

Monografia de Graduação

Desenvolvimento da Página do NUPEG com Recursos Computacionais Avançados e de Simulação de Plantas de Petróleo e Gás do Estado do RN

Anne Dantas de Araújo

Natal, agosto de 2006

Anne Dantas de Araújo

***Desenvolvimento da Página do NUPEG com
Recursos Computacionais Avançados e de Simulação
de Plantas de Petróleo e Gás do Estado do RN***

Natal – RN

Agosto / 2006

Anne Dantas de Araújo

***Desenvolvimento da Página do NUPEG com
Recursos Computacionais Avançados e de Simulação
de Plantas de Petróleo e Gás do Estado do RN***

Monografia apresentada junto à Coordenação do Programa de Recursos Humanos da ANP - PRH 14 - da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, visando à conclusão do trabalho realizado na bolsa de iniciação científica.

Orientador:

Prof. Dr. Osvaldo Chiavone Filho

Co-orientador:

Prof. Dr. Afonso Avelino Dantas Neto

PROGRAMA DE RECURSOS HUMANOS DA ANP - PRH 14
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CENTRO DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Natal – RN

Agosto / 2006

*Dedico esta monografia aos meus pais,
cujo exemplo de honestidade e trabalho
tem sido um norteador para a minha vida.*

Agradecimentos

Aos meus pais Ademilson e Brazilianana, pelo apoio, incentivo e acima de tudo pelo seu amor e dedicação e a minha irmã Aline, pela sua amizade, força e carinho.

Ao meu namorado, Raoni, pelo companheirismo e dedicação, que foram muito importantes nesta fase de minha vida, e por nunca ter desistido de alcançar meus sonhos junto comigo.

Ao meu orientador, professor Osvaldo Chiavone Filho, pela amizade, orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro de Processos da Petrobras/RN Cícero Sena pelo apoio, atenção e idéias dispensadas durante o período deste trabalho.

À comissão gestora do PRH-ANP 14: Eduardo Lins de Barros, José Romualdo Dantas Vidal e Afonso Avelino Dantas Neto, pela amizade e dedicação presente em todos os momentos, e pelo compartilhamento de suas experiências, contribuindo para minha formação acadêmica.

À Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP e à UFRN, por incentivar os estudos na área de Petróleo e Gás Natural e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que fiz no curso de Engenharia Química e no Laboratório do NUPEG, pelos momentos de aprendizado em conjunto que tivemos.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma com a realização deste trabalho. Muito obrigada.

*“A atividade da engenharia, enquanto permanecer atividade,
pode levar a criatividade do homem a seu grau máximo;
mas, assim que o construtor pára de construir e se entrincheira
nas coisas que fez, as energias criativas se congelam,
e o palácio se transforma em tumba.”*

Marshall Berman

Resumo

Produzir gás natural em áreas remotas requer, a princípio, volumes consideráveis. Um aproveitamento local - moto-geração, por exemplo - viabiliza retorno financeiro, ainda que, com baixos volumes produzidos. Existem, porém, problemas a serem superados de forma que o gás produzido atenda a um mínimo de especificações. Neste trabalho, são apresentadas diferentes rotas de processamento utilizadas para ajustar o Índice de Metano, reduzindo os hidrocarbonetos pesados do gás natural. Analisando as rotas de processamento, foi possível evidenciar a necessidade do emprego de diferentes processos, de forma complementar, para a remoção parcial dos componentes indesejados, de forma que o Índice de Metano seja enquadrado num patamar de rendimento ótimo. A escolha do processo mais indicado é uma função da localização da unidade de tratamento, da constituição química do gás, dos níveis de pressão e temperatura disponíveis no reservatório e da vazão a ser tratada. A busca das alternativas mais viáveis foi realizada com base em simulações e também caracterizações reais do gás produzido obtidos de plantas do estado do Rio Grande do Norte. Os resultados do projeto indicam a viabilidade da introdução de um equipamento de separação de constituintes pesados do gás produzido visando uma aplicação in loco em motores de combustão interna.

Palavras-chave:

– Gás Natural; Remoção de Hidrocarbonetos Pesados; Rotas de Processamento; Índice de Metano.

Abstract

Producing natural gas in remote areas requires, first off, considerable volumes. A local utilization - moto-generation for example - gives financial return, even though, low produced volumes. There are, however, problems to be overcome in order to reach a minimum specification in gas production. This work presents different routes of processing used to adjust the Methane Index, reducing the heavy hydrocarbons of natural gas. Analyzing the routes of processing, it was possible to evidence the necessity of using different processes, complementally, to the partial removing of undesirable components to get the Methane Index in a good profit level. The choice of better process is a function of the treatment unit location, the gas chemical constitution, the temperature and pressure levels available in the reservoir and the flow to be treated. The searching of the most viable alternatives was carried out based on simulations and also in real characterizations of the produced gas gotten from areas in Rio Grande do Norte. The results of the project show the viability of introduction of an equipment to separate heavy components of the produced gas in order to apply in loco in internal combustion.

Keywords:

– Natural Gas; Removal of Heavy Hydrocarbons; Processing Routes; Index of Methane.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	Introdução	p. 11
2	Revisão Bibliográfica	p. 15
2.1	O Gás Natural	p. 15
2.1.1	Produção e Processamento	p. 17
2.1.2	Transporte e Distribuição	p. 17
2.1.3	Aplicações	p. 18
2.1.4	Vantagens do Gás Natural	p. 19
2.2	Motores a Combustão Interna	p. 20
2.2.1	Ciclo Otto	p. 22
2.2.2	Índice de Metano	p. 23
2.3	Rotas de Processo	p. 25
2.3.1	Sistemas Baseados em Resfriamento	p. 25
2.3.2	Sistemas Baseados em Transferência da Massa	p. 26
2.4	Equipamentos Existentes	p. 27
2.4.1	A Influência das Variáveis Temperatura e Pressão	p. 27
2.5	O Processo de Absorção	p. 27
2.6	Simuladores de Processos	p. 28
2.6.1	O Simulador HYSYS	p. 29

3 Metodologia	p. 30
4 Resultados e Discussão	p. 31
4.1 Website do NUPEG	p. 31
4.2 A Simulação no HYSYS	p. 33
4.2.1 O Processo	p. 33
4.2.2 Otimização Energética	p. 37
4.2.3 Atividades no Simulador HYSYS	p. 38
5 Conclusões	p. 45
6 Cronograma de Atividades	p. 46
Referências Bibliográficas	p. 47
Anexo	p. 48
Anexo A - Relatório de Estágio	p. 48

Lista de Figuras

2.1	(a) Reservatório produtor de óleo; (b) Reservatório produtor de gás.	p. 16
2.2	Ciclo Otto teórico.	p. 23
4.1	Diagrama simplificado da estrutura do website do NUPEG.	p. 31
4.2	Layout da página inicial do website do NUPEG.	p. 32
4.3	Layout da página interna Contato do website do NUPEG.	p. 33
4.4	Fluxograma do processo.	p. 34
4.5	Caracterização do Gás Natural - Saída do poço produtor.	p. 35
4.6	Processo de resfriamento Joule-Thompson.	p. 36
4.7	Processo de absorção - remoção de pesados do Gás Natural.	p. 36
4.8	Processo de regeneração - remoção de leves do absorvente.	p. 37
4.9	Novo Processo de resfriamento Joule-Thompson.	p. 37
4.10	Sem a presença de absorvente.	p. 38
4.11	Com a presença de absorvente.	p. 38
4.12	Resfriamento Joule-Thompson com otimização energética.	p. 39
4.13	Tratamento baseado em resfriamento.	p. 41
4.14	Tratamento baseado em absorção - absorvente é o n-Octano.	p. 41
4.15	Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Octanol.	p. 42
4.16	Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Ácido Octanóico.	p. 42
4.17	Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Butanoato de n-Butila.	p. 43
4.18	Índice de Metano em relação aos absorventes.	p. 44

Lista de Tabelas

2.1	Fatores para cálculo do MON e do MN	p. 24
4.1	Condições de contorno e iniciais.	p. 34
4.2	Composição inicial.	p. 39
4.3	Condição operacional do absorvente.	p. 40
4.4	Composição molar final do gás especificado.	p. 40
6.1	Cronograma das atividades.	p. 46

1 Introdução

Até pouco mais de três anos atrás os aplicativos principais da rede Internet eram o correio eletrônico, o serviço de News, o login remoto em qualquer máquina da rede e a transferência de arquivos. Tudo isto mudou com o aparecimento e popularização da World-Wide Web, a partir de 1994. Esta teia mundial entrou com um crescimento exponencial de velocidade nunca antes vista, nem mesmo na área da computação, e hoje domina, com facilidade, as outras aplicações que, aliás, foram todas incorporadas a ela. A utilização dos paradigmas de hipertexto, multimídia, arquitetura cliente/servidor e comunicação segura, aliadas a uma interface agradável e lúdica, fácil de ser aprendida e usada, e aliada também a uma enorme facilidade de disponibilização de informações na teia, revolucionou a própria revolução da “Sociedade da Informação”.

A Word Wide Web consiste em recursos que tem endereços. O Uniform Resource Locator (URL) descreve como encontrar um recurso na rede. Recursos abrangem desde arquivos até comandos que acessam newsgroups, copiam arquivos, emitem sons, apresentam imagens, etc. Uma página Web, escrita em uma linguagem de caracteres ASCII simples chamada HTML, vincula recursos.

Especificamente na WWW, há uma forte demanda por padrões próprios, devido à diversidade de usos que tem e ainda virá a ter. Quem centraliza o estabelecimento de padrões para a Web é o W3C - *World Wide Web Consortium* (<http://www.w3c.org>), constituído por representantes de várias empresas e instituições diretamente interessadas no desenvolvimento da Web.

O primeiro Web site foi criado por Tim Berners-Lee da CERN (Laboratório Europeu de Partículas Físicas). Ele criou um sistema de hipermídia distribuído que permitia pesquisadores a ter acesso direto a documentos e informações publicadas por pesquisadores comunitários através de seus computadores. Um Web Site consiste em um conjunto de páginas acessíveis através de um navegador e que existem com a função de apresentar a empresa, vender os produtos ou apresentar mais informações sobre o negócio para um público selecionado e em crescimento exponencial.

Para o desenvolvimento de uma página de Internet é preciso ter a visão de planejamento e desenvolvimento do site focando desde a sua criação até a sua publicação. Rotinas de manutenção de páginas, otimização de imagens, diagramação e publicação na Internet são vistos como pontos cruciais para a elaboração do mesmo.

Dando ênfase à outra parte do projeto presente no plano de trabalho proposto, o Gás Natural é um composto de hidrocarbonetos voláteis que possui ponto de orvalho ligeiramente superior à temperatura ambiente, e pode ser encontrado associado ou não ao petróleo. Suas características conferem uma queima com baixas emissões quando comparada ao óleo combustível e à maioria dos derivados líquidos do petróleo, sendo por isto tão importante na composição da matriz energética de qualquer nação.

A utilização do Gás Natural vem crescendo ano após ano em todo o mundo e também no Brasil. Verificamos que nos últimos cinco anos o perfil de consumo de Gás Natural veicular ganhou um grande alcance e vários investimentos foram realizados nesta área. Na indústria do petróleo a utilização do Gás Natural para combustível no acionamento de motores já vem de longa data, e o mesmo é utilizado para movimentar equipamentos ou ainda para gerar energia elétrica.

Tais motores baseiam-se no ciclo motor de combustão Otto, que por sua vez requisita um Gás Natural com características específicas em termos de componentes, que irão conferir características anti-detonantes necessárias ao desempenho de equipamentos baseados neste ciclo. Em função da dificuldade de se obter naturalmente uma composição adequada, processos de separação são requeridos para que o gás seja então condicionado e fique ajustado aos requisitos mínimos desejados.

No caso de grandes fluxos de gás é concebido um sistema com uma malha de dutos coletora que direcionam o mesmo para um determinado ponto onde todo o gás será processado. Em casos isolados ou em pontos onde o consumo localizado seja muito baixo o custo de uma unidade de processamento de Gás Natural praticamente inviabiliza o projeto.

A necessidade de se consumir este gás em campos isolados, ou ainda de incluí-lo na malha energética do Brasil concorre para a necessidade em se estudar processos que resultem em equipamentos compactos e ajustados de tal forma que o gás possa ser especificado de acordo com as condições mínimas necessárias ao desempenho satisfatório de motores de acionamento direto ou ainda de motores utilizados na geração de energia elétrica.

A utilização de processos combinados com absorventes ou adsorventes alternativos pode ser uma alternativa tecnológica interessante, visto que colocaria estes pontos isolados na matriz

de consumo, e na matriz de conservação energética de modo eficiente.

Como objetivo deste trabalho, temos o estudo de uma alternativa eficiente baseada em processos de separação para a remoção de pesados do Gás Natural produzido em jazidas do Rio Grande do Norte, com a finalidade de seu uso em Motores a Combustão Interna. Especificamente, este objetivo é dividido em:

- Seleção de rotas de processo para utilização em áreas remotas;
- Elaboração do processo de separação da fração pesada do Gás Natural, utilizando o simulador HYSYS;
- análise a viabilidade de utilização de absorventes ou adsorventes existentes na área de aplicação;
- Avaliação do Gás Natural a ser utilizado como combustível em moto-compressores e moto-geradores com base no seu Índice de Metano.

A utilização do Gás Natural produzido passa necessariamente pelo seu transporte e condicionamento, e suas características “in natura” apresentam grande relevância no modo como será consumido. Seu uso mais corrente é como combustível em sistemas chamados abertos - caldeiras e fornos - possuindo utilização como insumo em processos petroquímicos e podendo ser ainda utilizado como combustível nos chamados processos de combustão interna.

Para ser utilizado como fonte de energia para motores a combustão interna, o Gás Natural produzido precisa passar por processos onde componentes pesados são removidos, e precisa ser adequado de acordo com sua propriedade anti-detonante, conhecida em combustíveis líquidos como Índice de Octano e que, nos combustíveis gasosos, possui seu equivalente como Índice de Metano.

Esta adequação é imprescindível para que motores funcionem de modo adequado e mantenham sua alta disponibilidade bem como sua eficiência na geração de trabalho útil em termos compatíveis com seu projeto construtivo.

No caso de grandes jazidas, torna-se rentável construir dutos e malhas de dutos para que o gás seja levado a um Pólo de Processamento, como na cidade de Guamaré-RN, entretanto, para acumulações isoladas, faz-se mister pensar numa utilização local, onde o gás possa ser integrado facilmente à matriz energética, gerando receitas de todo tipo, inclusive sociais e ambientais.

Outro aspecto relevante é a necessidade de utilização de gás de forma mais próxima à jazida produtora, seja na geração de energia ou ainda no acionamento direto de motores. Neste caso

mais específico, a matriz de escoamento impossibilita um fluxo rentável adequado fazendo-se necessária uma alternativa baseada em processos de separação, a fim de que os constituintes mais pesados possam ser removidos, adequando o Índice de Metano para valores adequados à performance desejada dos equipamentos.

2 *Revisão Bibliográfica*

Nesta revisão bibliográfica foi feito um estudo sobre motores de combustão interna, no caso do trabalho o motor ciclo Otto, e um breve embasamento teórico sobre o Gás Natural, para uma melhor compreensão deste projeto.

2.1 O Gás Natural

O Gás Natural é composto basicamente por hidrocarbonetos numa faixa de 1 a 12 átomos de carbono, sendo ainda constituído por compostos inorgânicos e sulfurosos.

Os hidrocarbonetos presentes no Gás Natural podem ser de natureza parafínica e aromática, possuindo estes últimos uma concentração muito baixa. O processo de separação de fases limita a cadeia carbônica ao C12, faixa limítrofe para a identificação de HC no Gás Natural. Compostos aromáticos, tais como: benzeno, tolueno, xileno e naftalenos, são relativamente raros, conferindo características semi-tóxicas ao Gás Natural.

Além dos hidrocarbonetos presentes no Gás Natural, uma grande variedade de compostos orgânicos com oligoelementos é encontrada no processo de formação. Os oligoelementos presentes no Gás Natural são geralmente enxofre, que formam compostos chamados mercaptanas, tióis, sulfetos e dissulfetos, que em conjunto com o H_2S inorgânico irão constituir o odor característico deste insumo produzido na indústria do petróleo.

Além dos hidrocarbonetos e compostos sulfurosos presentes no Gás Natural, existe ainda uma diversidade de compostos inorgânicos entre os quais os gases O_2 , N_2 , He, CO_2 e metais como o mercúrio. Há ainda a água, presente em equilíbrio em saturações que variam de alguns kg/m^3 até a saturação total na pressão e temperatura de reservatório.

O Gás Natural por possuir grande quantidade de metano é um combustível que se caracteriza por uma melhor queima e conseqüentemente um melhor aproveitamento energético, a relação H/C é maior e desta forma possui maior potencial energético também. Ele está localizado em jazidas oriundas de bacias sedimentares e pode ser produzido de forma associada ao

óleo ou de forma isolada, que se denomina de não associado.

A extração de Gás Natural está diretamente relacionada com uma infra-estrutura adequada de produção e facilidades, de forma que o mesmo possa ser direcionado para pólos de processamento ou de consumo conforme suas características específicas.

O gás natural pode ser encontrado dissolvido ou não no petróleo e, por esse motivo, ele é dividido em duas categorias: associado e não-associado (ver Figura 2.1).

O gás associado é encontrado em reservatórios petrolíferos, dissolvido no óleo sob a forma de capa de gás. Ele é geralmente produzido a baixas pressões, visto que isto maximiza a produção de hidrocarbonetos de determinado reservatório - óleo e gás. Assim sendo, por estar associado ao óleo, o gás associado possui quantidades significativas de hidrocarbonetos pesados, que conferem um maior peso molecular e conseqüentemente uma maior massa específica.

Já o gás não-associado é encontrado em reservatórios gaseíferos, sem estar em contato com quantidades significativas de óleo, portanto possuindo uma seqüência de hidrocarbonetos constituintes mais leve. Ele pode ser produzido a pressões mais altas, o que pode ser uma vantagem nas etapas de transporte e processamento.

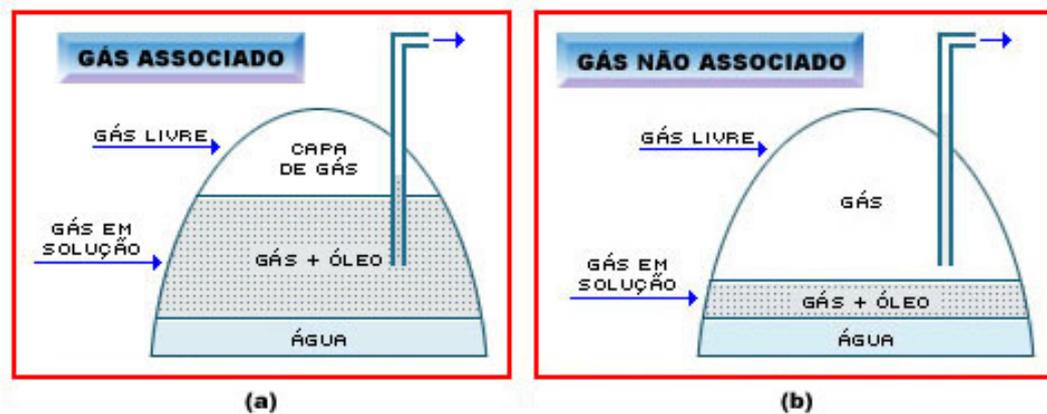


Figura 2.1: (a) Reservatório produtor de óleo; (b) Reservatório produtor de gás.

O manuseio e aproveitamento do Gás Natural está diretamente ligado a sua natureza em termos de constituintes, entretanto o nível de pressão no qual é produzido representa um aspecto fundamental, visto que, baixas pressões demandam um maior investimento em equipamentos, bem como custos operacionais mais elevados tanto em energia como em recursos de operação e manutenção (O&M).

2.1.1 Produção e Processamento

Após ser extraído dos reservatórios, o gás passa inicialmente pelos vasos separadores, onde são retirados a água, os hidrocarbonetos em estado líquido e as partículas sólidas (produtos de corrosão, pó etc). No caso de haver contaminação por compostos de enxofre, o gás é enviado para Unidades de Dessulfurização, onde essas substâncias são retiradas. Após esses tratamentos, uma parte do gás é utilizada para recuperação do petróleo nos reservatórios e o restante segue para as unidades de processamento.

Nas Unidades de Processamento de Gás Natural, as UPGNs, os componentes do gás natural são separados em produtos especificados e prontos para utilização. Nesta etapa, o gás é desidratado, ou seja, o vapor d'água é retirado, e fracionado. Nesse fracionamento são obtidos: metano e etano; propano e butano; pentano, hexano, heptano e hidrocarbonetos superiores.

Os produtos obtidos nesse processo são:

- Gás processado ou residual, formados pelo metano e etano;
- GLP (gás liquefeito do petróleo, o “gás de cozinha”), formado pelo propano e butano; e
- Gasolina natural, formada pelo pentano, hexano e heptano.

2.1.2 Transporte e Distribuição

O gás natural pode ser transportado até os centros consumidores nos estados gasoso, líquido ou comprimido.

No primeiro caso, o transporte normalmente é realizado por dutos, conhecidos como gasodutos. Já no estado líquido, como o gás natural liquefeito (GNL), o produto pode ser conduzido por navios, barcaças e caminhões criogênicos (com temperatura de 160°C negativos). O transporte nesses caminhões possui a vantagem de haver uma redução em torno de 600 vezes o volume do gás, facilitando assim o armazenamento do mesmo. Para ser utilizado, o gás transportado desse modo deve ser revaporizado em equipamentos especiais. Em casos específicos, o produto pode ser transportado em cilindros de alta pressão, como o gás natural comprimido (GNC).

Após ser transportado, o gás é distribuído de forma a chegar aos diferentes consumidores. Em alguns casos, o gás natural é odorizado para ser detectado facilmente em caso de vazamento.

A Constituição Federal e a lei 9.478 estipulam que a distribuição de gás canalizado com

fins comerciais junto a usuários finais é de exploração exclusiva dos Estados, de forma direta ou por concessões.

2.1.3 Aplicações

O gás natural possui diversas formas de aplicação, e uma que vem recebendo bastante destaque é como combustível automotivo. Frotas de ônibus urbanos, táxis e veículos particulares têm passado ultimamente por conversão para receber o gás natural comprimido. A utilização do gás natural permite a redução da emissão de gases poluentes pela metade, além de aumentar a vida útil do veículo e ser um combustível de custo mais baixo.

O uso do gás em usinas termelétricas também é uma outra importante aplicação do gás natural. Em comparação às hidrelétricas, as termelétricas oferecem muitas vantagens, desde o menor prazo de construção aos menores custos de implantação, além de poderem ser instaladas próximas aos centros de consumo, barateando a distribuição da energia produzida. As termelétricas a gás natural representam, portanto, economia sem poluição.

Entre as diversas aplicações em diferentes setores do país, o gás pode ser utilizado nos setores industrial, comercial, residencial e de transporte.

No setor industrial o gás é ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, garantindo a qualidade de acabamento, como, por exemplo, a indústria de cerâmica branca, a fabricação de cimento e de vidros. Outras importantes aplicações do gás podem ser encontradas neste setor, dentre as quais:

- Atua como redutor na fabricação de aço, na indústria siderúrgica;
- Na indústria petroquímica, fornece matéria-prima principalmente para produção do álcool metanol;
- Na indústria do petróleo, é utilizado na recuperação do óleo que não conseguiu ser extraído nas operações da produção primária;
- Na indústria de fertilizantes fornece matéria-prima para produção de amônia e uréia;
- Usado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz.

No setor comercial e residencial o gás natural é aplicado com diferentes funções e em diferentes áreas. Ele pode ser usado como combustível doméstico e industrial, no cozimento de

alimentos, no aquecimento de água em aquecedores e boilers, no corte de metais, em aerossóis, dentre outros.

Uma das aplicações do gás neste setor bastante difundida na sociedade é como Gás Liquefeito de Petróleo - GLP -, conhecido popularmente como gás de cozinha. Ele é obtido a partir das frações mais pesadas do gás natural, sendo constituído pelos hidrocarbonetos propano e butano. Pode apresenta-se no estado gasoso, sob pressão atmosférica e temperatura ambiente, e no líquido, em processos de armazenamento e transporte. O GLP é um produto de fácil armazenamento e de uso seguro, e se caracteriza também por possuir combustão completa, queima limpa, baixo teor de enxofre (não corrosivo) e alto poder calorífico.

No setor de transportes, o gás natural é conhecido como “Gás Natural Veicular”. Ele é usado como combustível em táxis, veículos de carga, frotas de ônibus urbanos e interurbanos, veículos particulares, etc, e caracteriza-se por possuir excelentes qualidades energéticas. Dentre as suas vantagens, podemos destacar:

- Não dilui o óleo lubrificante do motor do veículo, pelo fato de ser um combustível seco;
- Sua queima não provoca depósitos de carbono nas partes internas do motor, aumentando a sua vida útil e o intervalo de troca de óleo;
- Durante a sua queima não ocorre a formação de compostos de enxofre, diminuindo, portanto, a corrosão no escapamento de gás do veículo, evitando a troca frequente deste equipamento.

2.1.4 Vantagens do Gás Natural

São inúmeras as vantagens do uso do gás natural. Abaixo podem ser vistas algumas delas:

- Ajuda a melhorar e preservar a qualidade do ar e da água;
- Combustão limpa: queima completa sem deixar resíduos;
- Baixíssima presença de contaminantes;
- Em casos de vazamento é rapidamente disperso;
- Maior durabilidade dos equipamentos;
- Custos reduzidos;

- Não requer estocagem;
- Possibilidade de substituir qualquer fonte de energia convencional;
- Produto acabado, pronto para utilização;
- Melhora o rendimento dos equipamentos em relação ao óleo combustível;
- Sistema de dutos barateia o custo do transporte.

Mundialmente, as atenções estão cada vez mais voltadas para a defesa do meio ambiente, portanto, o gás natural representa uma das alternativas energética mais adequada e disponível do século XXI.

2.2 Motores a Combustão Interna

Uma das utilizações típicas do Gás Natural como combustível para motores a combustão interna que utilizam o Ciclo Otto. Tratam-se de equipamentos que promovem a combustão dentro de um recipiente fechado - cilindros - gerando uma explosão controlada. Os gases oriundos da explosão se expandem e acionam um êmbolo que por sua vez, através de um sistema de conexões mecânicas (bielas e manivela), transfere energia para sistemas mecânicos. Esta energia, agora sob a forma mecânica, virá a ser utilizada em processos de geração de movimento por acionamento direto - moto-compressores, por exemplo, ou ainda sob a forma de energia elétrica, no caso mais específico de moto-geradores.

Para que possa ser utilizado de modo adequado, o combustível deve possuir características anti-detonantes, ou seja, deve resistir à detonação até um ponto em que a mesma seja conveniente e proveitosa. Neste ponto é então admitido ar e então uma centelha é introduzida, possibilitando a explosão anteriormente mencionada.

A transformação de energia química em energia mecânica obedece a uma seqüência de etapas denominada de ciclo. Em função de cada equipamento e das características de combustíveis utilizados podemos ter vários ciclos.

Para entender melhor esta seqüência os ciclos reais são ajustados para ciclos denominados ciclo padrão a ar, os quais podem ser estudados e comparados de forma mais conveniente para estudos de otimização.

Em equipamentos dedicados à produção de trabalho, comumente o fluido utilizado é um gás, e mesmo quando se trata de líquidos pode ser feita uma aproximação para gás, visto que

antes de ser queimado todo combustível deve ser gaseificado, ou no mínimo, finamente dividido, processo chamado de atomização. Existe uma reação química entre o combustível “gasoso” e o ar, gerando produtos de combustão também gasosos, no caso, CO_2 , H_2O , CO , SO_x e NO_x .

Em função do fluido de trabalho não passar por um ciclo termodinâmico completo, denomina-se este tipo de ciclo como sendo aberto, entretanto a aproximação para um ciclo fechado resulta numa boa aproximação para este tipo de ciclo aberto, o chamado ciclo padrão a ar.

Estas aproximações estão baseadas nas seguintes hipóteses:

- O fluido de trabalho é uma massa fixa de ar e este ar pode ser sempre modelado como um gás perfeito. Assim não há processo de alimentação e descarga;
- O processo de combustão é substituído por um processo de transferência de calor de uma fonte externa;
- O ciclo é completado pela transferência de calor ao meio envolvente, ao invés do processo de exaustão e admissão que ocorrem num motor real;
- Todos os processos são internamente reversíveis.

Usualmente é feita a hipótese adicional de que o ar apresenta um calor específico constante.

A principal vantagem do ciclo padrão a ar está no fato de permitir avaliar qualitativamente a influência das várias variáveis no desempenho do ciclo, além de permitir uma melhor compreensão do processo como um todo, em especial na parte qualitativa no entendimento dos rendimentos esperados.

A variável pressão média efetiva expressa a relação força sobre área que atua no pistão durante o curso do motor realizando um trabalho efetivo.

Os principais ciclos existentes são:

- Ciclo Brayton;
- Ciclo Diesel;
- Ciclo Otto.

O Ciclo Diesel é muito específico e admite combustível com características bem específicas, não possuindo adaptabilidade. Já os demais ciclos, Brayton e Otto, admitem combustíveis sob as mais variadas formas, e o que prepondera é a potência desejada na geração líquida final. O

ciclo Otto admite quaisquer combustíveis, desde que uma propriedade específica que traduz a capacidade anti-detonante esteja de acordo com o projeto de fabricação do equipamento. Assim sendo, tendo-se um Índice de Octano, no caso de líquidos, ou um Índice de Metano, no caso de gases, adequado, o motor baseado nesse ciclo irá operar de forma adequada, obtendo-se energia mecânica para ser utilizada em quaisquer acionamentos de outros equipamentos.

2.2.1 Ciclo Otto

O ciclo Otto caracteriza-se por um processo de combustão interna a partir de um centelhamento seguido de queima uniforme a qual provoca uma detonação desejada que move o pistão em sentido oposto. Através de mecanismos próprios, este esforço gerado pela combustão controlada, é transformado em energia mecânica que será utilizada para acionamento direto ou ainda conversão em energia elétrica.

Para melhor entender o ciclo Otto pode ser utilizada uma aproximação denominada de ciclo padrão a ar Otto, que é um ciclo ideal que se aproxima do motor ignição por centelha. Na Figura 2.2 abaixo deste ciclo observam-se os seguintes processos:

- Etapa 1-2: processo de compressão isentrópica do ar quando o pistão se move do ponto morto do lado da manivela (inferior) para o ponto morto do lado do cabeçote (superior), ou seja, ocorre o deslocamento do cilindro até a posição de queima;
- Etapa 2-3: o calor é transferido para o ar, a volume constante, enquanto o pistão está momentaneamente em repouso no ponto morto superior. Num processo real esta etapa corresponde à ignição da mistura ar-combustível pela centelha e a queima subsequente;
- Etapa 3-4: corresponde a uma expansão isentrópica, onde ocorre a liberação da energia de explosão;
- Etapa 4-1: é de escapamento, onde ocorre a rejeição de calor do ar, enquanto o pistão está no ponto morto inferior.

própria para o cálculo de índices que refletem a “preferência” por maiores teores de Metano e conseqüente minimização de componentes pesados.

A composição do gás está associada diretamente à qualidade da detonação e sua principal característica refere-se ao Índice de Metano. Cada fabricante possui uma sistemática própria de cálculo deste índice que está regulamentado pela ISO 6976. De uma forma geral os componentes interferem conforme fatores expressos na tabela abaixo, e o Índice de Metano pode ser calculado numa associação das seguintes equações:

$$MON = FC1 * \%C1 + FC2 * \%C2 + FC3 * \%C3 + FC4s * \%C4s + FCO2 * \%CO2 + FN2 * \%N2 \quad (2.1)$$

$$MON = -406,14 + (508,04 * F_H/C) - \left[173,55 * (F_H/C)^2 \right] + \left[20,17 * (F_H/C)^3 \right] \quad (2.2)$$

MON é o Índice de Octano, onde FCn são os fatores descritos na tabela abaixo, X é a fração molar de cada componente e F_H/C é a relação atômica hidrogênio-carbono presentes na mistura.

A Equação 2.2 apresenta uma considerável vantagem em relação a Equação 2.1 visto que o espectro de componentes do gás natural estudado transcende os butanos, perfazendo composições que incluem até os decanos, desta forma, através da relação atômica obtém-se um cálculo bem mais representativo em relação ao índice de octano - MON.

Para o cálculo do Índice de Metano, MN, é utilizada a correlação abaixo:

$$MN = 1,445 * MON - 103,42 \quad (2.3)$$

Tabela 2.1: Fatores para cálculo do MON e do MN

Componentes	GRI INDEX factor
Nitrogênio	26,994
Gás Carbônico	181,233
Metano	137,780
Etano	29,948
Propano	-18,193
Butanos e superiores	-167,062

2.3 Rotas de Processo

Para a remoção dos pesados do Gás Natural temos dois tipos de rotas de processo que foram estudadas:

- Sistemas baseados em resfriamento;
- Sistemas baseados em transferência da massa.

2.3.1 Sistemas Baseados em Resfriamento

São os sistemas mais simples, e baseiam-se na retirada de componentes mais pesados por condensação. Estes sistemas não apresentam uma eficiência muito grande e seu principal problema é o gasto de energia envolvido no processo.

O sistema de Tratamento do Gás para consumo em motores Ciclo Otto baseado em resfriamento, é composto basicamente por quatro equipamentos:

- Compressor de gás;
- Válvula expansora (ou sistema expansor);
- Vasos separadores;
- Trocadores de calor.

Podem ser concebidos em um ou mais estágios e a arquitetura básica pressupõe um número ideal de 2 estágios. O sistema pode ainda ser de circulação total ou circulação parcial. Na circulação total, o gás é admitido uma única vez no primeiro estágio e permeia todo o sistema obtendo-se ao fim um gás tratado suprimido dos condensáveis que ficaram no caminho. O gás via de regra sai a temperaturas muito baixas, o que pode ser um problema para o motor que será acionado.

Quando a vazão a ser consumida é insuficiente para gerar quedas de temperaturas que possibilitem a eliminação dos pesados, passa-se para uma circulação parcial. Neste caso um dos estágios é resfriado mediante gás adicional que possui ciclo próprio e que retorna para o sistema de compressão após a troca térmica ou é utilizado para outros fins onde não haja criticidade na especificação.

Um dos elementos que podem ser eliminados é o compressor, entretanto para isto é necessário que haja uma fonte de gás com pressão suficiente para promover o resfriamento necessário à retirada dos componentes indesejados. No caso mais específico podemos ter sistemas produtores de alta pressão que suprirão o sistema com uma circulação total ou parcial, ou gás a partir de sistemas de suprimento comercial, embora nestes casos o gás normalmente seja tratado e não necessite da remoção daqueles componentes.

Devido às baixas temperaturas verificadas neste sistema, não raro é atingido o ponto de hidrato, sendo necessário um sistema de injeção de metanol capaz de inibir este problema. Isto ocorre sempre que o gás não passa por uma prévia remoção de água. Em pólos produtores onde existe um tratamento prévio, o uso do metanol poderá ser dispensável em função da baixa concentração de água no gás.

2.3.2 Sistemas Baseados em Transferência da Massa

Estes sistemas são mais complexos, entretanto oferecem uma maior garantia do gás tratado. Baseiam-se numa absorção, refrigerada ou não, onde numa torre absorvedora circulam em contra-corrente um hidrocarboneto líquido (óleo de absorção) e Gás Natural. A depuração do gás se dará na razão do número de estágios teóricos necessários à especificação final desejada. O principal problema deste sistema é o maior investimento necessário além de um maior número de equipamentos móveis, por outro lado pode dispensar o uso de compressores e até do sistema de inibição de hidratos.

Os principais equipamentos deste sistema são:

- Compressor (no caso de pressões de coleta muito baixas);
- Torre de absorção;
- Bomba para recirculação de óleo;
- Vasos separadores;
- Trocadores de calor.

O gás a ser tratado é inicialmente resfriado e em seguida é conduzido para uma torre de pratos ou recheada, onde após vários estágios de equilíbrio sofre uma separação entre os componentes leves e pesados, utilizando-se para isto um fluido absorvedor em contra corrente. No topo da torre sai a corrente de gás tratado que será consumido nos equipamentos, enquanto

que no fundo temos uma corrente líquida, porém rica em hidrocarbonetos leves e pesados. A corrente líquida passa por trocador de calor (refervedor) onde após aquecimento o gás pesado é liberado e reconduzido para compressão complementar, o líquido por sua vez retorna em circuito fechado para nova absorção. Grandes volumes de gás podem inviabilizar este processo como tratamento, ou em outras palavras pode ser mais econômico construir uma UPGN.

2.4 Equipamentos Existentes

Os motores instalados na UN-RNCE pertencem basicamente a dois fabricantes Caterpillar e Waukesha, sendo utilizados ainda o monocilindro Kubota - projeto piloto - e MWM. Estes equipamentos desempenham basicamente duas funções: acionamento direto de bombas e compressores ou ainda geração de energia elétrica. Se no trabalho de acionamento direto a parte crítica é a potência disponível para transmissão ao equipamento na moto-geração o aspecto crítico é a modulação que deve ser constante. Em ambos os casos a qualidade do combustível é algo fundamental e que interfere diretamente no desempenho dos equipamentos.

2.4.1 A Influência das Variáveis Temperatura e Pressão

A pressão de alimentação é bastante reduzida estando próxima à atmosférica, entretanto devem ser observados cuidados na fonte de gás, de forma que o mesmo possua uma pressão mínima, adequada ao escoamento. Por outro lado se esta pressão for muito alta, deve ser previsto um sistema de redução e controle da pressão, tomando-se cuidados relativos à redução drástica de temperatura - Efeito Joule - Thompson - observar limites de temperatura do material da tubulação, e também problemas de condensação - retrógrada ou por redução de temperatura.

A temperatura está normalmente associada ao processo, e muda em função de reduções de pressão ou tende a se estabilizar em função da troca geotérmica - tubos enterrados, ou troca por radiação/convecção no caso de tubulações aéreas.

2.5 O Processo de Absorção

A absorção de gás envolve a transferência de um componente solúvel de uma fase gasosa para um absorvente líquido. Sugere-se como desejável que as fases estejam distintas, ou seja, na temperatura e pressão de equilíbrio de cada estágio a fase gasosa esteja na condição vapor não condensável e a fase líquida esteja numa condição não volátil.

Neste processo as moléculas do gás são difundidas dentro do líquido, e o movimento na direção inversa pode ser considerado desprezível.

Há processos mono-componente onde apenas uma substância sofre o processo de absorção e processos multicomponentes, onde mais de uma substância sofre este processo. Uma vez atingido o equilíbrio não há mais transferência efetiva significativa de massa, o tempo de contato serve de limitante neste caso, visto que a continuidade do mesmo estabeleceria um nível de equilíbrio dinâmico. Outra sub-divisão consiste na existência ou não de reações químicas durante o processo, o que denotaria uma maior interação molecular. O projeto do equipamento deve considerar o fato de que a promoção do contato entre as fases deve ser realizada do modo mais íntimo possível, o que trará uma maior eficiência final.

2.6 Simuladores de Processos

Montar sistemas em escala industrial requer investimentos de grande ordem, e por vezes, com tais investimentos, não são obtidos os resultados esperados em termos de rentabilidade ou até na área de conhecimento e tecnologia. Em função disso, são utilizados comumente programas que “imitam” as condições reais, para que conclusões, ainda que parciais, possa ser obtidas de forma que as rotas de processo possam ser direcionadas para um objetivo factível. Tais programas são denominados de Simuladores de Processo, e têm sido utilizados no projeto e no suporte a operação de sistemas.

O maior objetivo na utilização de simuladores de processo é a obtenção das faixas de operabilidade de equipamentos, sistemas ou até unidades industriais. A partir de dados iniciais, estimados com base na utilização de parâmetros históricos, ou de operabilidade clássicos da indústria, são determinadas direções de pesquisa que, em conjunto com técnicas de pesquisa operacional, irão fornecer limites operacionais para as diversas variáveis significativas.

Os simuladores possuem parâmetros relativos a equipamentos originados em funções básicas, funções estas montadas a partir modelos termodinâmicos. Apesar de vários modelos não corresponderem exatamente ao equipamento real, eles podem ser adaptados de modo versátil para que em conjunto com várias operações possam representar uma operação, um conjunto de operações ou ainda sistemas complexos envolvendo balanços de massa e energia, além de reações químicas e equilíbrios de fases.

Um simulador de processo é composto basicamente por uma base de dados com parâmetros e propriedades de substâncias de interesse do pesquisador ou do profissional da área técnica, um conjunto de modelos de equipamentos, uma base de modelos termodinâmicos, e regras de

convergência de funções e cálculo de sistemas de equações lineares e não lineares que perfazem a modelagem das unidades operacionais como um todo.

2.6.1 O Simulador HYSYS

O HYSYS é um simulador da Hyprotech (Hyprotech's Integrate System of Engineering Software) com interface Windows. Ele é utilizado no processamento do gás, petróleo, óleo refinado, petroquímico, químico e combustível sintéticos industrial.

Como os demais simuladores, ele oferece vários pacotes de equação de estado para o cálculo das propriedades termodinâmicas, sendo que para as atividades realizadas nesse trabalho foram utilizados os modelos de Peng-Robbinson e o ASTM Steam.

No simulador HYSYS após a escolha do modelo a ser utilizado pode também ser caracterizado o fluido de trabalho, este podendo ser um fluido real ou hipotético.

3 *Metodologia*

A metodologia utilizada para a elaboração do seguinte trabalho está composta pela seqüência abaixo:

- Estudo de recursos computacionais ligados à elaboração de um site;
- Elaboração de um layout para o site do NUPEG;
- Montagem do site em linguagem html;
- Revisão Bibliográfica em cima dos aspectos teóricos englobados no trabalho;
- Estudo do software de Simulação Hysys;
- Simulação de Plantas de Petróleo e Gás Natural;
- Estudo de casos de simulação no Hysys;
- Utilização do Simulador Hysys e da Planilha Excel para a modelagem e avaliação do processo:
 - Foram variadas condições de Pressão e Temperatura;
 - Pressão Inicial: variada entre 10 e 150 kg/cm^2 ;
 - Foram utilizados diferentes absorventes.
- Equação de estado de Peng-Robinson para a modelagem termodinâmica;
- Caracterização do GN por Índice de Metano - MN.

4 Resultados e Discussão

4.1 Website do NUPEG

Como parte inicial do plano de trabalho, foi feito um estudo na parte de webdesign, utilizando métodos computacionais avançados para a elaboração de um website para o NUPEG - Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás.

Um dos recursos computacionais utilizados na montagem do website foi o software Dreamweaver. Ele é uma das melhores opções profissionais para a produção e editoração de websites. É o programa mais utilizado entre os profissionais no mundo inteiro e possui ferramentas básicas e avançadas, permitindo a utilização de recursos avançados. Um outro software que foi utilizado na elaboração do site foi o programa de edição de imagens Adobe Photoshop CS2.

O website do NUPEG foi estruturado de forma simples e direta, a fim de fornecer uma navegação fácil e rápida entre as suas páginas. O diagrama desta estruturação pode ser visualizado na Figura 4.1 abaixo.

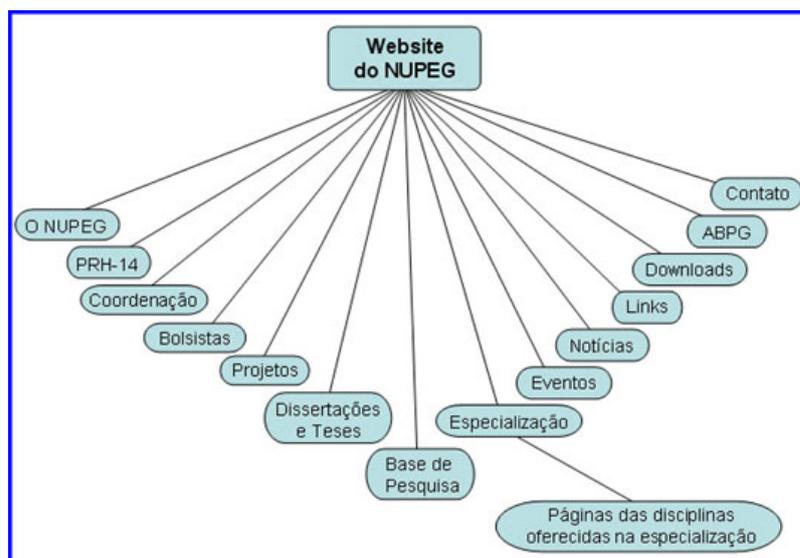


Figura 4.1: Diagrama simplificado da estrutura do website do NUPEG.

Como resultado da página principal do site, temos a Figura 4.2 abaixo.

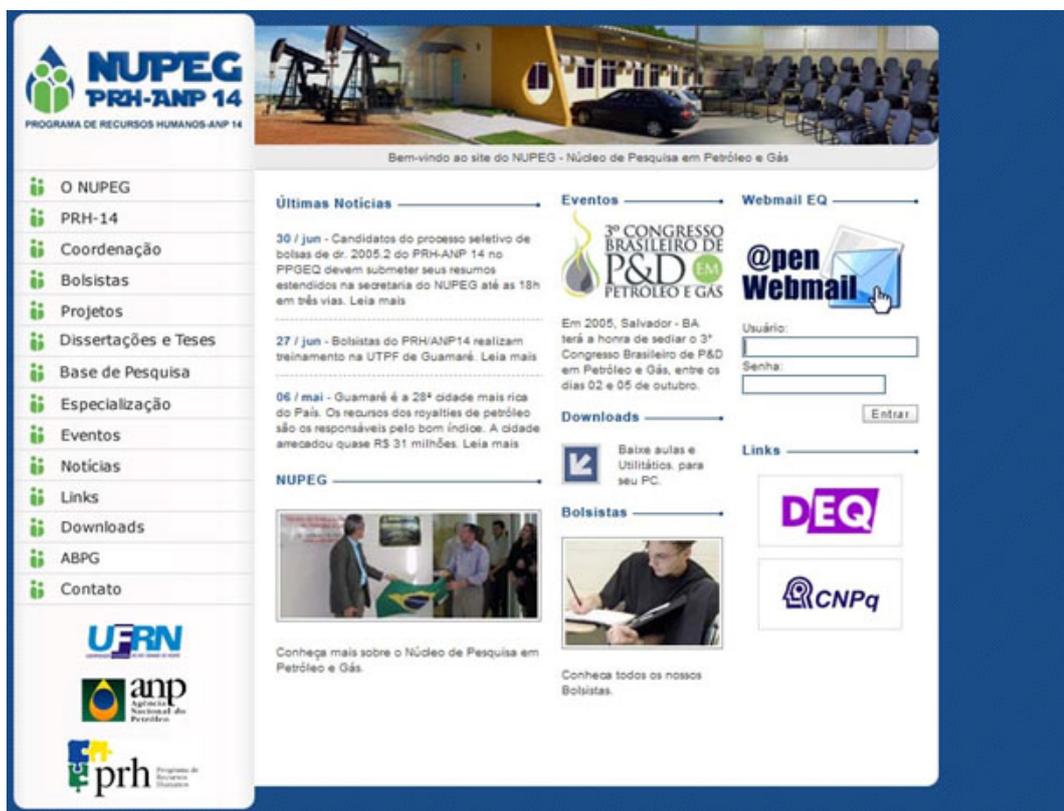


Figura 4.2: Layout da página inicial do website do NUPEG.

Os links internos do site mantiveram a mesma estrutura do layout inicial, contendo o menu na parte esquerda e o conteúdo centralizado. Pode ser visto o resultado de um desses links na Figura 4.3 abaixo.

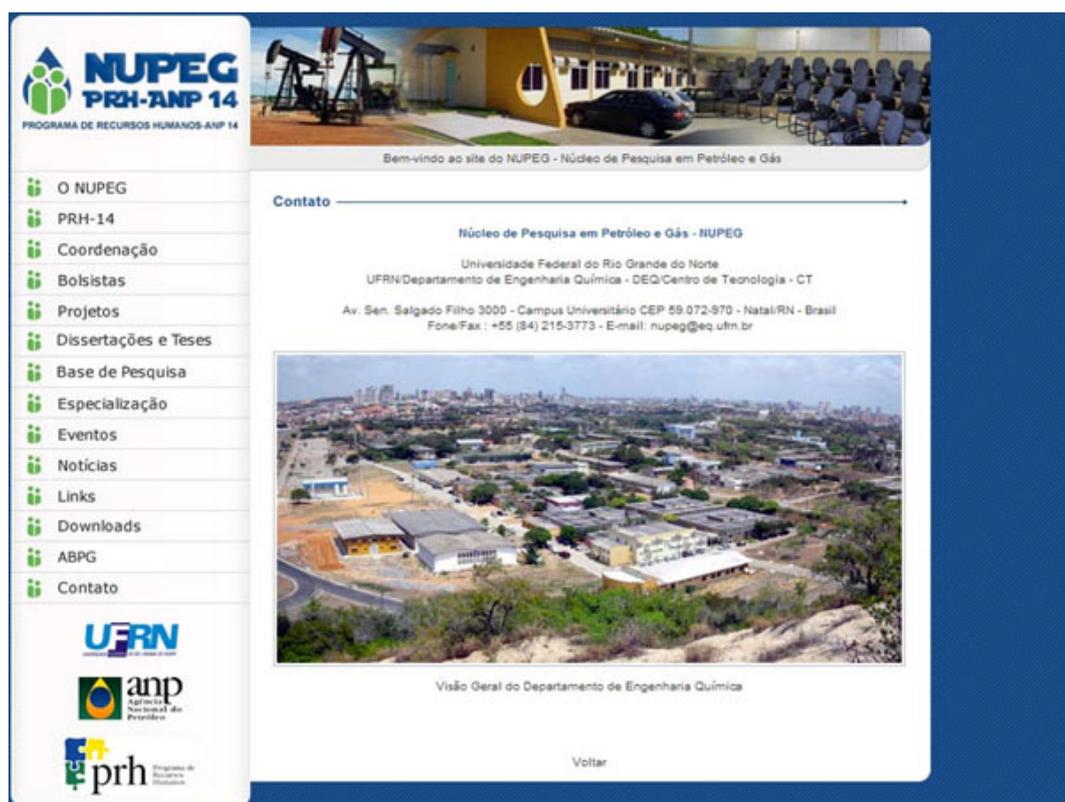


Figura 4.3: Layout da página interna Contato do website do NUPEG.

4.2 A Simulação no HYSYS

Neste etapa do plano de trabalho, pode ser visto o processo de separação da fração pesada do gás para a queima em motores de combustão, utilizando o software de simulação Hysys.

4.2.1 O Processo

Antes do sistema descrito acima ter sido modelado no simulador Hysys, um esboço dele foi feito em Planilha Excel, como pode ser visto na Figura 4.4 abaixo.

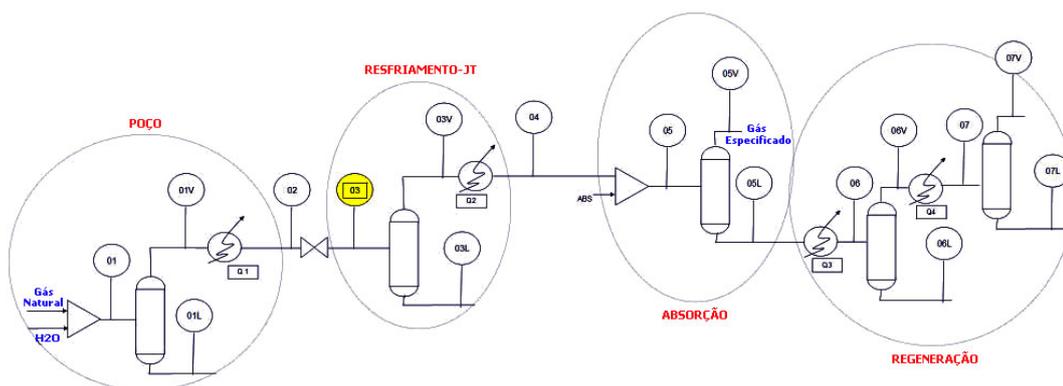


Figura 4.4: Fluxograma do processo.

Com o objetivo de analisar, previamente, o equilíbrio e o processo de absorção de hidrocarbonetos pesados, foram realizadas simulações onde se tomou como base cadeias parafínicas, álcoois e ácidos carboxílicos entre 8 e 10 átomos de carbono.

Foram variadas temperatura e pressão, bem como adição e retirada de calor. Na Tabela 4.1 abaixo foram descritas algumas condições de contorno e iniciais para as variáveis no processo.

Tabela 4.1: Condições de contorno e iniciais.

CP	Pressão (Kgf/cm^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)		Observações
01	10 a 150	30		Saturação do gás base seca com água
02	10 a 150	30 a 100	$P = P1$	Gás saturado sem excesso de água
03	10 a 150	do processo	$P < P2$ $T < T2$	Após expansão - redução de temperatura
04	10 a 150	do processo	$T > T3$	Ajuste da temperatura
05	10 a 150	do processo		Mistura com absorvente
06	1 a 20	40 a 60		Absorvente saturado após aquecimento
07	1 a 20	20 a 30		Condensação de pesados
L				Correntes líquidas
V				Correntes de vapor
Q1			do processo	
Q2		se $T = 0$	$= 0$	Ajuste na temperatura - controle do processo
Q3			do processo	Inclusão de calor para vaporizar pesados

Q4			do processo	Retirada de calor para condensar pesados
$\Delta p1$			= 0	Função de aquecimento
$\Delta p2$	se $P = 0$		= 0	Função de aquecimento

Para uma melhor visualização, o esboço do processo foi dividido em quatro etapas básicas.

Caracterização do Gás Natural - Saída do Poço Produtor

Trata-se da conversão dos dados analíticos em dados de processo, onde o gás em base seca é reconstituído no teor de água com saturação de 100% de forma que assuma a condição “in natura” em sua produção. Durante a análise cromatográfica são colocados filtros com o objetivo de remover H_2S e H_2O que seriam danosos às colunas de partição, em especial às capilares (ver Figura 4.5).

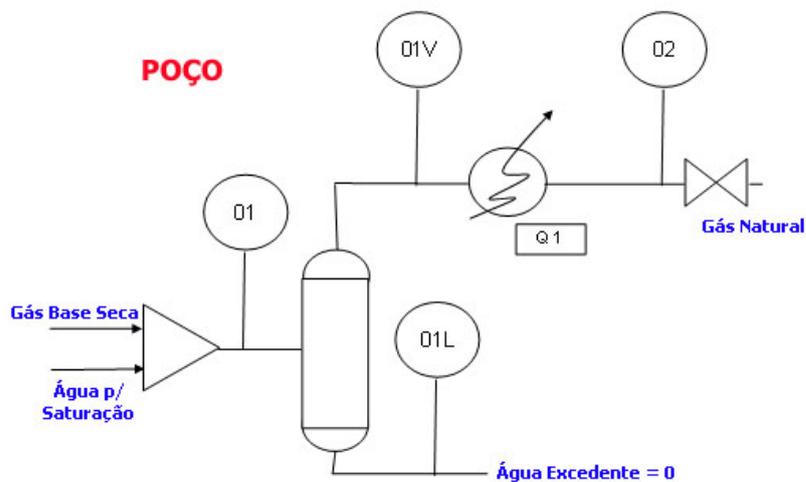


Figura 4.5: Caracterização do Gás Natural - Saída do poço produtor.

Resfriamento - Expansão e Separação

Nesta parte do processo ocorre uma expansão numa válvula, e o denominado efeito Joule-Thompson promove uma redução de temperatura, embora mantendo a entalpia constante, ou seja, a redução de nível energético não ocorre, pois há uma compensação na temperatura (redução) de modo a compensar a redução de pressão. Isto é desejável, pois que o processo de separação de pesados passa por retenção destes componentes na fase líquida, o que é facilitado pela redução de temperatura (ver Figura 4.6).

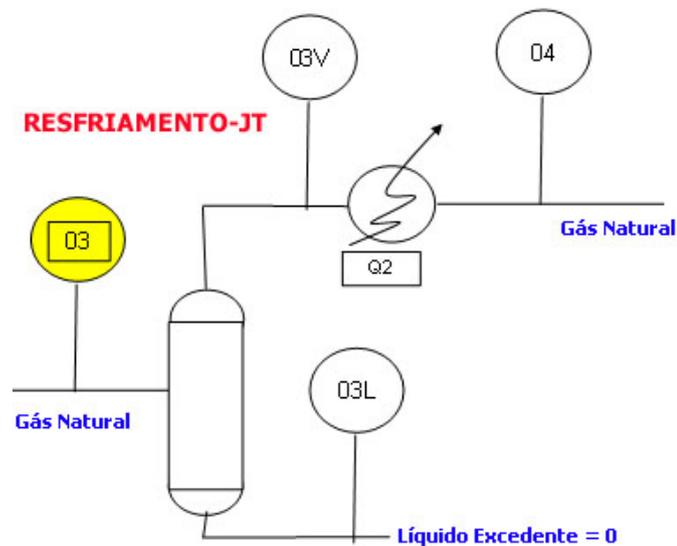


Figura 4.6: Processo de resfriamento Joule-Thompson.

Absorção

É introduzido no processo um elemento de separação, seja absorvente, ou adsorvente, o qual promove de modo mais efetivo a retenção dos pesados, em fase diversa da do gás, o qual se deseja especificar (ver Figura 4.7).

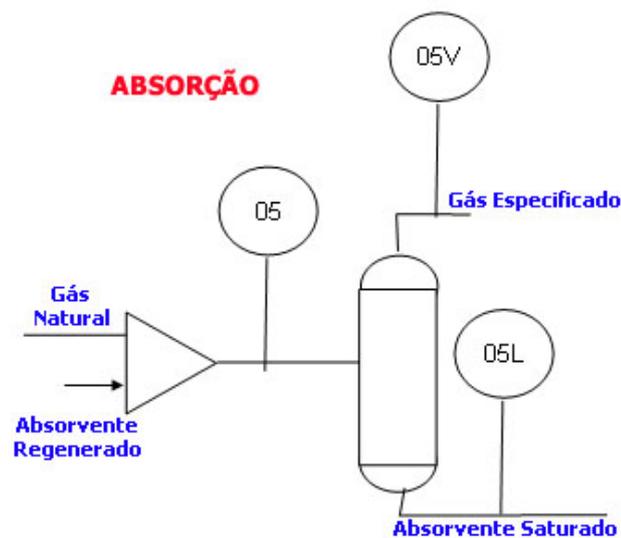


Figura 4.7: Processo de absorção - remoção de pesados do Gás Natural.

Regeneração

Analisa a reversibilidade do processo de absorção ou adsorção, onde é verificado o retorno do absorvente/adsorvente a condição original, ou ao menos a uma condição onde possa ser

reutilizado com eficiência mínima satisfatória na etapa de absorção (ver Figura 4.8).

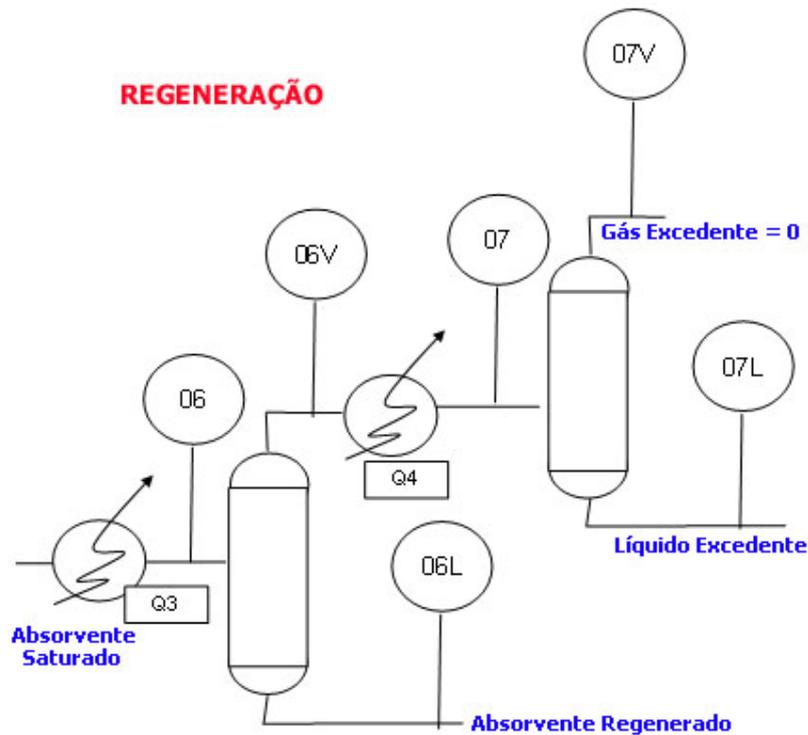


Figura 4.8: Processo de regeneração - remoção de leves do absorvente.

4.2.2 Otimização Energética

A fim de se aproveitar a energia liberada pelo primeiro trocador de calor, houve uma otimização energética no processo descrito acima, onde esta energia liberada foi utilizada como entrada em outro trocador de calor, com o objetivo de haver uma maior redução na temperatura da corrente 3. Esta mudança pode ser vista na Figura 4.9 abaixo:

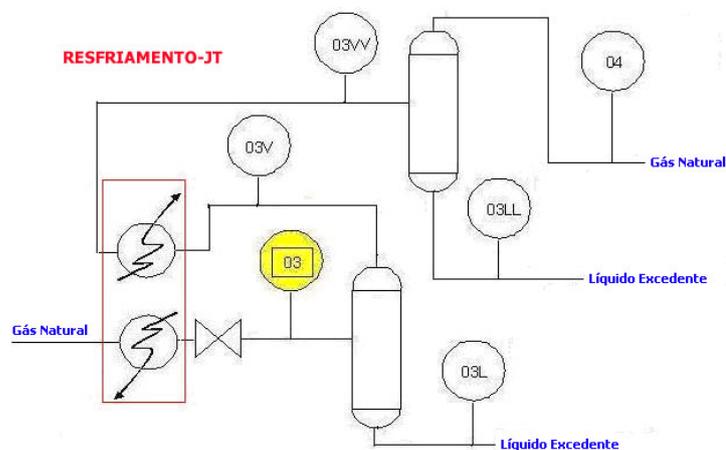


Figura 4.9: Novo Processo de resfriamento Joule-Thompson.

4.2.3 Atividades no Simulador HYSYS

Após o esboço do processo ter sido feito na Planilha Excel, este foi montado no software de simulação Hysys. Inicialmente foi montado um caso sem a presença do absorvente, como pode ser visto na Figura 4.10 abaixo:

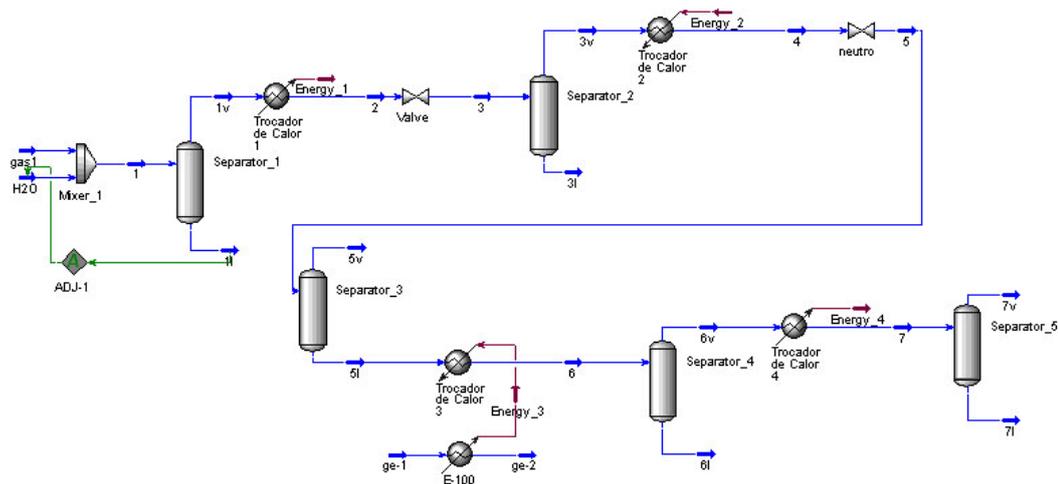


Figura 4.10: Sem a presença de absorvente.

A seguir foi montado o caso com a presença de absorvente, como abaixo:

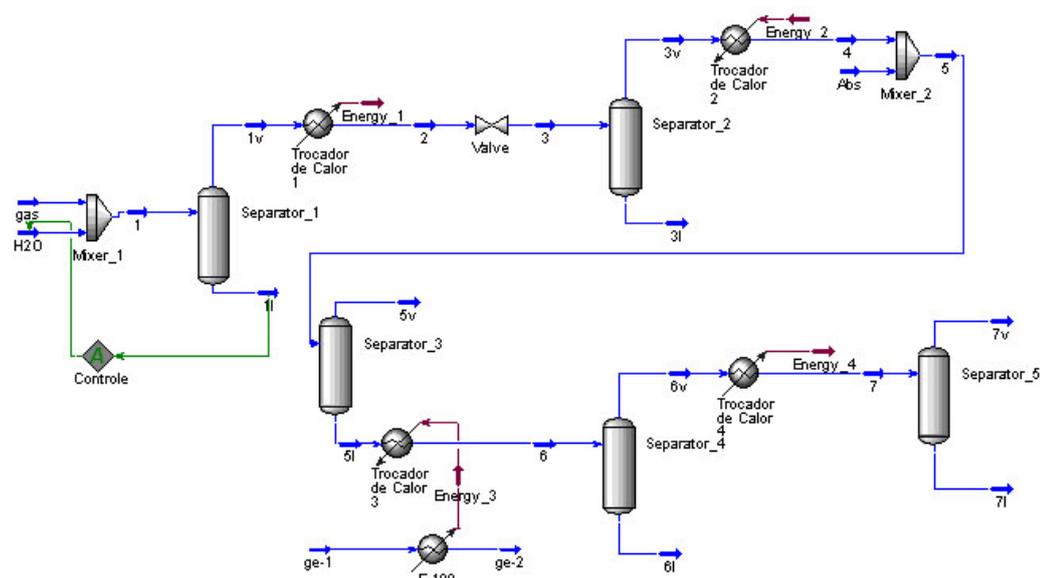


Figura 4.11: Com a presença de absorvente.

As correntes de entrada gás, H₂O, 1, 1v, 1l e 2, e os componentes Mixer_1, Separator_1, Trocador de Calor 1 e Valve representam a saída do poço produtor. Em seguida, as correntes 3, 3v e 3l, e os componentes Separator_2 e Trocador de Calor 2 representam o resfriamento Joule-Thompson. Os componentes Mixer_2 e Separator_3, e as correntes 4, Abs, 5, 5v e 5l

representam a fase da absorção do processo. Do Trocador de Calor 3 até o final do processo, temos a fase de regeneração.

A otimização energética apresentada no item 4.2.2 também foi implementada no simulador Hysys, como visto na Figura 4.12 abaixo:

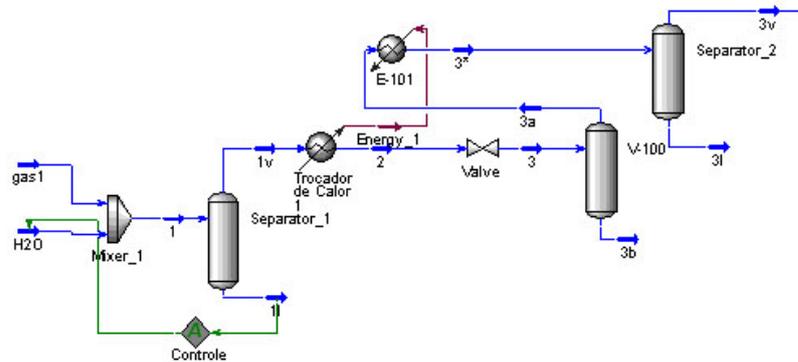


Figura 4.12: Resfriamento Joule-Thompson com otimização energética.

Como composição inicial do Gás Natural foi utilizada a composição de um gás coletado no campo de Riacho da Forquilha. Esta composição, a temperatura, a pressão e a vazão desse gás podem ser vistos na Tabela 4.2 abaixo:

Tabela 4.2: Composição inicial.

gas1		
Temperature	30.00	C
Pressure	150.0	kg/cm2_g
Molar Flow	1.000e+005	m3/d_(gas)
Comp Mole Frac (Methane)	0.7281	
Comp Mole Frac (Ethane)	0.1311	
Comp Mole Frac (Propane)	0.0708	
Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0140	
Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0231	
Comp Mole Frac (i-Pentane)	0.0059	
Comp Mole Frac (n-Pentane)	0.0062	
Comp Mole Frac (n-Hexane)	0.0080	
Comp Mole Frac (n-Heptane)	0.0029	
Comp Mole Frac (n-Octane)	0.0014	
Comp Mole Frac (n-Nonane)	0.0006	
Comp Mole Frac (n-Decane)	0.0003	
Comp Mole Frac (n-C11)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-C12)	0.0000	
Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0076	
Comp Mole Frac (H2O)	0.0000	
Comp Mole Frac (CO2)	0.0000	

Como condição operacional do absorvente, foram utilizados os parâmetros da Tabela 4.3 abaixo:

Tabela 4.3: Condição operacional do absorvente.

Abs		
Temperature	25.00	C
Pressure	45.00	kg/cm2_g
Molar Flow	1.000e+004	m3/d_(gas)

Nas simulações realizadas neste trabalho, em ambos os casos (com e sem a presença de absorvente), foram alterados certos parâmetros de temperatura e pressão:

- A pressão inicial do gás foi variada entre os valores de 40 a 150 kgf/cm^2 ;
- A temperatura da corrente 2 foi variada entre os valores de 30°C e 50°C;
- A pressão na corrente 3 foi variada entre valores de 10 até o valor de pressão presente no gás inicial.

Observando-se as frações pesadas (C5+) nas amostras de gás antes e depois da absorção, pôde ser visto que o líquido absorvente conseguiu retirar parte da fração pesada do Gás Natural. Após a absorção a composição molar do Gás Especificado ficou a seguinte:

Tabela 4.4: Composição molar final do gás especificado.

Gás Especificado		
Temperature (Temperature_1)	10.73	C
Pressure	45.00	kg/cm2_g
Molar Flow	8.089e+004	m3/d_(gas)
Comp Mole Frac (Methane)	0.8371	
Comp Mole Frac (Ethane)	0.1143	
Comp Mole Frac (Propane)	0.0333	
Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0030	
Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0029	
Comp Mole Frac (i-Pentane)	0.0002	
Comp Mole Frac (n-Pentane)	0.0001	
Comp Mole Frac (n-Hexane)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-Heptane)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-Octane)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-Nonane)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-Decane)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-C11)	0.0000	
Comp Mole Frac (n-C12)	0.0000	

As simulações feitas ofereceram resultados que confirmaram o pressuposto de que a utilização de meios absorventes melhora a qualidade do gás no que se refere ao Índice de Metano. Isto pode ser visto nos gráficos que seguem, onde se verifica a seletividade dos absorventes em relação aos compostos pesados, isto expresso no Índice de Metano, em função das pressões de processo utilizadas.

Foram utilizados os seguintes absorventes:

- nOctano;
- Octanol;
- Ácido Octanóico;
- Butanoato de n-Butila.

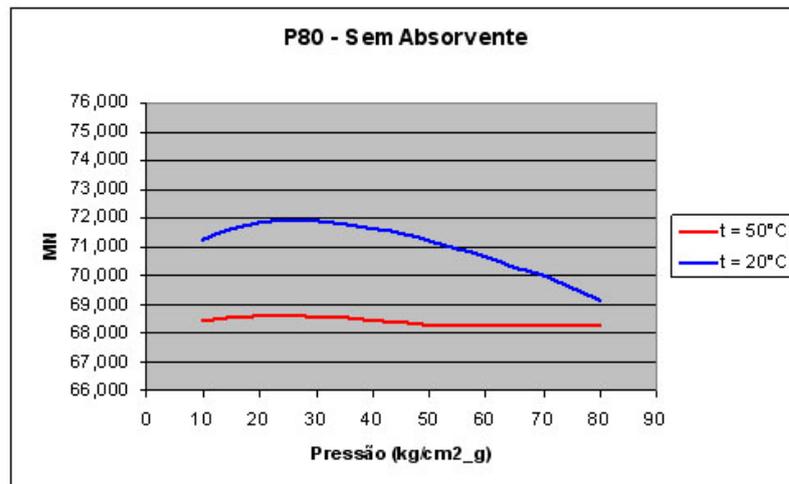


Figura 4.13: Tratamento baseado em resfriamento.

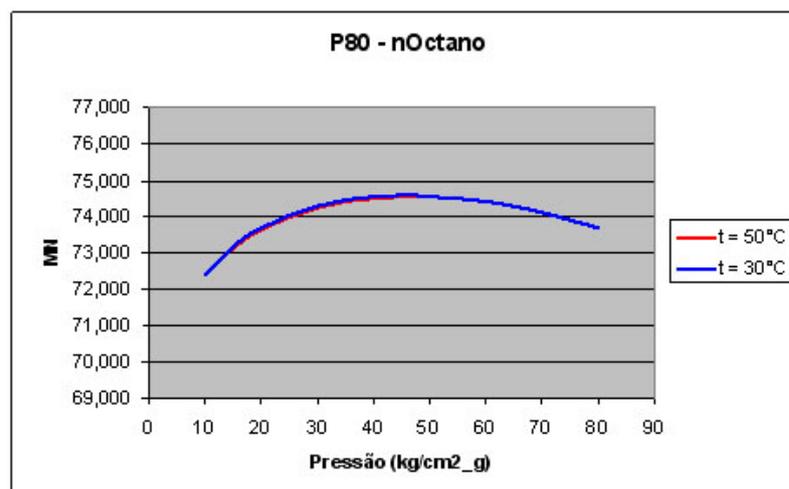


Figura 4.14: Tratamento baseado em absorção - absorvente é o n-Octano.

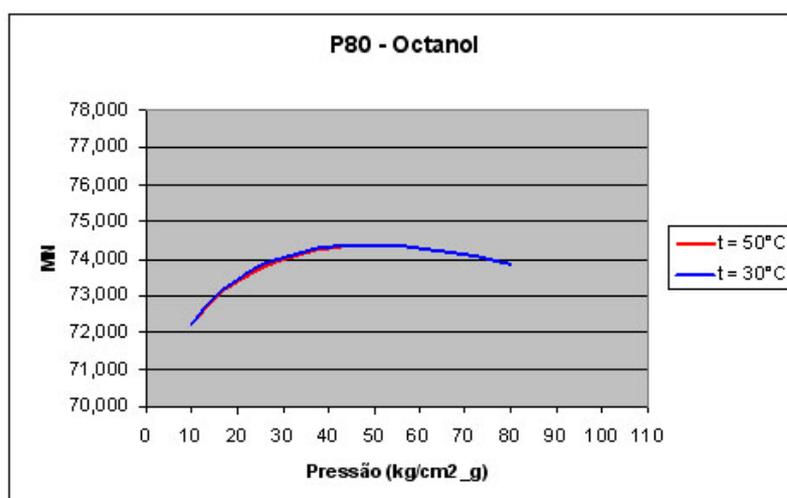


Figura 4.15: Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Octanol.

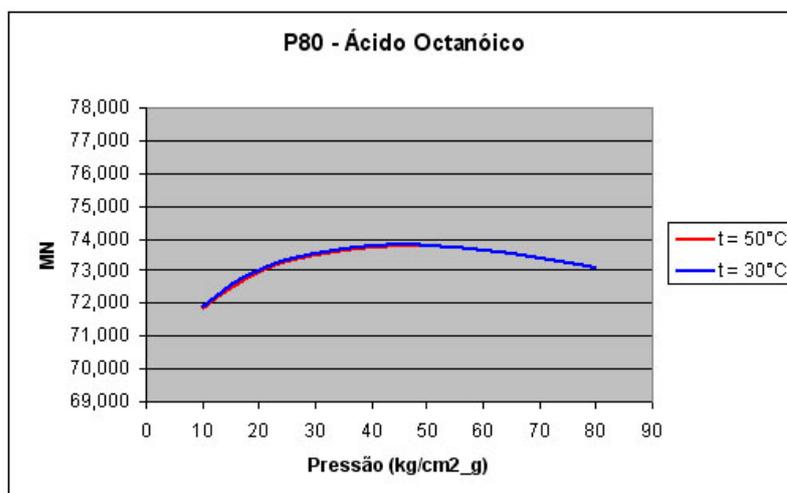


Figura 4.16: Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Ácido Octanóico.

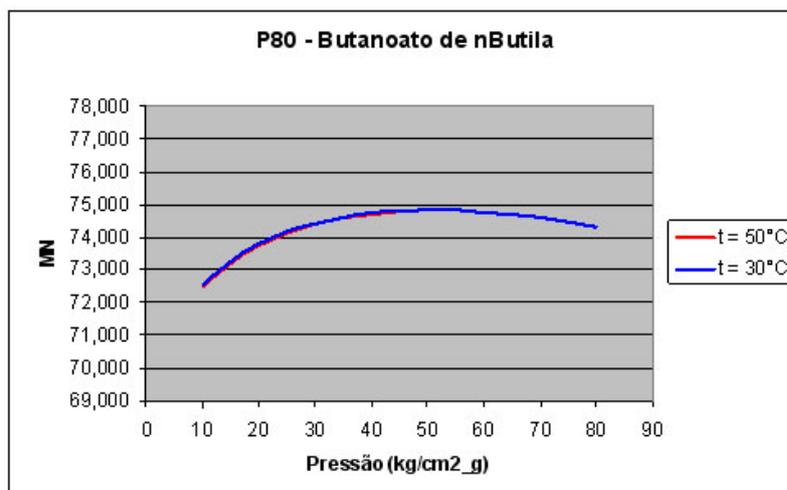


Figura 4.17: Tratamento baseado em absorção - absorvente é o Butanoato de n-Butila.

Pode-se verificar que todos os absorventes conferiram resultados melhores que o processo de resfriamento (sem a utilização de um absorvente). Em todos os casos, um melhor Índice de Metano foi obtido para valores em torno de 45 kgf/cm^2 na pressão da corrente 3.

Verifica-se ainda no caso sem a utilização de absorvente que para a condição de 20°C na corrente 2, mesmo com um ganho menor, há uma efetiva melhora no Índice de Metano, onde o mesmo passa de um máximo de 69 no processo de resfriamento, para valores próximos a 72 (ver Gráfico 4.13). Observa-se também que nos processos com absorção a influência da temperatura é mínima, não havendo uma significativa variação nas curvas quando da alteração da temperatura na corrente 2 de 30°C para 50°C , o que proporciona uma maior flexibilidade na operação do sistema em estudo (ver Gráficos 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17).

Analisando os casos em relação aos absorventes, ficou clara a obtenção de um melhor Índice de Metano quando foi utilizado o Butanoato de n-Butila, sendo seguido pelo Octano. Isto pode ser visto no Gráfico 4.18 abaixo.

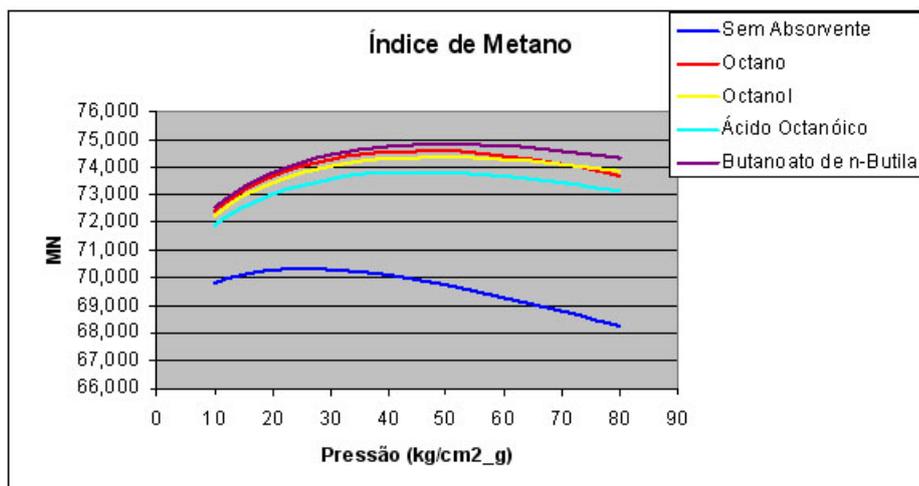


Figura 4.18: Índice de Metano em relação aos absorventes.

5 *Conclusões*

O trabalho descrito acima possui diversas aplicabilidades na indústria, dentre as quais podemos citar:

- Utilização do gás em motores de combustão interna (compressor e gerador) in loco;
- Otimização das condições operacionais do processo de absorção das frações pesadas do gás.

Como benefício do trabalho, temos o aproveitamento do gás produzido em campos remotos de produção de petróleo. Em relação ao Gás Natural, este, por possuir grande quantidade de metano, é um combustível que se caracteriza por uma melhor queima e conseqüentemente um menor índice de gases poluentes expelidos e um melhor aproveitamento energético. A relação H/C é maior e desta forma possui maior potencial energético também. Já os motores apresentam uma melhor performance em termos de rendimento e, a princípio, uma menor quantidade de depósitos na câmara de combustão. Em termos de logística ressalta-se a não necessidade de armazenamento e a possibilidade de alimentação direta devido existir uma pressão adequada ao uso.

Apesar de ser possível operar motores a combustão interna com gás não tratado, e conseqüentemente não especificado, a prática tem mostrado que o excedente de potência não tem sido suficiente para atenuar problemas decorrentes de atrasos na detonação, acarretando ineficiência do processo com queda na vazão comprimida (caso de compressores e bombas), queda na pressão de descarga final e um considerável aumento da indisponibilidade destes equipamentos, acarretando lucro cessante e no caso de geração alternativa de energia custos excedentes devido ao consumo adicional de energia a partir da concessionária.

Assim sendo, não poderíamos deixar de recomendar um estudo prévio com base na composição do gás que será consumido em motores acionados a gás, que poderá indicar a implantação de um Sistema de Tratamento a fim de maximizar os resultados de determinada instalação.

6 *Cronograma de Atividades*

1. Estudo de recursos computacionais ligados à elaboração de um site;
2. Elaboração de um layout para o site do NUPEG;
3. Montagem do site em linguagem html;
4. Estudo de Simulação em Plantas de Petróleo e Gás Natural;
5. Simulação de Plantas de Petróleo e Gás Natural;
6. Caracterização do GN por Índice de Metano - MN;
7. Estágio Supervisionado;
8. Elaboração da Monografia.

Tabela 6.1: Cronograma das atividades.

Atividades	Semestre			
	I	II	III	IV
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Referências Bibliográficas

- [1] DOUGLAS, J. M. *Conceptual Design of Chemical Processes*. Boston, Massachusetts: McGraw-Hill, 1988.
- [2] HIMMELBLAU, D. M. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. 6. ed. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc, 1996.
- [3] BIEGLER, L. T.; GROSSMANN, I. E.; WESTERBERG, A. W. *Systematic Methods of Chemical Process Design*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1997.
- [4] RUDD, D. F.; WATSON, C. C. *Strategy of Process Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1968.
- [5] PERLINGEIRO, C. A. G. *Apostila de Engenharia de Processos*. [S.l.], 1998. Apostila.
- [6] COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Chemical Engineering Design. Volume 6*. 2. ed. [S.l.]: Pergamon Pr, 1993.
- [7] ISO 15403:2000: Natural gas - designation of the quality of natural gas for use as a compressed fuel for vehicles. [S.l.].
- [8] WAUKESHA KNOCK INDEX: Power and timing curve - model I7042gsi. [S.l.].
- [9] YANG, R. T. *Gas Separation by Adsorption Processes*. Boston: Butterworths, 1987.

Anexo

Anexo A - Relatório de Estágio

Anne Dantas de Araújo

***Implantação do Gerenciamento de Dados
Operacionais - GDO - na UN-RNCE***

Natal – RN

Julho / 2006

Anne Dantas de Araújo

***Implantação do Gerenciamento de Dados
Operacionais - GDO - na UN-RNCE***

Relatório apresentado junto ao Curso de Engenharia de Computação da UFRN como pré-requisito para obtenção do conceito na disciplina DCA0990 - Estágio Supervisionado, visando à conclusão do curso de graduação em Engenharia de Computação.

Orientador:

Prof. Dr. André Laurindo Maitelli

Supervisor:

Eng. Cícero Sena Moreira Gomes

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Natal – RN

Julho / 2006

Agradecimentos

A Deus por me guiar, me iluminar e me conceder forças para superar as dificuldades.

Ao meu pai Ademilson que sempre esteve ao meu lado, me ajudando no que foi necessário.

A minha mãe Braziliansa, por ser maravilhosa, guerreira e meu anjo protetor.

A minha irmã Aline pela sua amizade, carinho e amor.

Ao meu namorado, Raoni, pelo companheirismo e dedicação, que foram muito importantes nesta fase de minha vida, e por nunca ter desistido de alcançar meus sonhos junto comigo, é por isso que te amo muito.

Aos meus amigos de turma durante estes 4 anos e meio de curso, em especial ao meu amigo Auciomar “Goi” pela amizade sincera construída ao longo deste período na UFRN, que sempre esteve ao meu lado como um irmão, e ao meu amigo Leonardo “Morga” pelos divertidos momentos que passamos e pelos seus incentivos.

A Empresa Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras, pela oportunidade do estágio.

Ao coordenador de estágio Cícero Sena, pela paciência e atenção dispensadas durante o período de estágio na Petrobras, que se constituiu num verdadeiro aprendizado.

Aos amigos do curso de Engenharia Química, do Laboratório do NUPEG, pelos momentos de aprendizado em conjunto que tivemos.

Aos professores Osvaldo Chiavone e Afonso Avelino, pela amizade e dedicação presente em todos os momentos. Ao professor Romualdo Vidal, pela sabedoria, paciência e dedicação constante ao PRH-14 da ANP, e a todos os professores do Departamento de Engenharia de Computação e Automação que contribuíram para minha formação profissional, por sua dedicação e empenho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma com a realização deste trabalho. Muito obrigada.

Resumo

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas pela aluna Anne Dantas de Araújo, do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, durante o período do seu Estágio Supervisionado realizado na Empresa Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras, no setor de Engenharia de Instalações, Processamento e Automação do Suporte Técnico (ST-EIPA) da Unidade de Negócios de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará (UN-RNCE), no período de 16 de Janeiro de 2006 a 25 de Julho de 2006, com uma carga horária total de 700 horas, sendo supervisionada pelo Engenheiro de Processamento Cícero Sena Moreira Gomes e coordenado pelo professor Dr. André Laurindo Maitelli, do Departamento de Engenharia de Computação e Automação da UFRN.

A disciplina de Estágio Supervisionado é de fundamental importância, pois proporciona ao aluno uma maior integração entre empresa e universidade, fazendo com que ele aplique na prática os conhecimentos teóricos adquiridos na universidade, além de prepará-lo a encarar melhor o mercado de trabalho. Durante o Estágio Supervisionado, o aluno, além de participar do dia-a-dia da empresa, pode adquirir conhecimentos não só no seu trabalho como também em sua vida.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	Introdução	p. 10
2	A Empresa	p. 12
2.1	A História da Indústria do Petróleo no Brasil	p. 12
2.2	A Petrobras no Século XXI	p. 14
2.3	A Estrutura Organizacional da Petrobras	p. 15
2.4	Atuação da Petrobras na Bacia Potiguar	p. 17
2.5	Estrutura Organizacional da UN-RNCE	p. 19
2.5.1	Recursos Humanos	p. 20
2.5.2	Ativos	p. 21
2.5.3	Suporte Operacional	p. 21
2.5.4	Serviços de Sondagem	p. 22
2.5.5	Suporte Técnico, Marketing, Coordenação e Controle da Produção . .	p. 22
3	Fundamentação Teórica	p. 24
3.1	O Petróleo	p. 24
3.1.1	Origem e Composição do Petróleo	p. 24
3.1.2	A Exploração do Petróleo	p. 25
3.1.3	A Perfuração e Produção do Petróleo	p. 26

3.1.4	O Refino do Petróleo	p. 27
3.2	O Gás Natural	p. 27
3.2.1	Produção e Processamento	p. 28
3.2.2	Transporte e Distribuição	p. 29
3.2.3	Aplicações	p. 29
3.2.4	Vantagens do Gás Natural	p. 31
3.3	Sistema de Injeção de Vapor	p. 31
3.3.1	O Método de Injeção de Vapor	p. 32
3.3.2	Injeção de Vapor na UN-RNCE	p. 33
3.3.3	Geração de Vapor	p. 34
3.3.4	Geradores de Vapor	p. 35
4	O Sistema Plant Information	p. 37
4.1	Vantagens do PI	p. 38
4.2	Arquitetura do PI	p. 39
4.3	PI-Process Book e PI-Data Link	p. 40
4.4	Armazenamento dos Dados	p. 41
4.4.1	Atributos dos Tags	p. 42
4.5	Tratamento dos Dados	p. 43
4.5.1	Fluxo dos Dados	p. 44
5	Atividades Desenvolvidas	p. 49
5.1	Levantamento dos Dados	p. 49
5.2	Padronização do Processo	p. 50
5.3	Padronização de Pontos no PI - Cadastramento e Transição	p. 51
5.3.1	Cadastramento de Novos Pontos no PI	p. 51
5.3.2	Recadastramento de Pontos Já Existentes no PI	p. 53

5.4	Elaboração de Interfaces Gráficas no PI-Process Book	p.54
6	Conclusão	p.57
	Referências Bibliográficas	p.59

Lista de Figuras

2.1	Área sob responsabilidade da UN-RNCE.	p. 19
2.2	Estrutura Organizacional da UN-RNCE	p. 20
2.3	Organograma do Órgão de Lotação do Estágio.	p. 22
3.1	(a) Reservatório produtor de óleo; (b) Reservatório produtor de gás.	p. 28
3.2	Fluxograma do processo de geração e injeção de vapor em Alto do Rodrigues.	p. 33
4.1	Arquitetura do Sistema PI.	p. 39
4.2	Book do PI-Process Book	p. 40
4.3	(a) Dados brutos; (b) Dados após o Teste de Exceção; (c) Dados após o Teste de Compressão.	p. 44
4.4	Fluxo dos dados no PI.	p. 44
4.5	Condições do Teste de Exceção.	p. 45
4.6	(a) Todos os dados coletados; (b) Teste de Exceção; (c) Dados após o Teste de Exceção.	p. 45
4.7	(a) Desenho inicial do paralelogramo; (b) Extensão do paralelogramo a outros pontos.	p. 46
4.8	Primeiro valor armazenado no servidor PI.	p. 46
4.9	Seqüência dos passos de execução do Teste de Compressão.	p. 47
4.10	Dados armazenados no servidor PI após Teste de Compressão.	p. 47
4.11	(a) Todos os dados brutos coletados; (b) dados após o Teste de Exceção; (c) dados finais após o Teste de Compressão.	p. 48
5.1	Fluxograma de cadastramento de um ponto no PI.	p. 51
5.2	Tabela de cadastramento de um ponto.	p. 52
5.3	Tabela de cadastramento de um ponto.	p. 53

5.4 Telas de um gerador de vapor feitas no Process Book. p.55

Lista de Tabelas

4.1	Formato da Informação no PI	p. 42
4.2	Atributo dos Tags	p. 42

1 Introdução

Neste relatório serão descritas as atividades realizadas durante o período do estágio na Empresa Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras. Estas atividades consistiram na criação de uma padronização das variáveis do campo para a implantação do Plant Information - PI - na Unidade de Negócios do Rio Grande do Norte e Ceará - UN-RNCE, além da criação de algumas telas para acompanhamento dessas variáveis.

O estágio na Petrobras teve como objetivo geral mostrar ao aluno a realidade de uma empresa na área do Petróleo, possibilitando uma maior interação entre a empresa e a universidade, assim como possibilitar ao aluno adquirir experiência e dar-lhe a oportunidade de fazer uso dos conhecimentos adquiridos ao longo de sua vida acadêmica.

O relatório encontra-se dividido em sete capítulos para uma melhor distribuição e compreensão das atividades desenvolvidas.

No primeiro capítulo, como pode ser visto acima, temos a introdução deste relatório, contendo uma pequena descrição das atividades realizadas no estágio, assim como o objetivo do mesmo.

No segundo capítulo são descritas as informações da empresa, contendo um breve histórico da mesma, o qual se inicia com a história da indústria do petróleo no Brasil. Outras informações contidas neste capítulo são a Estrutura Organizacional da empresa e suas atividades na Bacia Potiguar.

No terceiro capítulo é apresentada uma fundamentação teórica do petróleo, do gás natural e do sistema de injeção de vapor, com enfoque no princípio básico de funcionamento de um gerador de vapor.

No quarto capítulo temos a explicação do que é o sistema Plant Information, onde podem ser vistas suas vantagens e sua arquitetura, a explicação das ferramentas clientes que foram utilizadas no estágio, assim como a forma em que os dados são armazenados e tratados neste sistema.

O quinto capítulo apresenta a descrição das atividades desenvolvidas, que se constituíram na elaboração de telas de processos relativos à produção, ao processamento e ao escoamento de Petróleo, Gás Natural, derivados e efluentes líquidos da UN-RNCE e na definição de uma padronização para modelagem dos processos e cadastramento de variáveis no Plant Information.

O sexto e o sétimo capítulos apresentam as conclusões e as referências bibliográficas consultadas, respectivamente.

2 *A Empresa*

A história da indústria petrolífera no Brasil se confunde com a criação da Petrobras, em 1953, empresa que alavancou a exploração deste recurso natural, que se tornaria um dos termômetros da política internacional. No cenário mundial, hoje, o Brasil está entre os 20 primeiros países no ranking dos maiores produtores de petróleo do mundo. Até isso ocorrer foi preciso que houvesse um aumento da capacitação de recursos humanos, injeção de capital, crises internacionais e a criação de políticas que organizaram e priorizaram o petróleo para o desenvolvimento do país, [1].

2.1 **A História da Indústria do Petróleo no Brasil**

Com a descoberta de campos petrolíferos na Bahia, desde os anos 40, todo o país começa a discutir a melhor política a ser adotada em relação ao petróleo. Nos anos 50, a pressão da sociedade e a demanda por petróleo se intensificam com o movimento de partidos políticos de esquerda que lançam a campanha “O petróleo é nosso”. O governo Getúlio Vargas, voltando ao poder em 1951 e aliando-se a esta campanha, responde com a assinatura, em outubro de 1953, da Lei 2.004 que instituiu a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) como monopólio estatal de pesquisa e lavra, refino e transporte do petróleo e seus derivados.

Ao ser constituída, a Petrobras recebeu do Conselho Nacional do Petróleo (CNP) os campos de petróleo do Recôncavo Baiano, uma refinaria em Mataripe (atual RELAM), na Bahia, uma refinaria e uma fábrica de fertilizantes, ambas em fase de construção, em Cubatão (SP), a Frota Nacional de Petroleiros, com 22 navios, e os bens da Comissão de Industrialização do Xisto Betuminoso. A produção de petróleo era de 2.700 barris por dia, representando 27% do consumo brasileiro. Vinha dos campos de Candeias, Dom João, Água Grande e Itaparica, todos na Bahia, que estavam em fase inicial de desenvolvimento. O parque de refino atendia a uma pequena fração do consumo nacional de derivados, que se situava em torno de 137 mil barris por dia, sendo a maior parte importada.

Na década de 50, o governo forneceu à nova empresa todos os meios e facilidades para expandir a indústria petrolífera no país, com isso, tornando possível o aumento na produção, a ampliação do parque de refino, a melhoria na capacidade de transporte e o incremento na pesquisa. Em paralelo a tudo isso, a nova empresa também procurou formar e especializar seu corpo técnico, a fim de atender às exigências da nascente indústria brasileira de petróleo. Inicialmente, as opções foram a construção de novas refinarias, buscando a redução dos custos de importação de derivados, e a criação de uma infra-estrutura de abastecimento, com a melhoria da rede de transporte e instalação de terminais em pontos estratégicos do país. Ao final da década, a produção de petróleo já se encontrava em 65 mil barris diários, as reservas somavam em torno de 617 milhões de barris, e as obras em andamento no setor industrial prometiam, para a década de 60, a auto-suficiência do parque de refino na produção de derivados básicos.

A década de 60 foi um período de grandes realizações para a indústria nacional de petróleo. No ano de 1961, a Petrobras alcançou a auto-suficiência na produção dos principais derivados, com o início do funcionamento da Refinaria Duque de Caxias (Reduc), no Rio de Janeiro. Ao longo desta década, várias outras refinarias entraram em operação, e essa expansão no parque de refino mudou radicalmente a estrutura das importações. Na época da criação da Petrobras, cerca de 98% das compras externas eram de derivados e só 2% de óleo cru, e em 1967 o perfil das importações passou a ser 8% de derivados e 92% de petróleo bruto. No ano de 1968 houve um outro importante acontecimento na produção de petróleo: a primeira descoberta de petróleo no mar. O campo de Guaricema, no litoral de Sergipe, representou um importante passo para que a Petrobras mergulhasse em direção ao futuro sucesso exploratório na atividade offshore.

Na década de 70, cresceram os esforços para aumentar a participação do petróleo nacional no consumo brasileiro. As plataformas continentais passaram a merecer atenção especial. Depois de Guaricema, mais de 20 descobertas foram realizadas no litoral de vários estados brasileiros. Em 1974, a descoberta do campo de Garoupa, no litoral do Estado do Rio de Janeiro, anunciou uma nova fase para a produção do país. Estava dada a largada para os constantes êxitos conseguidos na Bacia de Campos, que rapidamente se transformou na mais importante região produtora.

Na década de 80 a Petrobras conseguiu superar grandes desafios. Em 1988, entrou em operação o campo de Rio Urucu, no Alto Amazonas, descoberto em 1986. Foi um grande marco histórico das atividades da Petrobras na Amazônia, onde a procura de petróleo antecedia a própria criação da empresa. Na área de refino, as instalações industriais da Petrobras foram adaptadas para atender à evolução do consumo de derivados, e para isso, foi implantado o projeto “fundo de barril”, com o objetivo de transformar os excedentes de óleo combustível em

derivados como o diesel, a gasolina e o gás liquefeito de petróleo (gás de cozinha), de maior valor. Outro marco da década foi a atenção especial dada à preservação do meio ambiente. A Petrobras passou a dedicar grande quantidade de recursos ao treinamento e à educação ambiental, assim como ao desenvolvimento de tecnologias específicas de proteção ao meio ambiente e a adoção de um programa de melhoria da qualidade dos combustíveis.

Na década de 90, a Petrobras passou a atuar em um novo cenário de competição. Em agosto de 1997 foi instituída a Lei 9.478, que regulamentou a emenda constitucional de flexibilização do monopólio estatal do petróleo, com isso abrindo as atividades da indústria petrolífera no Brasil à iniciativa privada. Com essa mesma lei houve a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), encarregada de regular, contratar e fiscalizar as atividades do setor, e o Conselho Nacional de Política Energética, um órgão formulador da política pública de energia. Nesse mesmo ano, através da Petrobras, o Brasil ingressou no seleto grupo de 16 países que produzem mais de 1 milhão de barris de óleo por dia. Em 1998, a Petrobras posicionava-se como a 14ª maior empresa de petróleo do mundo e a sétima maior entre as empresas de capital aberto, segundo a tradicional pesquisa sobre a atividade da indústria do petróleo divulgada pela publicação *Petroleum Intelligence Weekly*.

2.2 A Petrobras no Século XXI

A Petrobras inicia o século XXI enfrentando todos os desafios com muita eficiência. Além de comprometida com a produção, transporte, refino e distribuição de petróleo e gás em condições máximas de segurança, a Petrobras é a empresa que mais investe em projetos sociais, culturais, artísticos e de educação ambiental no país.

Ela vem ampliando a sua área de atuação e deixando de ser somente uma empresa de petróleo para tornar-se uma empresa de energia. Um dos segmentos em que a sua atuação cresce é o da energia renovável. A Petrobras investe em energia eólica, energia solar, biocombustíveis, com destaque para o Biodiesel, e biogás, entre outros, contribuindo para diversificar a matriz energética brasileira.

Atualmente possui 64 sondas de perfuração, sendo 42 marítimas e 22 terrestres, mais de 13.000 poços produtores, sendo 665 marítimos, 102 plataformas de produção, sendo 75 fixas e 27 flutuantes, 16 refinarias, onde 5 destas localizam-se no exterior, mais de 30.000 km em dutos e mais de 6.000 postos de combustíveis, [2].

Com sede localizada na cidade do Rio de Janeiro, a Petrobras possui escritórios e gerências de administração em importantes cidades brasileiras como Salvador, Brasília e São Paulo. De-

vido à alta competitividade do novo cenário da indústria de energia, a Petrobras reposicionou-se em relação ao futuro, utilizando os mais modernos instrumentos de gestão.

A Petrobras desenvolve diversas atividades em outros países e mantém consistentes atividades internacionais, tais como: compra e venda de petróleo, tecnologias, equipamentos, materiais e serviços; acompanhamento do desenvolvimento da economia americana e européia; operação financeira com bancos e bolsa de valores; recrutamento de pessoal especializado; afretamento de navios; apoio em eventos internacionais, entre outros.

Além de estar presente em diversos países da América (Argentina, Bolívia, Colômbia e Estados Unidos) e África (Angola e Nigéria), a Petrobras conta ainda com o apoio de seus escritórios no exterior, como em Nova Iorque (ESNOR) e no Japão (ESJAP).

Além disso, existe ainda o Centro de Pesquisas da Petrobras - CENPES que possui uma das mais avançadas tecnologias na área de petróleo, desenvolvendo técnicas e métodos próprios. As pesquisas realizadas posicionam o Brasil entre os países de tecnologia de ponta da indústria do petróleo.

2.3 A Estrutura Organizacional da Petrobras

A Petrobras atua em várias áreas do setor de energia. Desde a exploração de gás e petróleo até a distribuição, passando pelo refino e abastecimento. Com isso as atividades da Companhia estão divididas em quatro áreas de negócio, sendo elas:

- **Exploração e Produção:** responsável pela pesquisa, localização, identificação, desenvolvimento, produção e incorporação de reservas de óleo e gás natural dentro do território nacional;
- **Abastecimento:** A Petrobras supre quase toda a demanda do mercado brasileiro por derivados de petróleo - cerca de 1,7 milhões de barris por dia - mercado esse composto por 140 milhões de consumidores;
- **Gás & Energia:** A área de negócios da Petrobras responsável pelo segmento Energia tem a função de identificar, avaliar, desenvolver e implantar projetos de geração de energia elétrica, e, ainda, operar usinas e comercializar a energia onde a Petrobras participa diretamente ou através de subsidiárias;
- **Internacional:** A Petrobras desenvolve também diversas atividades no exterior e mantém uma consistente atividade internacional.

A Empresa conta ainda com duas áreas de apoio - Financeira e Serviços - e unidades corporativas ligadas diretamente ao presidente. Além de melhorar todo aspecto operacional e os resultados da empresa, a nova estrutura abre espaço para que os empregados desenvolvam seu potencial e se beneficiem do valor agregado ao negócio.

O sistema Petrobras inclui ainda subsidiárias - empresas independentes com diretorias próprias interligadas à Sede. São elas:

- Petrobras Gás S.A - Gaspetro, subsidiária responsável pela comercialização do gás natural nacional e importado.
- Petrobras Química S.A - Petroquisa, que atua na indústria petroquímica;
- Petrobras Distribuidora S.A. - BR, na distribuição de derivados de petróleo;
- Petrobras Internacional S.A. - Braspetro, que atua nas atividades de exploração e produção e na prestação de serviços técnicos e administrativos no exterior;
- Petrobras Transporte S.A. - Transpetro, criada para executar as atividades de transporte marítimo e dutoviário da Companhia.
- Petrobras Comercializadora de Energia Ltda, que permite a atuação da Companhia nas novas atividades da indústria de energia elétrica no Brasil.
- Petrobras Negócios Eletrônicos S.A., participa no capital social de outras sociedades que tenham por objetivo atividades realizadas pela Internet ou meios eletrônicos.
- Petrobras International Finance Company - PIFCO, criada com o objetivo de facilitar a importação de óleo e produtos derivados de petróleo.
- Braspetro Oil Services Company - BRASOIL, que atua, principalmente, na prestação de serviços em todas as áreas da indústria do petróleo, bem como no comércio de petróleo e de seus derivados.
- Braspetro Oil Company - BOC, que atua na pesquisa, lavra, industrialização, comércio, transporte, armazenamento, importação e exportação de petróleo e de seus derivados.
- Petrobras International Braspetro B.V. - PIB, participa em sociedades que atuam em pesquisa, lavra, industrialização, comércio, transporte, armazenamento, importação e exportação de petróleo e de seus derivados.
- Downstream Participações S.A, que facilita a permuta de ativos entre a Petrobras e a Repsol-YPF, maior petroleira da Espanha.

2.4 Atuação da Petrobras na Bacia Potiguar

A atuação da Petrobras na Bacia Potiguar iniciou-se em 1970 com um breve reconhecimento da área. Diante da riqueza energética da região, importantes fatos ocorreram, dentre os quais são citados, [3]:

- 1973
 - primeira descoberta no mar-RN (Ubarana)
- 1976
 - primeira descoberta no mar-CE (Xaréu)
 - início da produção em Ubarana (RN)
- 1979
 - primeira descoberta em terra (Mossoró)
- 1985
 - descoberta do campo de Canto do Amaro
 - instalação da UPGN-I e início do gasoduto de Guamaré
- 1986
 - descoberta do campo de Pescada-Arabaiana
- 1999
 - inauguração da planta de diesel
- 2000
 - entrada em produção do Projeto Pescada/Arabaiana
- 2002
 - inauguração da UPGN-II
- 2004
 - entrada em operação da Unidade de Querosene de Aviação

- entrada em operação do Piloto da Unidade de BIODIESEL
- entrada em operação do Piloto de Energia Eólica
- 2005
 - entrada em operação da UPGN-III

As atividades da Petrobras no Rio Grande do Norte e Ceará estão vinculadas ao sistema Petrobras mediante a existência da Unidade de Negócios UN-RNCE e englobam as áreas de produção da Bacia Potiguar. Esta foi criada em 1995, com sede em Natal, e conta hoje com uma produção diária de mais de 90 mil barris de Óleo, 4 mil barris de Óleo Diesel e 4 milhões de metros cúbicos de Gás Natural, processando 511 toneladas de GLP por dia (39.308 botijões). O Gás Natural produzido abastece 100% das necessidades dos Parques Industriais dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba e Pernambuco, a produção de Gás de Cozinha atende a toda demanda do Rio Grande do Norte e Paraíba, e 15% do Ceará, enquanto a produção de Óleo Diesel abastece o Rio Grande do Norte, [2].

A Unidade de Negócios de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará (UN-RNCE) é uma importante unidade dentre as unidades do Segmento de Exploração e Produção da Petrobras, sendo responsável, em terra e no mar, pela exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás nas concessões situadas nas bacias sedimentares dos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. Esta unidade está responsável também pelo tratamento e processamento de hidrocarbonetos, sendo seus principais produtos o Petróleo (Óleo), o Gás Natural, o Gás Liquefeito de Petróleo (Gás de Cozinha), o Óleo Diesel e o Querosene de Aviação - QAV. Ela possui como missão:

- Procurar acumulações de petróleo e gás natural;
- Conduzir trabalhos de perfurações de poços visando, principalmente, à descoberta e exploração de acumulações de óleo e gás;
- Promover o desenvolvimento, a produção, o processamento e o armazenamento de petróleo e gás natural, bem como seus derivados.

Diariamente, mais de 100 mil barris de petróleo são extraídos dos poços sob controle da Unidade de Negócios do Rio Grande do Norte e Ceará (UN-RNCE). São quase cinco mil poços abrangendo uma área de 48 mil quilômetros quadrados, sendo a grande maioria em campos terrestres da Bacia Potiguar. Concentram-se principalmente no Vale do Açu e oeste do estado,

incluindo os municípios de Alto do Rodrigues, Areia Branca e Mossoró, onde se localiza o maior campo terrestre do Brasil. A produção marítima distribui-se pelos campos de Ubarana, Agulha, Atum, Pescada e Arabaiana, na costa potiguar, Xaréu, Curimã, Espada e Aratum, na costa cearense. A seguir pode-se ter uma visão geral de toda a área que está sob controle da UN-RNCE.

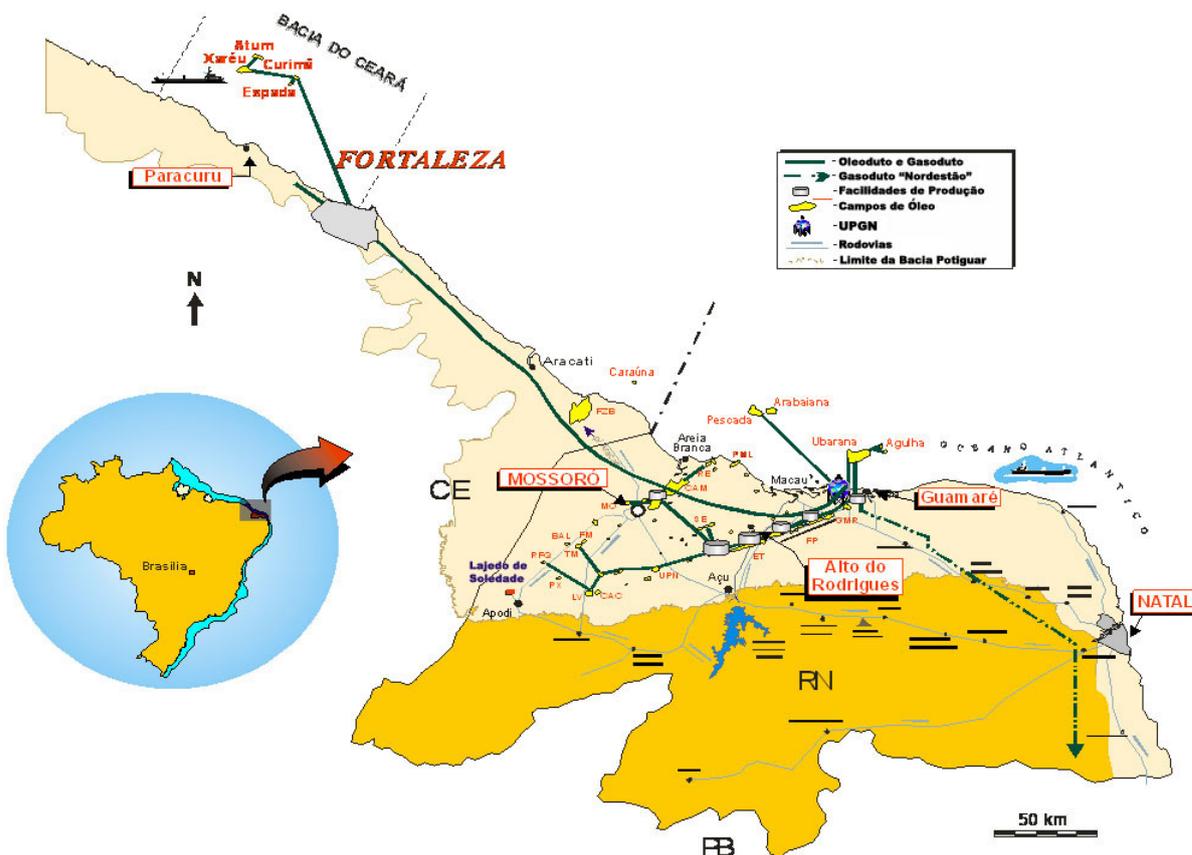


Figura 2.1: Área sob responsabilidade da UN-RNCE.

2.5 Estrutura Organizacional da UN-RNCE

A estrutura organizacional da UN-RNCE é dividida segundo pode ser visto na Figura 2.2 abaixo:

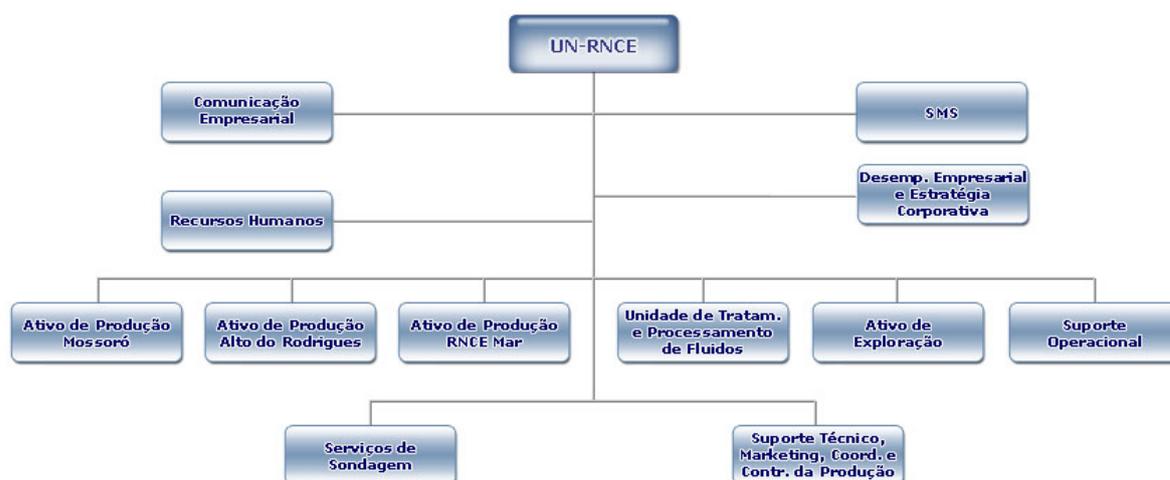


Figura 2.2: Estrutura Organizacional da UN-RNCE

2.5.1 Recursos Humanos

A área de Recursos Humanos possui como missão prestar serviços de apoio à Gestão de RH à UN. Esta subdivide-se em Administração e Desenvolvimento. A parte de Administração possui como missão:

- assessorar as gerências no planejamento e dimensionamento da força de trabalho;
- processar as informações relativas a pagamentos de empregados, descontos e encargos legais decorrentes;
- prever e controlar o orçamento de pessoal;
- recrutar e selecionar pessoal, interna e externamente.

A parte de Desenvolvimento possui como missão:

- assessorar as gerências na elaboração dos planos de treinamento e desenvolvimento, consolidando-os em nível regional;
- promover a realização dos planos de treinamento e desenvolvimento, avaliando sua eficácia;
- coordenar convênio com INSS e atividades relativas à PETROS;
- promover a avaliação da eficácia dos programas de treinamento e desenvolvimento;
- monitorar a ambiência organizacional, subsidiando os planos de ações gerenciais.

2.5.2 Ativos

São cinco os ativos, onde três são de produção, um é de exploração e o último de tratamento e processamento:

- Ativo de Produção de Mossoró - ATP-MO;
- Ativo de Produção do Alto do Rodrigues - ATP-ARG;
- Ativo de Produção do Mar - ATP-MAR;
- Ativo de Exploração;
- Unidade de Tratamento e Processamento de Fluidos - UTPF.

A missão dos Ativos de Produção é gerir as concessões de produção de sua área de atuação, responsabilizando-se pelos seus resultados, de acordo com as políticas e diretrizes da UN.

O Ativo de Exploração possui como missão: gerir as concessões de exploração da Unidade de Negócios, responsabilizando-se pelos seus resultados, de acordo com as políticas e diretrizes da UN; e a Unidade de Tratamento e Processamento de Fluidos - UTPF - possui como missão: gerir os ativos de sua área de atuação, responsabilizando-se pelos seus resultados, de acordo com as políticas e diretrizes da UN.

2.5.3 Suporte Operacional

Esta área possui como missão:

- prestar serviços de apoio às Unidades de Negócios nas suas áreas de especialização;
- elaborar e executar os processos de contratação;
- coordenar e supervisionar a utilização da Base de Dados de Contratos;
- efetuar as alterações contratuais;
- auditar Processos de Contratação descentralizados;
- auditar a realização físico-financeira dos instrumentos contratuais;
- dar suporte aos gerentes na execução dos instrumentos contratuais.

2.5.4 Serviços de Sondagem

Esta área possui como missão prestar serviços de operação de sondas próprias e serviços especiais em poços aos Ativos da UN.

2.5.5 Suporte Técnico, Marketing, Coordenação e Controle da Produção

O estágio foi realizado no Setor de Engenharia de Instalações, Processamento e Automação, lotado na Gerência de Suporte Técnico, Marketing, Coordenação e Controle da Produção da UN-RNCE. Abaixo pode ser visto o organograma simplificado do órgão de lotação do estágio (Figura 2.3).

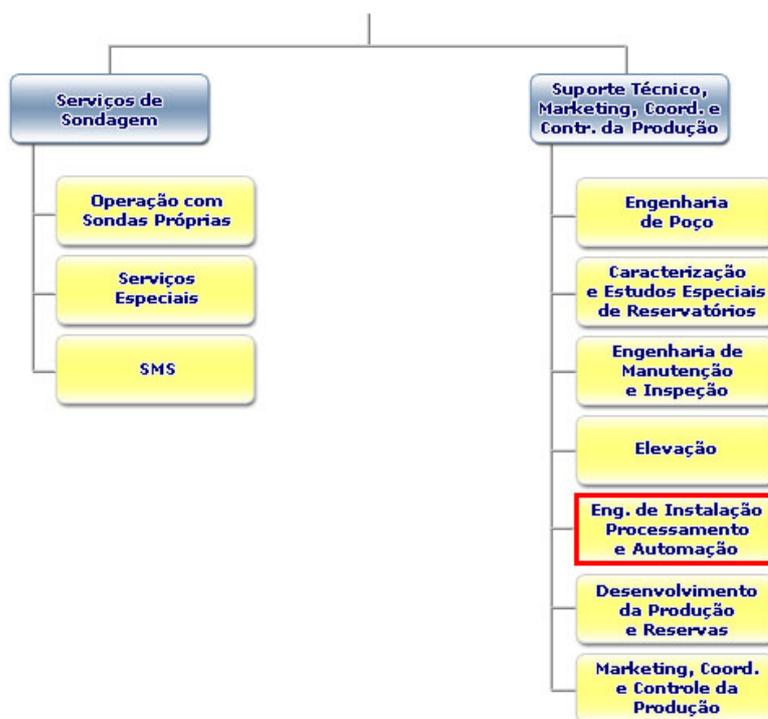


Figura 2.3: Organograma do Órgão de Lotação do Estágio.

A Gerência de Suporte Técnico, Marketing, Coordenação e Controle da Produção tem como missão elaborar estudos e projetos conceituais, básicos e executivos para as instalações de sistemas de transporte, processamento, armazenamento, tratamento do petróleo e do gás natural, inclusive em projetos de automação desses sistemas, além de fazer o acompanhamento e análise do desempenho dos sistemas de produção e assistência técnica aos ativos da UN-RNCE. Ela subdivide-se nos seguintes setores:

- Setor de Engenharia de Poço;

- Setor de Caracterização e Estudos Especiais de Reservatórios;
- Setor de Engenharia de Manutenção e Inspeção;
- Setor de Elevação;
- Setor de Engenharia de Instalações, Processamento e Automação;
- Setor de Desenvolvimento da Produção e Reservas;
- Setor de Marketing, Coordenação e Controle da Produção.

O setor de Engenharia de Instalações, Processamento e Automação - EIPA - tem como principal função elaborar projetos conceituais básicos e executivos para processos envolvendo hidrocarbonetos e facilidades, incluindo a automação industrial dos processos produtivos da UN-RNCE. Além da função acima, o seguinte setor possui como objetivos:

- Elaborar Relatórios Técnico-Econômicos;
- Emitir pareceres técnicos de processos de aquisição de equipamentos;
- Prover assistência técnica-operacional às demais gerências da UN-RNCE, no quesito processo;
- Integrar todos os projetos de automação industrial no âmbito da UN-RNCE, proporcionando a programação integrada da produção;
- Prestar assistência à pré-operação de empreendimentos de automação;
- Planejar e controlar as atividades da função engenharia de projetos;
- Elaborar os memoriais descritivos;
- Garantir a atualização tecnológica;
- Gerir plano diretor de automação industrial, sugerindo políticas, diretrizes, comentando a identificação de novas oportunidades e analisando o impacto na organização e na força de trabalho.

3 *Fundamentação Teórica*

3.1 O Petróleo

3.1.1 Origem e Composição do Petróleo

O petróleo é o resultado do trabalho de milhões de anos da natureza. São restos de vegetais e pequenos animais - principalmente moluscos, caramujos, ostras e mariscos - que foram depositados no fundo dos mares e lagos e, através de reações termoquímicas que ocorrem sobre esta mistura de matéria orgânica, se transformam em óleo e gás. O óleo bruto é formado pela combinação de moléculas de carbono e de hidrogênio, ou seja, um composto de hidrocarbonetos que resulta da ação do calor e da pressão provocada pelo empilhamento das camadas geológicas e que se transforma em um óleo denominado petróleo. O petróleo do mundo, portanto, é antiqüíssimo. As jazidas petrolíferas mais novas têm pelo menos 10 milhões de anos. As mais antigas, cerca de 400 milhões de anos, [4].

O petróleo pode ser encontrado nas formas: líquido, sólido ou gasoso, conforme sua temperatura ou pressão. As cores variam do negro ao âmbar, variando de acordo com os materiais de que se constituiu. Existem, então, diversos tipos de petróleo, com características físicas e químicas diferentes, que variam de acordo com as combinações de hidrocarbonetos e compostos nele existentes. Ele pode ser encontrado nas bacias sedimentares, depressões na superfície da terra preenchidas por sedimentos que se transformaram, durante milhões de anos, em rochas sedimentares. Essas bacias cobrem vasta área do território brasileiro, em terra e no mar.

O petróleo é gerado na chamada rocha geradora. A ação prolongada e branda da pressão e temperatura, assim como a ausência de condições severas de metamorfismo são condições propícias à transformação química e bioquímica dos compostos orgânicos em hidrocarbonetos, condições essas conhecidas como janela de geração. Da rocha geradora o petróleo migra por entre as rochas porosas e permeáveis procurando diminuir a pressão. Ele flui até encontrar uma camada impermeável que bloqueie o seu escapamento. Esta camada chama-se rocha reservatório, ou seja, a rocha armazenadora do petróleo. Essas rochas devem ser envolvidas por

rochas capeadoras, ou seja, rochas não porosas por onde o petróleo não tem condições de escapar. Deve existir ainda armadilhas, que são os obstáculos naturais que impedem sua migração para zonas de pressão ainda mais baixas. Para encontrar o petróleo, então, é preciso combinar alguns fatores, tais como: rocha geradora, janela de geração, migração, rocha reservatório e rocha capeadora.

3.1.2 A Exploração do Petróleo

O ponto de partida na busca do petróleo é a exploração que realiza os estudos preliminares para a localização de uma jazida. Para identificar o petróleo nos poros das rochas e decidir a melhor forma de extraí-lo das grandes profundidades na terra e no mar, o homem utiliza-se do conhecimento de duas ciências: a Geologia e a Geofísica.

A Geologia realiza estudos na superfície que permitem um exame detalhado das camadas de rochas onde possa haver acumulação de petróleo. Com o apoio da aerofotogrametria, fotogeologia e trabalhos de campo, os geólogos elaboram mapas geológicos de superfície e inferem a geologia de subsuperfície a partir destes mapas e de dados de poços. Além disso, os geólogos analisam informações de caráter paleontológico e geoquímico. Desta forma, consegue-se reconstituir as condições de formação e acumulação de hidrocarbonetos em uma determinada região. Os mapas geológicos de superfície são continuamente construídos e analisados. A aerofotogrametria consiste em fotografar o terreno utilizando-se de aviões devidamente equipados, voando com altitude, velocidade e direção constantes. A fotogeologia consiste na determinação de feições geológicas a partir de fotos aéreas, onde dobras, falhas e outras características geológicas são visíveis.

A Geofísica, mediante o emprego de certos princípios da física, faz uma verdadeira radiografia do subsolo. A gravimetria e a magnetometria são importantes métodos para a prospecção de petróleo, permitindo o reconhecimento e mapeamento das grandes estruturas geológicas que não aparecem na superfície. A prospecção gravimétrica para petróleo estuda as variações de densidade em subsuperfície. A prospecção magnética para petróleo tem como objetivo medir pequenas variações na intensidade do campo magnético terrestre.

Um outro importante método, sendo um dos mais utilizados pela Geofísica é o da sísmica, que compreende verdadeiros terremotos artificiais, provocados, quase sempre, por meio de explosivos, produzindo ondas elásticas que se chocam contra a crosta terrestre e voltam a superfície, sendo captadas por instrumentos que registram determinadas informações sobre o subsolo.

Após o conhecimento adquirido por essas duas ciências, os pesquisadores montam um painel de conhecimentos sobre a espessura, profundidade e comportamento das camadas das rochas sedimentares que é o refúgio do petróleo e do gás. Esses conhecimentos levam à definição do melhor ponto para que possa haver a perfuração do solo, embora ainda não seja possível nesta fase afirmar com segurança se há petróleo no subsolo.

3.1.3 A Perfuração e Produção do Petróleo

O petróleo é geralmente encontrado em grandes profundidades tanto na terra quanto no mar. É por isso que há uma alta tecnologia sendo empregada em perfurações de poços para a extração do petróleo em ambos os ambientes.

A perfuração é a segunda etapa na busca de petróleo. Ela ocorre em locais previamente determinados pelas pesquisas geológicas e geofísicas. Para realizá-la, perfura-se um poço - o pioneiro - mediante o uso de uma sonda. Depois de confirmada a existência do petróleo, outros poços serão perfurados para se avaliar a extensão da jazida. O desenvolvimento de um campo só ocorre se for constatada a viabilidade técnico-econômica da descoberta, verificando-se se o volume de petróleo recuperável justifica os altos investimentos necessários à montagem de uma infra-estrutura para a produção comercial.

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda rotativa composta por diversos equipamentos, cada um responsável por uma determinada função. As rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração. A coluna de perfuração é formada pelos seguintes componentes principais: comandos (tubos de paredes espessas), tubos de perfuração (tubos de paredes finas) e tubos pesados (promovem uma transição de rigidez entre os comandos e os tubos de perfuração). As brocas são equipamentos que têm função de promover a ruptura e desagregação das rochas ou formações. Quando um poço é produtor, inicia-se o estágio de completação: uma tubulação de aço, chamada coluna de revestimento, é introduzida no poço. Em torno dela é colocada uma camada de cimento, para impedir a penetração de fluidos indesejáveis e o desmoronamento de suas paredes. A operação seguinte é o canhoneiro: um canhão especial desce pelo interior do revestimento e, acionado da superfície, provoca perfurações no aço e no cimento, abrindo furos nas zonas portadoras de óleo ou gás e permitindo o escoamento desses fluidos para o interior do poço. Outra tubulação, de menor diâmetro, é introduzida no poço, para conduzir os fluidos até a superfície. Instala-se na boca do poço um conjunto de válvulas conhecido como árvore-de-natal, para controlar a produção.

Na fase de produção, o óleo pode vir à superfície espontaneamente, impellido pela pressão

interna dos gases. Nesses casos, temos os chamados poços surgentes. Quando isso não ocorre, é preciso usar equipamentos para promover a elevação artificial dos fluidos. O bombeio mecânico é feito por meio do cavalo-de-pau, montado na cabeça do poço, que aciona uma bomba colocada no seu interior. Existem ainda os bombeios hidráulico, centrífugo e a injeção de gás, com o mesmo objetivo.

3.1.4 O Refino do Petróleo

O óleo cru extraído do poço não tem aplicação direta. A sua utilização ocorre por meio de seus derivados. Para que isso ocorra, o petróleo é fracionado em seus diversos componentes através do refino ou destilação fracionada. Este processo aproveita os diferentes pontos de ebulição das substâncias que compõem o petróleo, separando-as e convertendo-as em produtos finais.

Os derivados mais conhecidos são: gás liquefeito (GLP) ou gás de cozinha, gasolinas, naftas, óleo diesel, querosenes de aviação e de iluminação, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, combustíveis marítimos, solventes, parafinas, coque de petróleo.

As parcelas de cada produto obtido no refino dependem de uma série de variáveis: da qualidade do petróleo que está sendo processado e da estrutura da refinaria - sua complexidade, unidades e mercado em que atua.

3.2 O Gás Natural

O gás natural é resultado da transformação de fósseis de antigos seres vivos que existiram na pré-história em nosso planeta. A composição do gás natural pode variar bastante, de acordo com o tipo de subsolo em que foi formado e da matéria orgânica que o originou, [2].

Quimicamente o gás natural é definido como uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos leves, podendo, também apresentar baixos teores de contaminantes, tais como: nitrogênio, dióxido de carbono, compostos de enxofre e água. Devido ao fato dele apresentar uma queima limpa, isenta de agentes poluidores, é considerado o combustível fóssil de maior excelência. Estas características favorecem uma maior durabilidade aos equipamentos que o utilizam e reduzem os impactos ambientais.

O gás natural pode ser encontrado dissolvido ou não no petróleo e, por esse motivo, ele é dividido em duas categorias: associado e não-associado (ver Figura 3.1).

O gás associado é encontrado em reservatórios petrolíferos, dissolvido no óleo sob a forma de capa de gás. Apesar do metano ser o seu principal hidrocarboneto, apresenta, também, teores significativos de hidrocarbonetos parafínicos mais pesados.

Já o gás não-associado é encontrado em reservatórios gaseíferos, sem estar em contato com quantidades significativas de óleo. Seu principal hidrocarboneto também é o metano, porém difere do gás associado por apresentar pequeno teor dos outros hidrocarbonetos parafínicos.

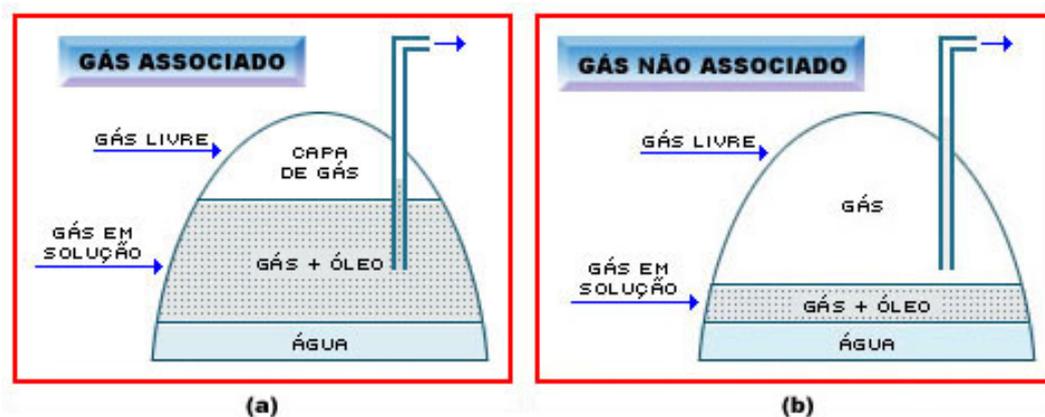


Figura 3.1: (a) Reservatório produtor de óleo; (b) Reservatório produtor de gás.

3.2.1 Produção e Processamento

Após ser extraído dos reservatórios, o gás passa inicialmente pelos vasos separadores, onde são retirados a água, os hidrocarbonetos em estado líquido e as partículas sólidas (produtos de corrosão, pó etc). No caso de haver contaminação por compostos de enxofre, o gás é enviado para Unidades de Dessulfurização, onde essas substâncias são retiradas. Após esses tratamentos, uma parte do gás é utilizada para recuperação do petróleo nos reservatórios e o restante segue para as unidades de processamento.

Nas Unidades de Processamento de Gás Natural, as UPGNs, os componentes do gás natural são separados em produtos especificados e prontos para utilização. Nesta etapa, o gás é desidratado, ou seja, o vapor d'água é retirado, e fracionado. Nesse fracionamento são obtidos: metano e etano; propano e butano; pentano, hexano, heptano e hidrocarbonetos superiores.

Os produtos obtidos nesse processo são:

- Gás processado ou residual, formados pelo metano e etano;
- GLP (gás liquefeito do petróleo, o “gás de cozinha”), formado pelo propano e butano; e
- Gasolina natural, formada pelo pentano, hexano e heptano.

3.2.2 Transporte e Distribuição

O gás natural pode ser transportado até os centros consumidores nos estados gasoso, líquido ou comprimido.

No primeiro caso, o transporte normalmente é realizado por dutos, conhecidos como gasodutos. Já no estado líquido, como o gás natural liquefeito (GNL), o produto pode ser conduzido por navios, barcaças e caminhões criogênicos (com temperatura de 160°C negativos). O transporte nesses caminhões possui a vantagem de haver uma redução em torno de 600 vezes o volume do gás, facilitando assim o armazenamento do mesmo. Para ser utilizado, o gás transportado desse modo deve ser revaporizado em equipamentos especiais. Em casos específicos, o produto pode ser transportado em cilindros de alta pressão, como o gás natural comprimido (GNC).

Após ser transportado, o gás é distribuído de forma a chegar aos diferentes consumidores. Em alguns casos, o gás natural é odorizado para ser detectado facilmente em caso de vazamento.

A Constituição Federal e a lei 9.478 estipulam que a distribuição de gás canalizado com fins comerciais junto a usuários finais é de exploração exclusiva dos Estados, de forma direta ou por concessões.

3.2.3 Aplicações

O gás natural possui diversas formas de aplicação, e uma que vem recebendo bastante destaque é como combustível automotivo. Frotas de ônibus urbanos, táxis e veículos particulares têm passado ultimamente por conversão para receber o gás natural comprimido. A utilização do gás natural permite a redução da emissão de gases poluentes pela metade, além de aumentar a vida útil do veículo e ser um combustível de custo mais baixo.

O uso do gás em usinas termelétricas também é uma outra importante aplicação do gás natural. Em comparação às hidrelétricas, as termelétricas oferecem muitas vantagens, desde o menor prazo de construção aos menores custos de implantação, além de poderem ser instaladas próximas aos centros de consumo, barateando a distribuição da energia produzida. As termelétricas a gás natural representam, portanto, economia sem poluição.

Entre as diversas aplicações em diferentes setores do país, o gás pode ser utilizado nos setores industrial, comercial, residencial e de transporte.

No setor industrial o gás é ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, garantindo a qualidade de acabamento, como, por exemplo, a indústria de

cerâmica branca, a fabricação de cimento e de vidros. Outras importantes aplicações do gás podem ser encontradas neste setor, dentre as quais:

- Atua como redutor na fabricação de aço, na indústria siderúrgica;
- Na indústria petroquímica, fornece matéria-prima principalmente para produção do álcool metanol;
- Na indústria do petróleo, é utilizado na recuperação do óleo que não conseguiu ser extraído nas operações da produção primária;
- Na indústria de fertilizantes fornece matéria-prima para produção de amônia e uréia;
- Usado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz.

No setor comercial e residencial o gás natural é aplicado com diferentes funções e em diferentes áreas. Ele pode ser usado como combustível doméstico e industrial, no cozimento de alimentos, no aquecimento de água em aquecedores e boilers, no corte de metais, em aerossóis, dentre outros.

Uma das aplicações do gás neste setor bastante difundida na sociedade é como Gás Liquefeito de Petróleo - GLP -, conhecido popularmente como gás de cozinha. Ele é obtido a partir das frações mais pesadas do gás natural, sendo constituído pelos hidrocarbonetos propano e butano. Pode apresenta-se no estado gasoso, sob pressão atmosférica e temperatura ambiente, e no líquido, em processos de armazenamento e transporte. O GLP é um produto de fácil armazenamento e de uso seguro, e se caracteriza também por possuir combustão completa, queima limpa, baixo teor de enxofre (não corrosivo) e alto poder calorífico.

No setor de transportes, o gás natural é conhecido como “Gás Natural Veicular”. Ele é usado como combustível em táxis, veículos de carga, frotas de ônibus urbanos e interurbanos, veículos particulares, etc, e caracteriza-se por possuir excelentes qualidades energéticas. Dentre as suas vantagens, podemos destacar:

- Não dilui o óleo lubrificante do motor do veículo, pelo fato de ser um combustível seco;
- Sua queima não provoca depósitos de carbono nas partes internas do motor, aumentando a sua vida útil e o intervalo de troca de óleo;

- Durante a sua queima não ocorre a formação de compostos de enxofre, diminuindo, portanto, a corrosão no escapamento de gás do veículo, evitando a troca freqüente deste equipamento.

3.2.4 Vantagens do Gás Natural

São inúmeras as vantagens do uso do gás natural. Abaixo podem ser vistas algumas delas:

- Ajuda a melhorar e preservar a qualidade do ar e da água;
- Combustão limpa: queima completa sem deixar resíduos;
- Baixíssima presença de contaminantes;
- Em casos de vazamento é rapidamente disperso;
- Maior durabilidade dos equipamentos;
- Custos reduzidos;
- Não requer estocagem;
- Possibilidade de substituir qualquer fonte de energia convencional;
- Produto acabado, pronto para utilização;
- Melhora o rendimento dos equipamentos em relação ao óleo combustível;
- Sistema de dutos barateia o custo do transporte.

Mundialmente, as atenções estão cada vez mais voltadas para a defesa do meio ambiente, portanto, o gás natural representa uma das alternativas energética mais adequada e disponível do século XXI.

3.3 Sistema de Injeção de Vapor

O vapor d'água é um dos meios mais comuns de transferência e utilização de energia, na indústria, comércio e na vida doméstica, [5]. Ele começou a ser utilizado na Grécia e Roma antigas e teve o seu apogeu na época da Revolução Industrial, com a sua produção em larga escala para ser utilizado nas máquinas industriais, inventadas por Watt, Savary e Newcomen,

dentre outros. Sua utilização proporcionou a substituição da força humana pela força motriz, através da energia produzida pelo vapor, permitindo, a partir de então, um melhor rendimento nas fábricas.

Em toda indústria de processo químico, diversos processos e equipamentos utilizam o vapor como fonte de aquecimento: reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores, secadores, dentre outros. Também, outros setores industriais, como o metalúrgico, metal-mecânico, eletrônica, etc., podem utilizar-se de vapor como fonte de aquecimento de diversos processos.

Atualmente na atividade petrolífera o vapor, além de gerar energia, também é utilizado na co-geração. Na indústria do petróleo, a sua co-geração tem diversas finalidades, dentre as quais podemos citar sua injeção em poços de petróleo com alta viscosidade. Esta injeção de vapor provoca um abaixamento na viscosidade do óleo, facilitando assim a sua extração e conseqüentemente proporcionando um aumento da produtividade do poço.

3.3.1 O Método de Injeção de Vapor

A injeção de vapor em poços de petróleo foi introduzida na Califórnia no começo dos anos 60. Este é um método especial de recuperação aplicado geralmente em óleos muito viscosos e consiste em injetar calor para reduzir a viscosidade e, portanto, aumentar a mobilidade do óleo, resultando em incremento na produção dos poços. A injeção pode ser utilizada de maneira cíclica ou contínua. A cíclica é a forma de injeção envolvendo a transferência de calor para o reservatório por uma periódica injeção de vapor no poço produtor, reduzindo a viscosidade em torno deste por aumento da temperatura. Na contínua, o vapor é injetado em um poço central, com o objetivo de deslocar o óleo na direção dos poços produtores periféricos. O calor proveniente do vapor injetado reduz a viscosidade do óleo quando o fluido injetado drena o óleo do poço injetor para o produtor.

O processo de injeção de vapor consiste na utilização de um gerador de vapor aquatubular de um passo, com circulação forçada tanto de água como de ar, com uma única serpentina, com um queimador, horizontal, montado sobre “skid”, móvel ou estacionário, cuja finalidade é a conversão da água do estado líquido para vapor saturado úmido com título de 80%, a uma pressão que permita a injeção nos poços de petróleo. A água é captada em rio ou poços e submetida a tratamento para a remoção de gases dissolvidos, sólidos suspensos, bactérias e dureza, a fim de atender aos requisitos necessários para a geração de vapor, o qual é injetado no reservatório para o incremento na produção de óleo. As linhas de distribuição de vapor são isoladas termicamente para minimizar as perdas de calor até o poço injetor. Abaixo pode ser visto, na Figura 3.2, o fluxograma básico do processo de geração e injeção de vapor do Ativo

de Produção do Alto do Rodrigues.

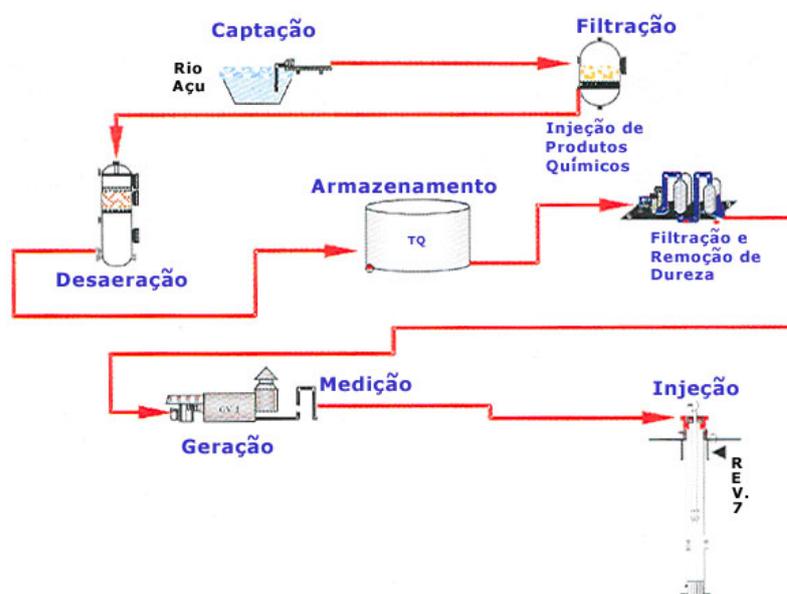


Figura 3.2: Fluxograma do processo de geração e injeção de vapor em Alto do Rodrigues.

3.3.2 Injeção de Vapor na UN-RNCE

O método de injeção de vapor teve início na unidade da UN-RNCE no campo de Fazenda Belém, em setembro de 1982, no poço FZB-30. No ativo de Alto do Rodrigues, o processo começou no campo de Estreito, em julho de 1984, com a injeção cíclica no poço ET-089 através de um gerador móvel (GV-04). Neste mesmo ano, o campo de Alto do Rodrigues também recebeu vapor, iniciando a injeção no ARG-049, com o GV-05, também móvel.

Os resultados da injeção cíclica nos campos de Alto do Rodrigues e Estreito desde o início foram excelentes. Em 1992 foram criadas novas áreas e projetos de injeção cíclica de vapor no campo de Estreito. Paralelamente, no campo de Alto do Rodrigues também foi iniciada a expansão da injeção cíclica. Em 1997, teve início o primeiro projeto piloto de injeção contínua de vapor do campo de Estreito, cujos resultados, associados depois aos dos pilotos do campo de Alto do Rodrigues, desencadearam estudos para viabilização do projeto de expansão do método em larga escala nesses dois campos. Em início de 1999, aconteceu a certificação do processo de vapor conforme a norma ISO 9002, proporcionando padronização das tarefas, incorporação de melhorias e incremento no desempenho operacional.

O processo evoluiu ao longo desses 20 anos, e no Ativo de Alto do Rodrigues hoje existem 21 geradores em operação, sendo que três são móveis, distribuídos em nove estações de vapor. Já no campo de Fazenda Belém são encontrados 7 geradores em operação, estes distribuídos em

seis estações de vapor.

3.3.3 Geração de Vapor

As primeiras caldeiras foram projetadas em meados de 1700. Ao longo do tempo estas sofreram diversas modificações melhorando assim o processo de geração de vapor. Durante todo esse tempo as propriedades do vapor e da água têm sido corretamente determinadas e tabuladas para uso. Novos entendimentos de transferência de calor, fluxo de fluido e circulação de vapor têm sido desenvolvidos, sendo utilizados para ajudar a entender todo o processo de aquecimento de uma grande quantidade de fluido com uma menor quantidade de combustível, [5].

As caldeiras a combustão podem ser classificadas de diferentes formas de acordo com:

- Utilização prevista;
- Concepção do equipamento;
- Combustível utilizado.

Quanto à utilização prevista podemos distinguir principalmente três tipos de caldeiras: caldeiras para co-geração, caldeira para aquecimento de água (climatização, processos industriais, etc) e caldeiras de recuperação de calor de processos industriais ou outras fontes. Nas caldeiras para co-geração o fluido gerado é vapor a alta pressão e temperatura, para permitir a obtenção de energia mecânica em turbinas, motores e máquinas.

Em relação à concepção do equipamento, há principalmente dos tipos de caldeiras: as aquatubulares e as flamotubulares. As flamotubulares são caldeiras de pequena capacidade e operação mais simples, utilizadas para aquecimento de água a baixas pressões. Os gases de combustão nessas caldeiras fluem por dentro dos tubos, vaporizando a água que fica por fora dos mesmos. Já nas aquatubulares os gases de combustão circulam por fora dos tubos, e a vaporização da água se dá dentro dos mesmos.

Quanto ao combustível utilizado nas caldeiras, este pode ser de obtenção natural ou derivados deste através de processos de transformação, e, de acordo com o estado físico da substância, podem ser divididos em três categorias: sólidos, líquidos ou gasosos.

3.3.4 Geradores de Vapor

Os geradores de vapor para injeção em poços de petróleo terrestre utilizados pela Petrobras são do tipo aquatubular de um passe, com circulação forçada tanto de água como de ar, com uma única serpentina, com um queimador horizontal, montado sobre “skids” móvel ou estacionário. Eles são projetados para trabalhar 24 horas por dia e possuem uma vida útil de 15 anos. Estes geradores possuem como principais componentes:

- Bomba quintuplex;
- Pré-aquecedor de água;
- Câmara de convecção;
- Câmara de radiação;
- Circuito de água e vapor - tubulações;
- Soprador;
- Queimador;
- Sistema de combustível;
- Sistema de ar de instrumentação.

A alimentação de água é feita no limite do “skid”, na sucção da bomba de alimentação do gerador de vapor. Esta bomba de alimentação - bomba quintuplex - tem por objetivo fornecer energia suficiente para o percurso da água na geração. A pressão inicial da água no início do processo varia em torno de 4 kgf/cm^2 a 20 kgf/cm^2 e a após sua passagem pela quintuplex esta pressão eleva-se variando entre 50 kgf/cm^2 e 120 kgf/cm^2 .

Após passar pela bomba quintuplex, a água sofre um pré-aquecimento com a finalidade de elevar sua temperatura antes de entrar na seção de convecção. Este pré-aquecedor é um permutador de calor do tipo bitubular, e a fonte de aquecimento da água é o fluido que sai da seção de convecção.

Em seguida a água, já pré-aquecida, troca calor na câmara de convecção em fluxo cruzado com os gases de exaustão provenientes da combustão do gás natural que ocorre na câmara de radiação. A zona de convecção é formada por tubos horizontais lisos na parte inferior e tubos horizontais aletados na parte superior, conectados em série por meio de curvas de 180° , e a troca

de calor que ocorre nesta zona promove um aumento significativo da temperatura da água, mas a mesma ainda permanece em seu estado líquido.

Após a câmara de convecção, a água passa novamente pelo pré-aquecedor, trocando calor em contra-corrente para aquecer a água de entrada, e depois segue para a câmara de radiação, onde eleva sua temperatura significativamente. Essa troca de calor se dá por radiação direta da chama aos tubos de água, os quais geralmente delimitam a câmara de combustão, [6]. A câmara de radiação é de forma cilíndrica, composta por tubos retos, suportados ao longo de sua circunferência, conectados em série por meio de curvas de 180°. O queimador é montado na extremidade da câmara, fornecendo uma chama na horizontal. Os gases de combustão produzidos na queima escoam horizontalmente na câmara de radiação e daí são enviados para a câmara de convecção, através do duto de interligação.

Na zona de radiação há a mudança de fase da água, do estado líquido para o de vapor. Logo na saída desta zona a água encontra-se na forma de vapor saturado. Esse vapor sai com um título em torno de 0,8 (qualidade de 80% em peso), onde a temperatura de saída dependerá da pressão de saída do mesmo, uma vez que a fase de vapor encontra-se em equilíbrio termodinâmico com a fase líquida.

O sistema de gás combustível fornece o combustível adequado para o processo da combustão. Porém, este processo necessita de outros fatores, tais como oxigênio em teores adequados; daí a necessidade do sistema de ar, fonte de calor adequada e condições de processo adequadas, principalmente a turbulência - esta ocorre através de um componente do queimador denominado difusor ou impelidor, [7].

4 *O Sistema Plant Information*

Em 1980, a *OsiSoft* iniciou o desenvolvimento de um software de aquisição e armazenamento de dados de processos complexos e detalhados. Uma grande quantidade de dados pôde ser gravada na sua formatação original e armazenada virtualmente para sempre. Esta tecnologia evoluiu até chegar ao conjunto de software disponível atualmente para gerenciar informações em tempo real e monitorar operações de produção, [8].

O PI - Plant Information - é um sistema capaz de gerenciar informações, transformando os dados de operação em um grande recurso para a empresa. Ele coleta dados de processos industriais ou de plantas, na maioria das vezes, através de sistemas de controle automatizados. Estes dados são então trazidos para o sistema, onde são transformados em informações úteis.

O Sistema PI viabiliza para a empresa um ilimitado acesso às informações em tempo real, proporcionando com isso o monitoramento contínuo da produtividade e da qualidade da produção, além de promover a integração de todos os níveis da empresa, desde o chão de fábrica aos sistemas corporativos.

O Plant Information é visto como uma tecnologia emergente, que começa a ser difundida entre os vários tipos de indústrias, embora não seja novidade para alguns segmentos industriais, como o petroquímico, onde sua utilização é capaz de trazer ganhos da ordem de milhões de dólares por ano. Devido aos seus benefícios, esta nova forma de controlar as informações provenientes do processo está cada vez mais sendo utilizada nos projetos que englobam sistemas de supervisão e controle, sendo uma complementação para ambos.

Além do segmento petroquímico, como citado acima, o sistema PI pode ser encontrado em diversos lugares, tais como usinas termoelétricas, complexos químicos, indústrias de papel e celulose, farmacêuticas, alimentícias, mineração e metalurgia, complexos de monitoramento de redes e até mesmo em parte da guarda costeira americana. Não importa o tamanho ou a aplicação, todos os Sistemas PI proporcionam a mesma precisão, funcionalidade e confiabilidade.

Basicamente, o PI é um software que contém um depósito, onde são concentradas todas

as informações relevantes das células de produção, diretamente ligadas aos sistemas de supervisão e controle. O PI coleta informações dos sistemas de supervisão, CLPs, SDCDs (Sistemas Digitais de Controle Distribuído) e sistemas legados e os armazena em uma base de dados em tempo real. As informações armazenadas nesta base de dados geralmente podem ser consultadas através de uma ferramenta gráfica, bem simples de ser usada, para que os usuários possam efetuar a pesquisa on-line, para saber o que ocorre no processo. Além disto, informações colhidas em dias e horários diferentes podem ser exibidas em um mesmo gráfico e comparadas. Pode-se também consultar as variáveis on-line ou históricas.

Outra forma de acessar as informações na base de dados do PI é através das ferramentas de análise de dados mais comuns do mercado, tais como Excel e Access. Isto é possível devido à disponibilização das informações através de Add-Ins (Excel) ou através do mecanismo ODBC (Open DataBase Connectivity), que permite consulta em tempo real à base de dados, através de comandos SQL.

O sistema PI incorpora outras funções, antes só existentes nos níveis de supervisão e controle ou no nível corporativo. Um alarme pode ser associado a qualquer variável ou acompanhamentos de variáveis podem ser feitos em contexto financeiro. Tabelas contendo os preços associados aos diversos insumos podem ser obtidas dos sistemas corporativos e novas variáveis no processo podem ser criadas através de cálculos. Com isto, o usuário passa a ter, além da tradicional visão de processo, uma visão financeira do seu negócio.

4.1 Vantagens do PI

Tipicamente, os sistemas SCD (Sistema de Controle Distribuído) e CLPs têm um conceito operacional e uma visão de acompanhamento voltados para o tempo real e solução de problemas relacionados ao chão-de-fábrica. Os sistemas supervisórios dispõem de um histórico, que normalmente não ultrapassam um ou dois meses, tornando-se impossível a análise comparativa do comportamento do processo hoje, no mesmo período do ano passado, ou nos últimos 5 anos.

O sistema PI é capaz de armazenar informações de processo com históricos que variam de 1 a 15 anos. Assim, é possível comparar informações entre vários períodos para a mesma variável, cruzar informações provenientes de células de processo distintas e basicamente efetuar qualquer análise nos dados históricos. Além disto, existem ferramentas prontas, utilizadas pelos usuários, para análises avançadas de processo.

Pode-se fazer consultas a quaisquer variáveis (Tags) armazenadas na base histórica do PI. Estas consultas tornam-se especialmente interessantes quando comparamos uma, ou várias

variáveis em momentos distintos no tempo, no qual temos uma mesma variável em momentos diferentes.

Outra importante vantagem do Sistema PI relaciona-se ao seu banco de dados, onde tal base tem características não encontradas nos bancos de dados convencionais, como: grande capacidade de compactação (tipicamente de 10:1) e alta velocidade de resposta à consulta em sua base histórica. Devido a isto, é capaz de armazenar um grande volume de dados com recursos mínimos, se comparado às soluções convencionais.

4.2 Arquitetura do PI

No sistema PI, como é visto na Figura 4.1 abaixo, a fonte de dados está ligada ao servidor de dados do PI (PI UDS - Universal Data Server) através de um módulo de aquisição de dados. Dentro do sistema Petrobras, este módulo é visto como a interface PI-DDE e a fonte de dados como o supervisor, no caso, sendo o *Fix e/ou o InTouch*. Em relação à localização de cada parte do sistema descrito acima, a fonte de dados e o módulo de aquisição de dados encontram-se na sala de controle, enquanto que o servidor PI está localizado na sala de servidores da TI (área de Tecnologia da Informação).

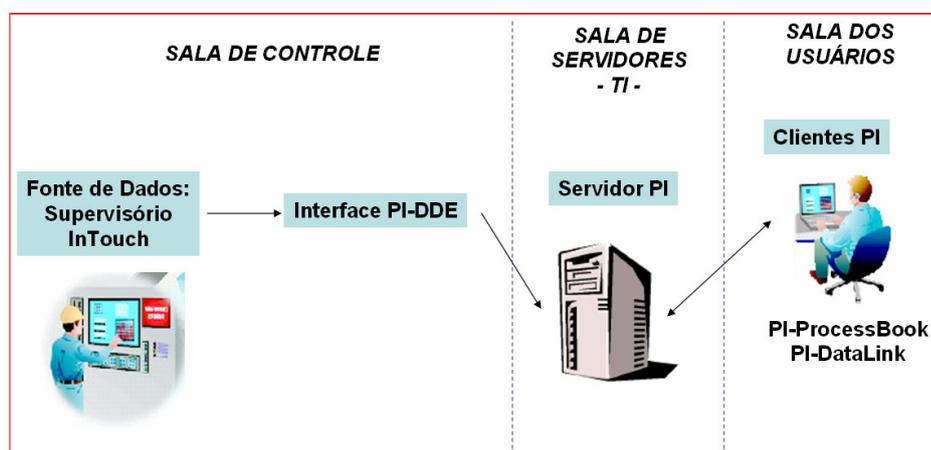


Figura 4.1: Arquitetura do Sistema PI.

O módulo de aquisição de dados é responsável pela transferência dos dados entre a fonte de dados e o servidor PI. Ele também possui a habilidade de armazenar dados que são enviados ao servidor PI, no caso de haver queda na interface de comunicação. Quando o servidor retorna à operação, os dados que foram armazenados (buffer) são fornecidos ao PI.

Os dados armazenados no servidor PI podem ser coletados pelos usuários através das ferramentas clientes do PI, tais como PI-Process Book e PI-Data Link, que serão descritas em breve.

As ferramentas clientes mencionadas estão instaladas nos computadores de usuários do PI, nas mesas dos funcionários da Petrobras, por exemplo.

4.3 PI-Process Book e PI-Data Link

O PI-Process Book consiste de uma aplicação que permite aos usuários construir e visualizar representações do processo, valores e tendências em tempo real. Nele incluem-se [9]:

- Funções de desenho para criação de fluxogramas de processos;
- Valores de variáveis, barras com dimensão alterável, e gráficos de tendência, atualizados dinamicamente;
- Acesso a dados não originários do PI, via ODBC;
- Suporte para documentos compostos OLE (Object Linking and Embedding), tanto receptor como servidor;
- Programação com VBA (Visual Basic for Applications).

Ao se utilizar o aplicativo PI-Process Book, o tipo de documento normalmente manipulado é o “book do processo”, o qual organiza em forma de livro os “displays”. Estes displays contêm dados do PI data archive bem como de outras fontes externas. Esta organização em forma de book e displays pode ser vista na Figura 4.2 abaixo.

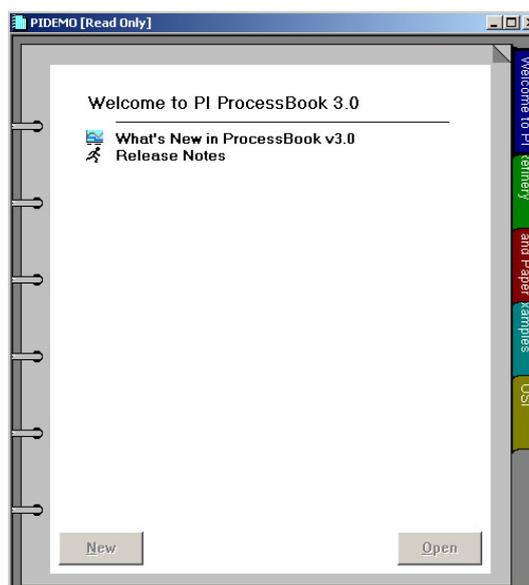


Figura 4.2: Book do PI-Process Book

Outra importante ferramenta cliente do PI é o PI-Data Link. Este é um suplemento do Microsoft Excel, o qual obtém e manipula valores do servidor PI. Estas características, combinadas com a funcionalidade das planilhas do Excel, fazem do PI-Data Link uma ferramenta poderosa e fácil de usar, analisar, e relatar dados do PI. Ele possui as seguintes funções de recuperação:

- Valor corrente de um Tag;
- Valor num instante específico (interpolado ou não);
- Atributos de Tags;
- Dados amostrados em intervalos constantes;
- Dados amostrados sincronizados com um conjunto de *time stamps* (tempo associado com o valor de dados);
- Dados comprimidos em archive;
- Dados comprimidos e amostrados selecionados por expressão de filtro;
- Cálculos com funções padronizadas: total, mínimo, máximo, desvio padrão, range e médias;
- Cálculos com expressões usando funções de performance equation.

4.4 Armazenamento dos Dados

Apesar do Sistema PI ser especializado no armazenamento de variáveis analógicas, hoje podemos trabalhar com diversos tipos de dados incluindo, [8]:

- Variáveis analógicas;
- Variáveis discretas;
- Texto na forma de Strings;
- Blobs (Binary Large Objects).

A informação contida na base de dados do PI aparece como uma lista de registros temporários, contendo o seguinte formato básico:

Tabela 4.1: Formato da Informação no PI

<i>Time stamp</i>	Identificação do dado (Tag)	Valor	Qualidade do dado
-------------------	-----------------------------	-------	-------------------

O *time stamp* indica o tempo exato que determinado valor da variável foi armazenado no PI e pode ter a precisão de até 1ms. A qualidade do dado diz se o dado é bom, isto é, se o instrumento que o realizou está calibrado ou se o dado não é considerado confiável por qualquer motivo, como, por exemplo, houve perda de comunicação com o supervisor.

A identificação dos dados é feita através do conceito de Tag, ao qual todo Sistema PI é baseado. O Tag é o nome usado unicamente para identificar um ponto armazenado. Eles podem incluir letras, números e espaços e possuir qualquer tamanho. Alguns exemplos podem ser:

- A pressão de um transmissor de pressão acoplado a um vaso separador;
- O percentual de abertura de uma válvula;
- Um texto de comentário de um operador;
- O resultado de um totalizador ou cálculo de engenharia.

4.4.1 Atributos dos Tags

A informação de configuração para um Tag do PI é guardada através de uma lista de atributos. Na Tabela 4.2 abaixo podem ser vistos os atributos que são utilizados nas variáveis armazenadas no servidor PI da UN-RNCE, [10].

Tabela 4.2: Atributos dos Tags

Atributos	Descrição
TAG name	nome único do ponto no PI.
Descriptor	campo de texto onde é feita, em detalhes, a descrição do ponto no PI.
Compdev	desvio de compressão.
Convers	é um fator de conversão, ou seja, um número ao qual a variável é multiplicada antes de ser armazenada.
Digitalset	somente usado por Tags digitais, ele serve para especificar o nome da cada estado digital que a variável possui. Por exemplo, podem ser definidos como estados de uma válvula os dois estados digitais FECHADO e ABERTO.
EngUnits	descreve a unidade de engenharia da variável.

Excdev	desvio de exceção.
Excmax	tempo máximo para o teste de exceção.
Instrumenttag	indica o Tag da variável no supervisor de origem (<i>InTouch</i> ou <i>Fix</i>).
Location1	indica a forma de varredura da variável, onde 0 indica que os dados são enviados automaticamente a cada mudança de valor e 1 indica que os dados possuem um período predefinido de varredura.
Location2	indica o local de origem dos dados (ESC de origem).
Location3	diz se o dado será lido ou escrito no supervisor (0 - leitura/1 - escrita).
Location4	indica o período de amostragem da variável.
Location5	identifica um sub-campo de um Tag composto.
Pointsource	indica a interface em que os dados são coletados. Na UN-RNCE são utilizadas as letras D, F e C para indicar que os dados são coletado no <i>InTouch</i> , que os dados são coletados no <i>Fix</i> ou que os dados possuem um valor calculado, respectivamente.
Pointtype	indica o tipo da variável armazenada, ou seja, descreve o formato dos dados armazenados em um Tag. Este pode assumir os valores: Digital, Int16, Int32, Float16, Float32, Float64, String, Blob (Binary Large Object) e <i>Time stamps</i> (datas).
Shutdown	marcador de shutdown. Se habilitado para 1, este atributo escreve eventos de shutdown no Tag, quando necessário.
Zero	indica o menor valor possível que a variável pode assumir.
Span	é a diferença entre o valor mínimo e o valor máximo que a variável pode assumir.
Typicalvalue	valor típico que a variável pode assumir.

Em pontos digitais os atributos CompDev, ExcDev, Zero e Span são irrelevantes.

4.5 Tratamento dos Dados

Todos os dados coletados devem passar por dois testes (algoritmos) - Teste de Exceção e Teste de Compressão - antes de serem armazenados no servidor PI. As especificações de exceção e compressão devem ser ajustadas a fim de produzir um armazenamento eficiente sem causar perda de informação dos dados. Na Figura 4.3 abaixo temos o exemplo de um gráfico com todos os dados brutos coletados e em seguida os dados que restaram após o Teste de

Exceção e o Teste de Compressão, [9].

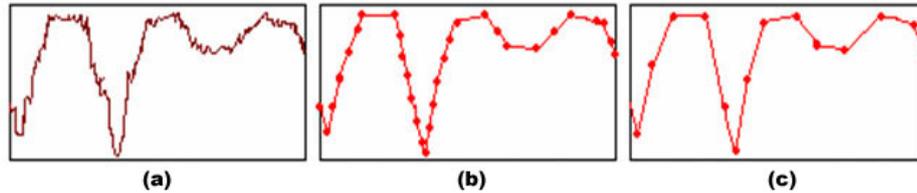


Figura 4.3: (a) Dados brutos; (b) Dados após o Teste de Exceção; (c) Dados após o Teste de Compressão.

4.5.1 Fluxo dos Dados

Os dados são tratados e armazenados no sistema PI segundo pode ser visto no esquema abaixo, [8].

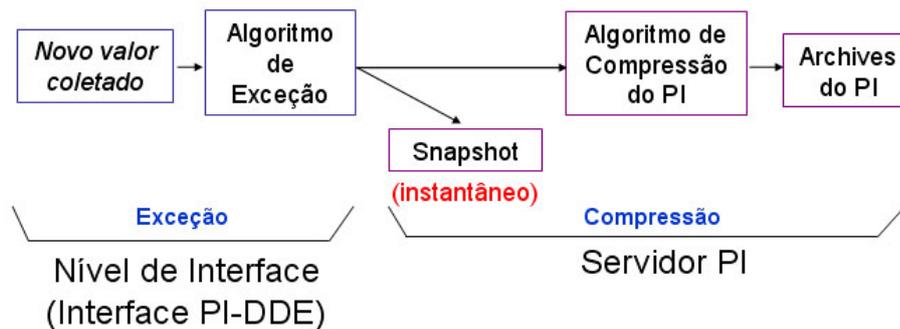


Figura 4.4: Fluxo dos dados no PI.

O primeiro teste realizado pelo PI é o Teste de Exceção, e este é feito ainda ao nível de interface. Esta interface não envia para o banco de dados do PI todos os dados coletados do supervisor. Se o valor de um dado varia acima do valor determinado pelo atributo ExcDev (Exception Deviation) em relação ao seu valor anterior, então este valor atual e seu valor anterior são enviados ao servidor PI. Se após um determinado tempo, fornecido pelo atributo ExcMax, desde o último valor ter passado no teste de exceção, nenhum outro valor passar no teste, então o valor atual (após este tempo) e seu valor anterior também são enviados ao servidor PI (ver Figura 4.5).



Figura 4.5: Condições do Teste de Exceção.

Nos gráficos da Figura 4.6 abaixo pode ser visto como funciona o Teste de Exceção. Primeiramente é mostrado no gráfico (a) todos os pontos que seriam enviados ao PI, se não fosse utilizado o Teste de Exceção. Logo em seguida é visto no gráfico (b) a utilização do Teste de Exceção, onde a caixa pontilhada indica os limites do ExcDev, ou seja, caso o valor atual esteja fora da caixa pontilhada, este e seu valor anterior serão enviados para o servidor PI. Nota-se também que o tamanho da caixa pontilhada indica o tempo máximo (ExcMax) para o próximo dado ser capturado. Finalmente no gráfico (c) são mostrados somente os pontos que passaram no Teste de Exceção. É notável que houve uma diminuição dos pontos sem perder a informação dos dados.

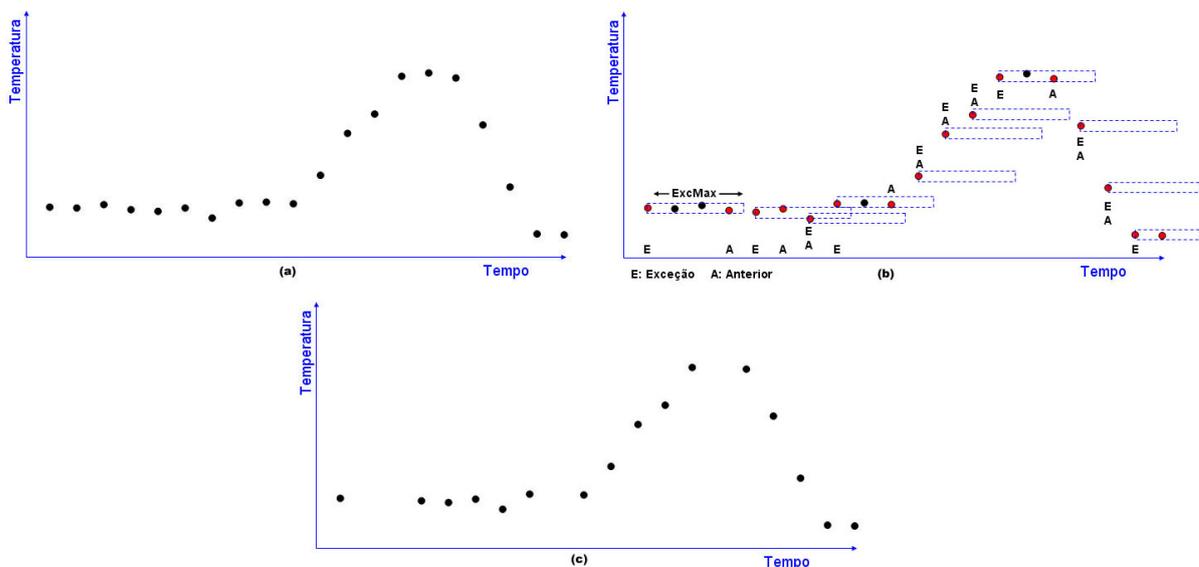


Figura 4.6: (a) Todos os dados coletados; (b) Teste de Exceção; (c) Dados após o Teste de Exceção.

Após o dado passar pelo Teste de Exceção, ele é enviado para dois destinos: o Snapshot e o Teste de Compressão.

O Snapshot consiste em uma estrutura de dados na memória principal que contém os mais recentes valores de cada ponto que passaram no Teste de Exceção. O PI-Process Book e o PI-Data Link adquirem seus mais recentes valores neste Snapshot.

O segundo destino dos dados é o Teste de Compressão. Este acontece a nível de Servidor PI e determina quais valores serão guardados no Archive do PI, que é a base de dados do sistema.

Para a realização do Teste de Compressão no Sistema PI é utilizado o algoritmo de compressão Swinging Doors Compression Algorithm. Este algoritmo elimina valores que caiam numa linha conectando dois valores armazenados no arquivo. Quando um novo valor é recebido, o valor anterior é armazenado se qualquer dos valores desde o último valor armazenado cair fora da área do cobertor de desvio. Este cobertor é um paralelogramo que se estende do último valor armazenado ao novo valor, com uma largura igual a duas vezes o valor do atributo CompDev (Compression Deviation).

Para exemplificar melhor a atuação do desvio de compressão, segue abaixo uma seqüência de gráficos com suas respectivas explicações.

Inicialmente é desenhado um paralelogramo do último valor armazenado até o valor corrente (Figura 4.7-a). Este paralelogramo é estendido a cada novo valor que passou no Teste de Exceção (Figura 4.7-b).

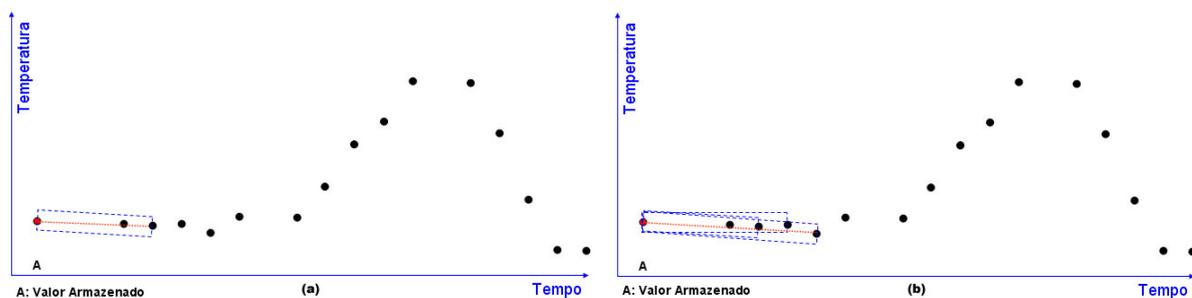


Figura 4.7: (a) Desenho inicial do paralelogramo; (b) Extensão do paralelogramo a outros pontos.

Um novo valor passará pelo Teste de Compressão quando qualquer dos valores, desde o último valor armazenado, não se situar dentro do paralelogramo. O sistema PI então armazenará o valor anterior ao ponto que passou pelo teste (ver Figura 4.8).

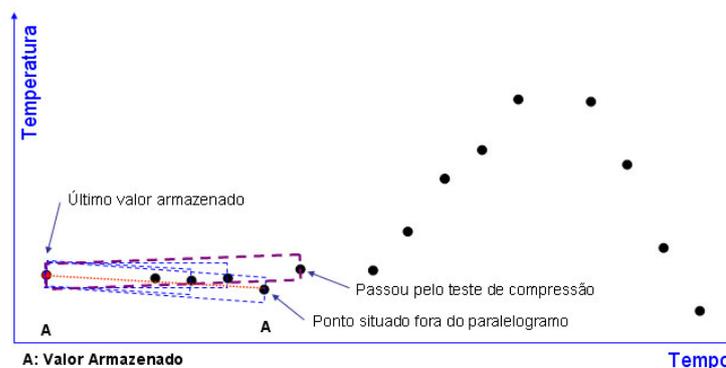


Figura 4.8: Primeiro valor armazenado no servidor PI.

O processo recomeçará a partir do último valor armazenado e o PI irá repetir o processo enquanto novos valores chegarem, como pode ser visto na seqüência de gráficos da Figura 4.9.

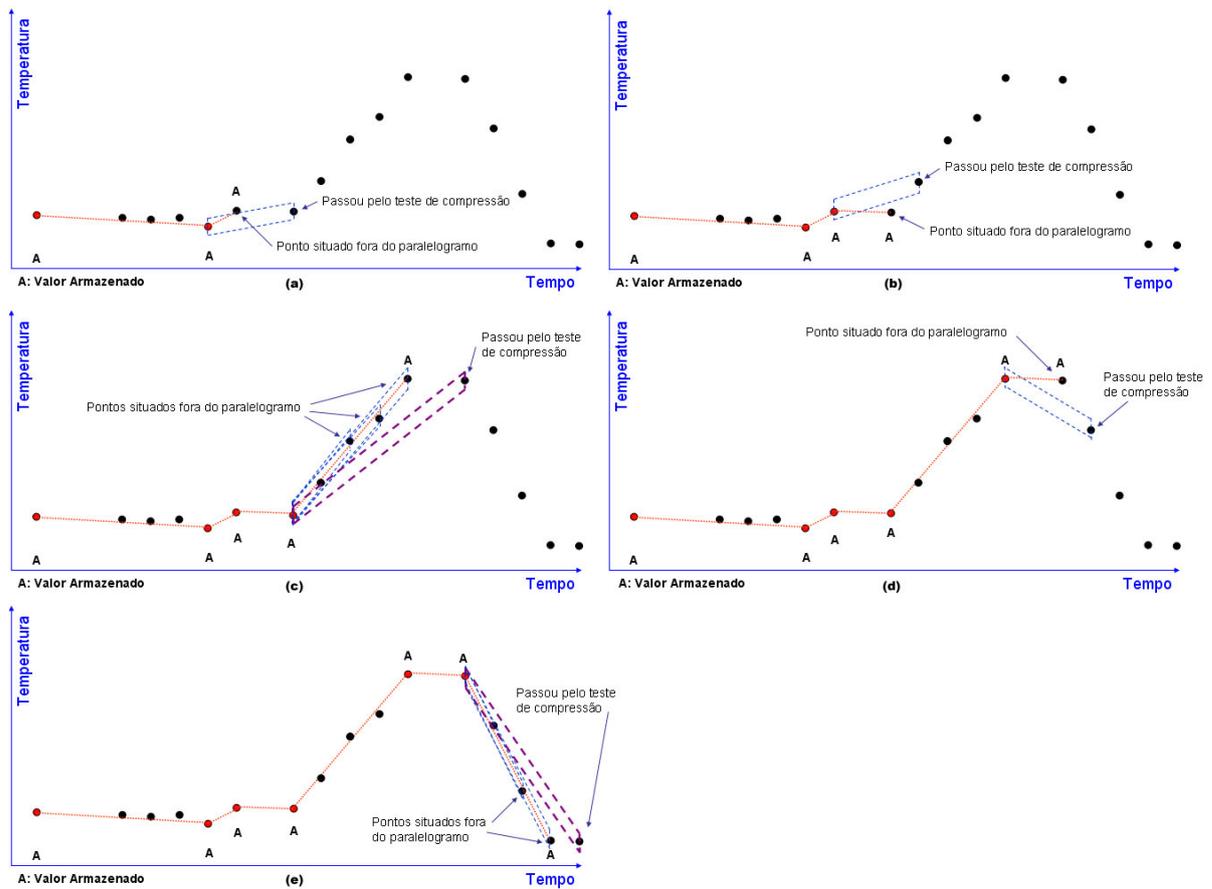


Figura 4.9: Seqüência dos passos de execução do Teste de Compressão.

Finalmente no gráfico da Figura 4.10 abaixo são mostrados somente os valores que passaram no Teste de Compressão. Observa-se que o PI não armazenou exatamente o que ocorreu, mas armazenou o sentido da gráfico. A escolha do Desvio de Compressão (CompDev) adequado é que proporciona uma melhor exatidão da seqüência de dados armazenada.

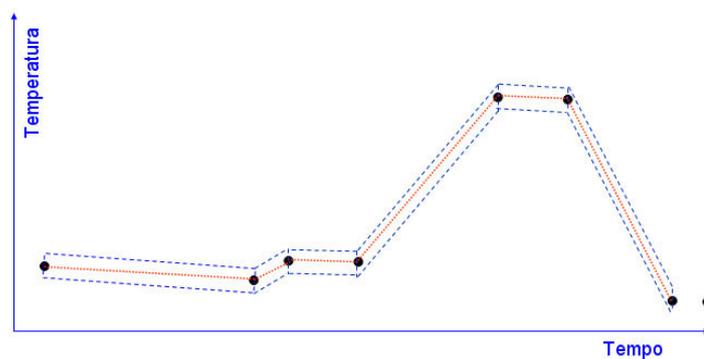


Figura 4.10: Dados armazenados no servidor PI após Teste de Compressão.

Como citado no início do capítulo, após a passagem dos dados pelos Teste de Exceção e Teste de Compressão houve um armazenamento eficiente sem a perda de informação (ver Figura 4.11).

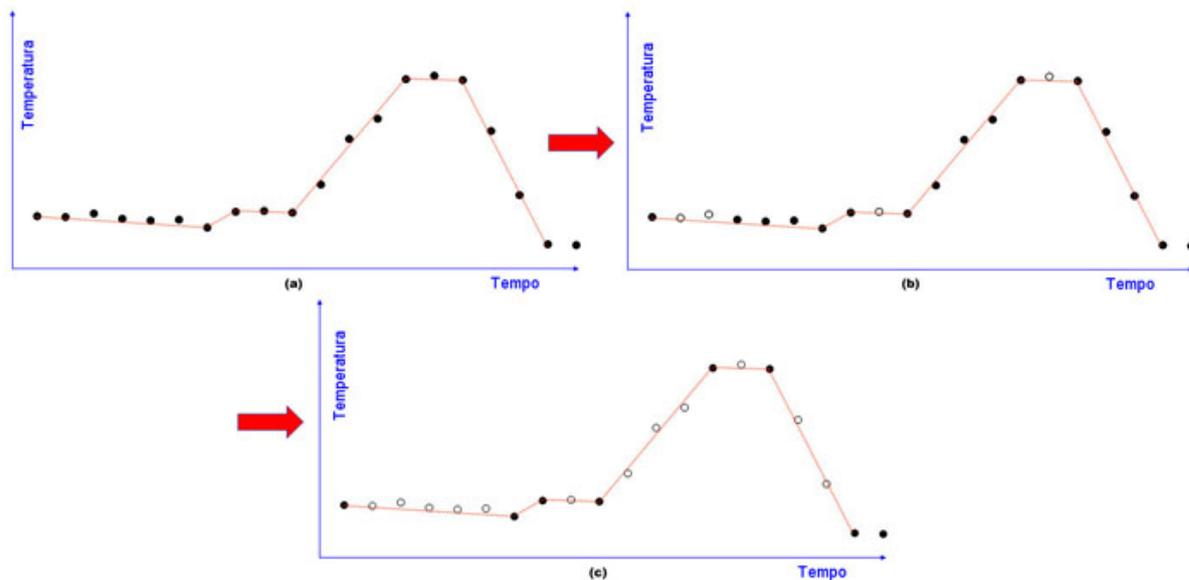


Figura 4.11: (a) Todos os dados brutos coletados; (b) dados após o Teste de Exceção; (c) dados finais após o Teste de Compressão.

5 *Atividades Desenvolvidas*

Durante o estágio supervisionado, as atividades realizadas consistiram na implantação de um sistema de aquisição de variáveis de processos relativos à produção, ao processamento e ao escoamento de Petróleo, Gás Natural, derivados e efluentes líquidos da UN-RNCE que envolveu a elaboração de um padrão para modelagem dos processos e cadastramento de variáveis no Plant Information, além da elaboração de interfaces gráficas.

As atividades desenvolvidas podem ser agrupadas em 4 etapas: levantamento dos dados, padronização do processo, padronização de pontos no PI - cadastramento e transição - e elaboração de interfaces gráficas no PI-Process Book.

5.1 **Levantamento dos Dados**

Iniciou-se com o recebimento das variáveis solicitadas pelo cliente. Após o recebimento, foi feito o levantamento dos dados, o qual foi executado através de consultas ao supervisório *InTouch*, aos fluxogramas de engenharia e através de visitas ao campo.

No *InTouch*, inicialmente foi feita uma varredura em suas telas para a localização exata de cada variável. Após esta varredura foi analisada a descrição de cada variável e foram colhidas outras informações necessárias para a formação do padrão. Porém, nem sempre essas informações estavam disponíveis no *InTouch*, onde a variável não possuía uma descrição exata, ou, em alguns casos, nem possuía descrição. Em muitas das vezes, também, as telas não estavam desenhadas de forma correta ou não estavam atualizadas, mostrando informações erradas, não se tornando por isso uma fonte muito confiável de informação.

Nos Fluxogramas de Engenharia, foi possível ter uma visão geral do processo em que a variável estava inserida, além de conseguir, em muitas das vezes, identificar o Tag da variável, a que instrumento determinada variável estava ligada e a localização exata desta variável no campo (a linha ou o instrumento a que a variável estava ligada). Porém, como no caso do *InTouch*, nem sempre as informações foram encontradas numa seqüência adequada, e, em função

disso, a etapa de associação aos Fluxogramas de Engenharia tornou-se bastante difícil. Em alguns casos, os desenhos dos fluxogramas estavam despadronizados e/ou incompletos, faltando informações necessárias, tais como o nome da linha em que a variável se encontrava, os instrumentos pertencentes a um determinado equipamento, ou, quando tinha o instrumento, faltava o seu Tag.

A terceira fonte de levantamento dos dados ocorreu através de visitas técnicas à área operacional. Estas visitas foram de extrema importância, pois nelas foi possível dirimir, de forma estruturada, dúvidas a respeito das divergências encontradas nos Tags das variáveis pesquisadas nos fluxogramas e *InTouch*. Foram obtidas informações necessárias diretamente nas instalações ou através dos operadores. O fato de haver alguns equipamentos vindos de outras áreas que não tiveram seus Tags alterados foi um obstáculo à obtenção dos Tags reais condizentes com a área, o que se mostrou uma das poucas desvantagens encontradas através desta fonte de levantamento dos dados.

5.2 Padronização do Processo

A padronização das variáveis foi uma etapa fundamental no processo de cadastramento, visto que tornou o processo mais ágil e confiável. Após a busca das informações necessárias obtidas através do levantamento dos dados, verificou-se a consistência dos Tags em relação às normas Petrobras de Codificação de Documentos Técnicos de Engenharia (N-1710) e de Identificação de Equipamentos Industriais (N-1521) e à norma de instrumentação ISA 5.1 e, em seguida, procedeu-se o cadastramento de pontos no PI, [11] [12] [13]. No fluxograma da Figura 5.1 abaixo é visto o andamento desta etapa.

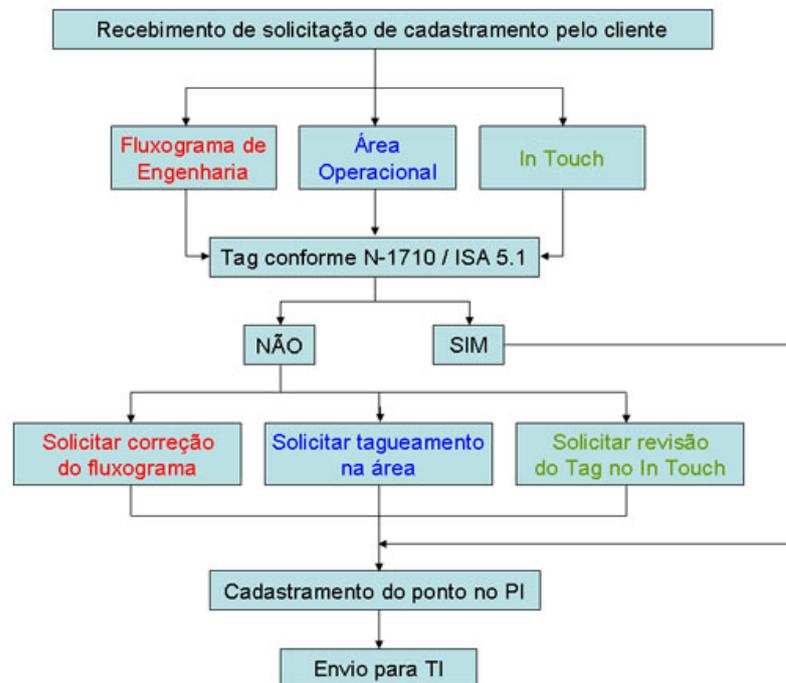


Figura 5.1: Fluxograma de cadastramento de um ponto no PI.

5.3 Padronização de Pontos no PI - Cadastramento e Transição

Esta etapa dividiu-se em dois blocos: cadastramento de novos pontos e recadastramento de pontos já existentes no PI, porém despadronizados. Após esta etapa de cadastramento, finalmente os Tags padronizados foram enviados à área da TI (Tecnologia da Informação) para serem criados no ambiente PI.

5.3.1 Cadastramento de Novos Pontos no PI

Conforme visto na Figura 5.2 a seguir, foi elaborada uma planilha com as informações necessárias para o cadastramento das variáveis. Para a montagem do atributo principal do ponto, o Tag do Plant Information, foram reunidas as informações de nomenclatura do instrumento conforme a norma de instrumentação ISA 5.1, o Tag da área conforme a norma Petrobras de Codificação de Documentos Técnicos de Engenharia (N-1710) ou padrão local existente e seqüencial do processo definido pelo projetista (número de processo do instrumento na área), [14]. Para a montagem do atributo Descriptor foram utilizadas diversas informações com o propósito de ampliar o leque de informações necessárias à busca do ponto no PI e descrever, de forma mais detalhada, a função de cada ponto. Foram concatenadas as seguintes informações:

- **Unidade:** informa a qual Unidade de Negócio a variável pertence. Esta informação será de fato usada, caso esta padronização atinja outras Unidades de Negócios além da UN-RNCE;
- **Instalação:** informa as abreviações oficiais de cada Estação Coletora, Plataforma ou Área de Processo à qual a variável pertence;
- **Sistema:** informa em qual Sistema a variável está inserida, como, por exemplo, SIV - Sistema de Injeção de Vapor, SCO - Sistema de Coleta de Óleo;
- **Equipamento:** identifica o Tag de processo do equipamento onde a variável está inserida;
- **Variável/Função:** diz o tipo de função requerida para o instrumento ou elemento final;
- **Complemento:** descrição um pouco mais detalhada do ponto.

TAG PLANT INFORMATION	Descriptor
LI-A.A.AA.BB.999	PLATAFORMA-SCO-V-444-999-Nível-Vaso Separador V999
PI-A.A.AA.BB.999	PLATAFORMA-SCO-V-444-999-Pressão-Vaso Separador V999
TI-A.A.AA.BB.999	PLATAFORMA-SCO-V-444-999-Temperatura-Vaso Separador V999
LV-A.A.AA.BB.777	PLATAFORMA-SCO-B-444-640A/B/C-Abertura-percentual da válvula V-777 jusante as bombas B-444-640A/B/C
PI-A.A.AA.BB.640	PLATAFORMA-SCO-B-444-640A/B/C-Pressão-montante válvula LV-777
PI-A.A.AA.BC.333	PLATAFORMA-SCO-LN-445-888-Pressão-lançador LN-888 (PLATAFORMA / TERRA)

ISA5.1	Área da H-1710	n° processo	Unidade	Instalação	Sistema	Equipamento	Variável/Função	Complemento
LI	A.A.AA.BB	999	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	V-444-999	Nível	Vaso Separador V999
PI	A.A.AA.BB	999	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	V-444-999	Pressão	Vaso Separador V999
TI	A.A.AA.BB	999	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	V-444-999	Temperatura	Vaso Separador V999
LV	A.A.AA.BB	777	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	B-444-640A/B/C	Abertura	percentual da válvula V-777 jusante as bombas B-444-640A/B/C
PI	A.A.AA.BB	640	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	B-444-640A/B/C	Pressão	montante válvula LV-777
PI	A.A.AA.BC	333	UN-RNCE	PLATAFORMA	SCO	LN-445-888	Pressão	lançador LN-888 (PLATAFORMA / TERRA)

Figura 5.2: Tabela de cadastramento de um ponto.

Foram cadastrados blocos de variáveis de diversos processos:

- Variáveis das Plataformas RN-MAR foram cadastradas, a fim de se analisar problemas no escoamento de óleo causado por uma inadequação de dispositivo de controle de fluxo;
- Variáveis de duto interligando estações na UN-RNCE foram cadastradas através da solicitação do pessoal da área de Manutenção e Inspeção para o acompanhamento dessas variáveis devido à interrupção da tubulação causada por um pig preso;
- Variáveis de Estações Coletoras foram solicitadas para analisar problemas referentes ao escoamento de gás à terceiros;

- Variáveis para acompanhamento operacional de Estações Coletoras e Compressoras da UN-RNCE;
- Variáveis para acompanhamento operacional das Estações de Tratamento de Efluentes, Estação de Tratamento de Óleo e Estação de Medição da UN-RNCE.
- Variáveis para acompanhamento operacional referentes ao Processo de Vapor.

5.3.2 Recadastramento de Pontos Já Existentes no PI

A parte de recadastramento ficaria para uma etapa posterior, entretanto o volume de variáveis novas no sistema existentes foi tão significativo, que a mesma foi antecipada.

A fim de que não sejam perdidas as informações contidas no histórico de uma variável já cadastrada no PI, e também evitar que mudanças de Tag desatualizem telas e aplicativos de pesquisa causando prejuízos a usuários do PI, foi elaborada uma sistemática, onde, ao invés de se deletar do PI uma variável despadronizada, é gerada uma variável adicional padronizada e ambas (nova e existente) passam a receber gradativamente todas as informações necessárias à padronização das informações. Desta forma as novas aplicações também têm seu desenvolvimento iniciado já na base padronizada. Para isso foi adotada uma seqüência de passos para este recadastramento, como é visto na Figura 5.3 abaixo.

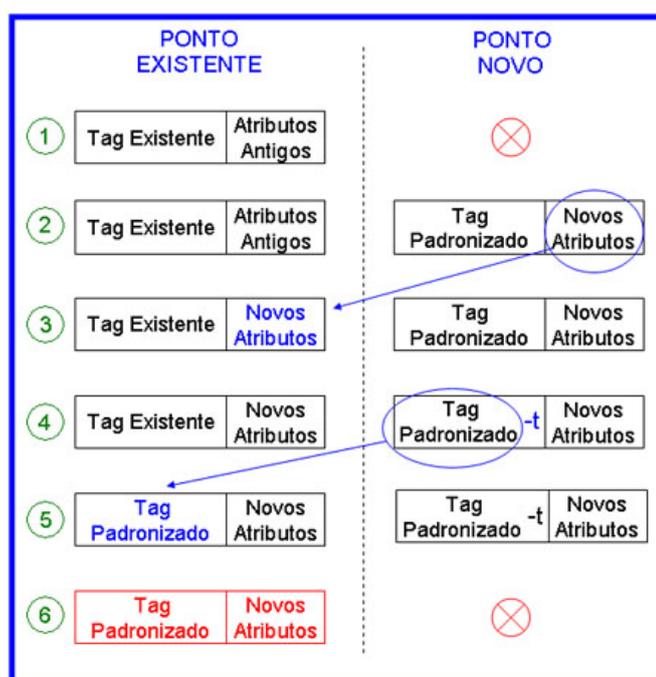


Figura 5.3: Tabela de cadastramento de um ponto.

1. Inicialmente existe no banco de dados do PI somente a variável despadronizada cadastrada;
2. Após a padronização da variável, esta é cadastrada no PI, e, a partir deste momento, passam a existir em paralelo tanto a variável antiga despadronizada quanto a variável nova;
3. Os atributos dessa nova variável são copiados nos atributos da variável antiga, e então as duas variáveis passam a ser diferenciadas somente pelos seus Tags;
4. É determinado um tempo de adaptação, e então os Tags das variáveis padronizados recebem a letra T (temporário) no final dos mesmos;
5. Os Tags das variáveis antigas são nomeados de acordo com os Tags padronizados. A denominação antiga para o ponto passa a não existir mais no PI;
6. É feita a eliminação dos pontos temporários.

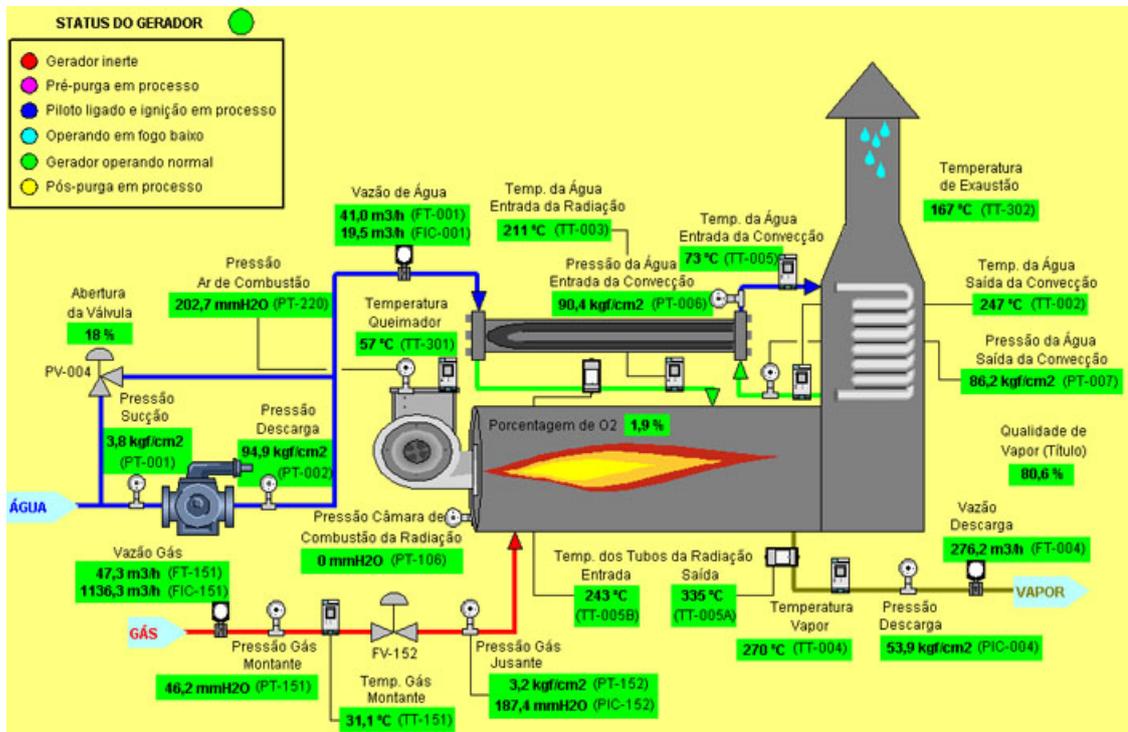
As principais variáveis recadastradas foram as referentes ao processo de vapor. No total foram padronizadas 754 variáveis dos geradores de vapor na UN-RNCE.

5.4 Elaboração de Interfaces Gráficas no PI-Process Book

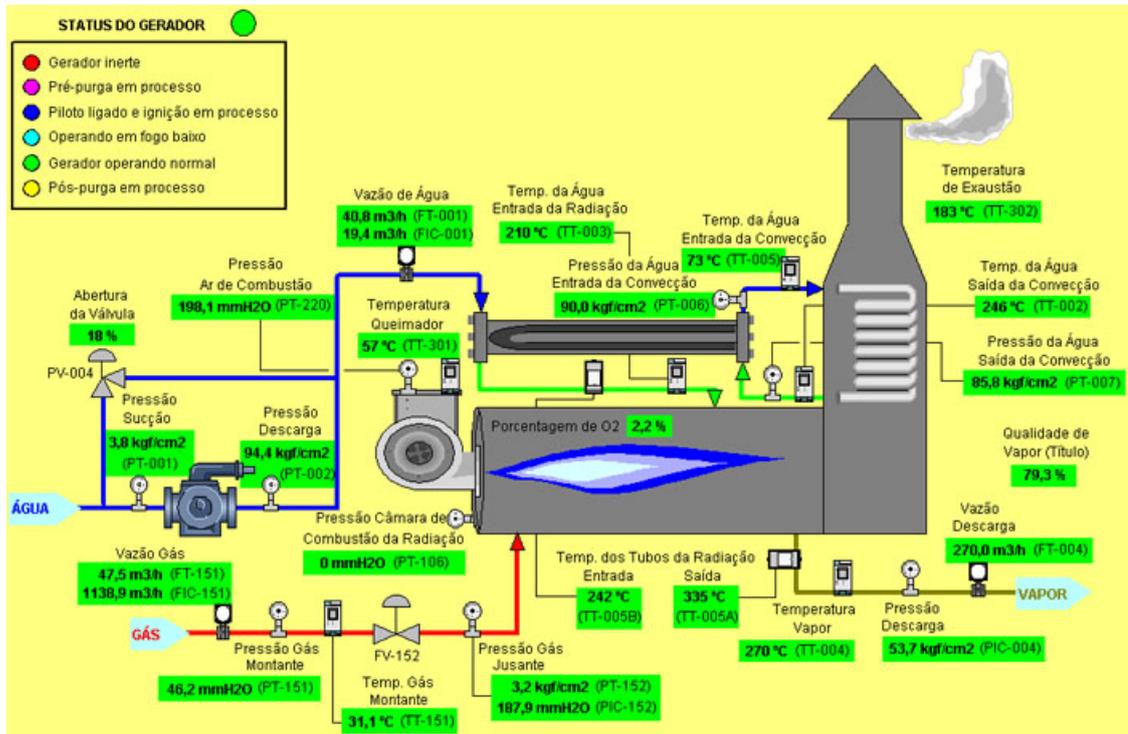
Como parte final das atividades desenvolvidas, foram elaboradas telas na aplicação cliente do PI, o Process Book, com o intuito de visualizar e acompanhar as variáveis de processo. Tais interfaces gráficas foram construídas a partir da biblioteca de imagens e recursos disponíveis no aplicativo.

Inicialmente foram elaboradas algumas telas baseadas em outras já existentes no *InTouch* para uma melhor familiaridade com o PI-Process Book, uma vez que a forma de trabalho em ambos é bastante parecida.

Como trabalho principal desta etapa, foi feita uma tela mostrando o funcionamento de um Gerador de Vapor, como pode ser visto na Figura 5.4. Recursos disponíveis no PI-Process Book foram utilizados a fim de deixar a aplicação mais dinâmica. Fazendo um comparativo entre as Figuras 5.4-a e 5.4-b abaixo, nota-se uma mudança na cor da chama na câmara de radiação, onde esta passou da cor laranja para a cor azul quando o nível de oxigênio ultrapassou o valor de 2%. Vê-se também que, dependendo do valor da temperatura de exaustão na câmara de convecção, ou aparecem gotas indicando baixa temperatura ou aparece uma fumaça saindo da mesma indicando elevada temperatura.



(a)



(b)

Figura 5.4: Telas de um gerador de vapor feitas no Process Book.

Outros recursos utilizados que não ficaram visíveis nas Figuras 5.4-a e 5.4-b acima, pelo fato de não haver mudança nos valores de determinadas variáveis com muita frequência, foram:

- A cor do botão de status do gerador varia de acordo com o estado em que se encontra o gerador;
- Os transmissores de temperatura, pressão e vazão mudam para a cor vermelha indicando elevado valor do mesmo.

6 *Conclusão*

O estágio supervisionado atingiu seu objetivo principal, que foi a execução de atividades específicas na área de atuação, tanto de um Engenheiro de Computação, como de um Engenheiro Químico. O contato direto com a Petrobras trouxe um vínculo agradável e satisfatório, uma vez que proporcionou ao estagiário a execução de um trabalho ao nível de responsabilidades do cargo de profissionais destas duas áreas de atuação (processo e automação).

A Petrobras possibilitou a abertura de novos horizontes no que diz respeito à realidade do mercado de trabalho, relacionamento interpessoal e o dia-a-dia dentro de uma empresa. O estágio forneceu ao aluno a oportunidade de um contato aluno-empresa, proporcionando um benefício, tanto à empresa, quanto à Universidade, mostrando as várias atuações do engenheiro de computação na indústria petrolífera, enriquecendo assim os conhecimentos e conseqüentemente a experiência do aluno.

Com relação às dificuldades encontradas no estágio durante o desenvolvimento dos projetos, as principais foram a falta de experiência e conhecimento aprofundado dos processos da empresa, por isso a orientação do supervisor do estágio revelou-se indispensável para a superação das mesmas.

As visitas técnicas realizadas durante o estágio foram de enorme importância para a execução das atividades, uma vez que, no campo, foi possível ver o funcionamento dos processos na prática, proporcionando assim momentos de grande aprendizado.

No que diz respeito às atividades desenvolvidas, houve um grande enriquecimento dos assuntos abordados, dando ao estagiário uma autonomia de desenvolvimento de telas de processos, fazendo uso da ferramenta cliente PI-Process Book, do Plant Information, com a finalidade de visualização de processos e análise de variáveis, inclusive variáveis críticas, por parte de pessoas que não estejam necessariamente junto à variável no campo. Com relação à outra parte das atividades, a padronização das variáveis no Plant Information obteve sucesso, uma vez que houve grande aceitação e significativa melhora na busca das variáveis por parte dos usuários do Plant Information, além de ter sido possível a criação de um arquivo com este padrão, disponi-

bilizado para os usuários, explicando em detalhes o propósito e formas desta padronização.

Os resultados foram plenamente alcançados de forma satisfatória no decorrer do estágio, e, por isso, o mesmo cumpriu o papel a que se propunha, proporcionando ao estagiário a realidade do que é o trabalho de um engenheiro de computação em uma empresa de grande porte.

Referências Bibliográficas

- [1] O UNIVERSO do Petróleo. Vídeo produzido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) em produção da PACTO AUDIOVISUAL. São Paulo: TV PUC/SP, ago. 2003.
- [2] PETROBRAS. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br>, 2006.
- [3] LIMA, F. R. A. de O. *A PETROBRAS nos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará*. Apresentação elaborada no Microsoft PowerPoint.
- [4] THOMAS, J. E. *Fundamentos de engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.
- [5] PEREIRA, C. A. A.; SANTÉRIO, E. L.; LAGEMANN, V. *Geração e Distribuição de Vapor*. [S.l.]: SETED, 2001.
- [6] BIZZO, W. A. *Geração, Distribuição e Utilização de Vapor*. Campinas, 2003. Apostila da disciplina EM722 da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas: Geração, Distribuição e Utilização de Vapor.
- [7] GOMES, C. S. M. *O Processo de Injeção de Vapor*. Natal, ago. 1999. Apostila.
- [8] PETROBRAS. *PI Client - Fundamentos*: Apostila de treinamento. [S.l.], jun. 2005.
- [9] PETROBRAS. *PI - Sistema de Informação da Planta: Pi client fundamentos*. [S.l.], 2005.
- [10] OSI SOFTWARE, INC. *PI Data Archive for NT and UNIX*: Manual de referência. [S.l.], jan. 2005.
- [11] PETROBRAS. *N-1710*: Codificação de documentos técnicos de engenharia. [S.l.], mai. 2006. Revisão K.
- [12] PETROBRAS. *N-1521*: Identificação de equipamentos industriais. [S.l.], ago. 2005. Revisão F.
- [13] INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA. *ANSI/ISA S5.1*: Instrumentation symbols and identification. New York, 1984.
- [14] RIBEIRO, M. A. *Instrumentação*. 9. ed. [S.l.], 2003. Apostila.