

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Actualização do Modelo Energético da Refinaria  
do Porto da Petrogal***

**Tese de Mestrado**

desenvolvida no âmbito da disciplina de

**Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial**

**Ana Isabel Mourão dos Santos Feliciano**



Refinaria do Porto da Petrogal - Área: Tecnologia



Universidade do Porto  
Faculdade de Engenharia

**FEUP**

**Departamento de Engenharia Química**

Orientador na FEUP: **Fernando Gomes Martins**

Orientador na empresa: **Manuel Leão Tavares**

**Fevereiro de 2008**

---

*Aos meus pais,  
ao meu irmão, à Ana  
e ao Pedro.*

---

## Agradecimentos

A execução deste projecto ao longo destes meses, pelo nosso curso de Engenharia Química, representou um intenso e moroso trabalho.

No entanto, também proporcionou momentos de grande companheirismo e entreaajuda. Relações entre colegas, futuros engenheiros e engenheiros revelaram-se profícuas, tanto no sentido técnico como pessoal. Para além de, aptidões desenvolvidas e novos conhecimentos adquiridos, todos eles instrumentos relevantes para o exercício da minha futura vida profissional, existiram outros aspectos de um trabalho que se revelaram muito gratificantes.

Cumpre-me, neste momento, realçar a ajuda prestada directa ou indirectamente por uma série de colegas, amigos e orientadores.

Gostaria de agradecer aos orientadores da disciplina de Projecto de Desenvolvimento: ao Engenheiro Manuel Leão Tavares pela informação disponibilizada e orientação no tratamento de dados e ao Prof. Fernando Gomes Martins em especial pela dedicação e atenção que sempre me dedicou, pela ajuda e acompanhamento no tratamento de dados e orientação do trabalho em curso.

Fica aqui também o meu agradecimento à Eng. Marta Cruz e ao Eng. Carlos Reis pela disponibilização de recursos, à Eng. Ana Rita Marques pela ajuda em algumas dúvidas pontuais, ao Eng. Filipe Sousa e ao Eng. Duarte Marques pela colaboração na actualização dos *datasheets* dos equipamentos assim como ao Sr. Mário Cerqueira do Arquivo da Refinaria do Porto que também me orientou nas buscas de informação.

Uma nota especial realçando a amizade e o bem-estar que se gerou entre os colegas da minha área de trabalho, Eng. Marta Cruz, Eng. Luís Rodrigues, Eng. Andreia Costa, Eng. Fernando Borges, Eng. Pedro André, D<sup>a</sup> Luísa Silva, Eng. Sérgio Moutinho, Eng. Ana Rita Marques, Sr. Azevedo, Eng. Filipe Sousa, Eng. Duarte Marques, Eng. Catarina Caiado, e colegas estagiários, Joana Ferreira dos Santos, Samuel Freitas, Maria João Pinto e Paulo Ferreira, que contribuíram para um desenvolver de trabalho agradável e equilibrado.

O meu agradecimento à Refinaria do Porto (RP) da Petrogal pela oportunidade da realização deste estágio curricular e pelos recursos disponibilizados, assim como pelo transporte e pelo apoio nas despesas de alimentação.

Finalmente, a todos quantos, de alguma forma, me apoiaram e que atrás não foram referidos, o meu sincero agradecimento.

---

## Resumo

Um modelo energético de uma indústria de processo químico constitui uma ferramenta importante na medida em que, recorrendo a esse modelo, é possível:

- i) Analisar o comportamento energético da indústria nas condições de operação actuais;
- ii) Desenvolver cenários de operação que permitam reduzir custos;
- iii) Verificar pontos de estrangulamento das unidades;
- iv) Fazer estudos de optimização energética das unidades.

Devido às quantidades energéticas envolvidas, os modelos energéticos são ainda mais relevantes em processos de refinação. A existência no mercado de aplicações computacionais de desenvolvimento de modelos energéticos simplifica a tarefa do desenvolvimento dos modelos. No entanto, um modelo eficaz implica a realização de um conjunto de tarefas, muitas vezes difíceis de ultrapassar.

Este trabalho desenvolveu-se em 6 principais fases:

- I - Desenvolvimento de competências em *ProSteam* e avaliação do funcionamento do modelo desenvolvido pela KBC para a RP;
- II - Inventariação dos equipamentos da RP;
- III - Classificação dos equipamentos;
- IV - Recolha dos dados de projecto dos equipamentos;
- V - Detecção de falhas do modelo desenvolvido pela KBC;
- VI - Actualização do modelo desenvolvido pela KBC. Correção e introdução de nova informação no modelo;

Como conclusão final deste trabalho foi o facto de o modelo desenvolvido pela KBC se encontrar desactualizado e de que existiam algumas limitações de operação mesmo com a chave do *ProSteam*. Verificou-se um aumento na eficiência energética global e demonstrou-se que o *ProSteam* é uma ferramenta adequada para o conhecimento da situação energética de instalações industriais. O modelo está a funcionar mas o processo de validação ainda não está concluído.

**Palavras Chave (Tema):** Modelo energético, ProSteam, sistemas de vapor

---

## Abstract

An energy model of a chemical process industry constitutes an important tool because it is possible to:

- i) Analyse the industry energetic behavior in the actual operational conditions;
- ii) Develop operation scenarios that allow reducing costs;
- iii) Verify the plant bottlenecks;
- iv) Perform studies of unit's energetic optimization.

Due to the energetic quantities involved, energy models are even more relevant in refining processes. The existence, in the market, of computing applications to develop energy models simplifies the task to generate these models. However, an effective model implies the realization of several tasks.

This work was developed in 6 main phases:

- I - Acquirement of knowledge about *ProSteam* and evaluation of the model developed to Oporto's Refinery by KBC;
- II - Realization of an inventory of the refinery equipments;
- III - Equipments classification;
- IV - Collection of equipments design values;
- V - Detection of faults in the model developed by KBC;
- VI - Upgrade of the model developed by KBC. Correction and/or introduction of information in the model;

At the end, it was concluded that the model developed by KBC was needed of actualization and that there were some operational limitations even using the *ProSteam* key. It was verified an increase in the global energetic efficiency and it was demonstrated that *ProSteam* is an adequate tool to evaluate the energetic situation of the company. The model is working but the validation process is not yet concluded.

**Key-Words:**

Energetic model, *ProSteam*, steam system

---

# Índice

Índice de Figuras.....	3
Índice de Tabelas .....	5
1 Introdução.....	6
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	6
1.2 Contributos do Trabalho.....	7
1.3 Organização da Tese .....	7
2 Estado da Arte .....	9
3 A Refinaria do Porto.....	11
4 Eficiência Energética em Sistemas de Vapor .....	18
4.1 Energia no Sector Industrial da União Europeia (UE) .....	18
4.2 Alguns Conceitos .....	19
4.3 Sistemas de Vapor .....	19
5 Equipamentos Relevantes para o Trabalho .....	22
5.1 Permutador de Calor .....	22
5.2 Colunas.....	23
5.3 Fornalhas .....	26
5.4 Caldeiras.....	27
6 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados .....	30
7 Conclusões .....	39
8 Avaliação do trabalho realizado.....	40
8.1 Objectivos Realizados.....	40
8.2 Outros Trabalhos Realizados.....	40
8.3 Limitações e Trabalho Futuro .....	40
8.4 Apreciação final .....	41
9 Bibliografia .....	42
Anexo 1 Modelos de Simulação de Vapor .....	43
1.1 Modelos de Simulação de Sistemas de Vapor .....	43

1.2	ProSteam: Descrição. ....	44
Anexo 2	Informação Adicional sobre a RP .....	48

# Índice de Figuras

<i>Figura 1. Vista panorâmica da Refinaria do Porto da Petrogal.</i>	11
<i>Figura 2. Planta da Refinaria do Porto</i>	12
<i>Figura 3. Fábrica de Óleos</i>	13
<i>Figura 4. Fábrica de Utilidades</i>	14
<i>Figura 5. Fábrica de Combustíveis</i>	15
<i>Figura 6. Fábrica de Aromáticos</i>	16
<i>Figura 7. Fábrica de Lubrificantes</i>	17
<i>Figura 8. Esquema representativo de um Permutador de Calor de Carcaça e Tubos.</i>	23
<i>Figura 9. Legenda do Permutador da Calor de Carcaça e Tubos.</i>	23
<i>Figura 10. Esquema representativo de uma Coluna de Pratos.</i>	24
<i>Figura 11. Legenda da Coluna de Pratos.</i>	24
<i>Figura 12. Esquema representativo de uma Coluna de Enchimento.</i>	25
<i>Figura 13. Legenda da Coluna de Enchimento.</i>	25
<i>Figura 14. Fornalha típica de Refinaria.</i>	26
<i>Figura 15. Exemplo de Caldeiras.</i>	27
<i>Figura 16. Caldeira Flamotubular.</i>	28
<i>Figura 17. Caldeira Aquatubular</i>	28
<i>Figura 18. Caldeira de Secção Flash</i>	29
<i>Figura 19. Caldeira de Geração Indirecta</i>	29
<i>Figura 20. Esquema da relação das folhas de cálculo relevantes.</i>	32
<i>Figura 21. Exemplo da listagem do equipamento, da classificação em consumidores/produtores, e registo dos calores trocados.</i>	33
<i>Figura 22. Folha de especificação parcial do permutador de calor E-3373 (um dos consumidores)</i>	34
<i>Figura 23. Peso Molecular e percentagem de presença de diferentes compostos em Fuel Óleo e Fuel Gás.</i>	35
<i>Figura 24. Pressão, Temperatura e Temperatura de Saturação a diferentes níveis de vapor.</i>	35
<i>Figura 25. Menu do ProSteam: Ferramentas</i>	36
<i>Figura 26. Menu do ProSteam: Unidades de medida</i>	36

*Figura 27. Menu do ProSteam: Seleccionar unidades de medida ..... 37*

*Figura 28. Exemplo da actualização do modelo proposto..... 37*

*Figura 29. Menu do ProSteam ..... 44*

*Figura 30. Folha de trabalho do ProSteam (Environmental Expert, 2008)..... 46*

# Índice de Tabelas

<i>Tabela 1. Linhas e correspondentes capacidades de fabrico da RP. ....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 2. Lista de equipamento inventariado. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 3. Necessidade de Vapor e Caudal de Condensado Recuperado a diferentes níveis de pressão ('Consumers') .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4. Produção de Vapor ('Producers').....</i>	<i>38</i>

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

A operação óptima dos sistemas de utilidades em instalações industriais está a tornar-se cada vez mais importante para qualquer estratégia de negócio com sucesso, à medida que as pressões ambientais, legislativas e comerciais e de eficiência energética aumentam.

Um modelo do sistema de utilidades fiável permite um entendimento claro do comportamento do próprio sistema e das restrições operacionais associadas. Pode também ser utilizado na determinação dos custos associados a projectos de melhoramento, relacionando várias possibilidades a nível da utilização de vapor. Esta aproximação permite o desenvolvimento mais sustentado de planos de implementação faseados de projectos operacionais e de investimento em sistemas de utilidades.

O modelo do sistema de utilidades pode ser interligado com o sistema de controlo distribuído (SCD) que fornece dados de operação em tempo real, proporcionando a monitorização eficaz dos consumos de vapor/energia.

Há três anos atrás, a Refinaria do Porto da Petrogal encomendou um estudo energético à KBC Process Technology Ltd, empresa detentora da aplicação *ProSteam*, com o objectivo de obter uma proposta de revisão energética para a RP. O *ProSteam* é uma ferramenta adequada para fazer simulação e optimização de sistemas de utilidades em instalações industriais. Permite desenvolver modelos que se adaptam às condições (configuração e operação) das instalações e em que é possível determinar automaticamente os custos associados ao consumo de utilidades.

Neste sentido, o trabalho desenvolvido teve por objectivos principais validar o modelo proposto pela KBC e, posteriormente, actualizar o respectivo modelo a nível do consumo/produção de vapor. As fases principais deste trabalho foram:

1 - Desenvolvimento de competências em *ProSteam* e avaliação do funcionamento da aplicação. Pesquisa de bibliografia sobre o *ProSteam* e aplicações e avaliação das potencialidades da aplicação;

2 - Inventariação dos equipamentos da refinaria. Levantamento através do Arquivo, memórias descritivas das unidades, *webtop* (base de dados da refinaria) e outra informação das fábricas do equipamento existente na RP (colunas, permutadores de calor, aeroarrefecedores, acumuladores, fornalhas, reactores, caldeiras, tanques, bombas, turbinas, compressores,

queimadores, motores eléctricos, filtros, geradores, ejectores, ventiladores, agitadores, entre outros).

3 - Classificação dos equipamentos em consumidores e produtores, sob o ponto de vista de consumo/produção de vapor. Selecção dos equipamentos directamente relacionados com o consumo e/ou produção de vapor e classificação dos mesmos em Consumidores (C) e Produtores (P). Foram fundamentalmente seleccionados os permutadores de calor, as fornalhas, as colunas e as caldeiras, assim como alguns geradores e ejectores.

4 - Recolha dos dados de projecto dos equipamentos a partir das várias fontes de informação. Anotação dos dados de funcionamento de projecto dos equipamentos seleccionados, nomeadamente os calores trocados, a pressão e a temperatura.

5 - Detecção de falhas do modelo desenvolvido pela KBC;

6 - Actualização do modelo desenvolvido pela KBC. Correção e introdução de nova informação no modelo.

## 1.2 Contributos do Trabalho

Os aspectos inovadores deste trabalho centraram-se na aquisição de conhecimentos numa ferramenta de qualidade, com aplicação prática, directa e direccionada fundamentalmente à avaliação da eficiência energética, com consequências importantes dos pontos de vista de operação, económico e ambiental. Além disso, para a RP, este estudo proporcionou um conhecimento mais detalhado do funcionamento do *ProSteam*, assim como do modelo energético desenvolvido pela KBC. Este trabalho é importante para a RP uma vez que a identificação das limitações do modelo desenvolvido pela KBC e as alterações efectuadas originaram um novo modelo mais concordante com a operação da refinaria.

## 1.3 Organização da Tese

A tese está organizada em 8 capítulos e 2 anexos:

No Capítulo 1, Introdução, apresenta-se a contextualização do projecto e é dada a informação básica para o enquadramento dos objectivos e resultados. Descreve o problema em estudo, os métodos utilizados e a ordem de trabalhos na realização do projecto assim como os aspectos inovadores da sua aplicação. Por fim apresenta, de forma sucinta, as diferentes secções constituintes da tese.

No Capítulo 2, Estado da Arte, refere-se o estado actual do ProSteam, os estudos tecnológicos e comerciais disponíveis assim como o conhecimento da Refinaria do Porto acerca do simulador.

No Capítulo 3, A Refinaria do Porto, apresenta-se de forma sucinta a Refinaria do Porto da Petrogal.

No Capítulo 4, Eficiência Energética em Sistemas de Vapor, apresenta-se algumas noções básicas associadas à eficiência energética de instalações industriais com recurso a sistemas de vapor.

No Capítulo 5, Equipamentos Relevantes para o Trabalho, encontra-se a descrição sumária do tipo de equipamentos de maior relevo para este trabalho.

No Capítulo 6, Descrição Técnica e Discussão dos Resultados, descreve-se todo o percurso ao nível do procedimento técnico e análise de resultados por etapas atingidas.

No Capítulo 7, Conclusões, apresenta-se a análise sumária dos resultados.

No Capítulo 8, Avaliação do Trabalho Realizado, faz-se a avaliação dos resultados obtidos tendo por base atingir os objectivos iniciais, a descrição de outros trabalhos realizados paralelamente à execução deste projecto, apresentam-se as limitações encontradas e fazem-se recomendações para futuros desenvolvimentos no âmbito deste projecto. Faz-se por fim a apreciação pessoal e final de todo o trabalho.

No Anexo 1, faz-se uma descrição mais detalhada acerca do *ProSteam*.

No Anexo 2, descrevem-se os diferentes processos de produção executados na RP.

## 2 Estado da Arte

Os modelos energéticos de instalações industriais permitem avaliar o impacto, em termos energéticos, de alterações processuais tanto a nível de projecto como de operação. São assim componentes-chave na definição de planos de investimento das instalações industriais.

Os modelos energéticos desenvolvidos em *ProSteam* (Férrandez-Polanco *et al.*, 2007) fornecem informação importante para o cálculo de métricas de sustentabilidade e permitem a geração automática de relatórios sobre avaliação energética das instalações. Os cálculos energéticos e de emissões constituem as funcionalidades básicas da aplicação, podendo ser facilmente incorporados factores sociais e económicos, o que demonstra que a aplicação é facilmente ajustada à especificidade e necessidade de cada instalação industrial.

O *ProSteam* é um suplemento do *Microsoft Excel* (Environmental Expert, 2007) constituído por um conjunto de funções relacionadas com equipamento dos sistemas de utilidades das instalações industriais. Trata-se de uma aplicação facilmente utilizável e em que é possível criar o diagrama processual de utilidades e desenvolver modelos usando a informação apropriada, de forma a criar modelos consistentes. Dispõe de ferramentas que permitem calcular as propriedades termodinâmicas e de transporte do vapor, da água e dos sistemas de utilidades como sejam as turbinas de gás, as turbinas de vapor, as caldeiras, entre outras.

O *Prosteam* permite o desenvolvimento de dois tipos de modelos: i) o modelo de planeamento e ii) o modelo de optimização. No primeiro caso, a primeira tarefa é o desenvolvimento de um modelo que traduza o comportamento da instalação. Terminando esta tarefa que só está realizada após validação, o modelo pode ser utilizado na avaliação de diferentes cenários de operação. No caso dos modelos de optimização, são definidas funções objectivo de várias naturezas (exemplos: razão de produção, tarifas de energia) e são determinadas as condições de operação que possibilitem atingir os valores mínimos dessas funções objectivos (Eastwood, 2007). O Anexo 1 apresenta com maior detalhe algumas funcionalidades da aplicação *ProSteam*.

Nos últimos anos, a empresa Linnhoff March (entretanto integrada na KBC Process Technology Ltd.), e detentora da aplicação *Prosteam* (KBC Energy Services, 2007), desenvolveu cerca de uma centena e meia de modelos energéticos para instalações industriais de vários sectores da indústria de processo.

A Refinaria do Porto da Petrogal tem conhecimento desta aplicação informática uma vez que a empresa KBC já desenvolveu um modelo energético base usando o *Prosteam*. Torna-se necessário e relevante avaliar e aperfeiçoar as potencialidades do modelo desenvolvido com o objectivo de tornar esta ferramenta útil na refinaria.

### 3 A Refinaria do Porto

A Refinaria do Porto da Petrogal, Galp Energia, situa-se no Complexo Industrial localizado no concelho de Matosinhos, entre a Boa-Nova e o Cabo do Mundo, freguesias de Leça da Palmeira e Perafita. Ocupa uma área aproximada de 200 hectares interligada ao terminal para petroleiros no porto de Leixões por vários oleodutos com aproximadamente 2 km de extensão.



Figura 1. Vista panorâmica da Refinaria do Porto da Petrogal.

Possui uma capacidade de armazenagem da ordem de 1.880.000 m<sup>3</sup>, dos quais cerca de 680.000 m<sup>3</sup> são para ramos de petróleo e 1.200.000 m<sup>3</sup> para produtos intermédios e finais.

Foi em 1966 que o projecto de construção da Refinaria do Porto (RP) foi iniciado, para uma capacidade de processamento de 2 milhões de t/ano de Petróleo Bruto. Os trabalhos de construção tiveram início em Setembro de 1967 e em 1969 dá-se o arranque progressivo das unidades processuais. A 5 de Junho de 1970 teve então lugar a inauguração oficial da RP. Ao longo dos anos a RP procedeu a várias modificações, construção de novas unidades, adaptações, actualizações a nível de processos de produção e produtos. Actualmente a capacidade de refinação ascende a 4,4 milhões de toneladas/ano.

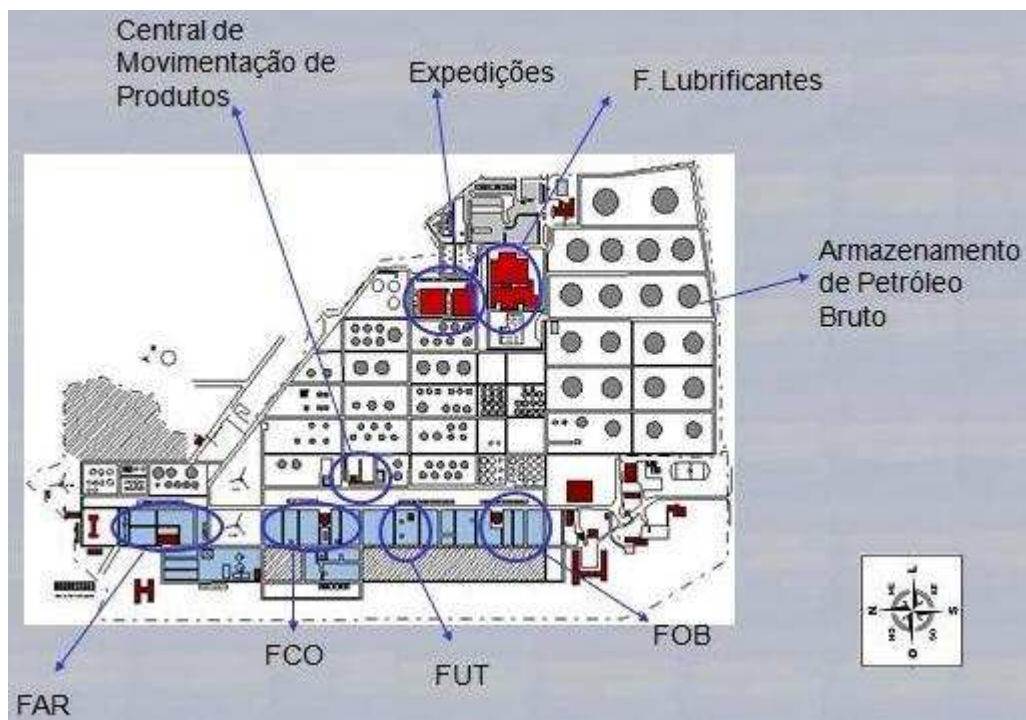


Figura 2. Planta da Refinaria do Porto

A Refinaria do Porto, é constituída pelas seguintes linhas e correspondentes capacidades de fabrico (Tabela 1) (Galp Energia, 2007):

Tabela 1. Linhas e correspondentes capacidades de fabrico da RP.

Produção de Combustíveis	3.700.000 t/ano
Produção de Óleos Base	150.000 t/ano
Produção de Aromáticos e Solventes	440.000 t/ano
Fabricação de Massas Lubrificantes	1.500 t/ano
Fabricação e Moldagem de Parafinas	10.000 t/ano
Produção de Betumes	150.000 t/ano
Produção de Enxofre	10.000 t/ano

### Fábrica de Óleos Base (FOB)

A FOB, trata um petróleo bruto de composição essencialmente parafínica (Galp Energia, 2007). Após uma separação prévia das fracções dos hidrocarbonetos mais leves que são enviados para a Fábrica de Combustíveis, o resíduo é fraccionado, produzindo destilados que são o primeiro estágio da produção de óleos base.

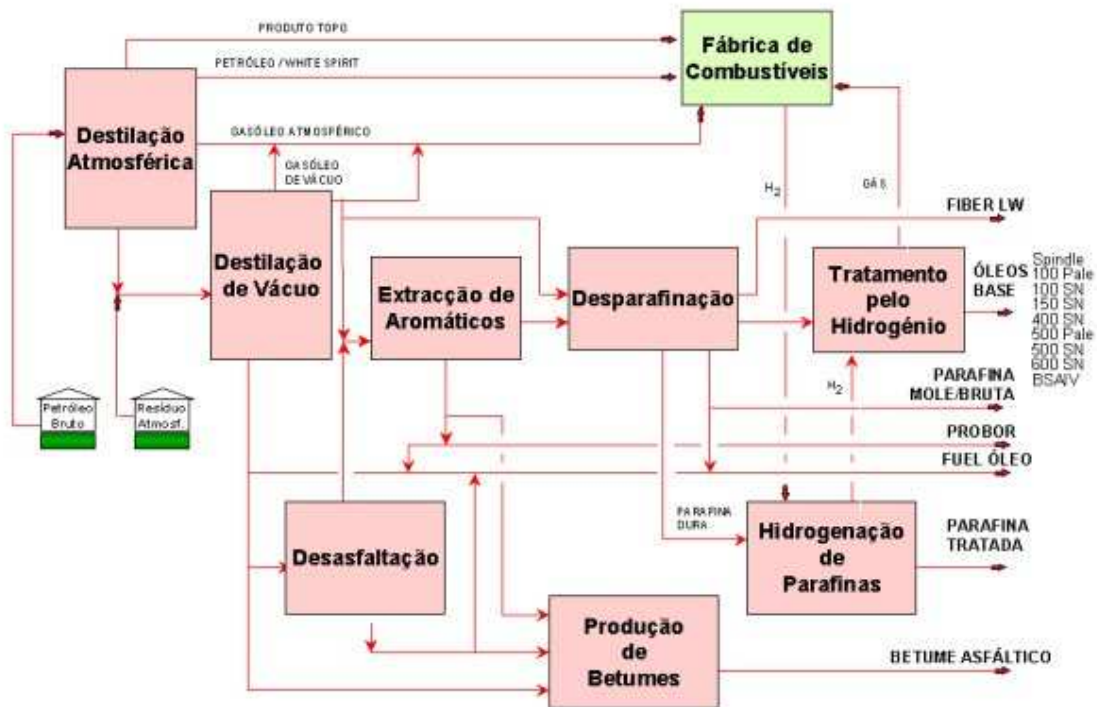


Figura 3. Fábrica de Óleos

As Unidades Processuais que constituem a FOB utilizam técnicas de extracção líquido-líquido com solventes apropriados, de molde a separar como subprodutos as famílias de hidrocarbonetos consideradas indesejáveis na constituição dos produtos lubrificantes.

A qualidade dos óleos base que se obtém, tendo em vista a sua incorporação na produção de óleos lubrificantes tem elevada cotação internacional, facto que tem permitido a sua exportação para os mercados mais exigentes. Actualmente a sua capacidade de produção é de:

Óleos Base: 150.000 t/ano

Parafinas: 12.000 t/ano

Betumes: 150.000 t/ano

### Fábrica de Utilidades (FUT)

É indispensável (Galp Energia, 2007), para o funcionamento de todas as unidades processuais da refinaria, um serviço de produção e distribuição de utilidades de energia.



Para responder a esta necessidade, o Complexo dispõe das seguintes facilidades:

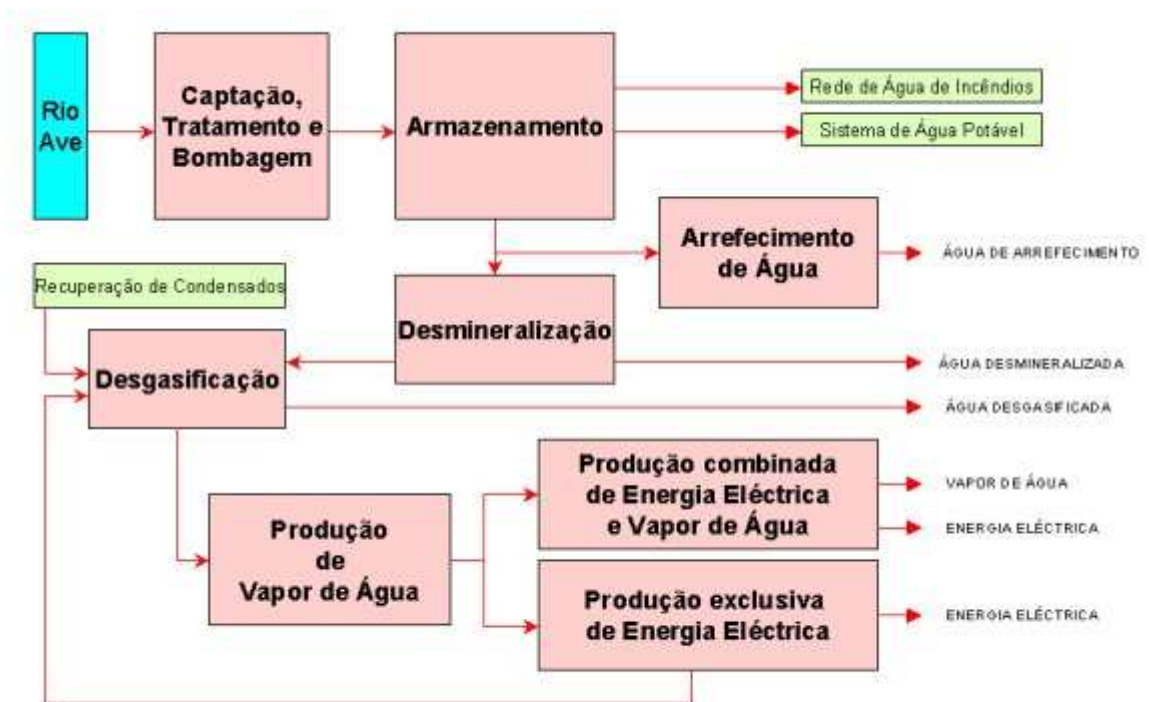


Figura 4. Fábrica de Utilidades

### Fábrica de Combustíveis (FCO)

A Fábrica de Combustíveis (Galp Energia, 2007) é constituída por 14 Unidades Processuais que, utilizando o petróleo bruto, obtêm toda a gama de produtos combustíveis, incluindo grande parte de matéria-prima que alimenta a Fábrica de Aromáticos e Solventes.



Dada a flexibilidade e interligação das suas instalações, trata uma grande variedade de petróleos brutos escolhidos, caso a caso, de acordo com as suas características e as necessidades do mercado. No sentido de minimizar os consumos de energia e as perdas inerentes ao processo de fabrico, têm sido implementados novos esquemas operacionais e tecnologias energeticamente mais eficientes.

Os produtos combustíveis são obtidos através de operações de separação física, tratamento químico ou ainda por processos de conversão da estrutura molecular de algumas famílias de hidrocarbonetos.

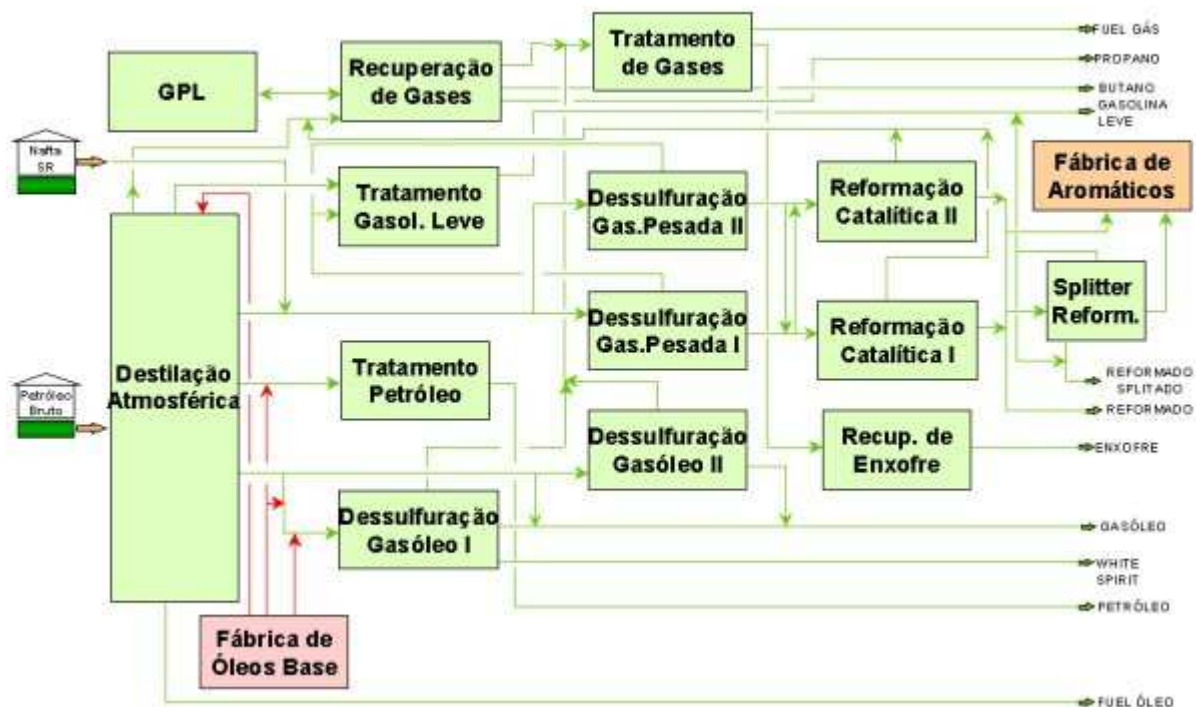


Figura 5. Fábrica de Combustíveis

Actualmente a sua capacidade de tratamento é de cerca de 3,2 milhões t/ano de Petróleo Bruto.

### Fábrica de Aromáticos (FAR)

A FAR está situada, na fileira de produção (Galp Energia, 2007), a jusante da FCO da qual recebe a respectiva carga e complementa a indústria de refinação do Complexo, produzindo matéria-prima para a indústria petroquímica.

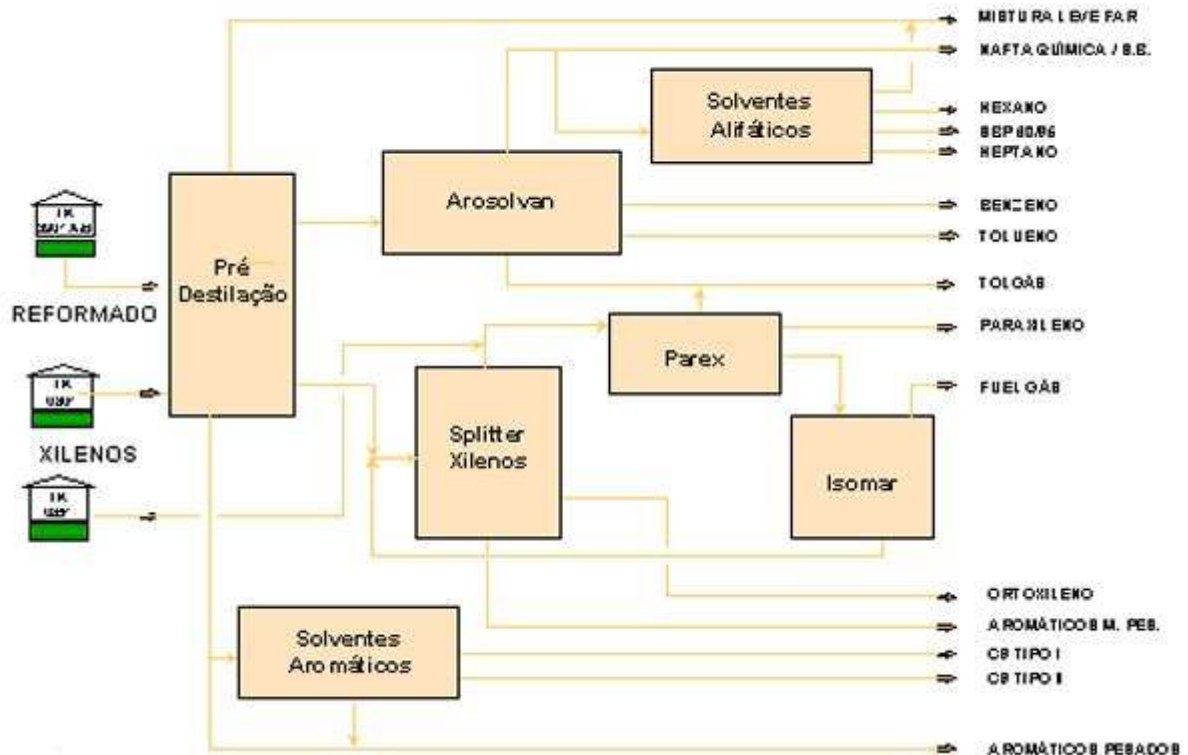


Figura 6. Fábrica de Aromáticos

Actualmente a sua capacidade de produção de aromáticos e solventes é de 440.000 t/ano.

## Fábrica de Lubrificantes

A actividade desta Fábrica (Galp Energia, 2007) abrange dois grandes grupos de produtos:

- **Óleos Lubrificantes**, existindo três linhas de produção autónomas, sendo duas automáticas (uma em contínuo e a outra por partidas) e a terceira manual por partidas;
- **Massas Lubrificantes**, para cuja produção existe uma linha por partidas.



As massas lubrificantes produzidas usam como agentes espessantes sabões de lítio e de cálcio.

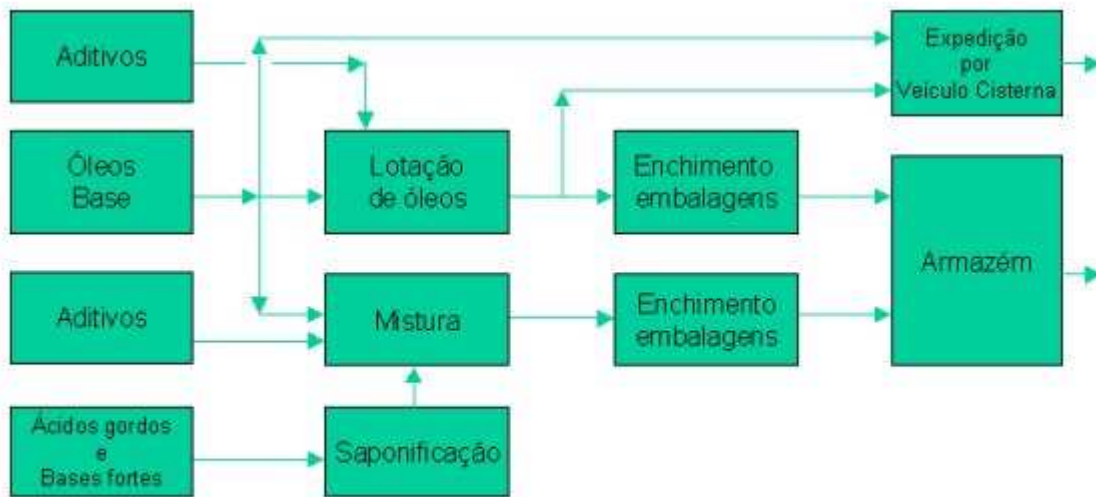


Figura 7. Fábrica de Lubrificantes

As capacidades nominais de produção são de 80 000 t/ano e 2 000 t/ano de óleos e massas lubrificantes, respectivamente.

Informação detalhada sobre as unidades das várias fábricas encontra-se no Anexo 2.

## 4 Eficiência Energética em Sistemas de Vapor

### 4.1 Energia no Sector Industrial da União Europeia (UE)

Economizar energia (EC Directorate-General JRC Joint Research Centre, 2007) é a forma mais rápida e eficaz de reduzir as emissões de gás de efeito de estufa, assim como aumentar a qualidade do ar.

Na UE a indústria química é uma das maiores consumidoras de gás entre as indústrias de fabrico e a energia representa 1 a 60% dos custos de produção. Contudo, o consumo específico de energia da indústria química reduziu-se em 55% de 1975 a 2003.

Entende-se por **energia** a capacidade de um sistema para gerar efeitos externos, o potencial inato para executar trabalho ou realizar uma acção. Existem sete formas fundamentais de energia geralmente usadas na indústria, a energia: de ligação química, de ligação mecânica, de ligação física, térmica, eléctrica e de radiação electromagnética.

No âmbito do tema em estudo, dá-se maior atenção à forma de energia térmica.

Assim, a **energia térmica** consiste do movimento interno das partículas da matéria. Pode ser vista tanto como energia termodinâmica como um sinónimo de calor. No entanto, o calor é na realidade a acção de transferência da energia térmica de um sistema (ou objecto) para outro. Pode ser libertada por reacção química como queima, reacções nucleares, resistência à corrente eléctrica ou por dissipação mecânica.

Na indústria, o **consumo específico de energia** para um determinado valor de saída de produto (ou de entrada de matéria-prima) é o indicador geralmente utilizado. O principal propósito dos indicadores de eficiência energética é monitorizar o progresso de uma dada unidade de produção ao longo do tempo, assim como observar o impacto das medidas e projectos de melhoramento da eficiência energética.

Eficiência energética é um termo vastamente utilizado qualitativamente visto poder ser utilizado em diferentes contextos como a política ou os negócios, principalmente para:

- protecção climática, redução das emissões de carbono;
- produção sustentável, aumento da segurança de provisões energéticas;
- redução dos custos, aumento da competitividade do negócio.

## 4.2 Alguns Conceitos

Esta secção apresenta alguns conceitos relacionados com a eficiência energética (EC Directorate-General JRC Joint Research Centre, 2007):

**Calor:** pode ser definido como energia em transição de uma massa para outra devido a uma diferença de temperatura entre as duas. Consiste da quantidade de energia transferida para um sistema fechado por outras formas que não o trabalho. A transferência de calor ocorre na direcção da diminuição de temperatura e pode acontecer de três diferentes formas: condução, convecção e radiação térmica.

**Exergia:** energia máxima que, em determinadas condições termodinâmicas, é convertível noutra forma de energia. É uma grandeza que permite avaliar a convertibilidade da energia.

**Irreversibilidade Térmica:** acontece quando há uma mudança de temperatura finita no sistema, por exemplo, em cada permutador de calor. O calor passa, espontaneamente, do corpo quente para o frio, perdendo exergia. De novo, quanto maior a mudança de temperatura, maior é a perda de exergia e mais irreversível se torna o processo.

Para sistemas fechados, a energia pode ser transferida de uma forma para outra através de trabalho ou de transferência de calor. Calor e trabalho não são propriedades intensivas porque dependem dos detalhes do processo e não só dos estados inicial e final.

**Energia Primária:** energia que, por processos de conversão, é convertida a outras formas de energia mais convenientes, energia que não sofreu qualquer conversão.

**Energia Secundária:** energia que resulta da conversão de energia primária ou de outras energias derivadas.

## 4.3 Sistemas de Vapor

O vapor é um dos possíveis transportadores de energia em sistemas de aquecimento baseados em fluidos (EC Directorate-General JRC Joint Research Centre, 2007). Outros transportadores comuns são a água e os fluidos (óleos) térmicos. A água pode ser utilizada em situações em que a temperatura requerida não exceda os 100°C e sob a forma de água pressurizada (para evitar a ebulição). Neste caso, a água pode ser usada a temperaturas acima dos 100°C e em alguns casos até mesmo acima dos 180°C.

As principais vantagens da utilização do vapor são: baixa viscosidade; utilização segura com materiais inflamáveis e/ou explosivos; fácil de transportar; elevada eficiência; elevada capacidade calorífica; menor custo comparado com outras alternativas.

O vapor concentra uma significativa quantidade de energia na gama de 2300 a 2900 kJ/kg que pode ser extraída como trabalho mecânico através de uma turbina ou como calor para uso processual. Como a maior parte do calor contido no vapor é armazenado como calor latente, grandes quantidades de calor podem ser transferidas eficientemente a uma temperatura constante, característica que se torna um atributo em muitos processos de aquecimento.

A transição de água a vapor requer uma elevada quantidade de energia, que é armazenada em calor latente. Isto torna possível atingir uma transferência de calor relativamente grande numa área de pequena superfície aquando da utilização de vapor em comparação com outros fluidos de aquecimento:

- água            4000 W/(m<sup>2</sup>°C)
- óleo            1500 W/(m<sup>2</sup>°C)
- vapor           > 10000 W/(m<sup>2</sup>°C)

Um sistema de vapor é constituído por 4 componentes distintos:

1. **Geração:** o vapor é gerado numa caldeira ou num gerador de sistemas de recuperação de calor por transferência do calor de gases de combustão para a água. Quando a água absorve calor suficiente, muda da fase líquida para vapor. Em algumas caldeiras, um superaquecedor aumenta a capacidade energética do vapor. Sob pressão, o vapor flui da caldeira ou do gerador de vapor para o sistema de distribuição.

2. **Distribuição:** o sistema de distribuição transporta o vapor da caldeira ou do gerador até aos pontos de utilização. Muitos sistemas de distribuição têm várias linhas de arranque que operam a diferentes pressões. Estas linhas de distribuição são separadas por válvulas de isolamento, válvulas de regulação da pressão, e por vezes turbinas de contra-pressão.

Um bom desempenho dos sistemas de distribuição requer balanços à pressão de vapor próprios, boa drenagem de condensado, isolamento adequado e regulação da pressão eficaz. Devido às elevadas pressões de operação dos sistemas de vapor, a segurança é um aspecto extremamente importante. Além disso, os sistemas de vapor são muitas vezes sujeitos aos martelos de água ou a vários tipos de corrosão.

3. **Pontos de Utilização:** existem vários tipos de utilização do vapor. Estes são:

- em *drivers* mecânicos: turbinas, bombas, compressores, etc. Estas são normalmente usadas em equipamentos de grande escala;
- em aquecimento: aquecimento processual, secagem de todos os tipos de papel, aquecimento de espaços;

- em reacções químicas: moderação de reacções químicas, fraccionamento de hidrocarbonetos como fonte de hidrogénio no *reforming* do metano.

Em processos de aquecimento, o vapor transfere o calor latente para um fluido do processo num permutador de calor. O vapor é mantido no permutador até condensar passando para o sistema de retorno de condensado. Na turbina, o vapor transforma a sua energia a trabalho mecânico que é usado nas bombas, compressores ou geradores eléctricos. Nas colunas de fraccionamento, o vapor facilita a separação de vários componentes de um fluido do processo. Nas colunas de *stripping*, o vapor é utilizado como vapor de rectificação. O vapor é também usado como fonte de água para algumas reacções químicas.

4. **Recuperação de Condensado:** quando o calor latente do vapor é transferido, a água condensa no sistema de vapor e regressa à caldeira pelo sistema de retorno de condensado. Primeiro, o condensado é armazenado num tanque de onde é bombeado para o aeroarrefecedor. Neste, o oxigénio e os gases não-condensáveis são extraídos. Podem ser adicionados químicos e água de rectificação tanto no tanque como no aeroarrefecedor. As bombas de alimentação das caldeiras aumentam a pressão da água de alimentação acima da pressão das caldeiras, injectando-a a fim de completar o ciclo.

## 5 Equipamentos Relevantes para o Trabalho

Nesta secção são mencionados os equipamentos, ligados ao consumo e/ou produção de vapor tratados neste trabalho, mais habituais numa refinaria.

### 5.1 Permutador de Calor

Este equipamento é utilizado (Fernandes *et al.*, 2008) para efectuar troca de calor entre dois fluidos que se encontram a temperaturas diferentes. É normalmente inserido no processo com a finalidade de arrefecer ou aquecer um determinado fluido. São utilizados em aquecimento de espaços, refrigeração, condicionamento do ar, centrais energéticas, indústria química, indústria petroquímica, refinarias petrolíferas e processamento de gás natural.

Existem vários tipos de permutadores de calor, consoante a aplicação a que se destinam:

- permutador de calor de carcaça e tubos;
- permutador de calor de tubo duplo;
- permutador de calor de placas;
- aeroarrefecedor;
- revaporizador;
- condensador;
- arrefecedor a água;
- refrigerador.

O tipo de permutador de calor mais comum na RP é o chamado permutador de carcaça e tubos. É o permutador de calor mais utilizado em aplicações de alta pressão, que consiste de uma série de tubos através dos quais um dos fluidos circula. O segundo fluido circula entre os tubos e a carcaça, dando-se a troca de calor, para ser aquecido ou arrefecido.

A Figura 8 mostra um exemplo deste tipo de permutadores.

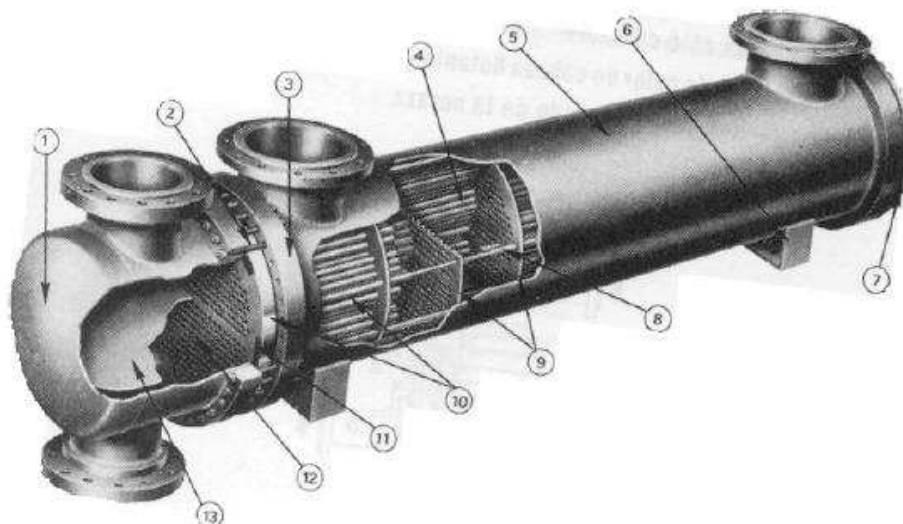


Figura 8. Esquema representativo de um Permutador de Calor de Carça e Tubos.

1. Cabeça	8. Tirantes espaçadores
2. Pernos de fixação	9. Chicanas transversais
3. Flange do corpo	10. Feixe tubular removível
4. Tubos	11. Espelho (e respectiva junta)
5. Corpo	12. Fixação tubos ao espelho
6. Apoio amovível ou fixo	13. Diafragma
7. Cabeça amovível	

Figura 9. Legenda do Permutador da Calor de Carça e Tubos

## 5.2 Colunas

As colunas são equipamentos processuais (Fernandes *et al.*, 2008) que promovem a separação de componentes de correntes de fluidos. Este tipo de equipamento é cilíndrico, com altura e diâmetro variáveis dependendo do tipo de operação e correntes processuais.

Existem vários tipos de colunas, entre as quais se destacam:

- Colunas de Destilação (de Pratos e de Enchimento);

A coluna de destilação permite a separação dos componentes de uma corrente através de um equilíbrio líquido-vapor gerado no seu interior.

- Colunas de Extracção.

A Coluna de Extracção tem o mesmo objectivo da coluna de destilação. No entanto a separação é realizada com base nas diferenças de solubilidade que os componentes têm em presença de determinado solvente. Estas colunas são muitas vezes cheias de um suporte sólido como por exemplo “palha de aço”.

## Coluna de Destilação de Pratos

Uma coluna de pratos típica é apresentada na Figura 10.

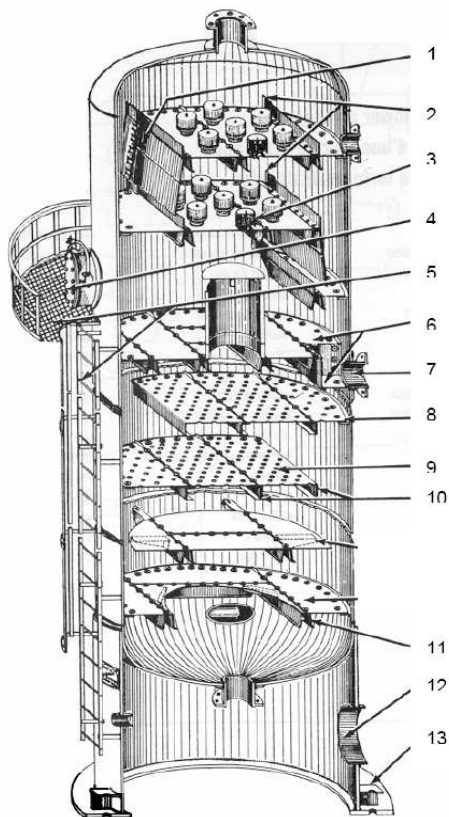


Figura 10. Esquema representativo de uma Coluna de Pratos.

1. Downcomer típico	8. Anel de suporte do prato
2. Antepara	9. Prato perfurado
3. Campânulas	10. Suportes
4. Porta de homem	11. Suporte trapezoidal
5. Plataforma	12. Escotilha de inspeção da saia
6. Prato acumulador	13. Anel de suporte da coluna
7. Saída	

Figura 11. Legenda da Coluna de Pratos.

Os tipos de pratos mais utilizados são:

- pratos perfurados;
- pratos de válvulas;
- pratos de campânulas.

## Coluna de Enchimento

Uma coluna de pratos típica é apresentada na Figura 12.

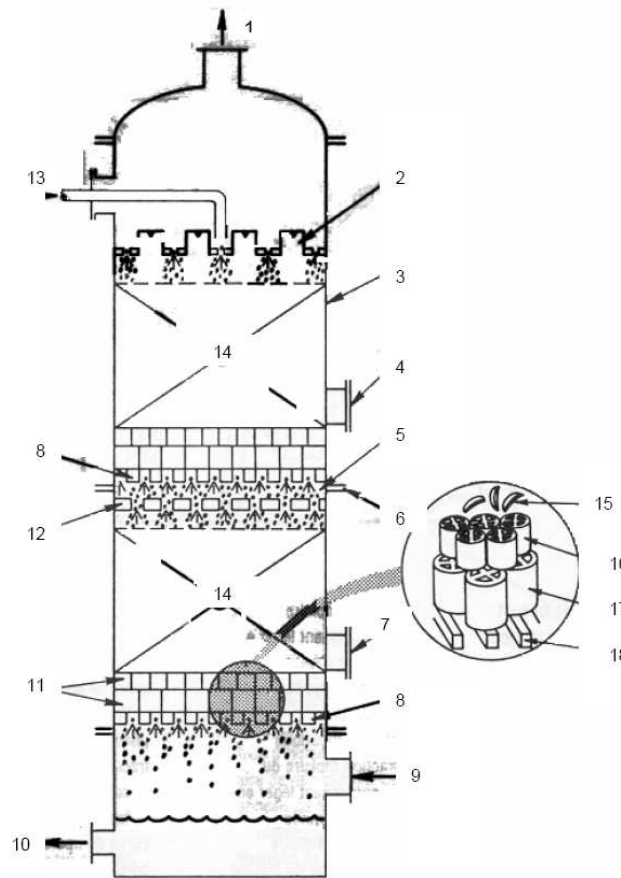


Figura 12. Esquema representativo de uma Coluna de Enchimento.

1. Saída de gás	10. Saída de líquido
2. Distribuidor de líquido	11. Enchimento médio/grandes dimensões
3. Corpo	12. Redistribuidor de líquido
4. Porta de homem	13. Entrada de líquido
5. Alimentação	14. Enchimento
6. Acesso à secção inferior	15. Enchimento de pequenas dimensões
7. Porta de homem	16. Enchimento de médias dimensões
8. Suporte do enchimento	17. Enchimento de grandes dimensões
9. Entrada de gás	18. Barras de suporte

Figura 13. Legenda da Coluna de Enchimento.

Uma coluna de enchimento encontra-se repleta de um enchimento que pode ser aleatório ou estruturado.

### 5.3 Fornalhas

A Figura 14 mostra uma fornalha vulgarmente utilizada em processos de refinação. O combustível e o ar são fornecidos aos queimadores (Covas e Regufe, 2008), sendo o combustível queimado em condições controladas na câmara de combustão.

O calor libertado pela combustão é transmitido através dos tubos da fornalha para o fluido que neles circula. Os produtos de combustão saem da câmara para a atmosfera por intermédio de uma chaminé, devido à diferença de peso em relação ao ar frio do exterior. Por vezes utilizam-se ventiladores para aumentar o fluxo de saída de gases.

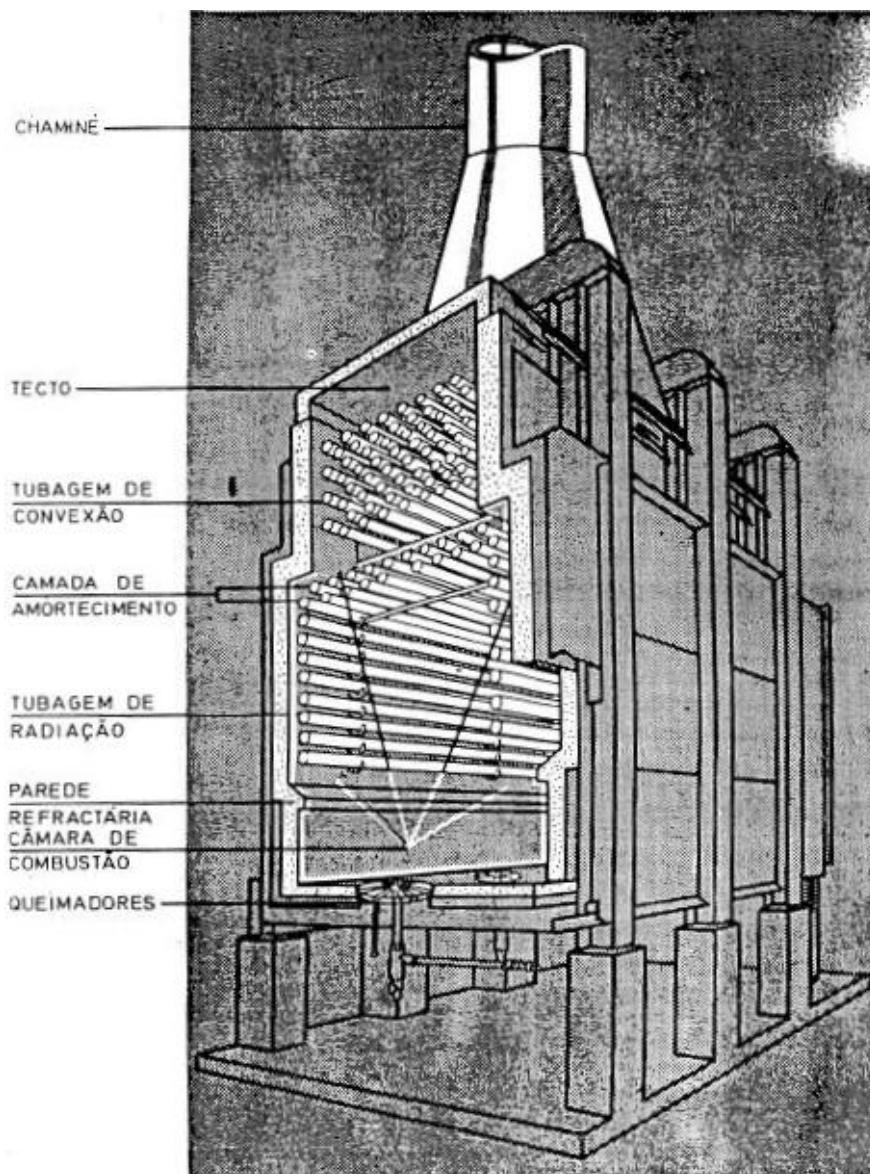


Figura 14. Fornalha típica de Refinaria.

## 5.4 Caldeiras

A Caldeira (Figura 15) é um equipamento cuja função é, entre muitas, a produção de vapor através do aquecimento da água.



Figura 15. Exemplo de Caldeiras.

Existem vários tipos de caldeiras entre as quais se destacam (Bono Energia, 2008):

- **Caldeiras Flamotubulares** (Figura 16), também conhecidas como Piro-tubulares, Fogotubulares ou, ainda como Tubos de Fumaça (Meio Filtrante, 2008), são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água a ser aquecida ou vaporizada. Para (CHD Serviços, 2008), a superfície de aquecimento das caldeiras flamotubulares é muito pequena, tendo como consequência uma baixa vaporização específica (12 a 14 kg de vapor gerado/m<sup>2</sup>); e o espaço ocupado por ela é proporcionalmente maior, embora actualmente já existam modelos compactos desse tipo de caldeira. As caldeiras flamotubulares têm uso limitado em instalações de pequeno porte, com pressões inferiores a 1500 kPa ou capacidade inferior a 15 t/h de vapor saturado.



Figura 16. Caldeira Flamotubular.

Adequadas para produção de vapor de 6 a 25 t/h.

- **Caldeiras Aquatubulares** (Figura 17), também conhecidas como Caldeiras Tubos de Água (Meio Filtrante, 2008), caracterizam-se pelos tubos se situarem fora dos tubulares da caldeira (tambor), constituindo com estes um feixe tubular. Diferenciam-se das flamotubulares, pois a água circula no interior dos tubos e os gases quentes encontram-se em contacto com sua superfície externa. Operam a média e alta pressão, resultando em alta produção de vapor.



Figura 17. Caldeira Aquatubular

Adequadas para produção de vapor de 30 a 150 t/h.

- Caldeiras de Secção Flash (Figura 18)



Figura 18. Caldeira de Secção Flash

Adequadas para produção de vapor de 0,3 a 3 t/h.

- Caldeiras de Geração Indirecta (Figura 19)



Figura 19. Caldeira de Geração Indirecta

Adequadas para produções de vapor entre as 0,3 e as 30 t/h.

## 6 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

**Nota Importante:** Nesta secção serão apenas apresentados alguns resultados do trabalho realizado e algumas imagens de forma parcial devido a questões de confidencialidade. No entanto, descreve-se todo o trabalho efectuado.

O trabalho evoluiu de acordo com a realização de várias tarefas sequenciais. Descrevem-se em seguida as tarefas apresentando em cada uma delas o trabalho realizado.

### **Tarefa 1 - Desenvolvimento de competências em *ProSteam* e avaliação do funcionamento do modelo desenvolvido para a RP.**

O primeiro passo foi pesquisar bibliografia ligada ao *ProSteam*, entender o conceito de funcionamento desta aplicação do *Microsoft Excel* bem como interpretar o modelo desenvolvido pela KBC para a RP.

Da pesquisa bibliográfica identificou-se o *ProSteam* como uma ferramenta de simulação e optimização vantajosa e aplicada a instalações industriais. A ferramenta permite obter informação qualitativa e quantitativa dos consumos e produções globais de utilidades assim como da relação económica. É uma ferramenta que, pelos seus resultados tanto reais como simulados, permite partir para um investimento com valores calculados e não com suposições.

O modelo desenvolvido para a RP foi desenvolvido em Microsoft Excel, composto por funções termodinâmicas em 16 folhas de cálculo, nomeadamente:

- ‘Cost Summary’: análise económica e eficiência do projecto.
- ‘Producers’: contabilização dos equipamentos produtores de vapor, características termodinâmicas (calores trocados, condições de saturação e de vapor, produção de vapor, caudal de calor de vapor) e níveis de pressão associados.
- ‘Consumers’: contabilização dos equipamentos consumidores de vapor, características termodinâmicas (entalpia de vapor e de condensado, calores trocados, necessidade de vapor, caudal de condensado recuperado) e níveis de pressão associados.
- ‘Drivers’: balanços à energia eléctrica gasta e gerada por turbinas e motores.
- ‘Power Balance’: balanços à energia eléctrica necessária e gerada, nas fábricas e nas restantes áreas da RP.

- 'Fuel Balance': balanços ao fuel gás produzido e consumido e ao fuel óleo consumido.

- 'Utils PFD': simulação do processual de utilidades da Fábrica de Utilidades.

- 'FOB PFD': simulação do processual de utilidades da Fábrica de Óleos Base.

- 'FOC PFD': simulação do processual de utilidades da Fábrica de Combustíveis.

- 'FAR PFD': simulação do processual de utilidades da Fábrica de Aromáticos.

- 'Boilers': folha de base de dados das caldeiras e respectivos balanços.

- 'Furnaces': folha de base de dados das fornalhas e respectivos balanços.

- 'GTG': folha de cálculos relacionados com os Turbogrupos.

- 'Misc Calcs': apresenta os cálculos relacionados com as pressões de vapor de alta, média e baixa e as propriedades termodinâmicas associadas (temperatura, entalpia, temperatura de saturação, entalpia de saturação). Contém o cálculo da razão de vapor das turbinas, das bombas, dos tanques flash em termos entálpicos e de pressões (entradas e saídas). Consiste também do cálculo da composição dos diferentes tipos de combustível e propriedades do ar.

- 'Cogen Calc': balanço global à energia do sistema (consumo de combustível, áreas de ineficiência, geração de energia e calor dos processos).

- 'Compositions': composição dos combustíveis e das linhas.

O *ProSteam* faz a relação das utilidades consumidas/produzidas: energia térmica (vapor, queima de combustível, ...) e energia mecânica (motores eléctricos, turbogrupos, ...).

As folhas de cálculo mais relevantes para este projecto, no qual se concentrou o estudo, foram: 'Cost Summary', 'Producers', 'Consumers', 'Utils', 'Boilers', 'Misc Calcs' e 'Cogen Calcs'.

A Figura 20 apresenta um esquema da relação entre estas folhas de cálculo para uma melhor percepção da forma como o modelo foi desenvolvido.

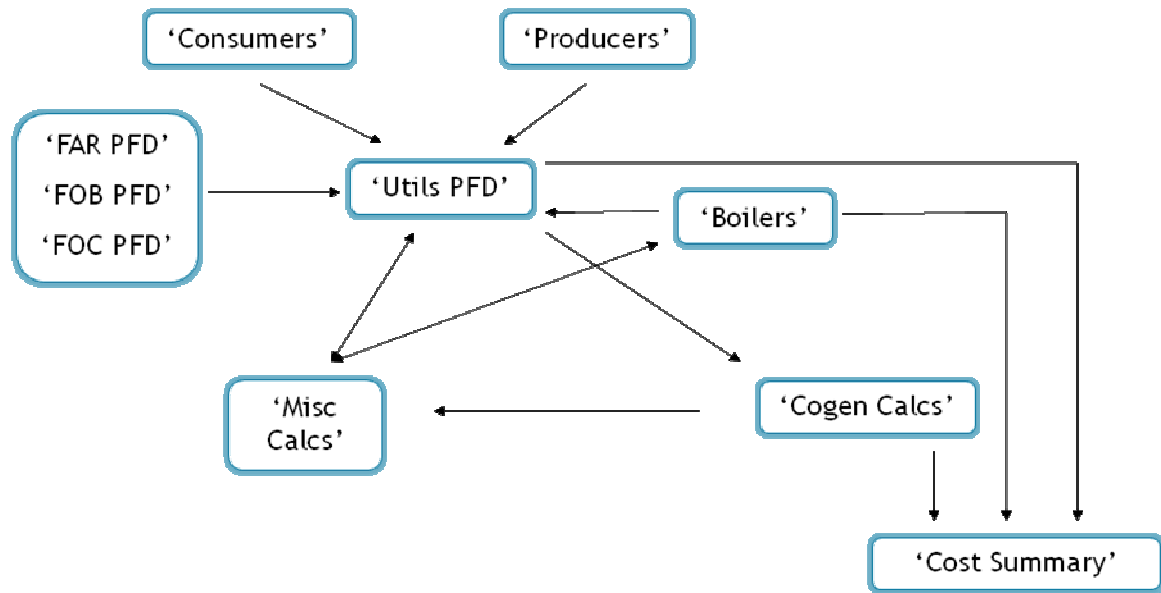


Figura 20. Esquema da relação das folhas de cálculo relevantes.

## Tarefa 2 - Inventariação dos equipamentos da RP.

A segunda tarefa foi a inventariação de todos os equipamentos da refinaria, por fábricas.

Esta fase, e as duas seguintes, foram morosas e exigiram um esforço de motivação elevado visto tratarem-se de tarefas monótonas e ao mesmo tempo dificultadas pela informação não se encontrar concentrada ou muitas vezes, se disponível, estar obsoleta. Foi com recurso a várias fontes que se conseguiu reunir a informação necessária.

Inicialmente utilizaram-se as memórias descritivas para listar o equipamento, depois a confirmação do equipamento por averiguação, em papel, dos *P&I's* e *PFD's* em dois passos. No primeiro passo analisaram-se os diagramas processuais existentes, mas passado algum tempo, tomou-se conhecimento que, a Technoedif estava a actualizar os *P&I's* e *PFD's* existentes e a disponibilizar a informação no *webtop* da RP. Assim, o trabalho realizado neste primeiro passo tornou-se desnecessário. Por fim procedeu-se à confirmação do equipamento existente com as novas fontes de informação.

A contabilização do equipamento apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2. Lista de equipamento inventariado.

Equipamento	Quantidade	Equipamento	Quantidade
Colunas	123	Turbinas	24
Permutadores de Calor	503	Compressores	62
Aeroarrefecedores	92	Queimadores	20
Acumuladores	433	Motores Eléctricos	2067
Fornalhas	49	Filtros	82
Reactores	30	Ventiladores	36
Caldeiras	9	Sopradores	51
Tanques	326	Agitadores	27
Bombas	1089	Outros	685

Nos “Outros” estão incluídos ejectores, geradores, secadores, entre outros.

### Tarefa 3 - Classificação dos equipamentos

Após a inventariação foi necessário fazer uma selecção dos equipamentos activos, fora de serviço e desmantelados através das memórias descritivas disponíveis das fábricas e através do explorador do ASPEN. Assim verificou-se também quais os equipamentos que produziam e/ou consumiam vapor.

A Figura 21 apresenta um exemplo da informação criada a partir da inventariação dos equipamentos.

Equipamento	Projecto						KBC			
	Prod.(P)/Cons.(C)	On/Off	Base Duty (Gcal/h)	Base Flow (t/h)	Condensate Return (%)	Steam Level	Prod.(P)/Cons.(C)	On/Off	Base Duty (Gcal/h)	Base
E-3401	C		0,1			BP	C	1	0,1	
E-3402			0,01							
E-3502			0,3							
E-3503	C		0,4		100	BP	C	1	0,4	
E-3601 A/B			0,5							
E-3602			0,4							
E-3603	C		1,6		100	MP	C	1	1,5	

Figura 21. Exemplo da listagem do equipamento, da classificação em consumidores/produtores, e registo dos calores trocados.

#### Tarefa 4 - Recolha dos dados de projecto dos equipamentos

Esta tarefa foi realizada com recurso à consulta das folhas de especificação, de cada equipamento, disponíveis na pasta da Tecnologia (base de dados da RP), nas pastas residentes no sector da Tecnologia e no Arquivo da RP. Foram recolhidos os dados de projecto de calor trocado, caudal, temperatura e pressão de funcionamento dos equipamentos.

A Figura 22 mostra um exemplo de uma folha de especificação do permutador de calor E-3373.

2	26	Heat exchanged	5.40.10 <sup>6</sup>	kcal/h	MTD (Corrected)	28	°C
2	27	Transfer Rate	kcal/hm <sup>2</sup> °C	Service	490	Clean	
	28	<b>DESIGN CONDITIONS</b>					
	29		SHELL SIDE		TUBE SIDE		
	30	Design Pressure	bar g.	17.5	11.7 (1)		
	31	Design Temperature	°C	350	200		

Figura 22. Folha de especificação parcial do permutador de calor E-3373 (um dos consumidores)

Alguma informação foi difícil de encontrar, nomeadamente a referente às áreas de Expedições, EDI, Movimentação de Produto e Terminal. Na maior parte dos casos houve necessidade de converter as unidades porque em muitas folhas de especificação as unidades apresentadas não eram as mesmas que foram utilizadas nos cálculos do modelo da KBC. Nomeadamente: “BTU/h” para “Gcal/h”, “bar g” para “kg/cm<sup>2</sup> g” e “psi g” para “kg/cm<sup>2</sup> g”.

#### Tarefa 5 - Detecção de falhas do modelo desenvolvido pela KBC

O estudo inicial realizado com o modelo energético desenvolvido para a RP mostrou a existência de algumas falhas tanto a nível de cálculo como a nível dos dados inseridos (uma vez que estes se encontravam desactualizados ou em falta).

Verificou-se que a utilização do *ProSteam* inibe a função do cálculo automático do projecto em Microsoft Excel, sendo necessário, sempre que se utilize a aplicação, activar a respectiva função. Da mesma forma, ao carregar o suplemento no projecto, algumas células com funções específicas de cálculo apresentam mensagens de erro e mudam os resultados para “#VALOR”. O contorno deste problema faz-se abrindo um projecto novo, carregando o *ProSteam* e abrindo o projecto com o modelo.

Algumas células das folhas de trabalho são nomeadas o que facilmente se confunde com funções do *ProSteam* devido à semelhança com a identificação das funções. Esta característica dificulta o entendimento do modelo desenvolvido pela KBC. Exemplos de células nomeadas são: *BPsatHliq*, *Base Water Use*, *Steam Props*, *Steam Rates*, *Total Fuel Use*, ...

Em algumas das folhas de cálculo, existiam células sombreadas a amarelo que continham valores calculados mas que tinham sido colados, isto é, em vez de estar a fórmula na célula, estava apenas o resultado final. Isto fazia com que qualquer alteração aos valores base (ex.: valores de pressão) não tivesse efeito nos dependentes. A Figura 23 apresenta um exemplo em que os pesos moleculares dos componentes foram colados.

Flue gas composition (mole%)			
	MW	FO	FG
CO2	44,01 kg/kg-mol	14,52%	8,38%
N2	28,01 kg/kg-mol	74,85%	70,76%
H2O	18,02 kg/kg-mol	10,50%	20,86%
SO2	64,06 kg/kg-mol	0,12%	0,00%
<b>Molecular weight</b>		<b>29,33</b>	<b>27,27</b>

Figura 23. Peso Molecular e percentagem de presença de diferentes compostos em Fuel Óleo e Fuel Gás.

Antes:

<i>f<sub>c</sub></i>	44,01
----------------------	-------

Depois da substituição pela função disponível no *ProSteam*.

<i>f<sub>c</sub></i>	=Component_MW(A45;LM_SteamConfig)
----------------------	-----------------------------------

O mesmo se fez em outros casos como na determinação da temperatura de saturação (Figura 24).

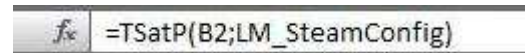
	A	B	C	D
	Header	Pressure	Temp	Sat Temp
1				
2	AP	67,00 kgf/cm <sup>2</sup> g	450 C	283 C
3	MP	15,00 kgf/cm <sup>2</sup> g	309 C	201 C
4	MP users	15,00 kgf/cm <sup>2</sup> g	309 C	201 C
5	BP	1,35 kgf/cm <sup>2</sup> g	233 C	125 C
6	Atm	0,00 kgf/cm <sup>2</sup> g		100 C
7	Deaerator	0,85 kgf/cm <sup>2</sup> g	118 C	
8	BFW after E-4005	85,00 kgf/cm <sup>2</sup> g	140 C	

Figura 24. Pressão, Temperatura e Temperatura de Saturação a diferentes níveis de vapor.

Antes:



Depois da substituição pela função disponível no *ProSteam*.



Neste caso apurou-se que a introdução da função de cálculo da temperatura de saturação, provocava a mudança das unidades apresentadas em todas as folhas do projecto. No caso da pressão, as unidades mudavam de “kg/cm<sup>2</sup> g” para “bar a” entre outras (ex.: “kcal” para “kJ”, “t/h” para “kg/h”, ...).

Inicialmente pensou-se que como os valores introduzidos de pressão correspondiam a valores relativos, o procedimento adoptado foi somar 1 à pressão introduzida. Verificou-se não ser a solução indicada uma vez que o resultado obtido não era o adequado. O *ProSteam* contém uma função, “LM\_SteamConfig”, que ajusta as unidades dos valores introduzidos às unidades das variáveis definidas pelo utilizador para cada projecto. O argumento “LM\_SteamConfig” aparece em todas as funções do *ProSteam*. Assim, foi necessário modificar o sistema de unidades do modelo desenvolvido pela KBC, de modo a que todo o projecto tivesse um sistema de unidades coerente. As Figuras 25, 26 e 27, mostram a forma de ajustar o sistema de unidades do projecto.

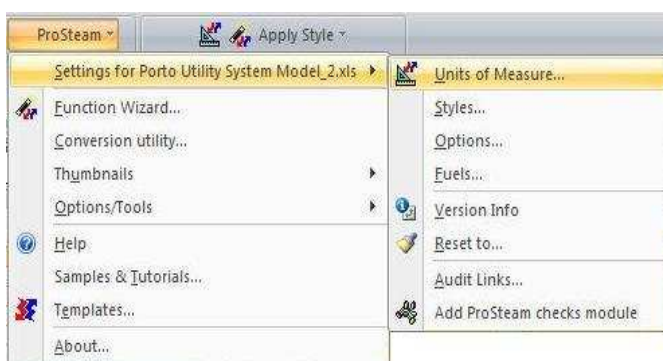


Figura 25. Menu do ProSteam: Ferramentas

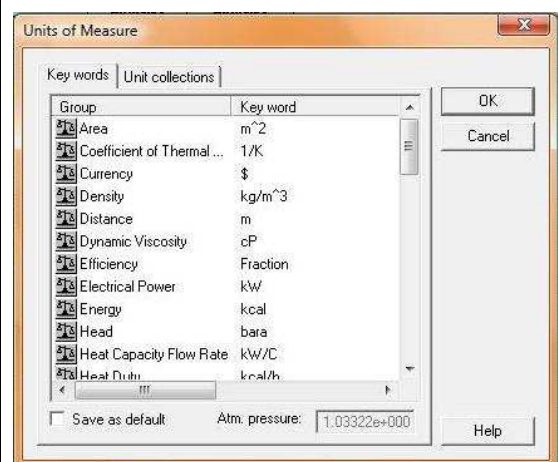


Figura 26. Menu do ProSteam: Unidades de medida

Por exemplo, no caso da pressão foi necessário criar uma nova unidade de medida, “kg/cm<sup>2</sup> g”, inserindo-se o factor de conversão para a unidade base do *ProSteam* (que é N/m<sup>2</sup>), ou seja:

$$\text{Factor de Conversão} = 1 \text{ N/m}^2 / 1,01971\text{E-}5 \text{ kg/cm}^2 = 98067,1$$

Seleccionou-se a opção de valor de pressão *gauge*. Após estas duas acções, o factor de conversão *off-set* (utilizado no argumento LM\_SteamConfig) ficou definido.

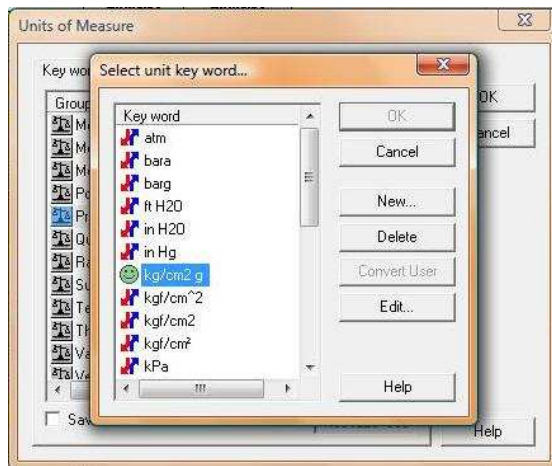


Figura 27. Menu do ProSteam: Seleccionar unidades de medida

Convém também referir que os modelos desenvolvidos só funcionam integralmente com a chave introduzida, apesar de que os projectos abrem com o *Microsoft Excel*.

**Tarefa 6 - Actualização do modelo desenvolvido pela KBC. Correção e introdução de nova informação no modelo.**

As actualizações dos valores de projecto foram realizadas nas folhas de cálculo ‘Producers’ e ‘Consumers’.

Neste ponto procedeu-se à substituição dos valores de calores trocados e temperaturas de funcionamento que diferiam do modelo proposto. Retiraram-se os equipamentos que já não se encontram em serviço e acrescentaram-se outros (Figura 28).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	User can change data in GREEN coloured cells							
2	Area	Unit	Equipment	On/Off	Steam Level	Base Duty (Gcal/h)	Base Flow (t/h)	Condensate Return (%)
100	FOC	U-3100	E-3101	1	BP	1,1		100%
101	FOC	U-3200	Other	1	MP		0,5	
102	FOC	U-3300	E-3313	1	BP		0,01	
103	FOC	U-3300	E-3316	1	BP	0,3		100%

Figura 28. Exemplo da actualização do modelo proposto.

A Figura 28 apresenta a verde-claro os dados que vinham com o modelo proposto, a verde-alface (célula C102) um dos equipamentos introduzidos. As células a roxo são valores que foram modificados dos registos do modelo proposto.

As Tabelas 3 e 4 apresentam resultados das alterações ao modelo.

Tabela 3. Necessidade de Vapor e Caudal de Condensado Recuperado a diferentes níveis de pressão ('Consumers')

Fábricas		Necessidade de Vapor (t/h)			Caudal de Condensado Recuperado (t/h)		
		AP	MP	BP	AP	MP	BP
FAR	i	2,6	56,7	6,8	2,6	53,2	5,8
	f	2,6	64,4	6,8	2,6	60,8	5,8
FOB	i	0,0	39,9	4,6	0,0	21,5	4,6
	f	0,0	39,5	24,3	0,0	16,8	10,8
FCO	i	0,0	26,0	13,6	0,0	18,7	12,9
	f	0,0	28,7	14,8	0,0	21,4	14,1
FUT	i	0,0	50,2	1,5	0,0	14,4	0,0
	f	0,0	49,1	1,6	0,0	14,4	0,0

i = modelo da KBC

f = modelo actualizado aos valores de projecto

Tabela 4. Produção de Vapor ('Producers')

	Produção de Vapor (t/h)		
	AP	MP	BP
i	0,0	35,1	3,0
f	0,0	36,2	4,8

As Tabelas 3 e 4 representam, respectivamente, os valores resultantes das alterações efectuadas às folhas 'Consumers' e 'Producers'. Para que o modelo fique completamente validado falta fazer uma análise detalhada das funções de cálculo introduzidas nas folhas 'Boilers' e 'Furnaces'.

As alterações efectuadas provocaram uma variação na eficiência energética global de 61,7 para 68,9 %.

## 7 Conclusões

Como resultado deste trabalho conclui-se que:

1. O modelo desenvolvido pela KBC encontrava-se desactualizado, nomeadamente, a nível de equipamento e de valores introduzidos;
2. Existiam algumas limitações de operação do modelo mesmo com a chave do *ProSteam*.

O modelo foi validado no âmbito do consumo/produção de vapor tendo-se verificado um aumento na eficiência energética global após efectuadas as alterações. Este aumento deve-se, essencialmente, à actualização do equipamento relacionado com os produtores de vapor, não contabilizado no modelo da KBC.

Verificou-se que *ProSteam* é uma ferramenta adequada para o conhecimento da situação energética da RP bem como fonte de informação para manutenção e futuros investimentos para a RP.

O modelo está a funcionar mas ainda precisa de ser terminado o estudo da avaliação das restantes funções e folhas, não estudadas neste trabalho.

## 8 Avaliação do trabalho realizado

### 8.1 Objectivos Realizados

O trabalho desenvolvido teve por objectivos principais validar o modelo proposto pela KBC e, posteriormente, actualizar o respectivo modelo a nível do consumo/produção de vapor.

O facto de a informação necessária ao ponto de partida não se encontrar completa, centralizada e actualizada para a inventariação e recolha de dados de projecto desencadeou um volume de trabalho não previsto inicialmente. Desta forma, a validação do modelo desenvolvido pela KBC e a sua actualização, no âmbito do consumo/produção de vapor, ainda não foram totalmente realizadas.

### 8.2 Outros Trabalhos Realizados

Em paralelo ao projecto foi realizada uma outra actividade. Foi pedido um projecto pela Petrogal a uma empresa de engenharia e para esse projecto era necessário fornecer toda a informação implicada. O meu trabalho relacionou-se com a actualização dos *Plot Plans*, *P&I's* e *PFD's* do *webtop* (depois de este ser actualizado pela Technoedif) para a pasta da Tecnologia.

### 8.3 Limitações e Trabalho Futuro

Este projecto começou para mim de forma aliciante assim como durante a execução do mesmo. Entretanto, a existência de algumas limitações ditou algum atraso naqueles que poderiam ser os resultados obtidos. A escolha tecnológica sugere-se a apropriada, necessita no entanto de ser mais explorada, para que as potencialidades sejam identificadas e a certificação de funcionamento em pleno seja garantida. Como trabalho futuro aponta-se como possíveis direcções o estudo detalhado das restantes folhas do projecto no *Microsoft Excel* e o estudo global do funcionamento e interligação/dependência entre as folhas de cálculo, a análise da coerência de funções e resultados respectivos, a actualização do modelo aos dados de operação actual da RP e a ligação à base de dados de medidas em tempo real.

## 8.4 Apreciação final

O desenvolvimento deste projecto foi bastante equilibrado e demonstrou-se profícuo tanto na valorização pessoal como profissional. Como valorização pessoal pela oportunidade de viver a rotina de uma empresa como a Refinaria do Porto da Petrogal, apreender as formas de comportamento e dinâmica praticadas, formas de ultrapassar obstáculos, pelas amizades criadas e companheirismo vivido. Como valorização profissional pela aquisição de competências acerca do modelo de simulação energética *ProSteam*, acerca do funcionamento do sistema de utilidades de vapor da RP e dos valores de projecto.

## 9 Bibliografia

- Bono Energia* 2008. Acedido em Janeiro de 2008, de Bono Energia:  
[http://www.bono.it/bono\\_default.asp?cmp=be&ln=uk](http://www.bono.it/bono_default.asp?cmp=be&ln=uk)
- CHD Serviços* 2008. Acedido em Fevereiro de 2008, de Web site da CHD Serviços:  
<http://www.chdvalvulas.com.br>
- Covas, R. e Regufe, F. *Fornalhas*, 2008.
- Eastwood, A. *ProSteam - A Structured Approach to Steam System Improvement. Steam Digest 2002*, (2007)
- Eastwood, A., & Bealing, C. *Optimizing the Day to Day Operation of Utility Systems. 2003 IETC.*(2007)
- Environmental Expert* 2007. Acedido em Outubro de 2007, de Environmental Expert:  
[http://www.environmental-expert.com/STSE\\_resulteach\\_product.aspx?cid=5198&idprofile=384&idproduct=3469](http://www.environmental-expert.com/STSE_resulteach_product.aspx?cid=5198&idprofile=384&idproduct=3469)
- EC Directorate-General JRC Joint Research Centre. *Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Energy Efficiency*. Sevilha. (2007)
- Fernandes, R., Santos, R., & Moutinho, S. *Equipamento Processual*. (2008)
- Férrandez-Polanco, D., Eastwood, A., & Knight, N. *Real-Time Utility System Optimization. 2004 IETC.* (2007)
- Galp Energia* 2007. Acedido em Outubro de 2007, de Web site da Galp Energia:  
<http://www.galpenergia.pt>
- KBC Energy Services* 2007. Acedido em Outubro de 2007, de KBC Energy Services:  
<http://www.kbcenergyservices.com/default.energy.asp?id=138>
- Meio Filtrante* 2008. Acedido em Janeiro de 2008, de Meio Filtrante:  
<http://www.meiofiltrante.com.br/>

# Anexo 1 Modelos de Simulação de Vapor

## 1.1 Modelos de Simulação de Sistemas de Vapor

Na indústria da refinação de petróleos a avaliação energética é uma necessidade visto que todos os processos envolvidos apresentam um elevado consumo energético e de produção de energia.

### Porquê construir um Modelo de Simulação de Sistema de Vapor?

- calcular o custo real do vapor para vários cenários operacionais;
- identificar perdas de energia no momento;
- avaliar as poupanças do projecto;
- prever futuras necessidades de vapor *versus* produção;
- identificar as áreas críticas, sensibilidades e estrangulamentos no sistema;
- identificar melhoramentos operacionais sem custo;
- avaliar a gestão de tarifas e de contratos energéticos;
- orientar e comunicar as emissões;
- elaborar a base de um plano de investimento consistente para o local.

Se se obtiver um entendimento apropriado dos custos marginais reais do vapor e da potência, as ineficiências do sistema podem ser claramente identificadas e as correctas decisões de investimento podem ser tomadas com confiança.

### Que tipo de modelo está disponível?

1. Muitas empresas tentaram modelizar sistemas de vapor em folhas de cálculo. Apesar de este tipo de modelos (Eastwood e Bealing, 2007) serem invariavelmente restritos aos balanços de massa e fórmulas de geração de potência com base no caudal, representam um significativo avanço sobre o nada. Têm a vantagem de operar em folhas de cálculo (flexibilidade, transparência) mas são, muitas vezes, limitadas pelas capacidades da folha de cálculo e do engenheiro de utilidades. Também não podem, simultaneamente, reconciliar balanços de massa e energéticos. Talvez o seu maior inconveniente seja que, muitas vezes, só são entendidos pelo engenheiro que os projecta.

2. Do outro lado da escala está o simulador de processo *full-blown*, que é perfeitamente capaz de modelizar o sistema de utilidades. Isto é particularmente importante quando são necessárias mudanças e actualizações no modelo. A estrutura do modelo pode também ser demasiado rígida para permitir uma rápida avaliação do número de possíveis cenários.

3. Um terceiro tipo de modelo é aquele que se parece e comporta como uma folha de cálculo mas, ao mesmo tempo, tem acesso directo a toda a gama de propriedades do vapor e da água através de uma aplicação de introdução das propriedades físicas em base de dados. Além de tirar partido de todas as vantagens da operação de uma folha de cálculo, proporciona, simultaneamente, o balanço de massa, de calor e de energia do sistema. Oferece também consistência entre diferentes utilizadores e pode ser facilmente ligado à base de dados da empresa para cálculos em tempo real.

## 1.2 ProSteam: Descrição.

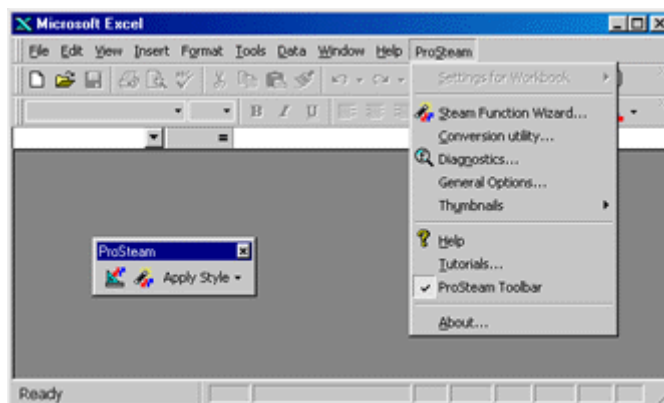


Figura 29. Menu do ProSteam

O *ProSteam* consiste de vários módulos, que se interligam para produzir o nível de funcionalidade requerido pelo utilizador (KBC Energy Services, 2007):

- *ProSteam*: ferramenta de modelização de sistemas de vapor;
- Optimização: recomendação das estratégias de operação de menor custo;
- Ponte de dados: ligação entre os dados de processo e o *ProSteam*;
- Observador de desempenho: funções de histórico, tendências, e geração de relatórios;
- Automatização: facilita a operação automatizada de todos os módulos do *ProSteam*.

### Para que serve o *ProSteam*?

O *ProSteam* otimiza o projecto, a operação e a gestão dos sistemas de calor e potência de um local. É uma ferramenta que permite desenvolver modelos que se adaptam às condições (configuração e operação) da fábrica em estudo, a operar 24h por dia e determina automaticamente o custo de operação do sistema de utilidades, com a variação das exigências do processo e da economia energética. O *ProSteam* também (Environmental Expert, 2007):

- Modeliza o sistema de utilidades para análise e simulação;
- Estabelece limites no uso das utilidades;
- Determina os valores de calor e energia necessários para o projecto e custo da fábrica;
- Utiliza as análises “E Se” para determinar condições de operação alternativas;
- Otimiza o nível e quantidade de vapor utilizados;
- Utiliza análises de sensibilidade a alterações propostas e identifica as soluções óptimas;
- Compara a eficácia de projectos de recuperação de calor alternativos;
- Identifica o custo real do vapor;
- Utiliza os dados actuais da fábrica para modelizar, monitorizar e otimizar o próprio sistema;
- Utiliza outras aplicações do *Microsoft Excel* em conjunto com o *ProSteam* para atingir optimizações específicas e programar capacidades.

O modelo permite-nos calcular as verdadeiras poupanças cumulativas e, importante, elaborar um plano de investimento faseado para que os projectos sejam atractivos e formem a base de um plano de investimento coerente.

### Como se utiliza o Modelo?

Existem essencialmente dois tipos de modelo ou aplicações do modelo que têm relevância (Eastwood, 2007):

1. O **Modelo de Planeamento** que permite ao engenheiro avaliar potenciais projectos, cenários “E Se” e futuras tendências de produção. Tipicamente, envolve a construção de um modelo com as funções lógicas das folhas de cálculo convencionais para replicar a forma de operação dos sistemas de controlo da fábrica. Assim, o modelo vai simular o comportamento actual do

sistema. Este tipo de modelo pode também ser ligado ao histórico de dados do local para produzir modelos em tempo real e para marcar desvios ao padrão óptimo. Tal modelo irá, geralmente, conter duas folhas de trabalho. A primeira é um balanço com base nas leituras da fábrica (que são, normalmente, mais fiáveis a um nível de pressão elevado) e a segunda é um balanço com base nas exigências actuais do processo. Isto permite fazer o balanço actual ao vapor a qualquer altura e comparar com o padrão ideal para esse modo de operação de processo/exigência de vapor. As diferenças podem ser destacadas e a acção adequada pode ser tomada pelo operador.

2. O **Modelo de Optimização** que vai identificar o menor custo de operação de uma fábrica de utilidades sob diferentes cenários (razão de produção, tarifas da energia, etc.). Este difere do Modelo de Planeamento porque consegue alterar (*on/off*) automaticamente os itens do equipamento de forma a atingir um verdadeiro óptimo. Dependendo dos graus de liberdade do sistema, o modelo é capaz de poupar entre 1 a 5% do custo de utilidades a custo capital zero. Modelos mais simples podem utilizar o *Microsoft Solver* para identificar os valores de funcionamento óptimos para o sistema considerando maior potência, para problemas mais complexos são necessários *solvers* avançados. Este tipo de modelo é normalmente utilizado *on-line* para melhorar a operação hora-a-hora. Pode, igualmente, ser utilizado *off-line* para gerir a melhor forma de operação do sistema de utilidades sob futuras condições planeadas.

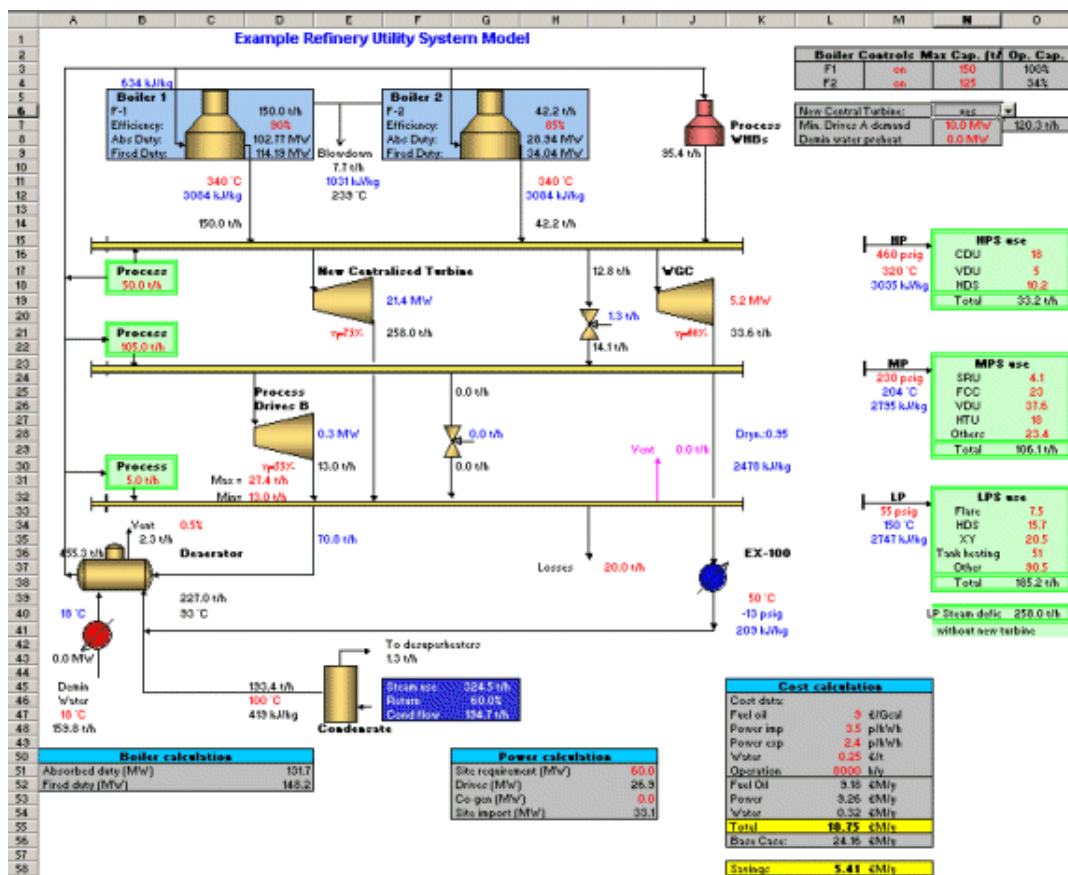


Figura 30. Folha de trabalho do ProSteam (Environmental Expert, 2008)

### Estado Actual do *ProSteam*

Esta aplicação tem sido utilizada em centenas de sistemas (Eastwood, 2007) para determinar o verdadeiro lucro de investimentos de capital e para reduzir os custos de operação pela optimização contínua da operação de sistemas de utilidades.

Nos projectos de potencial aplicação deste modelo inclui-se:

- Melhoramento do retorno de condensado (de 50 a 80%);
- Aumento do TDS permitido através do controlo de *blowdown* contínuo;
- Recuperação de vapor por flash *blowdown*;
- *Blowdown* das caldeiras para o pré-aquecedor da água de alimentação;
- Melhoramento da eficiência das caldeiras (de 80 a 85%).

### Tendências

#### - Orientação a Objectos

A orientação a objectos é uma tendência mundial em termos de programação e desenvolvimento de sistemas. Aplicados à área de bases de dados, os conceitos de orientação a objectos levam à definição mais racional, mais próxima do mundo real, de modelos e estruturas de dados. Isto é especialmente benéfico no caso do *ProSteam*, uma vez que as informações que manipula, devido às suas características específicas, são difíceis de modelizar utilizando as técnicas convencionais.

## Anexo 2 Informação Adicional sobre a RP

### Fábrica de Óleos Base

É constituída pelas seguintes unidades processuais (Galp Energia, 2007):

#### Destilação Atmosférica e no Vácuo

Processa petróleos brutos parafínicos. O fraccionamento em diversos destilados é feito em duas colunas, uma à pressão atmosférica, outra sob vácuo. Todos os destilados da coluna atmosférica são enviados para a Fábrica de Combustíveis com excepção do resíduo atmosférico que é transferido para a coluna de destilação de vácuo, na qual se obtêm os destilados pesados que originarão os óleos base após tratamento conveniente.

#### Desasfaltação pelo Propano

Trata o resíduo de vácuo proveniente da coluna de destilação sob vácuo, por um processo de extracção líquido/líquido, cujo solvente é o propano líquido. Desta extracção resulta um óleo desasfaltado (*bright stock*) e um resíduo asfáltico. O primeiro, é submetido a diversos tratamentos obtendo-se o óleo base correspondente; o segundo, é utilizado na produção de betumes ou incorporado no fuelóleo.

#### Extracção pelo Furfural

Os destilados de vácuo e óleo desasfaltado, provenientes da unidade de destilação sob vácuo e da unidade de desasfaltação pelo propano, são submetidos a um processo de extracção líquido/líquido para remoção dos seus componentes aromáticos, cujo solvente é o furfural, no sentido de se obterem óleos refinados com índice de viscosidade desejado. Os extractos resultantes deste processo de tratamento, ricos em hidrocarbonetos aromáticos, podem ser utilizados como fluxante do óleo combustível, como componente na produção de betumes ou, ainda, comercializados como solventes.

#### Desparafinação

Retira dos refinados as parafinas de ponto de fusão mais alto, de modo a serem obtidos óleos desparafinados com baixos pontos de fluxão, utilizáveis a baixas temperaturas. O processo de tratamento nesta unidade, utiliza um solvente misto constituído por metiletilcetona (MEK) e tolueno. As parafinas obtidas na etapa de desparafinação são posteriormente fraccionadas, originando dois tipos de parafinas: duras e moles. As parafinas duras são submetidas a um tratamento posterior de refinação e as parafinas moles são comercializadas como especialidades, incorporadas como fluxante no fuelóleo ou usadas como carga do FCC.

### Tratamento pelo Hidrogénio

Trata, por hidrogenação, os óleos desparafinados, na presença de um catalisador apropriado, para garantir adequadas características de cor, estabilidade térmica e à oxidação, requeridas por especificação dos Óleos Base.

### Hidrogenação de Parafinas

As parafinas duras, provenientes da unidade de desparafinação por solventes, são submetidas a um severo processo de hidrogenação catalítica que lhe confere excelentes características, mesmo para usos mais exigentes. São produtos de grande valor acrescentado.

### Produção de Betumes

Produz os diferentes grades de betumes usados em pavimentos rodoviários, por mistura adequada de resíduo asfáltico, resíduo vácuo e extracto aromático.

### Fábrica de Utilidades

É constituída pelas seguintes unidades processuais (Galp Energia, 2007):

#### Captação de Água (ETA)

Para abastecer de água todo o complexo industrial, foi construído, no Rio Ave, a uma distância de 20 km da Refinaria, uma instalação de Captação, Tratamento e Bombagem de Água, com uma capacidade de 32.000 m<sup>3</sup>/dia. A água depois de devidamente tratada (por processos de acidificação, crivagem, cloragem, floculação, decantação, filtração e correcção de pH) é enviada para a Refinaria do Porto, onde é armazenada e distribuída para os diversos utilizadores.

Como complemento desta Estação de Tratamento de Água de Superfície (ETAS) e para evitar a devolução de qualquer poluição ao rio, existe uma Unidade paralela de tratamento de lamas e recuperação da água de lavagem dos filtros.

### Central Termoeléctrica

O Complexo Industrial do Porto é autónomo na produção de vapor e energia eléctrica que necessita para a sua laboração. Para este efeito, dispõe de três turbo-alternadores de 6 kV, com uma potência global de 49 MW que são alimentados por vapor de água a 68 kg/cm<sup>2</sup> de

pressão, sobreaquecido a uma temperatura de 455°C, produzido em 6 Caldeiras com uma capacidade de produção unitária de 70 t/hora.

### Tratamento de Água para Caldeiras

O objectivo desta instalação é produzir a água de alimentação das caldeiras da Central Termoeléctrica e dos sistemas produtores de vapor de todo o complexo industrial. No processo de tratamento, a água sofre uma desmineralização total, por tratamento em seis cadeias de permuta iónica à base de resinas sintéticas.

### Sistema de Arrefecimento de Água

Trata-se duma instalação do tipo "recirculação aberta com torre de arrefecimento". A água fria, convenientemente condicionada com inibidores de corrosão e agentes bactericidas, é bombeada permanentemente através dos aparelhos arrefecedores, retornando quente às torres de arrefecimento, onde é arrefecida por contacto, em contra-corrente, com um fluxo de ar produzido pelos ventiladores. O mecanismo preponderante do arrefecimento é a evaporação duma fracção da água circulante, que é continuamente compensada pela adição de água fresca.

### Ar Comprimido

Nesta instalação, é produzido o ar comprimido necessário para manter as redes de distribuição de ar para serviços gerais, de ar seco para cobertura de tanques e de ar de instrumentos para alimentação dos dispositivos de accionamento pneumático. Para tal, dispõe de 5 compressores alternativos com a capacidade unitária de 2.610 Nm<sup>3</sup>/hora, aos quais se associam 3 secadores de ar.

### Distribuição de Combustíveis para queima

Assegura a distribuição dos combustíveis líquidos e gasosos consumidos pela refinaria, através de redes dedicadas. A rede de distribuição de combustíveis líquidos, dispõe de sistemas de bombagem e de aquecimento que asseguram uma pressão de serviço constante no circuito e ajustam a viscosidade do combustível para os valores especificados para os queimadores das caldeiras e fornalhas.

## Fábrica de Combustíveis

É constituída pelas seguintes unidades processuais (Galp Energia, 2007):

### Destilação Atmosférica

Nesta unidade realiza-se, por destilação, a separação primária de matéria-prima (petróleo bruto) em quatro grandes fracções, designadas por: produto de topo (leves), petróleo, gasóleo e resíduo atmosférico. O produto de topo é depois redestilado, dando origem a gases não-condensáveis (fuel-gás), GPL e naftas leve e pesada.

### Adoçamento do Petróleo

O petróleo separado na destilação atmosférica contém vários contaminantes, especialmente sulfuretos orgânicos, designados tióis ou mercaptanos, que corroem os metais e exalam um odor desagradável. Por esta razão, o petróleo é sujeito a um tratamento específico, no qual os sulfuretos são convertidos em dissulfuretos não corrosivos e eventuais traços de gás sulfídrico e ácidos carboxílicos são removidos. A maior parte do petróleo tratado é usada como combustível para a aviação, sob a designação de jet-fuel.

### Dessulfuração de Gasolina Pesada

Remove por via catalítica em atmosfera de hidrogénio, os compostos orgânicos de enxofre, oxigénio e azoto presentes na gasolina pesada, os quais actuariam como veneno permanente ou temporário do catalisador da Unidade de Reformação Catalítica (Platforming) situada a jusante, na fileira de tratamento. O produto gasoso da reacção, constituído por hidrogénio e hidrocarbonetos muito leves, gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e amoníaco ( $NH_3$ ), é submetido a um tratamento de purificação por aminas (tratamento de gases); o gás sulfídrico separado é enviado para a unidade de recuperação de enxofre e os hidrocarbonetos encaminhados para a rede de fuel-gás.

### Platformings semi-regenerativo e de regeneração contínua (CCR)

O propósito desta operação é converter os hidrocarbonetos nafténicos e parafínicos em aromáticos (reformação catalítica), libertando hidrogénio como subproduto de reacção. A carga á unidade é constituída por nafta pesada dessulfurada; o produto líquido obtido, designado "reformado", com elevado teor em hidrocarbonetos aromáticos e um número de octano muito alto, é usado como componente de gasolinas ou como matéria-prima para a Fábrica de Aromáticos. O hidrogénio produzido, depois de purificado (PSA), é usado como co-reagente nos processos catalíticos hidrogenantes. Os hidrocarbonetos leves produzidos na reacção são enviados para a recuperação de gases.

### Tratamento de GPL e de Gasolina Leve

Este processo de tratamento, designado Merox, tem como objectivo remover os mercaptanos (tióis) presentes nas correntes de GPL e nafta leve, através duma extracção com uma solução aquosa de soda cáustica. Os mercaptitos de sódio formados são depois removidos da solução de soda cáustica (regeneração da soda) por oxidação com ar na presença dum catalisador, convertendo-se em dissulfuretos orgânicos insolúveis na solução aquosa, separando-se por decantação. Os G.P.L. tratados são enviados para a Unidade de Recuperação de Gases. A gasolina leve tratada, segue para a armazenagem.

### Tratamento de Gases I e II e Recuperação de Gases

O tratamento de gases realiza a extracção do gás sulfídrico contido nas várias correntes gasosas destinadas a fuel-gás, utilizando uma lavagem, em contra-corrente, com uma solução aquosa de dietanolamina. A recuperação de gases, compreende a separação dos gases não-condensáveis contidos nas correntes GPL (propano e butano) provenientes de diferentes unidades. Os produtos resultantes destas operações são: gás sulfídrico que é enviado à Unidade de Recuperação de Enxofre, os não-condensáveis de petróleo (fuel-gás) e os G.P.L., que depois de sujeitos ao tratamento Merox, são separados em Propano e Butano comerciais.

### Dessulfuração de Gasóleo I e II

Trata-se dum processo de hidrodessulfuração do gasóleo (reação catalítica, realizada a alta pressão parcial de hidrogénio, na presença dum catalisador apropriado) que reduz drasticamente o seu teor de enxofre. Em consequência da severidade da operação, formam-se alguns leves por craqueamento da carga, que são separados por stripping do gasóleo tratado, antes de este ser enviado para a armazenagem.

### Produção de Enxofre

Converte o sulfureto de hidrogénio ( $H_2S$ ) contido na corrente gasosa proveniente do Tratamento de Gases, em enxofre elementar. Este processo, designado Claus, compreende a queima de 1/3 da corrente de  $H_2S$  para formação de  $SO_2$  que, reagindo com os 2/3 remanescentes, na presença dum catalisador, produz enxofre elementar. É um processo importante da fileira de tratamento na medida em que recupera, como produto comercial, todo o enxofre removido dos diferentes produtos pelos respectivos processos de purificação.

## Fábrica de Aromáticos

É constituída pelas seguintes unidades processuais (Galp Energia, 2007):

### U-0100: Pré-Destilação

Esta unidade é, normalmente, alimentada com reformado (efluente da reformação catalítica), produzido na Fábrica de Combustíveis. É constituída por três colunas de destilação em série, que separam a alimentação nas seguintes correntes processuais: fracção gasolina leve C5-; corte de C6/C7; corte de C8's e um corte de aromáticos pesados C9+. A gasolina leve é devolvida à refinaria como componente de gasolinas e de nafta química; os aromáticos pesados são usados como matéria-prima na Unidade Solventes (U-0500), para a produção de solventes industriais aromáticos (C9+ tipo I e II) e como componente de gasolinas na refinaria.

### U-0200: Arosolvan

Esta unidade trata o corte C6/C7 proveniente da U-0100. Os componentes alifáticos são separados dos aromáticos por extracção líquido-líquido, usando como solvente a N-metil-2-pirrolidona (NMP). O extracto, após recuperação do solvente por destilação e lavagem com água, é submetido a uma destilação para obtenção do benzeno e o tolueno de elevada pureza. A corrente de refinado alifático, após lavagem com água, é usada na U-0500 para produção de solventes industriais alifáticos (hexano, heptano, solvente borracha, etc.) ou devolvida à refinaria como componente de nafta química e gasolinas.

### U-0300: Parex

A U-0300 destina-se a produzir para-xileno de elevada pureza, a partir do corte C8 recebido da U-0100, quase inteiramente constituído por p-xileno e seus isómeros. O para-xileno é separado por um processo de adsorção selectiva realizada em fase líquida; o adsorvente (peneiro molecular) é um material zeolítico cuja natureza e tipo de porosidade favorece a adsorção do p-xileno em detrimento dos outros hidrocarbonetos presentes. A desadsorção do p-xileno, faz-se usando a um desorvente específico, neste caso o p-dietilbenzeno, do qual finalmente se separa por destilação.

### U-0400: Isomar

Esta unidade recebe a mistura pobre em para-xileno proveniente da U-0300. Esta corrente, essencialmente constituída pelos isómeros orto e meta-xileno e por etilbenzeno, segue para um reactor onde, em atmosfera hidrogenante e na presença de um catalisador específico, ocorre a isomerização dos C8's, restabelecendo o equilíbrio em xilenos. De seguida, por destilação é retirado o orto-xileno como produto final e a restante corrente de C8's (rica em p-xileno) retorna à U-0300.

### **U-0500: Solventes**

Funciona alternadamente, produzindo por destilação do refinado da unidade Arosolvan (U-0200) solventes alifáticos, designadamente hexano e heptano, ou solventes aromáticos (C9+ tipo I e II) por destilação da corrente de aromáticos pesados proveniente da U-0100.

### **GZ-0600: Produção de Azoto**

A Fábrica de Aromáticos possui uma unidade de produção de azoto. O azoto é obtido por destilação criogénica do ar liquefeito. Como gás inerte, o azoto é utilizado na instalação para inertização de equipamentos e circuitos por razões de segurança e na cobertura de produtos armazenados para evitar a sua oxidação.