software* SISAL foi idealizado para trabalhar com vários métodos de elevação; no entanto, o SISAL supervisionava somente poços com o método de elevação bombeio

mecânico. Este fato levou a que a programação do mestre de campo ficasse, durante este período, muito voltada às necessidades do método de elevação bombeio mecânico. Isso gerou dificuldades na manutenção e desenvolvimento do código, pois tornou o mesmo muito específico ao método de elevação bombeio mecânico. Portanto, para desenvolver o mestre de campo para o método de elevação *plunger lift*, foi necessário refazer a engenharia de *software* deste módulo. A reestruturação do mestre consistiu em refazer a engenharia de *software* de uma parte do mestre de campo e esta subseção tratará deste assunto.

De forma simplificada, o mestre de campo pode ser definido em três módulos expostos na figura 4.16. A “Comunicação com o Servidor” é desempenhada pelo módulo de mesmo nome. O módulo de “Comunicação com Controladores” se encarrega de realizar a comunicação com os controladores, utilizando a rede campo e os protocolos específicos de cada controlador. O módulo de “Representação dos Controladores” tem a função de representar os controladores supervisionados, como também armazenar temporariamente os dados adquiridos dos controladores para serem enviados ao servidor.

A interação entre os módulos acontece com cada pedido recebido no mestre, seguindo a ordem apresentada na figura 4.16, ou seja, o pedido é recebido na comunicação com o servidor, é repassado para o módulo de representação dos controladores para em seguida ser feito o pedido pela rede de campo aos controladores.

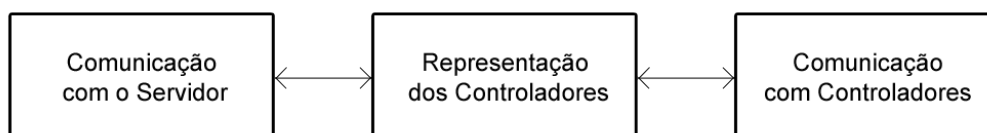


Figura 4.16: Módulos do mestre de campo *plunger lift*

Dos três módulos apresentados, a reestruturação deu-se somente no módulo de representação dos controladores. Para armazenar os dados obtidos do campo este módulo representa cada poço supervisionado através de uma instância que possui variáveis representando todos os dados supervisionados. O conjunto destas instâncias são agrupados em um *buffer* o qual é atualizado pelo módulo de comunicação com os controladores. O *buffer* também é responsável por fornecer os dados pedidos pelo módulo de comunicação com o servidor.

O *buffer* em questão pode conter representações de controladores com características diferentes. Com isto a estrutura do módulo de representação dos controladores foi construída, como pode ser visto na figura 4.18, por vários *buffers* diferentes. Desta forma,

para cada controlador específico havia um *buffer* para armazenar seus dados. Por exemplo, existindo três tipos de controladores diferentes para o método de elevação bombeio mecânico, existiriam três *buffers*. Esta estrutura começou a apresentar problemas à medida em que houve um aumento do número de controladores diferentes supervisionados pelo SISAL. A principal dificuldade gerada foi o aumento da complexidade para gerenciar os vários *buffers* o que dificultava a inserção de novas representações de controladores, além de uma maior dificuldade na manutenção do *software*.

Para desenvolver este trabalho é necessário fazer com que todas as informações adquiridas estejam armazenadas em um único *buffer*. Portanto este *buffer* deve ser capaz de armazenar dados de todos os métodos de elevação e também de qualquer tipo de controlador. A figura 4.17 mostra como o *buffer* deve ser formado, ou seja, por várias instâncias que representam métodos de elevação diferentes ou um mesmo método com controladores diferentes.

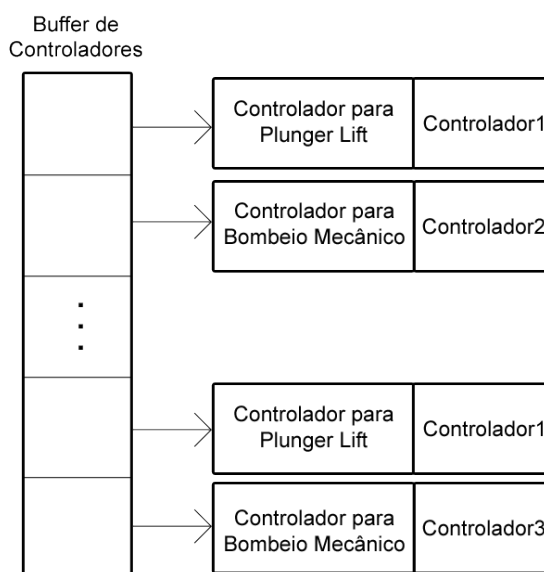


Figura 4.17: *Buffer* do Mestre de Campo para diversos controladores e métodos de elevação

A possibilidade de agrupar a representação de todos os controladores em um único *buffer* torna mais eficiente o desenvolvimento do código. Ao utilizar a estrutura apresentada na figura 4.19, o programador diminui a possibilidade de produzir erros já que concentra a representação em módulos que podem ser reutilizados.

Na figura 4.19 é possível observar uma estrutura para representar os controladores com 3 níveis de especificidade, onde o nível superior representa os dados mais genéricos dos

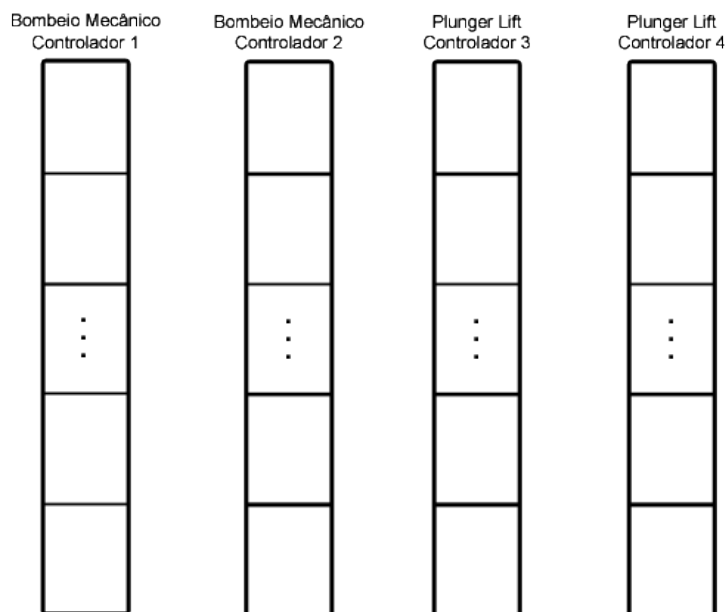


Figura 4.18: *Buffer* do Mestre de campo antes da reestruturação

controladores, ou seja, os dados sempre requisitados pelo SISAL: o horário da aquisição dos dados, a produção do poço, alarmes, etc. O segundo nível de especificidade representa os dados de um método de elevação, tal como, uma carta dinamométrica para o bombeio mecânico ou um dado de ciclo para o *plunger lift*. O terceiro nível possui a representação do controlador utilizado no poço onde está sendo realizada a aquisição dos dados, ou seja, neste nível estão presentes os endereços de memória do controlador onde estão os dados a serem lidos ou qualquer outra particularidade de *hardware* do controlador necessária à supervisão.

Para codificar a estrutura da figura 4.19 foram utilizados conceitos de programação orientada a objetos tais como herança e classe virtual. Na figura 4.19 os níveis mais baixos representam classes que herdam, das classes representadas pelos níveis superiores, características genéricas dos métodos de elevação e dos dados do SISAL.

Para permitir que os dados sejam representados em um único buffer, como representado na figura 4.16, foi necessário utilizar o conceito de classe virtual. Esse conceito de programação permite criar interfaces para que as classes mais genéricas possam utilizar os recursos das classes mais específicas. Utilizando-se deste recurso é possível criar um vetor de controladores genéricos, que representa todos os poços, mas permite acessar os recursos específicos das classes que representam os métodos de elevação e os controladores reais.

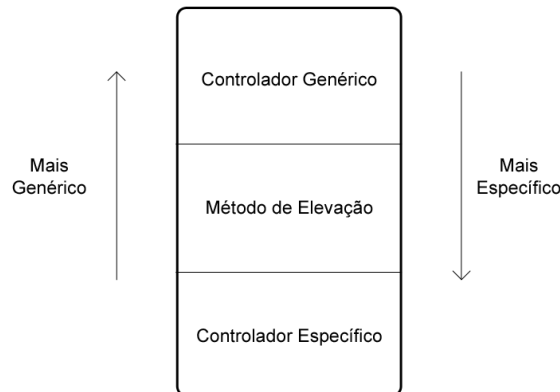


Figura 4.19: Estrutura Existente para cada Controlador

4.4.5 Modelagem em Rede de Petri

Nesta subseção é apresentada a modelagem da aquisição dos três tipos de dados do mestre de campo: dados atuais, dados históricos e dados de ciclo. A modelagem da comunicação foi feita utilizando redes de Petri [Cardoso & Valette 1997] que podem ser observadas na figuras 4.20, 4.21 e 4.22. A rede de Petri da figura 4.20 modela a escolha do tipo de dado que será adquirido, a rede da figura 4.21 modela a aquisição dos dados históricos enquanto que na figura 4.22 é modelado o envio dos dados de histórico para o mestre de banco.

As redes de Petri das figuras 4.22, 4.21 e 4.20 foram simuladas utilizando o software

Abaixo são exibidos os lugares e as suas correspondentes ações na rede de Petri da figura 4.20:

Ler_DA: Realizando a leitura dos dados Atuais

Ler_DH: Realizando a leitura dos dados Históricos

Ler_DC: Realizando a leitura dos dados de Ciclo

Num_DA: Representa o número de aquisições dos Dados Atuais

Num_DH: Representa o número de aquisições dos dados Históricos

Os passos abaixo exibem o comportamento da rede de Petri da figura 4.20. No início, da rede de Petri da figura 4.20, o número de *tokens* dos lugares L3 e L4 devem ser respectivamente as constantes N_1-1 e N_2 para, desta forma, modelar corretamente o comportamento algorítmico de um “if”.

Passo 1 A aquisição começa em L2 enquanto a *thread* de aquisição de dados espera para iniciar a leitura dos dados atuais.

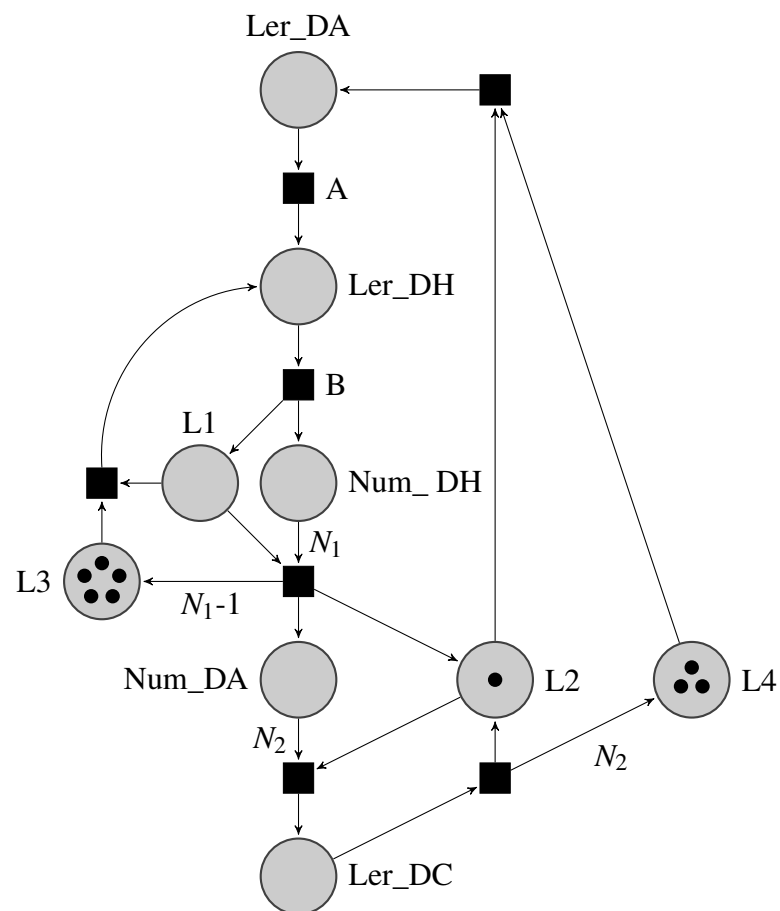


Figura 4.20: Rede de Petri para determinar qual o tipo de dado deve ser lido

Passo 2 É retirado um *token* de L2 e L4 e então passado para Ler_DA onde é iniciada a leitura dos dados atuais

Passo 3 O *token* é passado para Ler_DH onde é iniciada a leitura dos dados históricos. Este passo é visto com maior detalhe nas figuras 4.21 e 4.22

Passo 4 Realizada a leitura dos dados históricos um *token* passa para L1 e um *token* é adicionado a Num_DH.

Passo 5 Chegando neste passo existem duas possibilidades:

- Existe pelo menos um *token* em L3: Um *token* que esta em L1 e L3 e removido e em seguida é realizada uma nova leitura de Dados históricos voltando para o passo 3.
- Existem N_1 *tokens* em Num_DH: Quando N_1 leituras de dados históricos foram realizadas é adicionado um *token* em L2 e em Num_DA, informando quantas leituras de dados atuais foram realizadas.

Passo 6 Quando o *token* estiver presente em L2 existem duas possibilidades:

- Se existir algum *token* em L4: Retira-se um *token* de L4 e o *token* que está em L2 passa para Ler_DA. Desta forma, realizando uma nova leitura do dados atuais, o ciclo é reiniciado.
- Se existem N_2 *tokens* em Num_DA: Quando N_2 leituras de dados atuais são realizadas é iniciada uma leitura de dados de ciclo.

Passo 7 Finalizada a leitura dos dados de ciclo N_2 *tokens* são enviados para L4 e um *token* é enviado para L2, No próximo passo o ciclo de aquisição de dados é reiniciado.

A rede da figura 4.20 exhibe o comportamento da aquisição de todos os três tipos de dados obtidos pelo supervisor *plunger lift*, enquanto as redes das figuras 4.21 e 4.22 detalham a aquisição e envio dos dados históricos. A rede de Petri da figura 4.21 modela parte da mesma *thread* da rede da figura 4.20 enquanto que a rede da figura 4.22 representa o comportamento de uma segunda *thread*. A primeira *thread* é encarregada de adquirir os dados dos controladores enquanto a segunda *thread* é encarregada de envia-los para o mestre de banco.

Para a comunicação entre as *threads* são utilizados:

Fifo Uma estrutura onde são armazenados os dados para o envio.

Semaforo Estrutura para proteção dos compartilhados

BufferSize Quantidade máxima de dados que podem ser armazenados antes de serem enviados.

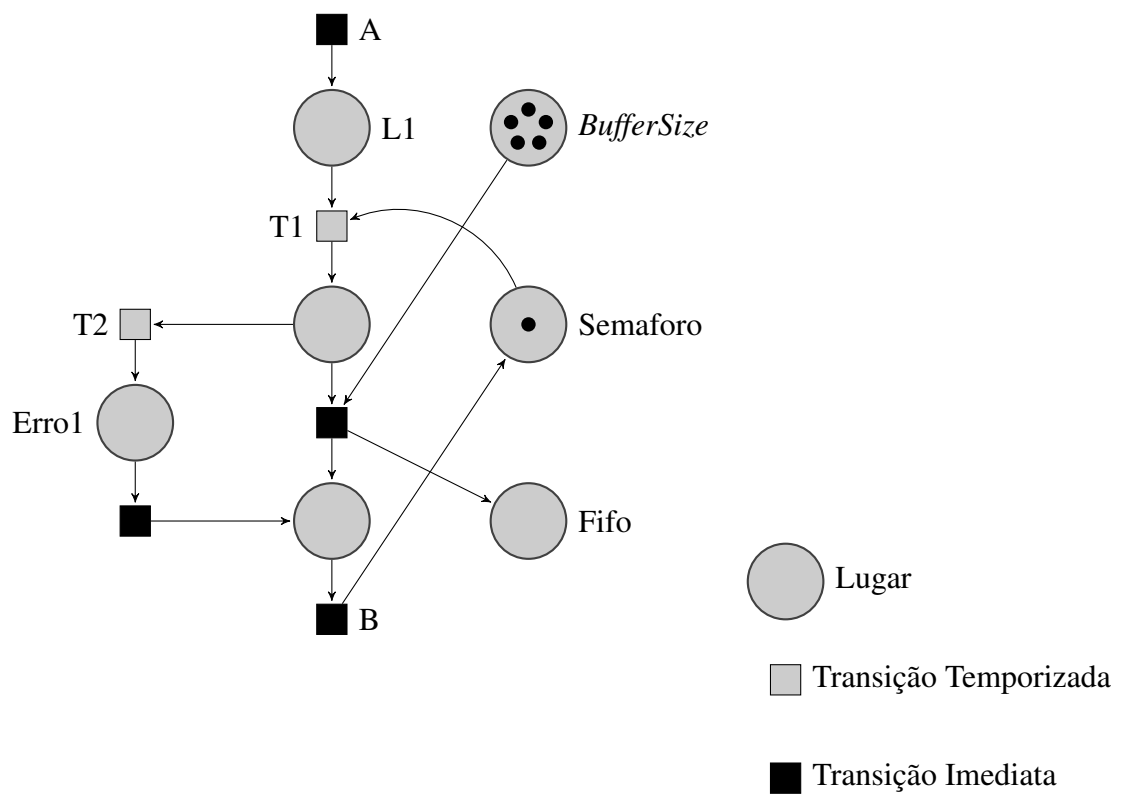


Figura 4.21: Rede de Petri para thread que adquire dados do sistema

Os passos da aquisição de dados históricos que estão modelados na figura 4.21 são descritos abaixo:

Passo 1 No momento em que a transição “A” é acionada o sistema efetua a comunicação com o rádio para obter os dados de histórico. A transição temporizada “T1” modela o tempo levado para obter os dados do através do rádio.

Passo 2 No passo dois o semáforo de proteção é adquirido. É iniciada a contagem da transição T2

Passo 3 Existem duas possibilidades para este passo:

- Se o tempo da transição temporizada T2 se encerrar um erro é gerado e um tratamento do mesmo é realizado.
- Se existem *tokens* em BufferSize existe espaço na fila de envio, portanto, os dados são copiados na estrutura destinada a esse fim.

Passo 4 O semáforo é liberado indicando que os dados podem ser lidos pela *thread* de envio.

A rede da figura 4.22 modela o comportamento do envio dos dados históricos ao mestre de banco e os passos correspondentes a esta interação podem ser visto abaixo:

Passo 1 Quando existir qualquer dado na fila de envio (“*Fifo*”) o semáforo de proteção dos dados compartilhados é adquirido.

Passo 2 No passo dois os dados são lidos. Após a leitura dos dados o semáforo é liberado.

Passo 3 Neste passo os dados são enviados para o mestre de banco e em seguida o sistema aciona as transições temporizadas T1 e T2. A transição T2 modela o tempo de resposta do retorno da função, enquanto T1 modela o tempo para considerar que ocorreu um erro:

- Se “T1” ocorrer significa que a resposta não chegou e o tratamento deste erro é acionado
- Se “T2” ocorrer os dados chegaram em segurança ao mestre de banco.

Passo 4 O semáforo é adquirido novamente.

Passo 5 O espaço para o recebimento de mais mensagens é liberado junto com o semáforo.

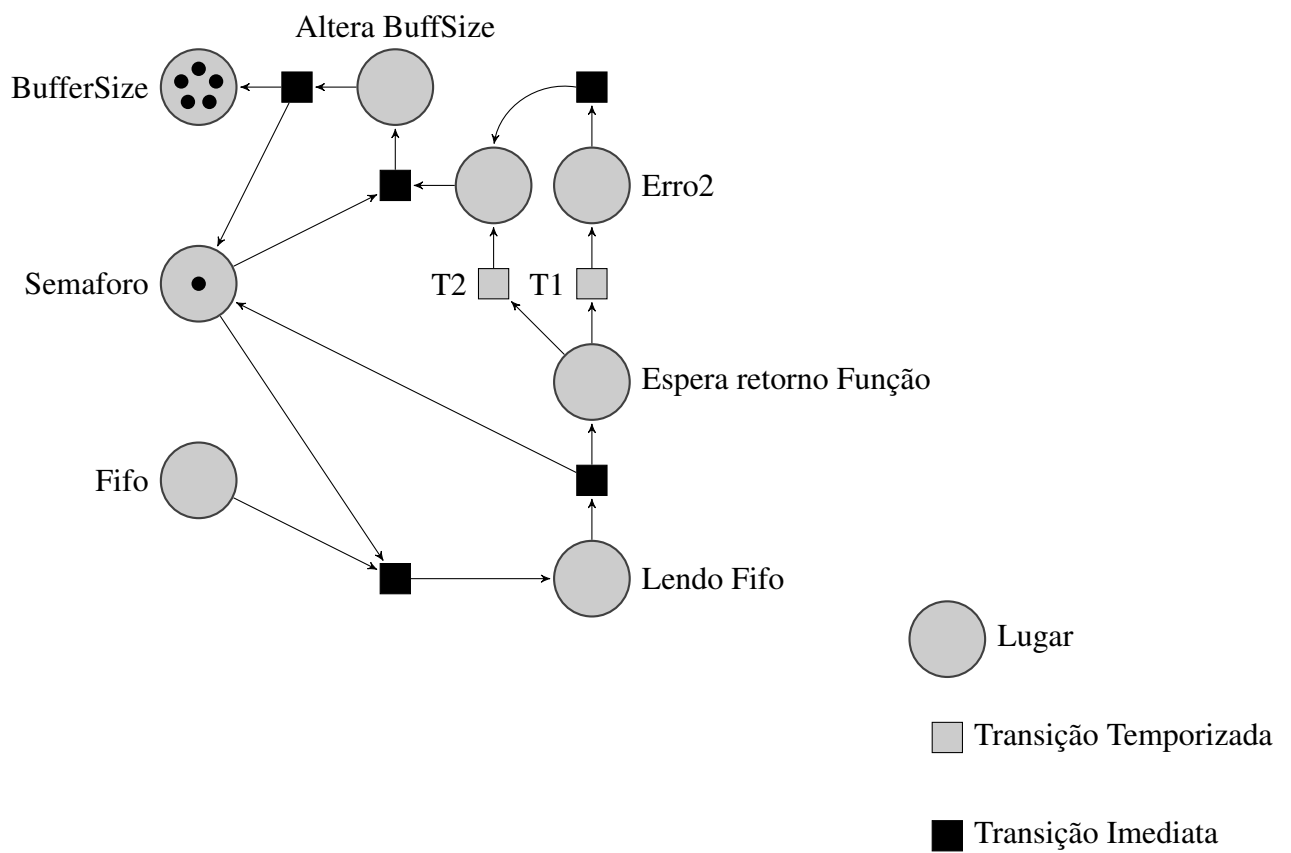


Figura 4.22: Thread que envia os dados ao mestre de banco

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou como foi desenvolvido um módulo para o *software* de supervisão de métodos de elevação artificial chamando SISAL. Este módulo é capaz de supervisionar poços com método de elevação *plunger lift*. A metodologia deste trabalho subdividiu o problema de desenvolvimento em quatro partes as quais constituem o *software* de supervisão SISAL: cliente, servidor, mestre de banco e mestre de campo.

Para o cliente foram desenvolvidas diversas interfaces gráficas com o objetivo de exibir os dados coletados do sistema.

No servidor foram criadas funções de comunicação, do protocolo utilizado no SISAL, para permitir a troca de dados do método de elevação *plunger lift*.

Com relação ao mestre de banco, responsável pela interface entre o banco de dados e o SISAL, foram realizadas modificações nas tabelas do banco de dados para salvar as novas informações adquiridas. Além das alterações no banco de dados foi desenvolvida a capacidade de comprimir dados pois o método de elevação *plunger lift* produz um grande volume de dados. Os resultados dos dados reais comprimidos mostraram uma taxa de compressão em torno de 86%, o que corresponde a uma taxa satisfatória nesta aplicação.

No mestre de campo, responsável pela aquisição dos dados dos controladores, foi desenvolvida a capacidade de adquirir os dados do método de elevação *plunger lift*. O mestre de campo foi desenvolvido seguindo uma nova estrutura de engenharia de software para tornar mais eficiente a sua manutenção. Foram realizados estudos sobre a comunicação do mestre com os controladores os quais definiram políticas e algoritmos para aquisição dos dados. Durante os estudos sobre a comunicação foi modelado, através de rede de Petri, a comunicação entre o mestre e o rádio.

Atualmente o módulo de supervisão desenvolvido está supervisionando aproximadamente 15 poços. Devido a este pequeno número de poços supervisionados não houve a necessidade de implementar as políticas sugeridas para otimizar a comunicação. Como trabalho futuro é interessante realizar a implementação destas políticas de otimização para

permitir a supervisão de forma eficiente de um número maior de controladores.

Referências Bibliográficas

- Assmann, Benno Waldemar (2008), Estudo de estratégias de otimização para poços de petróleo com elevação por bombeio de cavidades progressivas, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Baruzzi, J.O.A. (1994), Modelagem do plunger lift convencional, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica Departamento de Engenharia de Petróleo.
- Cardoso, Janette & Robert Valette (1997), *Redes de Petri*, Editora da UFSC.
- Chikuni, E. & M. Dondo (2007), Investigating the security of electrical power systems SCADA, *em* 'AFRICON', pp. 1 – 7.
- Daneels, A. & W.Salter (1999), What is SCADA?, *em* 'International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems'.
- de Souza, Rodrigo B., João M. A. Nascimento, André L. Maitelli, Heitor P. Gomes & Adelardo A. D. Medeiros (2006), SISAL - um sistema supervisório para elevação artificial de petróleo, *em* 'Rio Oil & Gas Expo and Conference', Vol. 1, pp. 1–6.
- de Souza, Rodrigo Barbosa (2005), Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Intanagonwiwat, C., R. Govindan & D. Estrin (2000), Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", *em* 'the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking'.
- Jian, Wu, Cheng Yong & N.N. Schulz (2005), Overview of real-time database management system design for power system SCADA system, *em* 'Proceedings of the IEEE SoutheastCon.', pp. 62 – 66.

- Jie, Wu, Yang Jinming, Zhang Song-Guang, Xu Qing & Wu Xiao-Chao (2006), Design of supervisory system based on CAN bus for wind power plant, *em* 'IEEE International Symposium on Industrial Electronics.', Vol. 3, pp. 1679 – 1682.
- Morrow, Stanley J., William Hearn & Ramiro Cisneros (2006), New techniques for plunger lift in conventional and nonconventional gas, *em* 'Society of Petroleum Engineers Eastern Regional Meeting', Vol. 1.
- Qingquan, Qian & Wu Sitao (2000), Using device driver software in SCADA systems, *em* 'Power Engineering Society Winter Meeting', Vol. 3, pp. 2046–2049.
- Roelofs, Greg & Mark Adler (n.d.), 'Biblioteca para compressão', <http://www.zlib.net/>.
- Sastry, Chellury, Chi Ma, Michael Loiacono, Nazif Tas & Vladimir Zahorcak (2006), Peer-to-peer wireless sensor network data acquisition system with pipelined time division scheduling, *em* 'Sarnoff Symposium, 2006 IEEE'.
- Thomas, José Eduardo (2001), *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*, Editora Interciência.
- Vinh, Ich Nguyen, W. Benjapolakul & K. Visavateeranon (2007), A high-speed, low-cost and secure implementation based on embedded ethernet and internet for SCADA systems, *em* 'Society of Instrumentation and Control Engineers Annual Conference, 2007.', Vol. 1, pp. 1692 – 1699.
- Wang, Jun, Hong Wang, Haibin Yu & Aidong Xu (2006), Research of architecture and scheduling for wireless industrial control system, *em* 'Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition'.
- Zhao, Feng & Leonidas Guibas (2004), *Wireless Sensor Networks*, Morgan Kaufmann.