

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Sistema previsional de consumos semanais da
refinaria de Matosinhos**

Duarte Manuel Esteves Neves

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. José Nuno Marques Fidalgo
Co-orientador: Eng. José Silva Pinto

29 de Julho de 2013

© Duarte Manuel Esteves Neves, 2013

Resumo

Neste trabalho é abordado o tema de previsão dos consumos a curto prazo das diversas unidades processuais da refinaria de Matosinhos. Embora já existam alguns modelos de previsão para algumas máquinas deste complexo industrial, verificou-se que alguns deles estavam desajustados. Esta dissertação foca-se na implementação de modelos de regressão, baseados em funções polinomiais, para um conjunto de máquinas de diversas fábricas desta refinaria.

O trabalho feito nesta dissertação será englobado no projeto de previsão do consumo horário num horizonte semanal, que se encontra atualmente em desenvolvimento na refinaria de Matosinhos. Os consumos apurados neste projeto serão posteriormente incorporados no sistema de ajuda à decisão que estabelecerá os períodos ótimos de compra e de venda de energia elétrica. Numa primeira fase do trabalho pretende-se perceber o funcionamento da refinaria de Matosinhos no que diz respeito ao processo de produção e aquisição de energia que a empresa dispõe, assim como, a constante relação entre o vapor que a refinaria necessita e a energia elétrica produzida. Numa segunda abordagem, e sendo o objetivo principal desta dissertação o desenvolvimento de modelos que permitam descrever o consumo de vapor das unidades constituintes da refinaria, serão apresentadas as regressões não lineares com base polinomial que foram desenvolvidas para que seja possível prever o consumo de vapor de cada unidade examinada. Depois de desenvolvidas as equações, procurou-se demonstrar o efeito que estes consumos irão provocar na energia produzida e, consequentemente, na energia importada pela refinaria.

Neste trabalho são ainda apresentadas estratégias que foram estudadas com o intuito de se aperfeiçoar as previsões realizadas ao longo do trabalho. Os estudos e os modelos desenvolvidos permitirão um aperfeiçoamento da qualidade da previsão de consumos e, como tal, melhores decisões dos movimentos de compra e venda de energia, o que permitirá poupanças significativas.

Palavras-chave: Previsão, Refinaria, Consumo de Energia Elétrica, Consumo de Vapor, Energia Importada, Energia Produzida, Contrapressão, Turbo-grupo.

Abstract

This paper addresses the issue of forecasting short-term consumption of the several process units at the Matosinhos refinery. Although currently there are already several forecasting methods, this paper focuses on regression models based on polynomial functions.

The work done in this thesis will be encompassed in the project of weekly forecast that is in constant development in Matosinhos refinery. The consumption calculated in this project will be later incorporated into decision support system to establish the optimum periods for buying and selling electricity. The first phase of this study it's intended to understand the operation of the Matosinhos refinery with regard to the production and acquiring process of energy by the company, as well as the constant relation between the steam that the refinery needs and the electricity produced.

In a second approach, and being the main objective of this thesis the development of equations that describe the steam consumption of the constituent units of the refinery, it will be presented the nonlinear regressions based on second degree polynomials, which were developed to be able to predict the steam consumption in each unit examined. After the development of the equations, it'll be shown the effect that the steam consumption will have on energy generated and, consequently, on the energy imported by the refinery.

This paper also presented strategies that have been studied in order to improve the forecasts made during the work. It'll be then the responsibility of the company to choose to implement or not these strategies analyzed.

Keywords: Forecasting, Refinery, Electric Energy Consumption, Steam Consumption, Energy Imports, Energy Generated, Backpressure, Turbo-group.

Agradecimentos

Neste pequeno espaço, gostaria de manifestar o valor e consideração de todas as pessoas que me proporcionaram o constante apoio durante o desenvolvimento e conclusão desta etapa da minha vida académica.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer às pessoas que mais me ajudaram neste projeto e dissertação, que foram os meus orientadores Prof. José Nuno Fidalgo e Eng. Silva Pinto. Ao Prof. Nuno Fidalgo pela excelente ajuda que me concedeu nos momentos mais difíceis e ao Eng. Silva Pinto por me ter recebido na GALP e pelos preciosos conhecimentos que me transmitiu ao longo do projeto que foram fulcrais para a sua conclusão.

Aos meus pais, que são as pessoas que mais estimo e que sem eles eu não seria a pessoa que sou hoje, nem teria alcançado metade dos objetivos que alcancei.

Como não seria possível esquecer, queria deixar um agradecimento especial aos meus amigos da faculdade e não só, pelos momentos estudo, lazer e alegria que me garantiram ao longo da minha vida pessoal e académica.

Por último, mas não de menor importância, gostaria de agradecer à equipa da fábrica de utilidades da refinaria de Matosinhos, constituída por mais de 40 pessoas, com uma consideração especial ao Eng. Martins Pereira, que sem ele a conclusão desta dissertação não seria possível. A toda a equipa obrigado pelos momentos de lazer e profissionalismo que vocês me garantiram nestes 4 meses.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos.....	xvii
Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1 - Considerações gerais e motivação	1
1.2 - Enquadramento e objetivos.....	2
1.3 - Estrutura	3
Capítulo 2.....	5
Enquadramento do projeto	5
2.1 - Refinaria de Matosinhos	5
2.2 - Projeto de previsão semanal n-2 dias	10
Capítulo 3.....	13
Metodologia	13
3.1 - Recolha de dados	13
3.2 - Regressão da equação de consumo de vapor	16
3.3 - Cálculo do balanço total de uma unidade	17
3.4 - Estudo do turbo-grupo 3.....	18
Capítulo 4.....	23
Resultados.....	23
4.1 - Fábrica de aromáticos	24
4.2 - Fábrica de óleos base	42
4.3 - Fábrica de combustíveis linha I	59
4.4 - Estratégias possíveis para melhorar a previsão.....	68
Capítulo 5.....	73

Conclusão e trabalhos futuros	73
5.1 - Conclusão	73
5.2 - Trabalhos futuros	74
Referências	75

Lista de figuras

Figura 2.1 - Complexo industrial da refinaria de Matosinhos.	6
Figura 2.2 - Esquema processual da FUT [9].	7
Figura 2.3 - Turbina a vapor em condensação [10].	8
Figura 2.4 - Turbina a vapor em contrapressão [10].	9
Figura 2.5 - Sistema de contrapressão da refinaria de Matosinhos.	10
Figura 2.6 - Exemplo de um diagrama de energia importada para um dia.	11
Figura 3.1 - Exemplo de uma ocorrência de um erro na medida de VAP no TG3.	15
Figura 3.2 - Consumo de vapor do turbo-grupo 3 sem perdas retirado da <i>datasheet</i>	18
Figura 3.3 - Consumo de VAP e potência de saída do TG3 registadas de 2009 a 2013.	20
Figura 3.4 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 4 e 6 MW.	21
Figura 3.5 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 6 e 9 MW.	21
Figura 3.6 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 9 e 15 MW.	22
Figura 4.1 - Esquema processual da fábrica de aromáticos [9].	24
Figura 4.2 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0100.	25
Figura 4.3 - Curva do consumo de vapor da U-0100 relativamente à carga processada por dia.	26
Figura 4.4 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0100.	27
Figura 4.5 - Curvas do balanço total da U-0100 relativamente à carga processada por dia. ...	29
Figura 4.6 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0200.	30
Figura 4.7 - Curva do consumo de vapor da U-0200 relativamente à carga que processa por dia.	31
Figura 4.8 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0200.	31
Figura 4.9 - Curvas do balanço total da U-0200 relativamente à carga processada por dia. ...	32

Figura 4.10 - Gráfico relativo à carga e produção de VMP da U-0400.....	34
Figura 4.11 - Gráfico da produção de vapor real e da regressão realizada para a U-0400. ...	35
Figura 4.12 - Curvas do balanço total da U-0400 relativamente à carga processada por dia.	37
Figura 4.13 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0500.....	38
Figura 4.14 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0500 em modo “Hexano”.....	39
Figura 4.15 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0500 em modo “C9”.....	39
Figura 4.16 - Curvas de balanço total da U-0500 em “Hexano” relativamente à carga processada por dia.....	41
Figura 4.17 - Curvas de balanço total da U-0500 em “C9” relativamente à carga processada por dia.....	41
Figura 4.18 - Esquema processual da fábrica de óleos base [9].	42
Figura 4.19 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2000.....	43
Figura 4.20 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2000.	44
Figura 4.21 - Curvas do balanço total da U-2000 relativamente à carga processada por dia.	45
Figura 4.22 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2100.....	46
Figura 4.23 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2100.	47
Figura 4.21 - Curvas do balanço total da U-2100 relativamente à carga processada por dia.	48
Figura 4.25 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2200.....	49
Figura 4.26 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2200.	50
Figura 4.27 - Curvas do balanço total da U-2200 relativamente à carga processada por dia.	51
Figura 4.28 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2300.....	52
Figura 4.29 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2300.	52
Figura 4.30 - Curvas do balanço total da U-2300 relativamente à carga processada por dia.	53
Figura 4.31 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2400.....	54
Figura 4.32 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2400.	55
Figura 4.33 - Curvas do balanço total da U-2400 relativamente à carga processada por dia.	56
Figura 4.34 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2500.....	57

Figura 4.35 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2500.	57
Figura 4.36 - Curvas do balanço total da U-2500 relativamente à carga processada por dia.	59
Figura 4.37 - Esquema processual da fábrica de combustíveis [9].	60
Figura 4.38 - Gráfico relativo à carga e exportação de VMP da U-1200/1300.	61
Figura 4.39 - Gráfico relativo à carga e importação de VMP da U-1200/1300.	61
Figura 4.40 - Gráfico da exportação de vapor real e da regressão realizada para a U-1200/1300.	63
Figura 4.41 - Gráfico da importação de vapor real e da regressão realizada para a U-1200/1300.	63
Figura 4.42 - Curvas do balanço total da U-1200/1300 relativamente à carga processada por dia na unidade 1300.	64
Figura 4.43 - Curvas do balanço total da U-1200/1300 relativamente à carga processada por dia na unidade 1200.	65
Figura 4.44 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-1500/1600.	66
Figura 4.45 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-1500/1600.	67
Figura 4.46 - Curvas do balanço total da U-1500/1600 relativamente à carga processada por dia.	68
Figura 4.47 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão univariável e multivariável testada para a U-0200.	71
Figura 4.48 - Gráfico de observação do tipo de carga consumido na U-0200.	72

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Características do vapor de entrada e saída do TG3.	8
Tabela 3.1 - Potência e consumo de VAP do TG3 retirados da <i>datasheet</i>	19
Tabela 3.2 - Valor de λ para os três regimes definidos.	21
Tabela 4.1 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-0100.....	26
Tabela 4.2 - Consumo elétrico médio para a U-0100.	28
Tabela 4.3 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-0200.....	30
Tabela 4.4 - Consumo elétrico médio para a U-0200.	32
Tabela 4.5 - Coeficientes da equação de produção de vapor para a U-0400.	35
Tabela 4.6 - Consumo elétrico médio para a U-0400.	36
Tabela 4.7 - Coeficientes das equações de consumo de vapor para a U-0500.	38
Tabela 4.8 - Consumo elétrico médio para a U-0500.	40
Tabela 4.9 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2000.....	43
Tabela 4.10 - Consumo elétrico médio para a U-2000.....	44
Tabela 4.11 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2100.	46
Tabela 4.12 - Consumo elétrico médio para a U-2100.....	47
Tabela 4.13 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2200.	49
Tabela 4.14 - Consumo elétrico médio para a U-2200.....	50
Tabela 4.15 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2300.	52
Tabela 4.16 - Consumo elétrico médio para a U-2300.....	53
Tabela 4.17 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2400.	54
Tabela 4.18 - Cálculo do consumo elétrico médio para a U-2400.	55

Tabela 4.19 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2500.	58
Tabela 4.20 - Cálculo do consumo elétrico médio para a U-2500.	58
Tabela 4.21 - Coeficientes da equação de exportação de vapor para a U-1200/1300.	62
Tabela 4.22 - Coeficientes da equação de importação de vapor para a U-1200/1300.	62
Tabela 4.23 - Consumo elétrico médio para a U-1200/1300.	64
Tabela 4.24 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-1500/1600.	66
Tabela 4.25 - Consumo elétrico médio para a U-1500/1500.	67
Tabela 4.26 - Coeficientes da equação univariável de consumo de vapor testada para a U-0200.	69
Tabela 4.27 - Coeficientes da equação multivariável de consumo de vapor testada para a U-0200.	70

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

C	Compressor
CE	Consumo elétrico
CV	Consumo vapor
DCS	<i>Distributed control system</i>
EDP	Energias de Portugal
FAR	Fábrica de aromáticos (e solventes)
FCO	Fábrica de combustíveis
FOB	Fábrica de óleos base
FUT	Fábrica de utilidades
MAPE	<i>Mean absolute percentage error</i>
PV	Produção de vapor
RM	Refinaria de Matosinhos
RMSD	<i>Root mean square deviation</i>
RMSE	<i>Root mean square error</i>
RTDB	<i>Real time data base</i>
TG	Turbo-grupo
U	Unidade
VAP	Vapor de alta pressão
VBP	Vapor de baixa pressão
VIP	Vapor de intermédia pressão
VMP	Vapor de média pressão

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Considerações gerais e motivação

De modo geral, previsão de carga a curto prazo (várias horas a várias semanas) é uma estratégia importante usada na gestão de carga, coordenação económica, previsão de energia produzida, potência de máquinas geradas e mesmo controle da poluição. Portanto, a previsão de carga de curto prazo pode fornecer referências para avaliar os custos de produção de energia e fiabilidade de fornecimento de energia, que conseqüentemente podem evitar uma crise por falta de energia e eliminar problemas de desperdício de energia [1].

A previsão dos consumos eléctricos tem um papel importante na gestão de recursos da rede eléctrica nacional. Para além desta gestão, a previsão é também importante pois Portugal, em determinados períodos, não têm capacidade de produção que satisfaça a necessidade total dos consumidores, noutros períodos é capaz de produzir mais energia do que a necessária para satisfazer os consumidores. Quando essas situações acontecem, é por vezes necessário recorrer à importação de energia proveniente de outros países para compensar essa falta de produção de energia e à exportação para não desperdiçar recursos de produção de energia. A refinaria de Matosinhos tem um funcionamento, em alguns aspetos, semelhante ao descrito na frase anterior.

A refinaria de Matosinhos é capaz de produzir energia eléctrica mas com certas limitações que vão ser explicadas mais à frente, podendo mesmo não compensar produzir energia se o preço da energia importada for mais baixo que o preço da energia produzida na refinaria. No entanto estes preços não são sempre iguais, dependendo muito do preço do crude e conseqüentemente da produção por MW da refinaria. Portanto, em cada situação particular, pode ou não compensar importar energia. Atualmente, devido ao constante aumento do preço do crude, a refinaria opta por produzir apenas a energia eléctrica equivalente à

2 Introdução

necessidade de vapor da refinaria e importar a restante energia elétrica necessária para permitir o funcionamento normal das fábricas. No entanto a refinaria tem de entregar uma previsão semanal à EDP e se os valores de energia importada reais tiverem um desvio superior a um dado limite, a GALP terá de pagar uma multa por MW que saía fora do intervalo permitido definido no contrato. Daí a importância que esta previsão tem e o que ela representa para a empresa.

É preciso referir que este projeto da previsão semanal dos consumos da refinaria é um projeto de grande dimensão que já tinha iniciado antes do começo desta dissertação e não será acabado com a conclusão desta, pois a refinaria de Matosinhos é, provavelmente, o maior complexo industrial do Norte. Esta dissertação focou-se numa parte particular deste projeto, que foram os consumos de vapor das diversas unidades das fábricas de aromáticos, óleos base e combustíveis linha I, que por sua vez estão diretamente ligados à produção de energia elétrica, como será explicado mais à frente.

1.2 - Enquadramento e objetivos

Os consumos da refinaria de Matosinhos dependem da atividade da refinaria, desde refinação, produção de aromáticos, solventes, óleos e até mesmo à atividade portuária. Ao mesmo tempo, a refinaria é simultaneamente produtora e consumidora de energia elétrica. A compra e sobretudo a venda de energia dependem das necessidades internas e da relação de preços de importação e exportação. Portanto é de todo conveniente fazer uma boa estimativa dos consumos ao longo da semana, para que sejam cumpridos contratos feitos de trocas de energia. Estes consumos serão posteriormente incorporados no sistema de ajuda à decisão que estabelecerá os períodos ótimos de compra e de venda.

Para além da energia elétrica, a refinaria também necessita de vapor para produzir os seus produtos finais. Este vapor consumido na refinaria é que vai definir, quase na totalidade, a energia que será produzida na refinaria, daí a sua importância para a previsão semanal. O objetivo principal desta dissertação é a previsão dos consumos de vapor das unidades da refinaria, face à matéria-prima que estas processam para produzir os seus respetivos produtos. Esta matéria-prima é muitas vezes denominada de carga da unidade pois é a designação habitual usada na empresa.

Numa primeira análise foi analisado o tipo de regressão que seria realizado, tendo-se concluído que o que descreveria melhor o comportamento das unidades, mas ao mesmo tempo não muito complexo, eram regressões de equações baseadas em polinómios de 2º grau, em que a variável de entrada seria apenas a carga da unidade. Posteriormente, após ser discutido com o orientador e outras pessoas responsáveis na empresa, decidiu-se também realizar um estudo de forma a identificar outras variáveis que pudessem melhorar a precisão

destas previsões. Esta análise focou-se em dois pontos principais. Um deles seria melhorar a previsão através de variáveis meteorológicas como por exemplo a temperatura, a pluviosidade, radiação solar, entre outros, através de uma regressão multivariável. Esta opção fundamenta-se no facto da atividade portuária, com grande influência na atividade da refinaria, depender das condições climáticas. O segundo ponto seria através da caracterização do tipo de carga que cada unidade recebe uma vez que esta não é sempre igual. Assim como os derivados do petróleo tem densidades relativas (grau API) diferentes, estas cargas das unidades também poderão ser mais “pesadas” ou mais “leves” conforme a sua constituição, que pode provocar diferenças no consumo de vapor.

1.3 - Estrutura

A dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos principais.

O atual capítulo tem como efeito a introdução ao tema da dissertação, assim como os seus objetivos e organização.

No capítulo 2 é feita uma breve descrição do projeto de previsão semanal realizado pela GALP. Será feita uma pequena introdução ao complexo industrial da refinaria de Matosinhos e abordam-se alguns tópicos essenciais para perceber a importância da presente dissertação para a empresa.

No capítulo 3 são apresentados a metodologia utilizada para a realização deste trabalho e o estudo feito ao turbo-grupo 3 (TG3). Como o balanço total de uma unidade representa o consumo elétrico dele acrescido das alterações que vão ser provocadas no TG3 através do consumo ou produção de vapor foi apresentado o estudo do TG3 neste capítulo.

No capítulo 4 são apresentados e os resultados obtidos, incluindo as regressões das equações de consumo de vapor das unidades realizadas assim como o impacto que terão no diagrama de consumos. Também serão apresentados os dois estudos feitos com o objetivo de melhorar as previsões feitas anteriormente. São estratégias que serão apresentadas à empresa como possíveis hipóteses de melhorar as previsões dos consumos de vapor das unidades.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas algumas conclusões assim como perspectivas futuras do projeto de previsão semanal da refinaria de Matosinhos.

4 Introdução

Capítulo 2

Enquadramento do projeto

O enquadramento do projeto é um aspeto importante para este trabalho pois o projeto de previsão de consumos semanais é um projeto de grande dimensão devido à complexidade e grande dimensão da refinaria de Matosinhos. Foi necessário perceber alguns conceitos sobre o funcionamento da refinaria, assim como alguns conceitos e processos utilizados pela empresa que vão ser devidamente explicados no decorrer deste capítulo.

2.1 - Refinaria de Matosinhos

O complexo industrial da refinaria de Matosinhos, localizado no norte de Portugal, possui uma área aproximada de 400 hectares e está interligado ao terminal para petroleiros no porto de Leixões por vários oleodutos com cerca de dois quilómetros de extensão.

O início da construção da refinaria de Matosinhos deu-se em 1966 e três anos mais tarde, o seu arranque. Possui uma capacidade de armazenagem da ordem de 1,78 milhões m³, dos quais cerca de 649 mil m³ são para ramas de petróleo e 1,132 milhões m³ para produtos intermédios e finais e cerca de 1250 km de *pipelines*.

6 Enquadramento do projeto



Figura 2.1 - Complexo industrial da refinaria de Matosinhos.

É uma refinaria de especialidades, com uma produção de uma grande variedade de derivados ou produtos aromáticos, importantes matérias-primas para a indústria química e petroquímica, e de plástico, têxteis, adubos, borracha, tintas e solventes, nomeadamente:

- Propano;
- Butano;
- Gasolina sem chumbo;
- Gasóleo;
- Fuelóleo;
- Óleos lubrificantes;
- Massas lubrificantes;
- Parafinas;
- Benzeno;
- Tolueno;
- Ortoxileno;
- Paraxileno;
- Solventes aromáticos e alifáticos;
- Óleos base;
- Etc.

2.1.1 - Fábrica de utilidades

A fábrica de utilidades é normalmente designada por FUT e distribui as utilidades necessárias para o complexo da refinaria. Como utilidades entende-se os fluidos e energia elétrica necessários para que as outras fábricas possam efetuar o seu processamento fabril.

Para esta função são necessárias 5 equipas em regime de laboração contínua, turnos e colaboradores em horário normal totalizando em 48 colaboradores.

Dotada originalmente em 1970, de 4 caldeiras e 2 turbo-grupos, aumentando em 1980 para 6 caldeiras e 3 turbo-grupos, com a construção da fábrica de aromáticos e a linha II de combustíveis [12].

Na figura 2.2 é apresentado um diagrama onde é possível observar o esquema processual da fábrica de utilidades. Note-se também na figura que existe duas possibilidades de produção de energia elétrica, produção exclusiva de energia elétrica e produção combinada de energia elétrica e vapor de água. Estas duas opções correspondem respetivamente à produção de energia no TG2 e à produção de energia no TG1 e 3. O TG1 e TG3 funcionam com uma turbina a vapor em contrapressão e o TG2 funciona com uma turbina a vapor em condensação.

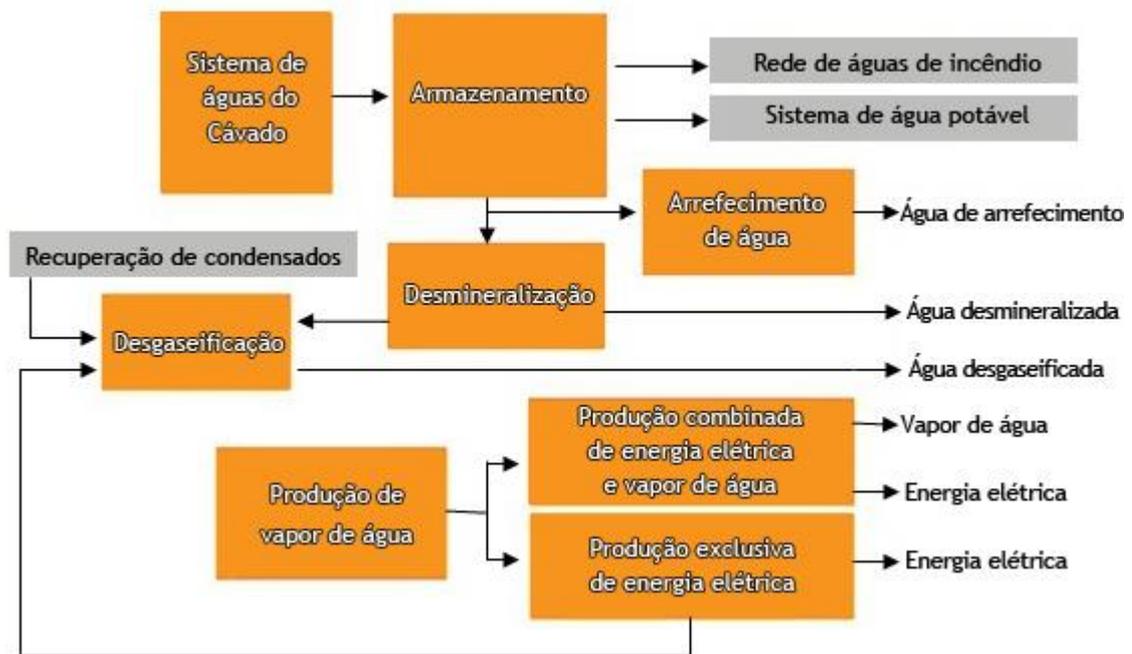


Figura 2.2 - Esquema processual da FUT [9].

No sistema de produção de energia, turbinas veem desempenhar o papel de conversão de energia térmica em trabalho mecânico. Turbinas a vapor em condensação e turbinas em contrapressão são os equipamentos habitualmente utilizados, onde as turbinas de contrapressão são muitas vezes aplicadas em sistema de cogeração. Ambas as turbinas de condensação e contra-pressão têm uma produção padrão, e o operador pode seleccionar o nível de produção de acordo com o parâmetro de vapor [2].

A turbina de condensação, correspondente ao TG2 da refinaria, recebe vapor de alta pressão e temperatura que é produzida nas caldeiras e utiliza-o para propulsionar a turbina que produz energia elétrica acionando um gerador. O vapor sai da turbina a uma temperatura pouco maior que a ambiente e a uma pressão pouco menor, sendo que ao deixar a turbina o vapor é condensado e enviado para o circuito fechado da refinaria, pronto para ser novamente processado na FUT [3, 12].

8 Enquadramento do projeto

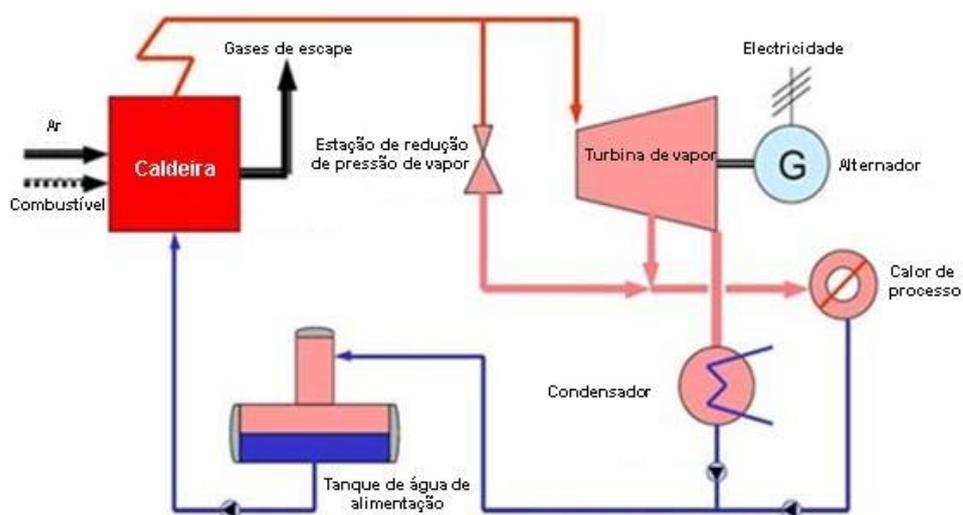


Figura 2.3 - Turbina a vapor em condensação [10].

A turbina a vapor de contrapressão, correspondente ao TG1 e TG3 da refinaria, tem um funcionamento parecido mas com algumas particularidades. Tal como o TG2, o TG1/3 recebe vapor de alta pressão que vai propulsionar a turbina e produzir energia elétrica, no entanto o vapor sai da turbina a uma determinada pressão e temperatura que faz com que possa ser aproveitado para outros processos e trabalhos da refinaria. Este vapor é denominado na refinaria de vapor de média pressão (VMP) e é através da necessidade da refinaria de VMP que a quantidade de energia elétrica produzida no TG1/3 é definida, como vai ser explicado na secção 2.1.2.

A tabela 2.1 é apresentada algumas características do vapor que entra e sai do TG3. O TG3, como é o mais utilizado dos dois turbo-grupos de contra-pressão da refinaria, e tendo o TG1 um comportamento de alguma forma similar ao do 3, nesta dissertação será apenas estudado o TG3 pois é o mais importante para a GALP e refinaria de Matosinhos.

Tabela 2.1 - Características do vapor de entrada e saída do TG3.

	Pressão (bar)	Temperatura (°C)
VAP (entrada)	64,72	450
VMP (saída)	16,67	286

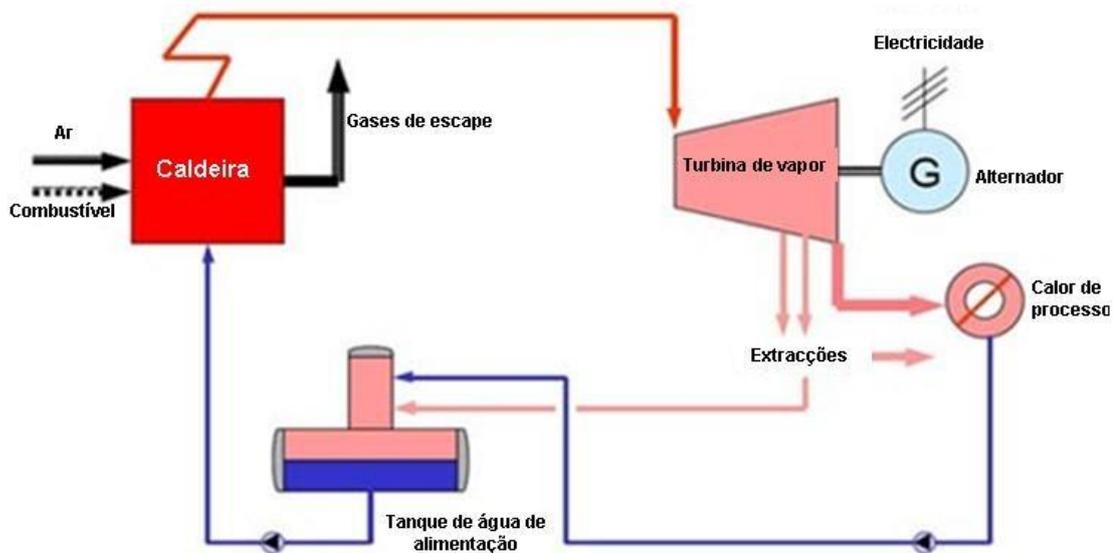


Figura 2.4 - Turbina a vapor em contrapressão [10].

2.1.2 - Funcionamento do sistema de contrapressão da RM

A refinaria de Matosinhos tem dois tipos de consumos principais: o consumo de vapor e o consumo de energia eléctrica. No que diz respeito ao consumo de vapor, a refinaria tem uma necessidade constante que precisa de ser satisfeita pela fábrica de utilidades para que as restantes fábricas possam funcionar normalmente e produzir os respetivos produtos pretendidos. Essa produção de vapor é da responsabilidade da fábrica de utilidades e respetivamente do TG1/3, sendo o 3 que está em grande parte do tempo em funcionamento. O TG1, neste momento, funciona apenas como reserva.

O vapor de alta pressão é produzido nas caldeiras da fábrica de utilidades e vai acionar as turbinas do TG2 e do TG1/3. O TG2 produz energia eléctrica e condensa na totalidade o vapor utilizado, enquanto o TG1/3 tem como função produzir energia e transformar o vapor de alta pressão em vapor de média para poder ser aproveitado no resto das fábricas da refinaria. O TG1/3 está constantemente pendente da necessidade da refinaria, isto é, os turbo-grupos em contrapressão vão produzir energia eléctrica conforme a necessidade de VMP da refinaria.

10 Enquadramento do projeto

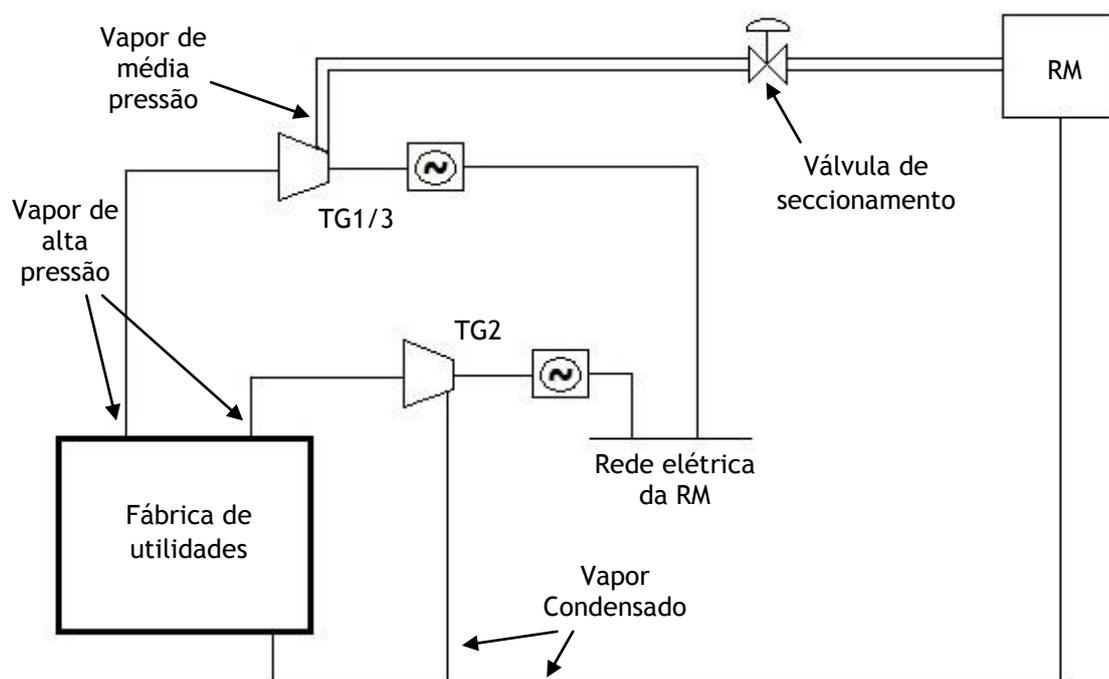


Figura 2.5 - Sistema de contrapressão da refinaria de Matosinhos.

Através da válvula de seccionamento, se as fábricas necessitarem de mais VMP, a válvula vai abrir e vai ser enviado mais VAP para o TG1/3 que automaticamente irá produzir mais energia elétrica. O contrário se verifica se a necessidade de vapor da refinaria diminuir e neste caso a válvula irá fechar.

O consumo de vapor nas fábricas da refinaria está sempre relacionado com a energia elétrica produzida no TG1/3 devido a este sistema de contrapressão.

2.2 - Projeto de previsão semanal n-2 dias

A refinaria de Matosinhos é capaz de produzir energia elétrica suficiente para satisfazer as suas necessidades. No entanto esta situação não seria favorável à empresa pois o preço por MW produzido na refinaria é geralmente mais alto que o preço normal da energia importada. Desta forma a GALP tem um contrato com a EDP que permite importar a energia elétrica restante que precisa para satisfazer na totalidade os consumos elétricos da refinaria.

Se for considerado o funcionamento normal da refinaria assim como as suas fábricas, os turbo-grupos que estão ligados são o TG2 e o TG3. O TG3 produz aproximadamente entre 9 e 13 MWh, apesar de ter capacidade para produzir mais devido ao seu funcionamento em contrapressão e à necessidade de VMP da refinaria variar entre 160 a 210 t/h, este produz apenas a energia elétrica correspondente ao VMP que a RM precisa para trabalhar

normalmente. O TG2, como é um turbo-grupo com uma turbina a vapor em condensação total, tem um preço por MW mais elevado, uma vez que ao contrário do TG3 o vapor é logo condensado não sendo reaproveitado para outros processos. Por causa deste fator o TG2 funciona num regime de baixa produção, normalmente abaixo dos 5 MWh, apenas para ajudar no controlo da quantidade de energia elétrica produzida para se cumprir os valores contratados de importação à EDP [11].

Todas as semanas a FUT realiza uma previsão para a próxima semana (Sábado a Sábado), que terá de ser carregada para o sistema com dois dias de antecedência (Quinta-feira à meia-noite), com o objetivo de estimar a energia que terá de ser importada para a semana seguinte em intervalos de tempo de uma hora. Para isso é feita uma reunião semanal com os chefes das restantes fábricas para se registar a quantidade de matéria-prima que as unidades previsivelmente irão processar durante a semana.

O maior desafio deste projeto é que, havendo a constante ligação entre a energia elétrica e o vapor, o diagrama da energia importada irá sofrer constantes alterações pois se as unidades estiverem a processar mais ou menos carga (matéria-prima) terão consumos de vapor maiores ou menores e conseqüentemente a energia produzida no TG3 também irá ser maior ou menor. Estas alterações no TG3 terão de ser compensadas pelo TG2 ou através da importação de energia.

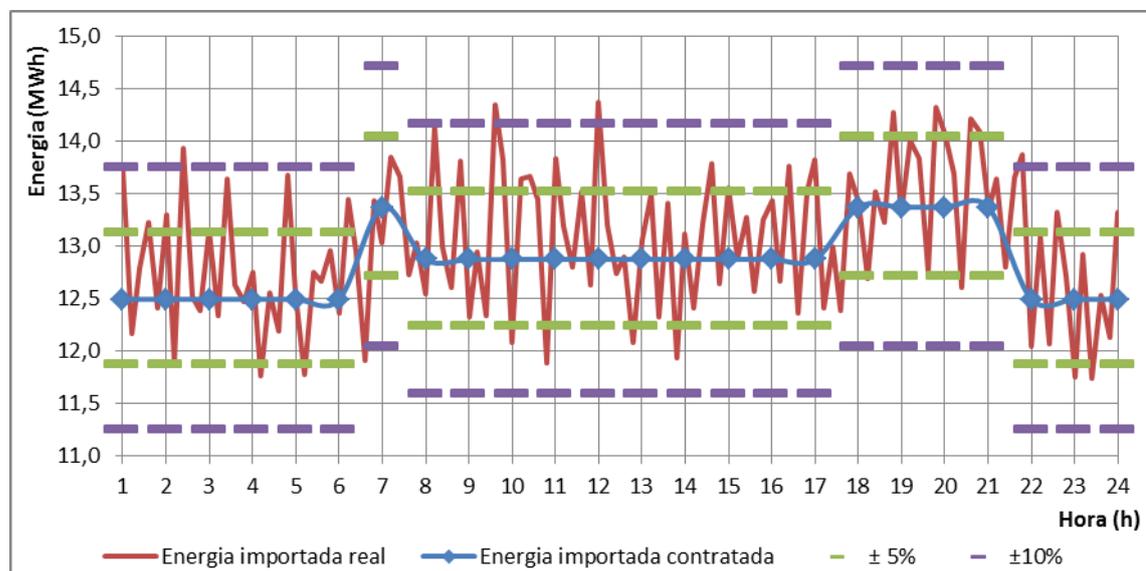


Figura 2.6 - Exemplo de um diagrama de energia importada para um dia.

A energia importada que é comprada à EDP deve ser cumprida, pois se não for a GALP terá de pagar uma penalização por MW da energia que sair do intervalo de manobra anteriormente definido pelas empresas. A energia importada é igual ao consumo elétrico da refinaria menos a produção de energia no TG3 e a produção de energia no TG2. Sendo o TG2 controlado por um operador, o que irá provocar os desvios no diagrama da energia importada

12 Enquadramento do projeto

será o TG3 pelo facto de depender da necessidade de vapor da RM para saber quanto vai produzir de energia elétrica.

Os desvios provocados pelo TG3 têm que ser compensados pelo TG2 ou então compensados pela importação. No entanto, no que diz respeito à importação é preciso ter em atenção que se a energia importada real for muito diferente da energia importada contratada, a empresa terá de pagar uma penalização por MW. No contrato que a GALP tem com a EDP, foi definido um intervalo de manobra até 5% da energia contratada, mas para valores entre 6 e 10% existe uma penalização por MW e para valores entre os 11% e 20% existe uma penalização ainda maior. Há ainda uma última situação que é acima dos 20% mas esta situação é muito improvável, podendo acontecer apenas se houver alguma paragem abrupta de algumas das fábricas da refinaria, ao ponto de não poder ser corrigido pelo do TG2. De forma a tentar corrigir os desvios na energia importada, dentro de cada hora serão feitas verificações de 15 em 15 minutos. Se houver necessidade, aumenta-se ou diminui-se a energia produzida no TG2 para que o valor médio horário continue dentro dos limites estabelecidos.

A importância desta dissertação reside na possibilidade de melhorar a previsão do consumo de vapor das unidades da refinaria consoante a carga que estas deverão processar durante a semana seguinte, uma vez que estes consumos vão-se refletir na produção de energia interna da refinaria.

Capítulo 3

Metodologia

A tarefa inicial deste trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento das diversas unidades da refinaria de Matosinhos, no que diz respeito ao consumo de vapor face à carga, ou matéria-prima, isto é, a quantidade de produto que as unidades estão a processar.

Numa fase inicial será necessário compreender minimamente os esquemas processuais das respetivas fábricas, uma vez que as fábricas são compostas por várias unidades consumidoras de vapor. É importante ainda referir que apesar do consumo de vapor de uma unidade ser um único valor, este na realidade represente uma soma de diversos equipamentos consumidores de vapor.

Resumidamente, este capítulo pode ser descrito em 5 pontos principais, sendo o 6 um estudo feito ao TG3 que decidiu-se apresentar neste capítulo devido à sua forte ligação com a metodologia utilizada ao longo desta dissertação:

- 1 - Estudo do comportamento das diversas unidades;
- 2 - Recolha, filtragem e tratamento de dados;
- 3 - Estabelecimento do processo de regressão;
- 4 - Estimação do consumo de vapor por unidade;
- 5 - Cálculo do balanço total de uma unidade;
- 6 - Estudo do turbo-grupo 3.

3.1 - Recolha de dados

3.1.1 - Consumos de vapor

Depois de percebidos os esquemas processuais, será necessário proceder à agregação de dados para mais tarde serem tratados e analisados. Para isso será usado o material disponibilizado pela empresa, isto é, um computador ligado à base de dados utilizando o

software Aspen Process Explorer V7.3. Foi desenvolvida uma interface gráfica simples e eficaz pela empresa, que pode ser acedida através do *Aspen Process Explorer*. Juntamente com a interface gráfica, este *software* permite procurar diferentes variáveis na *Real Time Database* (RTDB), traçar gráficos com o espaço temporal que assim se desejar, fazer interpolações, médias, desvios padrões, entre outras funcionalidades. A RTDB é a base de dados em tempo real, onde se encontram armazenados os dados processuais, com integração ao *Distributed Control System* (DCS) e ao *Laboratory Information Management System* (LIMS).

Na RTDB armazena-se toda a informação referente a medições do processo como caudais, fluxos mássicos, densidades, pressões, temperaturas e outros parâmetros que se verifiquem necessários para a condução das unidades. A RTDB tem uma precisão menor que o DCS pois o sinal tem uma taxa de amostragem bastante inferior ao do DCS mas por outro lado permite armazenar quantidades enormes de dados. Por isso é possível que os dados da RTDB apresentem alguns erros de medida.

Finalmente é possível, depois de traçados os gráficos, transportar os dados do *Aspen* para o *Excel* onde serão devidamente examinados. O estudo e compreensão deste programa foi um processo exaustivo uma vez que é um programa desconhecido até à data e está ligado a uma base de dados de dimensão considerável.

A extração de valores de potências produzidas nos turbo-grupos e outras variáveis essenciais para o projeto, assim como, a produção e os consumos de vapor das diversas unidades e equipamentos da refinaria é feita com base a opção do *Aspen* que faz interpolações e médias com um espaço temporal à escolha, tendo sido os mais utilizados de 1 horas e 2 horas. A necessidade de usar esta ferramenta deve-se ao facto de os valores reais (denominados de *Actual* no *Aspen*) serem registados em tempos diferentes, uma vez, que os sensores utilizados para medir quantidade de carga, vapor e potência elétrica não são todos iguais nem estão sincronizados. Por exemplo há sensores que registam medidas de 1 em 1 minuto, há outros que registam de 15 em 15 segundos, daí ser necessário fazer interpolações e médias para ser possível associar os dados em períodos correspondentes. Foi preciso recorrer à opção de média em algumas medições pois há sensores de vapor que, por serem mais antigos, ou devido ao facto de a medição de vapor em si não ser um processo simples, apresentavam uma volatilidade significativa que induziria no processo erros desnecessários.

Com os dados pretendidos já em formato *Excel*, vai ser preciso proceder a uma filtragem de forma a tentar eliminar erros dos sensores que podem ser ou não reconhecidos como erros pelos próprios sensores ou pela base de dados. Na RTDB existe uma variável auxiliar para cada medida que têm apenas duas opções *Valid* ou *Invalid*, logo os dados considerados inválidos são retirados mas existe situações em que eles são considerados válidos e no entanto são claramente um erro de medida ou da própria base de dados. Estes erros podem acontecer apesar dos processos de filtragem estabelecidos quer ao nível dos sensores que na própria base de dados. A figura 3.1 representa um gráfico retirado do *Aspen* onde é possível

observar que houve uma descida do vapor de alta pressão que o TG3 estava a consumir de aproximadamente 176 t/h para 0, durante aproximadamente 30 minutos, no entanto a produção de energia elétrica parece não sofrer qualquer alteração, o que não faz sentido. Este tipo de erros, embora não seja frequente, deve ser eliminado de forma a permitir uma regressão, tanto quanto possível, fiável e isenta de erros.

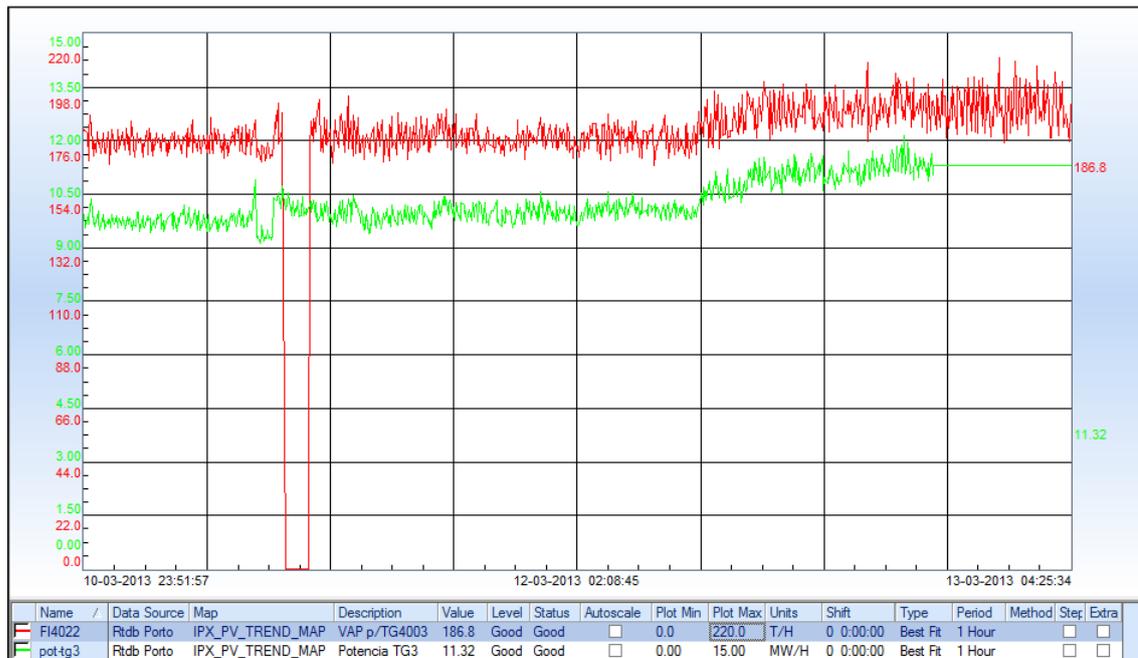


Figura 3.1 - Exemplo de uma ocorrência de um erro na medida de VAP no TG3.

Para além dos erros, são também retirados os momentos em que as unidades se encontram paradas pois nesta situação normalmente não consomem vapor, podendo diferentes unidades ter diferentes reações, e uma vez que os sensores podem detetar alguns resíduos de vapor estes períodos foram retirados para não contribuir para um erro maior. Estes momentos foram também retirados pois esta dissertação focou-se principalmente nos períodos em que as unidades da refinaria se encontram em funcionamento normal e não de arranque ou paragem, uma vez que essas situações deveriam ser estudadas à parte.

3.1.2 -Consumos elétricos

Os consumos elétricos não se encontram armazenados na RTDB tal como os consumos de vapor, tendo apenas acesso a valores de corrente elétrica de algumas bombas e motores de grande dimensão. Para isso recorreu-se às listas disponíveis de equipamentos elétricos (com datas de 1998 e 2003) onde se pode observar a potência instalada, e outros ficheiros de 2009 com informação adicional, onde é possível observar os consumos elétricos de cada unidade

organizado por fábricas/áreas da refinaria. No entanto, verificou-se que alguns destes dados, estão desatualizados pois há equipamentos novos que não se encontram incluídos neste ficheiro e alterações que se efetuaram nas subestações. Foi então necessário a deslocação às respetivas fábricas e reunir com as pessoas responsáveis para se tentar obter estas informações. Depois de se ter acesso aos relatórios diários dos consumos das fábricas concluiu-se que, devido ao facto de estes valores serem relativamente constantes, o ideal seria calcular um valor médio de consumo elétrico para cada unidade. Foram escolhidos diversos valores entre 2012 e 2013 em que a unidade esteve a funcionar com diferentes níveis de carga processada e calculou-se a média e respetivo desvio padrão.

3.2 - Regressão da equação de consumo de vapor

Assim que os dados estiverem filtrados é possível começar a experimentar regressões e determinar equações para as unidades consumidoras de vapor. Para isso será utilizado a ferramenta do *solver* e a função *proj.lin* do *Excel* que permite calcular uma equação, de ordem à escolha, que melhor se adapte ao comportamento dos dados utilizando o método dos mínimos quadrados. É então calculado o erro quadrático, $\varepsilon^2 = (Z' - Z)^2$, e é considerada a minimização da soma dos erros quadráticos como função objetivo. Para se comparar diferentes regressões vão ser utilizados as seguintes medidas: o erro médio quadrático (RMSE), o desvio médio quadrático (RMSD) e o erro médio absoluto percentual (MAPE) que são calculados através das equações seguintes [4, 6].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i)^2} \quad , \quad (3.1)$$

$$RMSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}} \quad , \quad (3.2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Z_i - Z'_i}{Z_i} \right| \quad , \quad (3.3)$$

onde Z_i é o valor do consumo de vapor real, Z'_i é o valor do consumo de vapor previsto, \bar{Z} é o valor médio da previsão e i representa o número de ordem que corresponde a uma determinada data e hora.

Quando a regressão estiver concluída e a equação escolhida é possível utilizar os coeficientes determinados ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$) para calcular um valor de previsão do consumo de vapor:

$$Z'(carga) = \sum_{i=0}^n \theta_i * carga^i \quad \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Z'(carga) = \theta_0 + \theta_1 * carga + \theta_2 * carga^2 + \dots + \theta_n * carga^n \quad , \quad (3.4)$$

onde a carga têm de estar em valores por hora para ser obter valores corretos pois o consumo de vapor é sempre apresentado em t/h. Se o valor for por dia, terá de se dividir a carga por 24 horas.

Com as regressões das equações concluídas e com os valores das cargas, ou matéria-prima, que cada unidade supostamente irá receber, é possível obter valores previstos de consumos de vapor para as unidades e traçar as respetivas curvas que serão apresentadas ao longo da dissertação.

3.3 - Cálculo do balanço total de uma unidade

Para calcular o balanço total de uma unidade será necessário usar os consumos de vapor estimados e o consumo elétrico médio. No entanto o valor de consumo elétrico para o relatório de previsão semanal é em MWh, enquanto os valores de consumos de vapor estão dispostos em t/h. Como já foi referido no capítulo 2, o consumo de vapor de média pressão de uma unidade reflete-se numa produção de energia elétrica no TG3, pois este para produzir vapor de média pressão produz energia ao mesmo tempo. Por isso vai ser feito um estudo sobre o TG3 com o intuito de se saber quanto tem de variar o consumo de vapor da refinaria para haver uma alteração na produção de energia no turbo-grupo de 1 MWh.

Para se calcular o balanço total de uma unidade recorreu-se à seguinte fórmula:

$$Balanço_{total} = CE - \frac{CV}{\lambda} \quad , \quad (3.5)$$

onde CE representa o consumo elétrico da unidade em MWh, CV o consumo de vapor da unidade em t/h e λ é a variável que permite transformar uma quantidade de vapor num aumento ou diminuição da produção de energia em t/MW, tema que ainda vai ser abordado na secção 3.4. Importa salientar o balanço total de uma unidade é o consumo elétrico dessa unidade acrescido das alterações que vão ser provocadas no TG3 devido ao consumo de vapor e ao funcionamento do processo de contra-pressão. Representando assim o consumo residual

de uma unidade, isto é, a energia que terá de ser compensada através do TG2 e/ou importação.

3.4 - Estudo do turbo-grupo 3

Como já foi explicado a refinaria de Matosinhos possui três turbo-grupos capazes de gerar energia elétrica para ser consumida na refinaria. Os turbo-grupos 1 e 3 funcionam em contrapressão, como foi explicado no capítulo 2, e o turbo-grupo 2 em condensação total, isto é, todo o vapor de alta pressão é utilizado para produzir energia elétrica e logo a seguir condensado. Os turbo-grupos 1 e 3 são muito parecidos um com o outro mas como o TG1 é somente de reserva, o único que vai ser motivo de estudo e análise será o TG3 que é o turbo-grupo em funcionamento a maior parte do tempo.

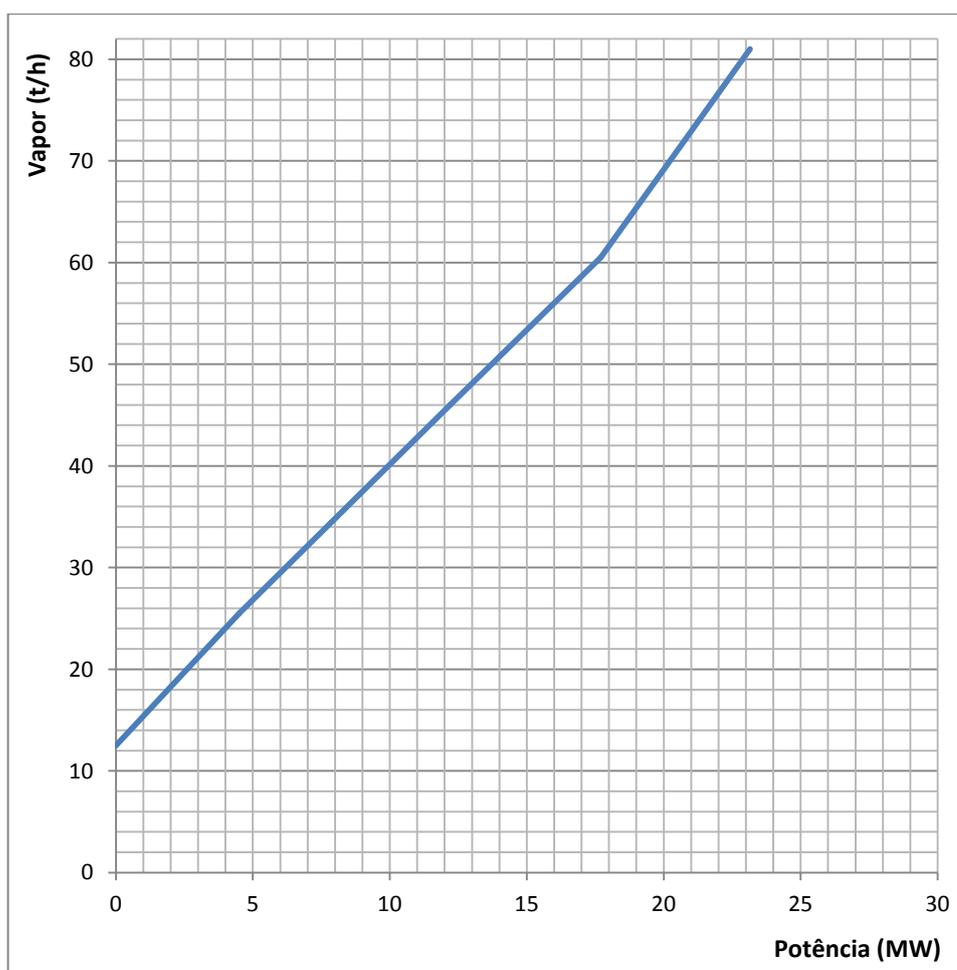


Figura 3.2 - Consumo de vapor do turbo-grupo 3 sem perdas retirado da *datasheet*.

Esta análise tem como principal objetivo descobrir o valor da variável λ da equação (3.5), que vai ser o valor que permitirá transformar uma determinada variação no consumo de vapor de média pressão da refinaria numa determinada energia elétrica que vai ser produzida a mais, ou a menos, no turbo-grupo. Quando se fala numa variação do consumo de VMP da refinaria, fala-se automaticamente numa variação análoga no VAP que entra no turbo-grupo 3 uma vez que estas duas variáveis tem uma relação direta. Com isto vai ser possível expressar uma quantidade de vapor (t/h) em energia (MWh). Na figura 3.2 é possível observar um gráfico, que foi reconstruído a partir de um gráfico antigo (1979) da *datasheet* do TG3, em que é possível ver a relação entre a potência do TG3 e o consumo de vapor.

Com a *datasheet* do turbo-grupo é possível calcular, com alguma precisão, o valor de λ da equação (3.5). Note-se que a figura 3.2 não inclui perdas mas, juntamente com a *datasheet*, existe um documento que descreve um teste feito dia 7 de janeiro de 1980 com o objetivo de saber quanto seriam os valores reais de consumo de vapor. Nesse teste chegou-se à conclusão que para os mesmos valores potência da *datasheet*, o consumo de vapor do TG3 poderia chegar, em alguns momentos, a aproximadamente 3,5 t/h a mais. No entanto essas perdas não irão provocar nenhuma alteração grosseira na variável λ [13].

Através da *datasheet*, escolheram-se alguns pontos do gráfico e registaram-se os seguintes resultados:

Tabela 3.1 - Potência e consumo de VAP do TG3 retirados da *datasheet*.

Potência (MW)	Consumo VAP (t/h)	λ (t/MW)
7,0	115,2	9,9
8,0	125,1	
8,0	125,1	9,9
9,0	135,0	
9,0	135,0	9,9
10,0	144,9	
10,0	144,9	9,9
11,0	154,8	
12,2	165,6	9,9
13,2	175,5	
13,2	175,5	9,9
14,2	185,4	

Note-se que o consumo VAP na figura 3.2 está em kg/s e foi alterado para t/h, através da equação (3.6), pois é a unidade de medida normalmente utilizada pela empresa. A variável λ é simplesmente o declive da reta e é calculado através da equação (3.7).

$$\text{Consumo VMP [t/h]} = \frac{\text{Consumo VMP [kg/s]} * 3600}{1000} \quad , \quad (3.6)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{\text{Consumo VMP}_j - \text{Consumo VMP}_i}{\text{Produção}_j - \text{Produção}_i} \quad . \quad (3.7)$$

Após a análise da *datasheet* chega-se à conclusão que o valor de λ é de aproximadamente 10 t/MW, isto é, cada variação de 10 toneladas no consumo de vapor do TG3 equivale a uma variação de 1 MW na produção de energia. É importante referir que foram considerados valores de potência do TG3 até 15 MW, pois na *datasheet* a partir de 15 MW o TG3 tem um λ diferente. No entanto como os valores de potência do TG3 nunca ultrapassaram os 15 MW, não foi considerada essa possibilidade para o estudo.

Para se confirmar este valor, e como a *datasheet* e os testes realizados tem mais de 30 anos, utilizou-se o programa *Aspen* com ligação à RTDB para se analisar dados reais, mais recentes e com perdas.

Após a análise dos dados retirados da base de dados demonstrados na figura 3.3 é possível verificar que o comportamento do TG3 poderia ser aproximado de uma reta de declive a aproximadamente 10 tal como foi averiguado a partir da *datasheet*. No entanto de acordo com a experiência de diferentes responsáveis da FUT, decidiu-se criar três regimes de trabalho para o TG3 que irá resultar em três valores para a variável λ . Um entre os 4 MW e os 6 MW, outro entre os 6 MW e os 9 MW e finalmente um último regime entre os 9 MW e os 15 MW. Note-se que o TG3 normalmente encontra-se a trabalhar acima dos 9 MW como se pode observar pela maior quantidade de pontos nesse regime, na figura 3.3. Com estes três regimes e calculando uma reta de tendência para cada regime é possível chegar a três valores de λ que permitirão fazer a transformação de uma mudança no consumo de vapor numa mudança na energia produzida no TG3.

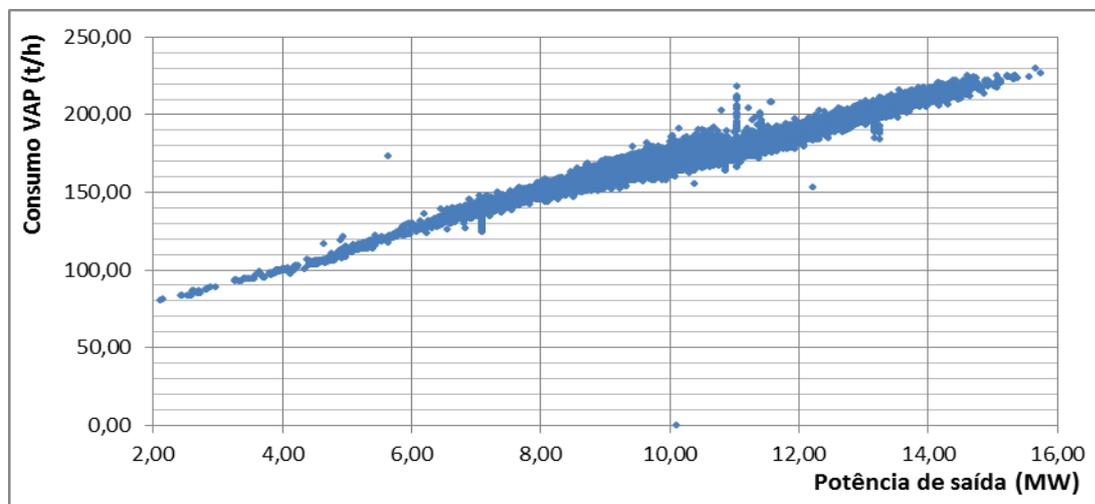


Figura 3.3 - Consumo de VAP e potência de saída do TG3 registadas de 2009 a 2013.

Tabela 3.2 - Valor de λ para os três regimes definidos.

Regime de funcionamento	λ (t/MW)
Regime 1 (4 aos 6 MW)	12,612
Regime 2 (6 aos 9 MW)	11,161
Regime 3 (9 aos 15 MW)	10,397

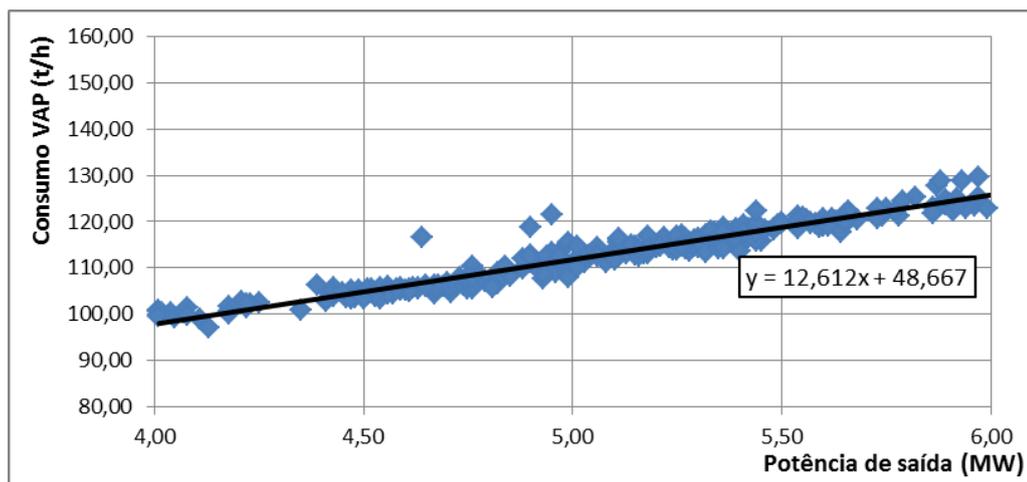


Figura 3.4 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 4 e 6 MW.

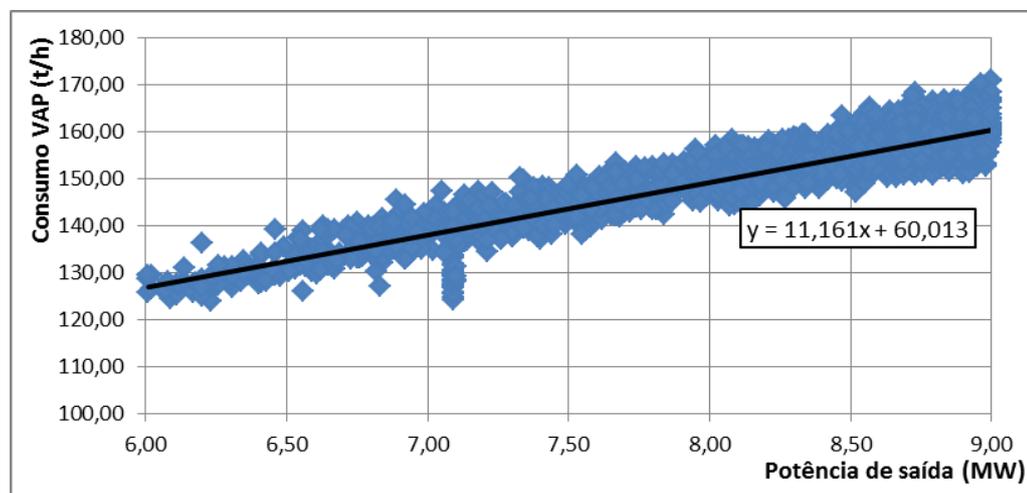


Figura 3.5 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 6 e 9 MW.

22 Metodologia

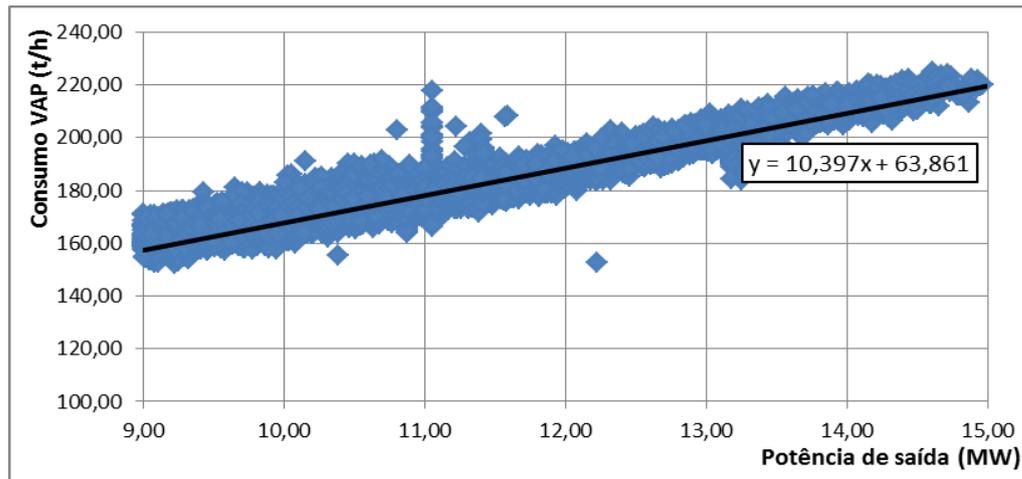


Figura 3.6 - Consumo de vapor do TG3 para potências compreendidas entre 9 e 15 MW.

Os valores de λ da tabela 3.2 correspondem aos declives das retas de tendência criadas para os três regimes de funcionamento do TG3.

Capítulo 4

Resultados da previsão de consumos

No capítulo 2 foi apresentado o complexo industrial da refinaria de Matosinhos, que é composto por diversas fábricas com objetivos e produções diferentes. Por sua vez essas fábricas são compostas por diversas unidades e estas ainda são compostas por diversas subunidades/colunas, daí a complexidade deste projeto e uma das dificuldades a ultrapassar. Devido à enorme extensão da refinaria, foi decidido que a fábrica de aromáticos, a de óleos base e apenas a linha I da fábrica de combustíveis seriam as fábricas estudadas.

As unidades têm associados diferentes tipos de consumos, elétricos e de vapor, sendo o mais importante o de média pressão. De forma a ser possível incluir estes consumos na previsão semanal de cargas é necessário obter/transformar esses dados em MWh pois é a unidade de medida necessária para efeitos de cálculo e comparação. Os consumos elétricos podem ser obtidos de forma mais ou menos direta nesta unidade de medida. No entanto, o consumo de vapor não será tão simples uma vez que depende de diversos fatores, tal como referido anteriormente. Para isso recorreu-se ao estudo feito no capítulo 3 em que se concluiu a utilização de três valores para a variável λ conforme o regime de funcionamento do TG3. Também como já foi referido no capítulo 2, o consumo de vapor de uma unidade reflete-se obrigatoriamente numa produção de energia elétrica no TG3, consequentemente estes consumos de vapor das unidades serão considerados como negativos para ter um efeito de produção e não de consumo de energia elétrica no balanço total da unidade. Uma unidade que consuma muito vapor terá, provavelmente, um balanço total negativo (consumo-produção) e será considerado no plano de previsão semanal como uma unidade produtora de energia elétrica devido aos seus consumos de vapor elevados provocarem uma maior produção de energia elétrica no TG3.

Depois de se ter obtido os dados necessários serão feitas as regressões necessárias para estimar os consumos das unidades, face à carga (matéria-prima) que elas recebem para

puderem produzir os respetivos produtos sejam aromáticos, óleos, solventes, lubrificantes, etc.

4.1 - Fábrica de aromáticos

A fábrica de aromáticos da refinaria de Matosinhos tem atualmente uma produção anual de 440 mil toneladas. Está situada na fileira de produção a jusante da fábrica de combustíveis, sendo desta última que recebe a respetiva carga para depois complementar o processo de refinação, produzindo matéria-prima para a indústria petroquímica e solventes de uso geral.

A fábrica de aromáticos é constituída principalmente por cinco unidades consumidoras de energia elétrica, mais uma que é responsável pela observação e medição das diversas características dos produtos que entram e saem da fábrica. Das cinco unidades consumidoras de energia elétrica, três são também consumidoras de vapor (U-0100, U-0200, U-0500) e que vão ser devidamente tratadas neste capítulo. A U-0400, ao contrário das outras unidades, é produtora de VMP mas também vai ser devidamente analisada.

Na figura 4.1 é apresentado um esquema que descreve de uma maneira resumida o funcionamento processual da FAR, onde é possível ver as ligações entre as unidades assim como os produtos que nelas são produzidos.

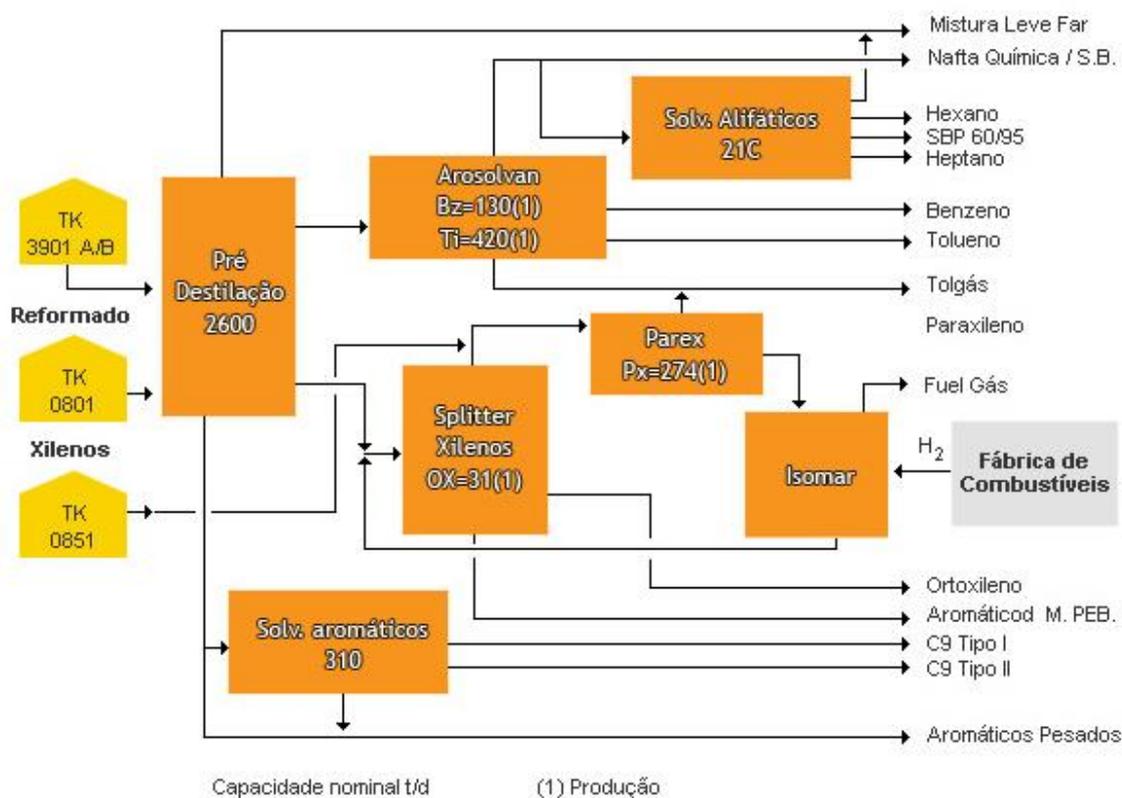


Figura 4.1 - Esquema processual da fábrica de aromáticos [9].

4.1.1 - Unidade 0100

A U-0100 é uma unidade de pré-destilação e é normalmente alimentada com o reformado, efluente da reforma catalítica, produzido na fábrica de combustíveis. É constituída por três colunas de destilação em série, que separam a alimentação nas seguintes correntes processuais: fração 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 enquanto os aromáticos pesados são usados como matéria-prima na unidade solventes U-0500 para produção de solventes industriais aromáticos C9+ tipo I e II, e como componente de gasolinas na refinaria [9].

Das três colunas referidas, duas são consumidoras de vapor de média pressão que fazem com que o consumo desta unidade seja em média 9,7 t/h. De seguida é mostrado um gráfico em que se pode observar o consumo de vapor total da unidade dependendo da matéria-prima que está a entrar na primeira coluna da série.

A Figura 4.2 mostra a evolução da carga e do consumo de VMP da unidade U-0100 durante 650 dias. Analisando esta figura é possível observar que, no período em questão, ela esteve desligada duas vezes. Tendo em conta o que foi referido no capítulo 3, do conjunto de dados foram retiradas as situações em que a unidade se encontrava parada, uma vez que na previsão semanal se considera nestas situações que a unidade não consome vapor de média pressão. É também importante referir que os dados retirados da RTDB podem conter erros de medida, e será necessário filtrar esses erros para se obter uma regressão mais precisa.

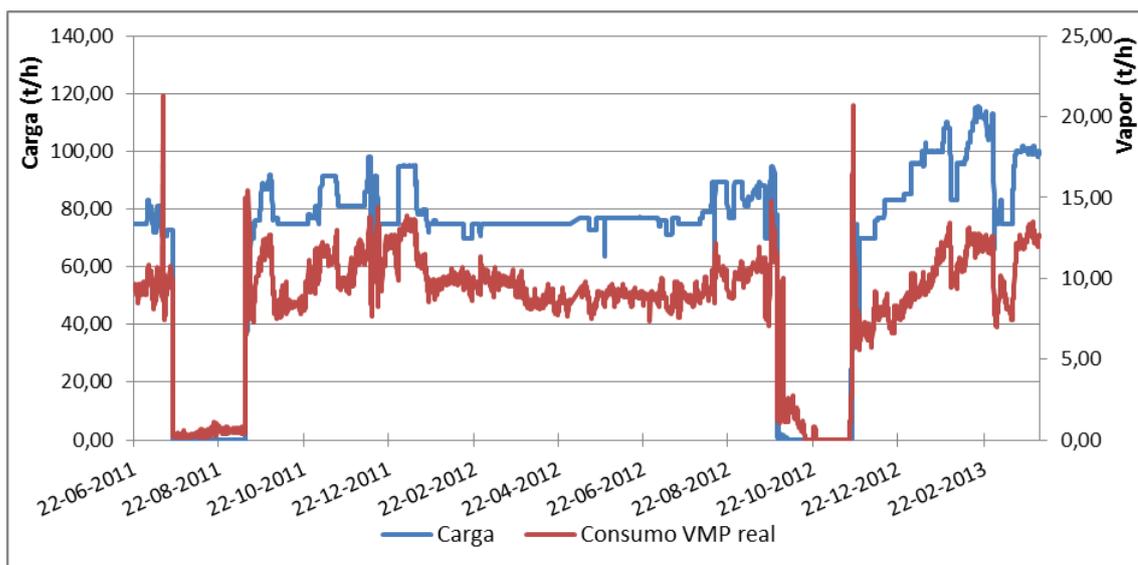


Figura 4.2 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0100.

26 Resultados da previsão de consumos

Foram então filtrados os dados que não eram considerados válidos e que contribuiriam para um aumento do erro quadrático. Desta forma realizou-se uma regressão de uma equação de 2ª ordem em que se tenta prever o consumo de vapor de média pressão da unidade tendo como variável de entrada a quantidade de matéria-prima utilizada. Haveria a possibilidade de se usar uma equação de ordem maior mas a complexidade da equação não compensava na qualidade da regressão, ou seja, não contribuiu para a diminuição do erro médio quadrático.

Tabela 4.1 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-0100.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
-0,00209	0,47735	-14,8462	0,09121	0,90923	7,29406

Com estes coeficientes da tabela 4.1 é possível estimar, o consumo de vapor da unidade usando a equação (3.4):

$$\text{Consumo VMP regressão} = -0,00209 * \text{carga}^2 + 0,47735 * \text{carga} - 14,8462 \quad .$$

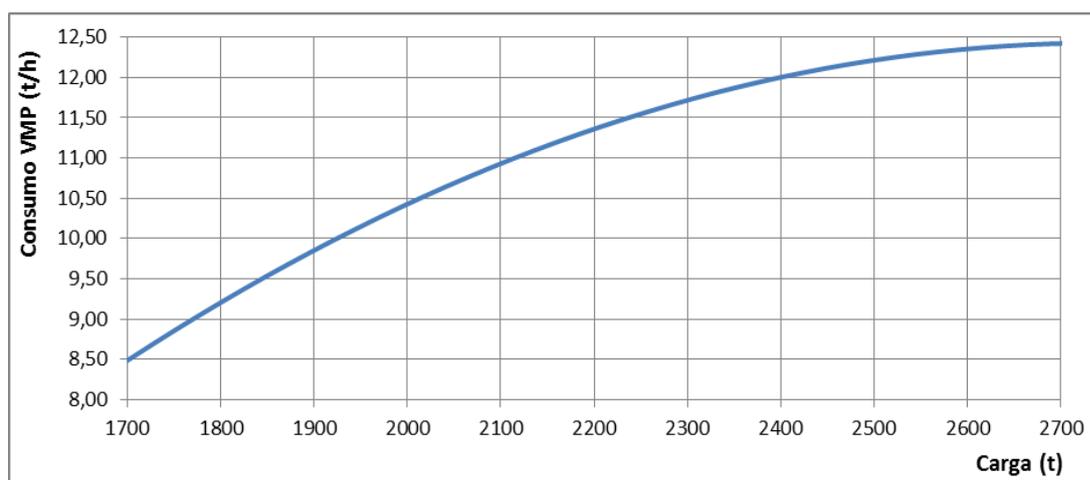


Figura 4.3 - Curva do consumo de vapor da U-0100 relativamente à carga processada por dia.

Na Figura 4.4 é possível observar o consumo real (Consumo VMP real) e a previsão do consumo (Consumo VMP regressão) de vapor de média pressão da U-0100. Como seria de esperar esta previsão não é perfeita, sendo o erro médio percentual de 7,29%. Note-se que, como foi referido no capítulo 3, uma alteração de 10 t/h no consumo global de vapor da refinaria corresponde a uma alteração na produção de aproximadamente 1 MWh, logo 1 t/h corresponde a apenas 0,1 MWh. Este valor pode ser um pouco diferente consoante o regime de carga que o TG3 se encontra a trabalhar.

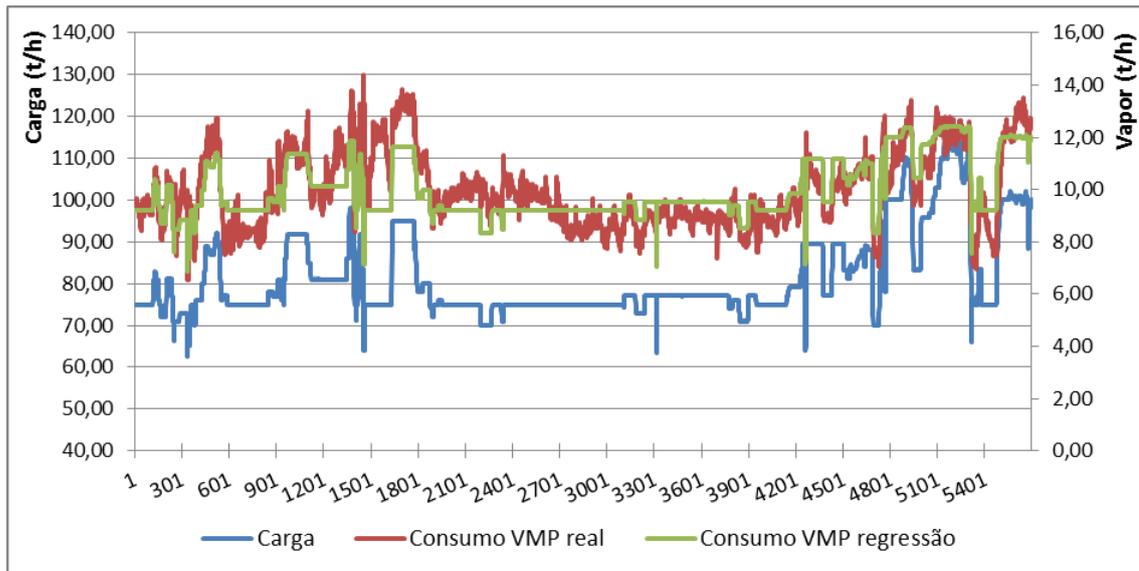


Figura 4.4 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0100.

Apesar de se verificar que esta unidade tem uma relação forte entre a quantidade de carga que está a entrar e o vapor que está a consumir, nota-se no gráfico em cima que para níveis de carga iguais, mas em altura diferentes, parece haver reações diferentes no consumo de vapor, mais concretamente antes e depois de 22 de outubro 2012 que foi quando ela voltou a funcionar depois de uma longa paragem. Esta particularidade deve-se provavelmente ao facto de o tipo de matéria-prima que entra na unidade não ser totalmente igual nas duas fases, isto é, a composição da carga que vem da fábrica de combustíveis é diferente. Quando se refere à composição, fala-se de uma carga mais “pesada” ou mais “leve”, assim como quando se fala em crude também há vários tipos com diferentes densidades relativas (grau API). Desta forma quando a matéria-prima que a unidade está a utilizar tem uma densidade maior, esta provavelmente vai exigir mais vapor de média pressão para aquecer a carga e o contrário deve acontecer em situações inversas. Esta situação será referida mais à frente na dissertação, na secção onde se propõe algumas estratégias que a empresa poderia implementar para melhorar a previsão semanal.

Após se ter as equações do consumo de vapor, é possível através da equação (3.5), explicada no capítulo 3, transformar o consumo de vapor numa produção de energia no TG3 e desta forma calcular o balanço total da unidade 0100. Contactando diferentes responsáveis na fábrica de aromáticos, foram obtidas várias medições do consumo elétrico da fábrica dividido por unidades. Como este consumo não apresenta grandes desvios, calculou-se a média e o determinado desvio padrão associado que resultou no valor de 1046,09 kWh com um desvio padrão de 51,83 para o consumo elétrico (CE) desta unidade.

Tabela 4.2 - Consumo elétrico médio para a U-0100.

U-0100		
Data	Carga (t/h)	ConsEE médio (kWh)
01-01-2012	95	1036,79
02-01-2012	95	1049,17
03-01-2012	95	1057,08
04-01-2012	95	1026,08
05-01-2012	95	991,88
06-01-2012	95	1034,08
08-01-2012	95	1034,75
09-01-2012	95	1038,75
25-03-2012	75	1043,25
25-01-2013	110	1033,29
31-01-2013	83	1050,88
08-02-2013	97	1067,75
09-02-2013	100	1038,25
10-02-2013	102	1046,00
11-02-2013	103	1035,75
12-02-2013	105	1048,29
13-02-2013	109	1012,58
14-02-2013	110	987,42
03-06-2013	112	1243,75
Média		1046,09
Desvio padrão		51,83

Tendo a equação do consumo de vapor já apresentada anteriormente pode-se proceder ao cálculo do balanço total.

$$Balanço_{total} = 1,04609 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{0100}}{\lambda} \right) .$$

Através da equação do balanço total é possível traçar as curvas, para os diferentes regimes do TG3, que representam os consumos totais da unidade em condições normal de funcionamento. A partir de um determinado valor de carga que a unidade recebe irá corresponder um valor de balanço que posteriormente irá entrar no diagrama de previsão semanal da refinaria.

Na figura 4.5 é possível verificar que, devido às variações na quantidade de matéria-prima que a unidade utiliza, o balanço total pode variar quase 0,4 MWh. Esses 0,4 MWh vão obviamente alterar o diagrama da energia importada e trata-se apenas de uma só unidade em questão. O sistema que estava anteriormente a ser usado pela empresa não demonstrava estas variações de consumo de vapor e suas respectivas alterações na produção de energia do TG3, uma vez que era utilizado um valor médio de consumo de vapor da unidade. Note-se que 0,4 MWh pode corresponder a quase 1,5% do consumo elétrico total da refinaria aproximadamente 3% da energia importada.

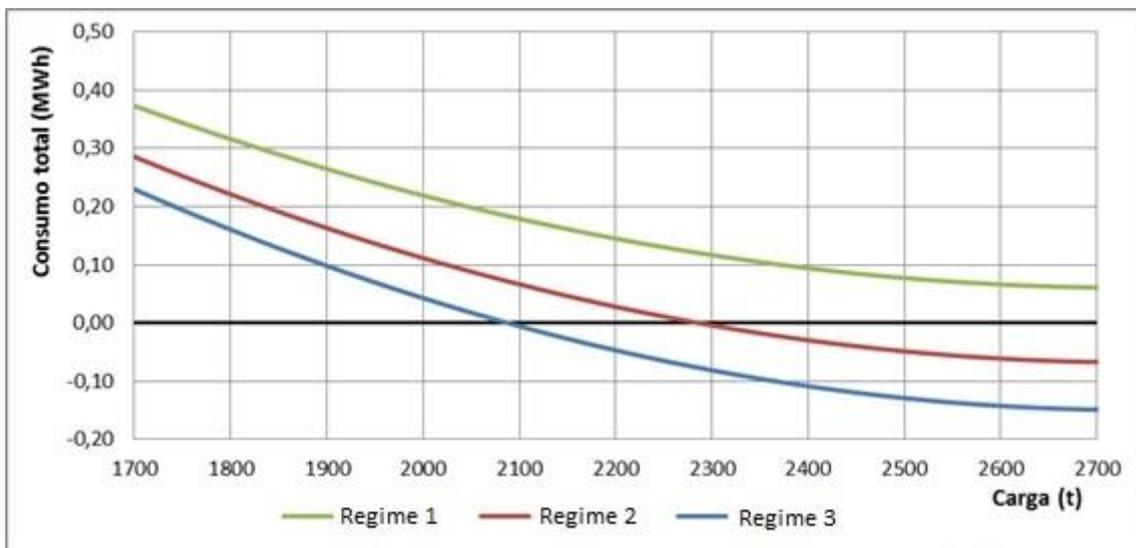


Figura 4.5 - Curvas do balanço total da U-0100 relativamente à carga processada por dia.

4.1.2 - Unidade 0200

A U-0200, Arosolvan, é uma unidade composta por três subunidades tendo cada uma delas três colunas em serie/paralelo e trata o corte C6/C7 proveniente da U-0100. Os componentes alifáticos (não-aromáticos) são separados dos aromáticos por extração líquido-líquido, usando como solvente a N-metil-2-pirrolidona. O extrato, após recuperação do solvente por destilação e lavagem com a 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 é devolvida à refinaria como componente de nafta química e gasolinas [9].

Das 9 colunas principais referidas, seis destas são consumidoras de vapor e que fazem desta unidade a que consome mais vapor na fábrica de aromáticos, tendo uma média de 33,7 t/h quando em funcionamento normal. Na figura 4.6 é possível observar o consumo de vapor utilizado e a carga, ou matéria-prima, que entra na unidade.

30 Resultados da previsão de consumos

Como se pode ver pela figura 4.6, estes dados continham alguns erros de medida que tiveram de ser filtrados para poderem ser analisados e posteriormente fazer a regressão da equação do consumo de vapor que permite mais tarde caracterizar o funcionamento normal da unidade na previsão semanal.

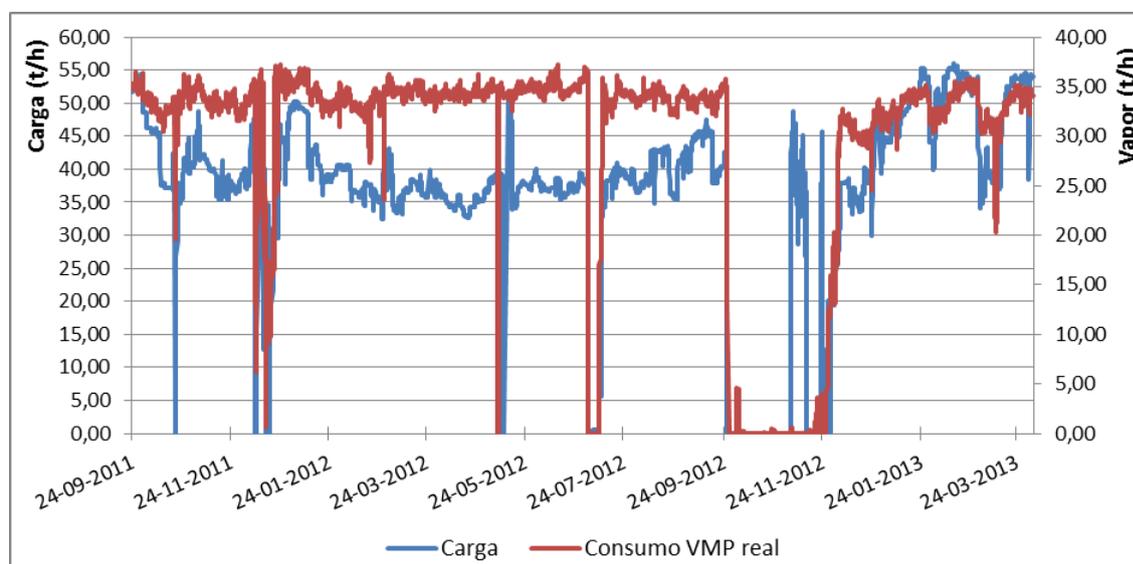


Figura 4.6 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0200.

Com uma regressão polinomial de 2ª ordem chegou-se aos seguintes coeficientes:

Tabela 4.3 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-0200.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,00134	-0,08045	34,7592	0,03970	1,34113	3,11523

Com estes coeficientes da tabela 4.3 é possível estimar o consumo de vapor de média da unidade com o recurso à equação (3.4):

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,00134 * \text{carga}^2 - 0,08045 * \text{carga} - 34,7592$$

Tal como a U-0100, apesar de o consumo de vapor depender fortemente da quantidade de carga que está a entrar na unidade, o tipo de carga também vai alterar a necessidade de vapor da unidade. Este acontecimento já foi explicado anteriormente mas nesta unidade as consequências vão ser maiores uma vez que esta a U-0200 necessita de grandes quantidades de vapor de média pressão. Neste caso, seria especialmente importante implementar a estratégia de incluir uma variável para descrever a constituição da carga. Se a carga for constituída por produtos com densidades maiores ou menos, vai percutir alterações com um

peso substancial no consumo de VMP desta unidade, daí o erro médio quadrático ser superior ao da unidade anterior, apesar do desvio médio quadrático e o erro percentual médio serem mais pequenos.

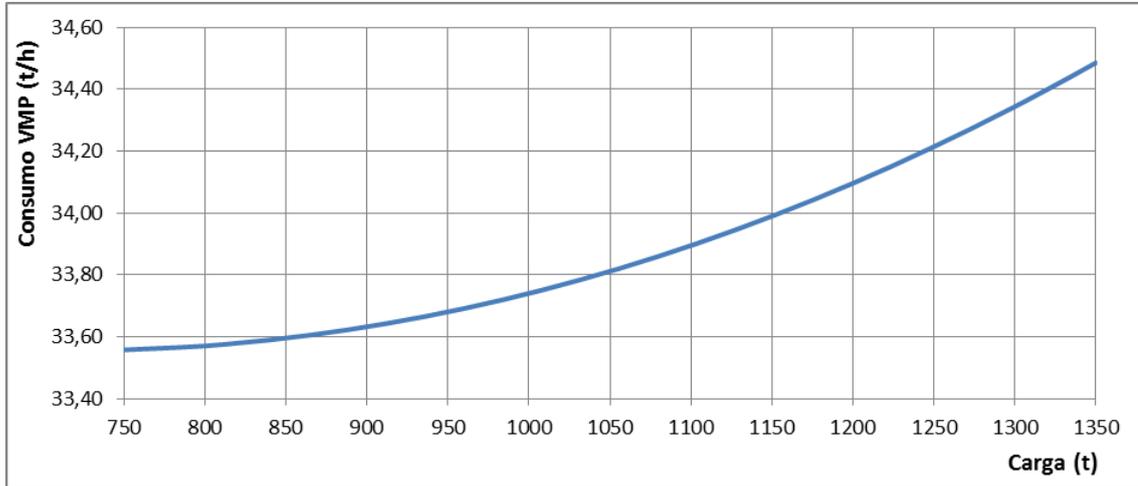


Figura 4.7 - Curva do consumo de vapor da U-0200 relativamente à carga que processa por dia.

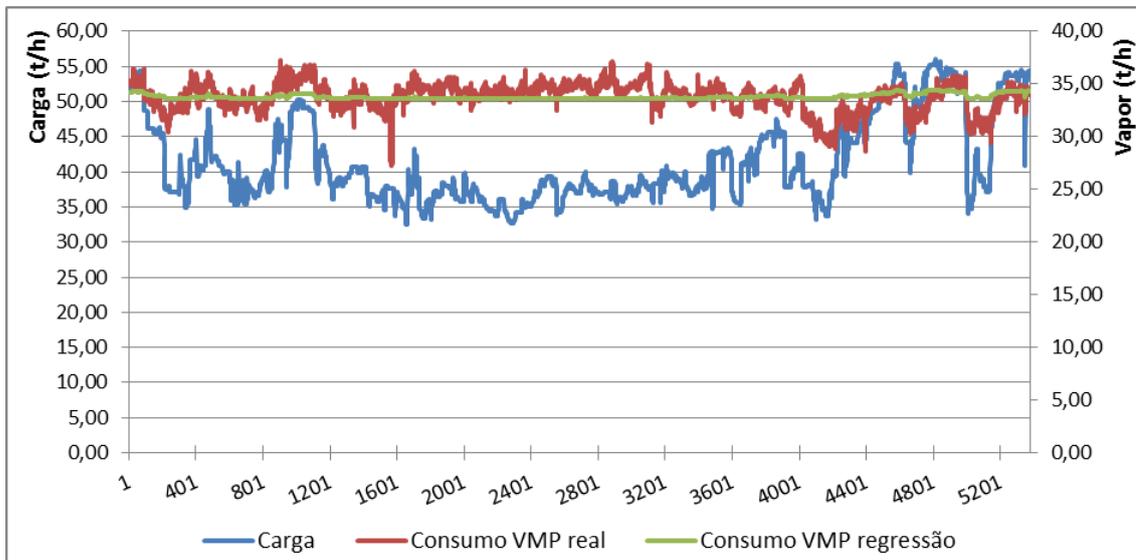


Figura 4.8 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0200.

Depois de se ter realizado as regressões da equação de consumo de vapor da unidade, utiliza-se a equação (3.5) para se calcular o balanço total da unidade 0200. A partir da tabela 4.4 é possível calcular o consumo elétrico para a unidade 0200.

$$Balanço_{total} = 0,43544 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{0200}}{\lambda} \right) .$$

32 Resultados da previsão de consumos

Tabela 4.4 - Consumo elétrico médio para a U-0200.

U-0200		
Data	Carga (t/h)	ConsEE (kWh)
01-01-2012	49	395,83
02-01-2012	49	402,08
03-01-2012	50	422,08
04-01-2012	50	485,83
05-01-2012	49	474,17
06-01-2012	49	488,33
08-01-2012	49	469,17
09-01-2012	49	470,00
25-03-2012	36	437,08
25-01-2013	55	415,00
31-01-2013	43	354,17
08-02-2013	53	427,08
09-02-2013	54	413,75
10-02-2013	55	422,08
11-02-2013	55	414,58
12-02-2013	55	429,58
13-02-2013	55	468,33
14-02-2013	55	538,33
03-06-2013	54	345,83
Média		435,44
Desv.pad		47,11

Através da equação do balanço total, é possível traçar as curvas correspondente, para os três regimes de funcionamento do TG3 abordados nesta dissertação.

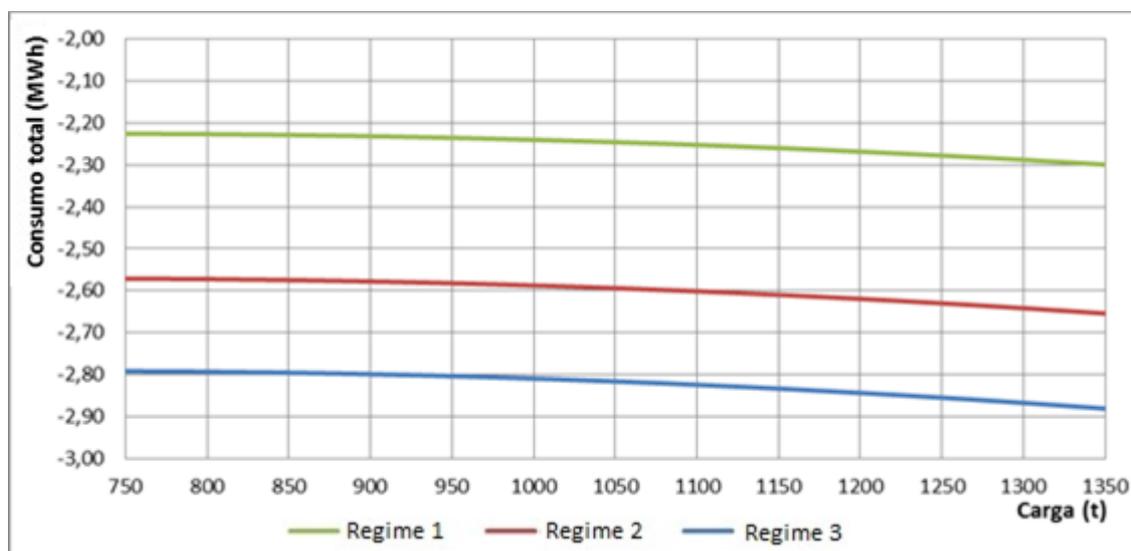


Figura 4.9 - Curvas do balanço total da U-0200 relativamente à carga processada por dia.

Esta unidade, como é a que consome mais vapor da fábrica de aromáticos, seria importante aferir as equações de consumo de vapor pois como é consumido mais vapor, o erro da previsão vai ser mais significativo nos consumos de vapor e conseqüentemente na energia produzida no TG3. Seria especialmente importante nesta unidade haver uma variável que descreve-se a constituição ou tipo de carga (matéria-prima), para a estimação do consumo de VMP ser mais fiável.

Com a equação de consumo de vapor descoberta, o balanço total desta unidade oscila aproximadamente 0,1 MWh, como se pode observar na figura 4.9. No entanto, devido ao erro da regressão é possível que o consumo de vapor previsto tenha uma divergência de 4 t/h do valor real, o que pode provocar oscilações de quase 0,4 MWh no diagrama de carga resultantes do erro da previsão.

4.1.3 -Unidade 0400

A U-0400, denominada de Isomar, é constituída por principalmente por 3 colunas e o compressor C-0401. Esta unidade recebe uma mistura pobre em paraxileno proveniente da U-0300, essencialmente constituída pelos isómeros (substâncias que apresentam fórmulas moleculares idênticas mas estruturas diferentes) orto e metaxileno e por etilbenzeno, segue para um reator 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 ortoxileno como produto final e a restante corrente de C8's (rica em paraxileno) retorna à U-0300 [9].

Destes 4 equipamentos referidos apenas o compressor consome vapor, mas este tem uma característica que o torna diferente das unidades consumidoras de vapor de média pressão usuais. O C-0401 é um compressor que consome VAP e transforma parte deste em VMP. Isto provoca algumas alterações no processo normal descrito nos capítulos anteriores. Como foi referido no capítulo 2, o consumo de vapor de média pressão na refinaria é transformado numa determinada quantidade de energia produzida mas, uma vez que o C-0401 produz VMP, vai diminuir no TG3 a energia elétrica produzida pois este só produz o equivalente à necessidade de VMP da refinaria e o compressor está a fornecer VMP à refinaria.

O C-0401 consome em média 18 a 33 t/h de vapor de alta pressão e deste produz entre 14 a 28 t/h de vapor de média pressão, tendo como valor médio aproximadamente 16 t/h de vapor que é fornecido ao circuito de vapor da refinaria e que não é produzido na fábrica de utilidades, mas sim no compressor da fábrica de aromáticos. Isto vai provocar uma alteração de sinal na equação (3.5) e que neste caso passa a ser:

$$Balanço_{total} = CE + \frac{PV}{\lambda} \quad , \quad (4.1)$$

34 Resultados da previsão de consumos

onde o balanço total é representado em MWh, CE o consumo elétrico da unidade em MWh, PV a produção de vapor de média pressão no compressor C-0401 em t/h e λ é a variável que permite transformar uma quantidade de vapor numa produção de energia em t/MW.

Na figura que vai ser apresentada a seguir é possível ver a relação entre a matéria-prima que é processada na unidade 0400 e o vapor de média pressão produzido no C-0401.

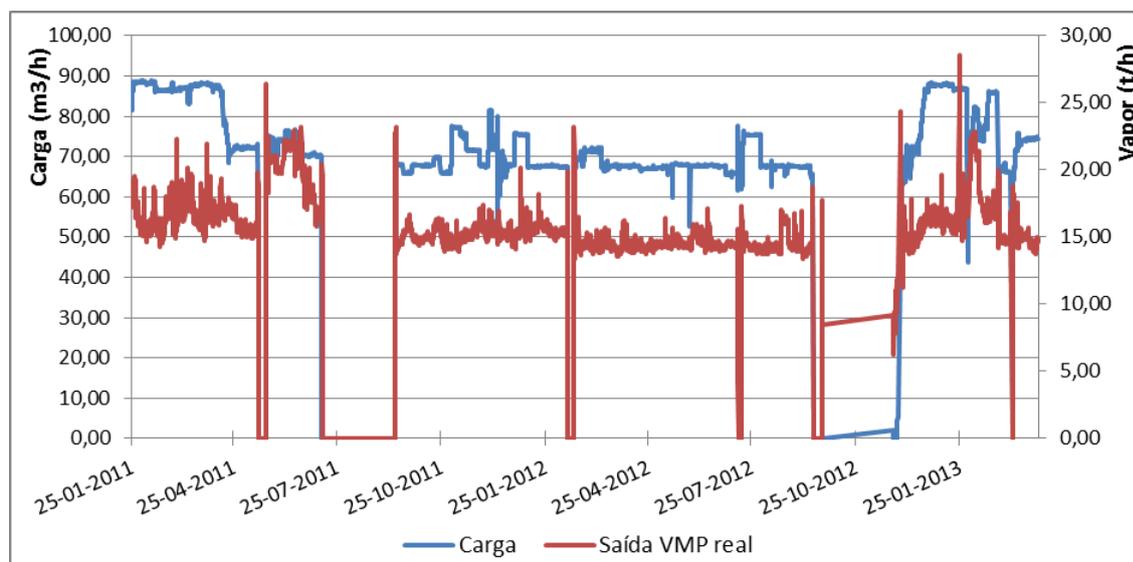


Figura 4.10 - Gráfico relativo à carga e produção de VMP da U-0400.

Para a realização da regressão foram filtrados os erros, da base de dados ou dos sensores e medidores, e os períodos em que a unidade esteve parada como já foi referido anteriormente. Note-se que há um período, no final do ano 2012, em que a unidade 0400 parece não estar a receber matéria-prima mas o compressor está a produzir VMP, isto é um erro dos valores recolhidos uma vez que na base de dados a variável que avalia a qualidade dos valores das medições, classificava-os como inválidos.

É possível também verificar na figura 4.10 que a produção de VMP no compressor não depende completamente da matéria-prima que a U-0400 está a receber, havendo mesmo situações em que a carga que entra na unidade mantém-se constante mas no entanto o compressor produz mais ou menos vapor. Isto deve-se a fatores internos e externos que podem provocar alterações no C-0401 mas não no resto das unidades. Aqui talvez fosse relativamente importante aprofundar este assunto uma vez que estes desvios podem ser, em alguns casos, significativos. No entanto este assunto cai fora do âmbito desta dissertação e, como tal, não será aqui aprofundado.

No entanto, com o material e dados fornecidos, fez-se uma regressão polinomial de 2ª ordem tendo-se chegado aos seguintes coeficientes.

Tabela 4.5 - Coeficientes da equação de produção de vapor para a U-0400.

Θ_2	Θ_1	Θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
-0,00752	1,25162	-35,1867	0,10047	1,58137	6,48459

Com estes coeficientes da tabela 4.5 é possível estimar a produção de vapor de média do compressor com o recurso à equação (3.4):

$$\text{Produção VMP regressão} = -0,00752 * \text{carga}^2 + 1,25162 * \text{carga} - 35,1867 \text{ .}$$

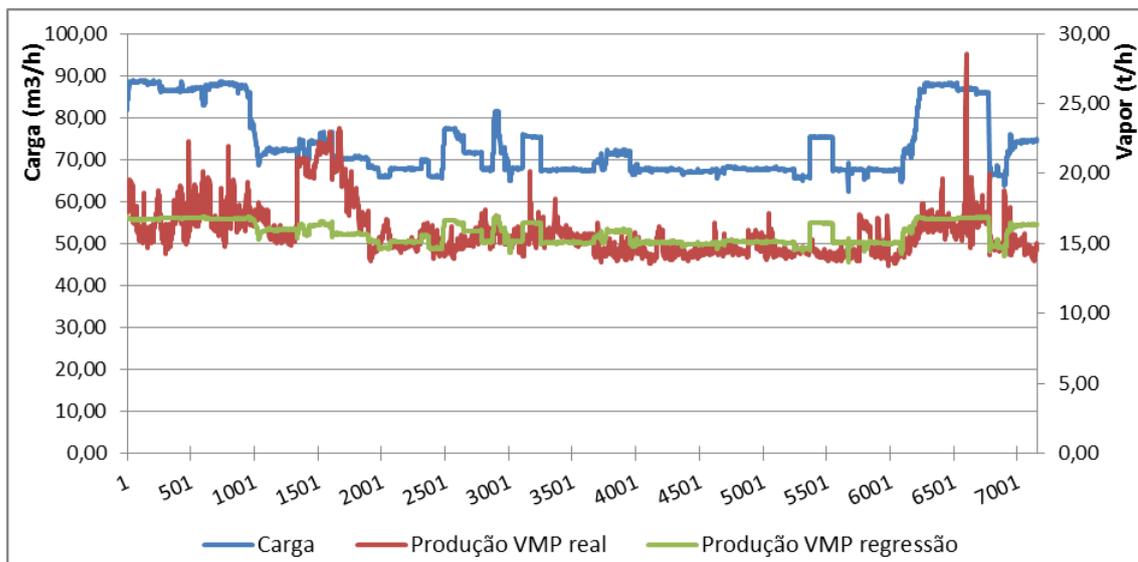


Figura 4.11 - Gráfico da produção de vapor real e da regressão realizada para a U-0400.

A análise da tabela 4.5 mostra que o desvio médio quadrático é bastante superior ao das unidades 0100 e 0200. A razão para isto é, como já foi referido, relaciona-se com as alterações na produção de VMP do compressor mesmo quando a carga da unidade se mantém constante, que são nitidamente visíveis na figura 4.11. Embora seja possível que a matéria-prima que entra na unidade seja mais “leve” ou mais “pesada”, conforme a densidade da carga, o que afetará mais este acréscimo do erro são as alterações bruscas que ocorrem no C-0401.

Para se tentar diminuir o erro da regressão desta unidade, o ideal seria descobrir os fatores que afetam o comportamento do C-0401 e que fazem com que este consuma mais ou menos vapor de alta e conseqüentemente produza mais ou menos vapor de média pressão. Sabendo isso, e tendo acesso a um histórico dos valores destas variáveis equivalente ao das outras variáveis, seria possível fazer uma regressão de multivariável que possibilitaria prever a produção de VMP do compressor com uma maior precisão. No entanto, como já foi referido, este assunto cai fora do âmbito deste trabalho e requer, para além disso, um conhecimento profundo sobre o compressor C-0401.

36 Resultados da previsão de consumos

Para se calcular o consumo elétrico da unidade recorreu-se às medições apresentadas na tabela 4.6 tendo-se obtido o valor de 0,76838 MWh.

Tabela 4.6 - Consumo elétrico médio para a U-0400.

U-0400		
Data	Carga (m3/h)	ConsEE (kWh)
01-01-2012	76	782,79
02-01-2012	76	790,83
03-01-2012	76	783,33
04-01-2012	76	780,54
05-01-2012	76	768,79
06-01-2012	75	785,92
08-01-2012	75	781,29
09-01-2012	75	781,33
25-03-2012	68	772,08
25-01-2013	87	769,67
31-01-2013	85	764,54
08-02-2013	82	758,92
09-02-2013	82	742,42
10-02-2013	80	757,58
11-02-2013	77	742,17
12-02-2013	74	751,33
13-02-2013	74	755,63
14-02-2013	74	762,50
03-06-2013	67	767,58
Média		768,38
Desv.pad		14,55

Depois se de ser obtido o consumo elétrico e a equação da produção de vapor do compressor, transforma-se essa produção de vapor numa diminuição da produção de energia no TG3, como já foi referido na metodologia, e calcula-se o balanço total desta unidade.

$$Balanço_{total} = 0,76838 + \left(\frac{\text{Produção VMP regressão}_{0400}}{\lambda} \right)$$

Note-se que no balanço total desta unidade, o vapor é somado uma vez que é uma produção e não um consumo. Através da equação em cima, é possível traçar as curvas que representa o consumo elétrico e de vapor total da unidade para três regimes de funcionamento do TG3 definidos.

Como é possível ver no gráfico da figura 4.12, o balanço total desta unidade pode variar até quase 0,2 MWh podendo ter um erro percentual de $\approx 6,5\%$. Esta variação pode não parecer muito grande mas é preciso ter em consideração que se trata de *Megawatts* e 0,2 MWh pode representar quase 1% do consumo total da refinaria.

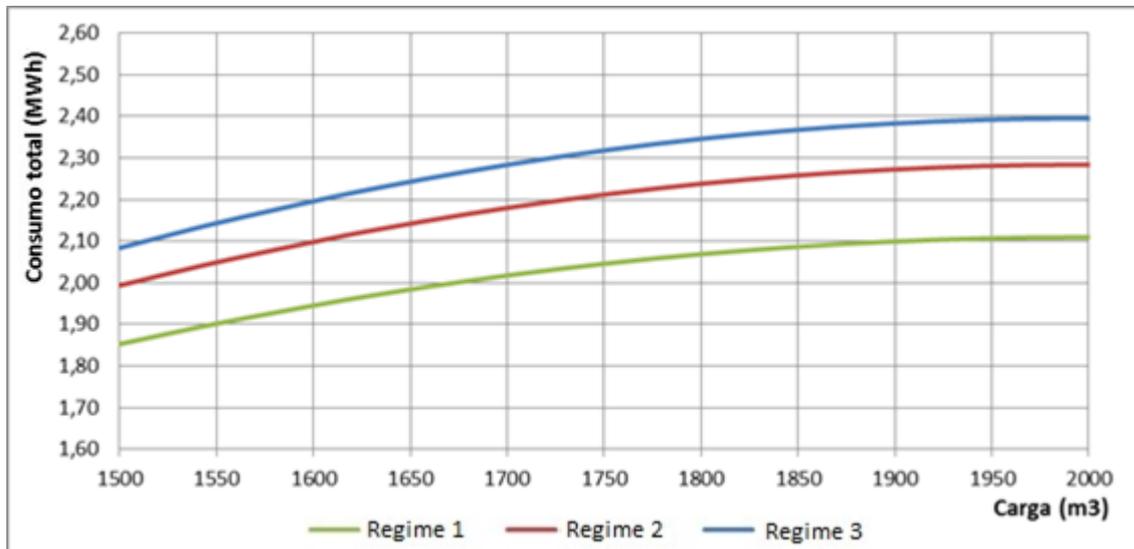


Figura 4.12 - Curvas do balanço total da U-0400 relativamente à carga processada por dia.

4.1.4 - Unidade 0500

A unidade de Solventes, U-0500, é capaz de funcionar com duas matérias-primas diferentes, com o objetivo de produzir produtos diferentes conforme as necessidades e objetivos da empresa. Funciona alternadamente produzindo por destilação do refinado da unidade Arosolvan (U-0200) solventes alifáticos, designadamente hexano e heptano, ou solventes aromáticos, tais como C9 tipo I e II, por destilação da corrente de aromáticos pesados provenientes da unidade de Pré-destilação (U-0100). Estes solventes são usados por outras indústrias e servem para aumentar o volume de certos produtos, diminuindo assim a concentração de tintas, vernizes, lacs e quaisquer outros produtos resinosos tendo também uso nos manufaturados de borracha e produtos de limpeza geral [9].

Esta unidade tem uma característica peculiar, ela funciona alternadamente com duas matérias-primas distintas, como já foi dito, e conseqüentemente tem valores de consumo de vapor de média pressão bastante diferentes. Isto permite ou criar uma nova variável que identifique o produto que está a ser usado na unidade, ou então fazer duas regressões diferentes para os dois produtos diferentes. Como no *Excel* da previsão semanal, já em construção pela empresa, existe uma coluna auxiliar em que se encontra “Hexano” ou “C9”, conforme a matéria-prima usada, optou-se por criar duas regressões distintas para descrever

38 Resultados da previsão de consumos

o consumo de VMP da unidade. Desta forma, com a implementação de uma função *IF do Excel*, é possível utilizar a equação mais conveniente nas alturas corretas.

A U-0500 é composta por 3 colunas, sendo duas destas consumidoras de vapor de média pressão, e gasta em média 4,4 t/h de VMP quando funciona em “Hexano” e 8,3 t/h quando em “C9”. O C9 como é um produto mais pesado, com uma densidade maior, é necessário uma maior quantidade de vapor para ocorrer a sua destilação. Na figura seguinte é possível ver o consumo de vapor da unidade 0500 durante um determinado período de tempo.

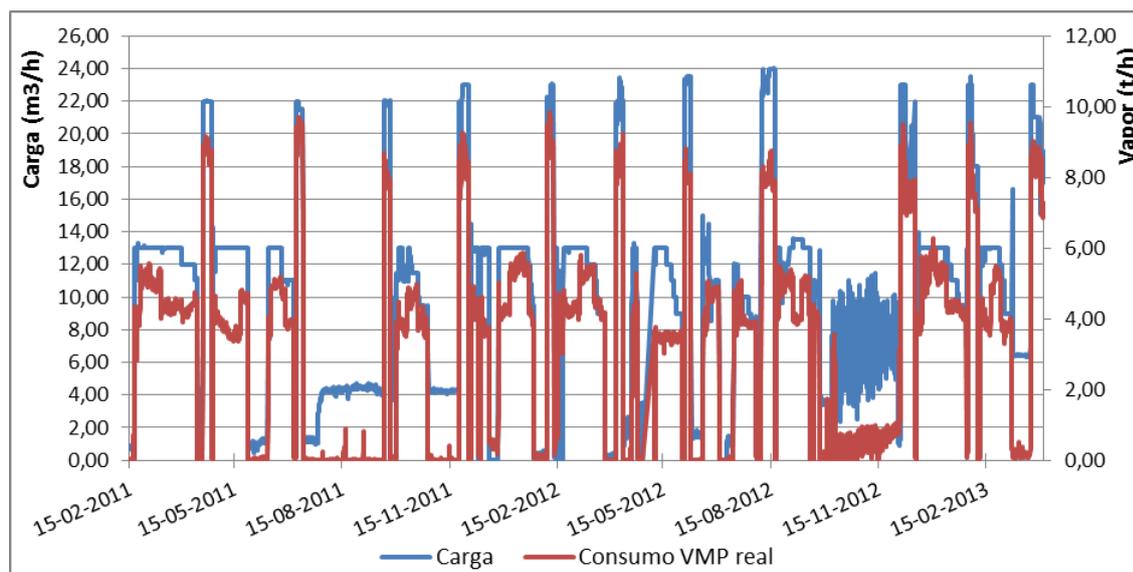


Figura 4.13 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-0500.

É possível ver no gráfico da figura 4.13 que a unidade funciona de duas maneiras distintas, daí a necessidade de se fazer duas regressões. Para isso foi necessário proceder à habitual filtragem dos dados, retirando os valores classificados como *invalid* e retirando também as alturas em que a unidade está desligada uma vez que a dissertação foca-se mais no funcionamento normal da unidade. Em seguida separou-se os períodos em que a unidade funcionava em modo “Hexano” dos que funcionava em modo “C9”. Com os dados que resultaram deste processo procedeu-se à regressão das equações, de 2º grau, do consumo de vapor da U-0500.

Tabela 4.7 - Coeficientes das equações de consumo de vapor para a U-0500.

Funcionamento	θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
Hexano	-0,02738	0,74359	-0,54083	0,13669	0,60101	11,7229
C9	-0,08775	3,77947	-32,1126	0,06225	0,51842	5,12527

Com estes coeficientes da tabela 4.7 é possível estimar o consumo de vapor de média da unidade com o recurso à equação (3.4) para ambos os casos.

$$\text{Consumo VMP regressão (Hexano)} = -0,02738 * \text{carga}^2 + 0,74359 * \text{carga} - 0,54083 \quad ,$$

$$\text{Consumo VMP regressão (C9)} = -0,08775 * \text{carga}^2 + 3,77947 * \text{carga} - 32,1126 \quad .$$

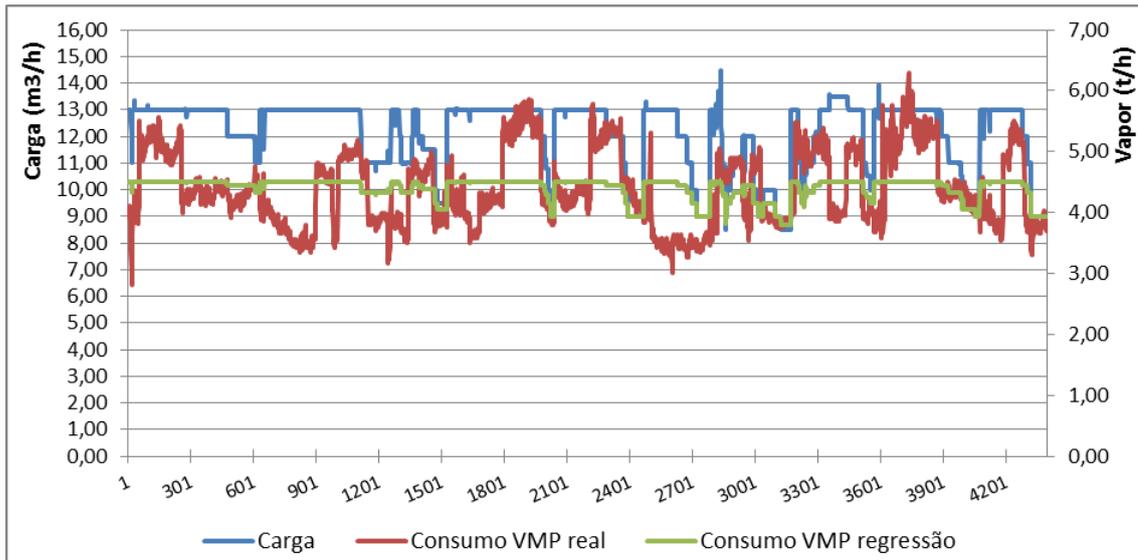


Figura 4.14 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0500 em modo "Hexano".

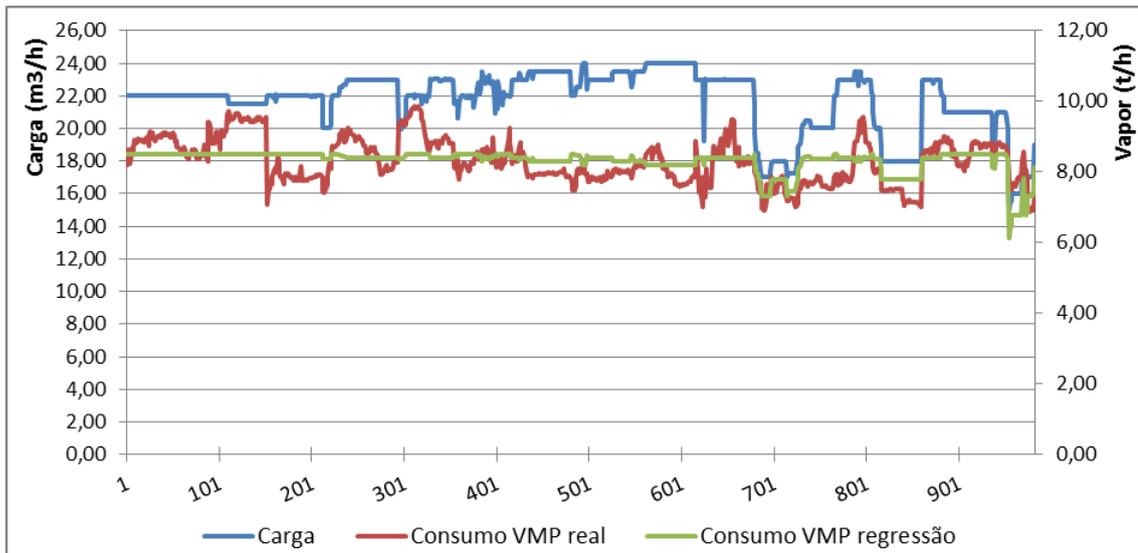


Figura 4.15 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-0500 em modo "C9".

Observando a tabela 4.7, note-se que o desvio médio quadrático em modo "Hexano" é bastante superior ao modo "C9". A razão desta diferença pode ser observada nas figuras 4.14

40 Resultados da previsão de consumos

e 4.15 onde é possível ver que em modo “Hexano” o consumo de vapor tem várias variações que não dependem somente da carga. Apesar destes erros as duas regressões são bastante aceitáveis pois a U-0500 é a unidade que consome menos vapor da FAR, daí ter um peso mais pequeno nos consumos globais. O facto de haver a separação entre o funcionamento em “Hexano” e em “C9” faz com que as equações resultantes para efetuar as previsões tenham uma fiabilidade maior.

Depois de ser ter as equações capazes de efetuar uma previsão do consumo de vapor para as diferentes cargas é necessário calcular o consumo elétrico da unidade para posteriormente calcular o balanço total. Através das medições realizadas conclui-se o valor de 0,12622 MWh para o modo “Hexano” e 0,185 MWh para o modo “C9”.

Tabela 4.8 - Consumo elétrico médio para a U-0500.

U-0500		
Data	Carga (m ³ /h)	ConsEE (kWh)
01-01-2012	13	125,00
02-01-2012	13	126,25
03-01-2012	13	122,50
04-01-2012	13	122,08
05-01-2012	13	125,00
06-01-2012	13	147,92
08-01-2012	13	145,00
09-01-2012	13	145,83
25-03-2012	9	111,25
25-01-2013	10	116,67
31-01-2013	23	178,33
08-02-2013	Unidade parada	
09-02-2013	Unidade parada	
10-02-2013	13	114,17
11-02-2013	13	126,67
12-02-2013	13	120,42
13-02-2013	13	120,00
14-02-2013	13	124,58
03-06-2013	22	191,67
Média	Modo “Hexano”	126,22
Desv.pad		12,65
Média	Modo “C9”	185,00
Desv.pad		9,42809

Com o consumo elétrico e a equação do consumo de vapor calcula-se os balanços totais da unidade 0500 para os dois diferentes modos de funcionamento através da equação 3.4.

$$Balanço_{total}(Hexano) = 0,12622 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão (Hexano)}_{0500}}{\lambda} \right) ,$$

$$Balanço_{total}(C9) = 0,18500 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão (C9)}_{0500}}{\lambda} \right) .$$

Através das equações em cima, é possível traçar as curvas que representam os balanços totais da unidade, em condições normal de funcionamento, para modo “Hexano” e “C9” e para os três diferentes regimes de funcionamento do TG3.

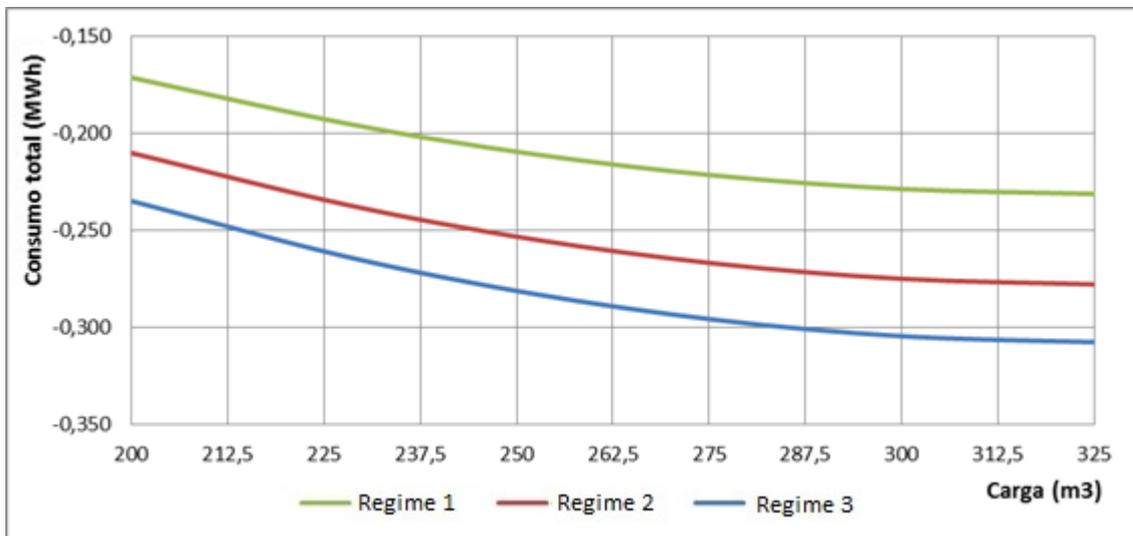


Figura 4.16 - Curvas de balanço total da U-0500 em “Hexano” relativamente à carga processada por dia.

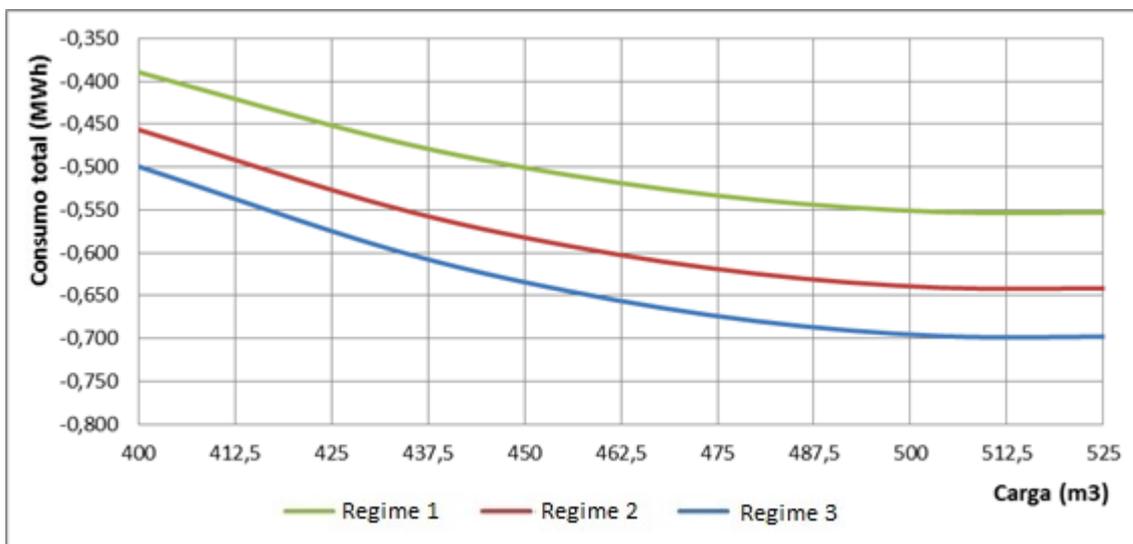


Figura 4.17 - Curvas de balanço total da U-0500 em “C9” relativamente à carga processada por dia.

Através das figuras 4.16 e 4.17 é possível observar que a unidade 0500 tem um balanço total negativamente superior quando em modo “C9”, o que quer dizer que vai percutir uma maior produção de energia no TG3. Para além deste aspeto, o consumo de vapor depende mais da quantidade de carga do que em modo “Hexano”. Em “Hexano” o balanço não chega a variar 0,1 MWh, no entanto quando em “C9” pode ultrapassar os 0,2 MWh que, como foi explicado na U-0400, pode corresponder a quase 1% do consumo elétrico da refinaria.

4.2 - Fábrica de óleos base

A fábrica de óleos base iniciou a sua atividade em 1969 com a finalidade de produzir óleos base, constituinte principal dos óleos lubrificantes e dos óleos de processamento, parafinas e betumes, utilizando como matéria-prima petróleo bruto essencialmente parafínico, ou seja, o *Arabian Light*. Tem uma capacidade de tratamento de 1,18 milhões de toneladas por ano de petróleo bruto. Esta fábrica, após uma separação prévia das frações dos hidrocarbonetos mais leves que envia para a fábrica de combustíveis, fraciona o resíduo mais pesado, produzindo destilados. As unidades processuais que constituem a instalação utilizam processos físico-químicos que conferem diversas propriedades a estes destilados para obtenção dos óleos base correspondentes.

A FOB é constituída por 7 unidades que nesta tese serão abordados apenas 6, pois são as unidades consumidoras de vapor desta fábrica.

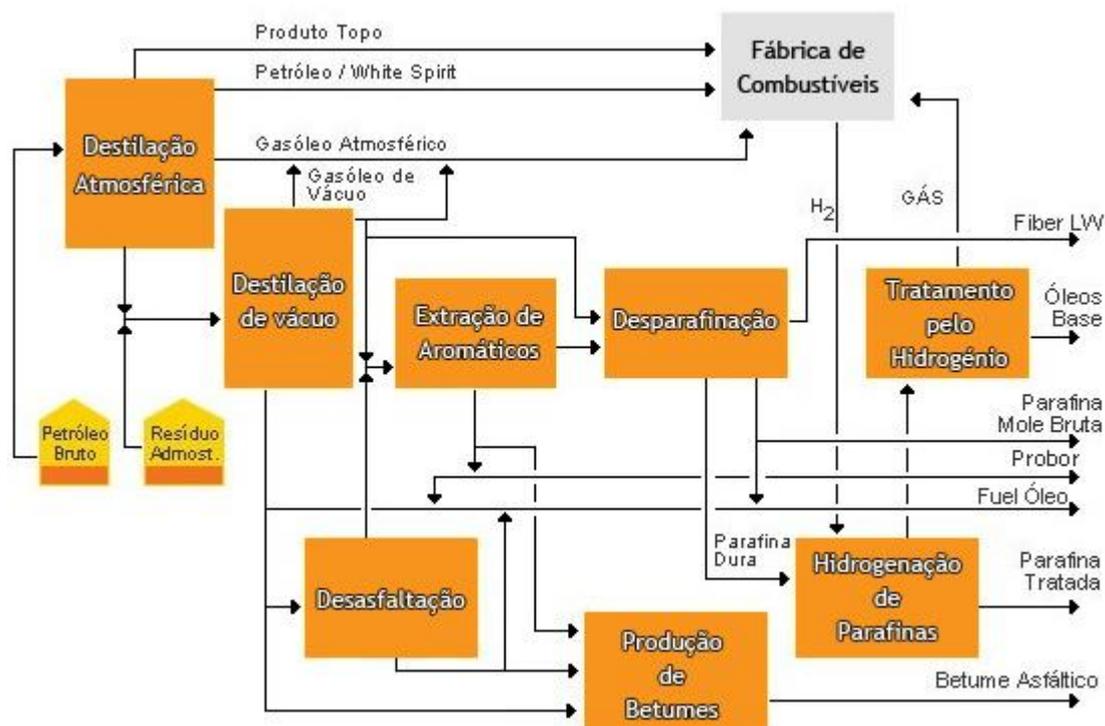


Figura 4.18 - Esquema processual da fábrica de óleos base [9].

4.2.1 - Unidade 2000

Nesta unidade, o petróleo bruto *Arabian Light* é fracionado em duas colunas de destilação. A primeira coluna opera à pressão atmosférica, enquanto a segunda opera sob o vácuo. Todos os produtos da secção atmosférica são enviados para a fábrica de combustíveis, com a exceção do resíduo atmosférico que é enviado como carga para a coluna de destilação sob vácuo para ser fracionado. O gasóleo de vácuo produzido é enviado para a fábrica de combustíveis, juntamente com o gasóleo da secção atmosférica, sendo os restantes cortes enviados para a armazenagem de óleos destilados. Parte do resíduo produzido na secção de vácuo é enviado para a alimentação da unidade de desasfaltação pelo propano, sendo o restante para a unidade de produção de betumes e/ou, em alternativa, para a corrente de fuelóleo de queima da refinaria [9].

No que diz respeito ao consumo de VMP a unidade é constituída principalmente por uma fornalha, uma coluna de destilação e seis injetores de vapor, resultando num consumo médio de 11,10 t/h. Na figura 4.19 é possível observar a carga que a unidade processa e o consumo de vapor durante uma determinada altura estudada.

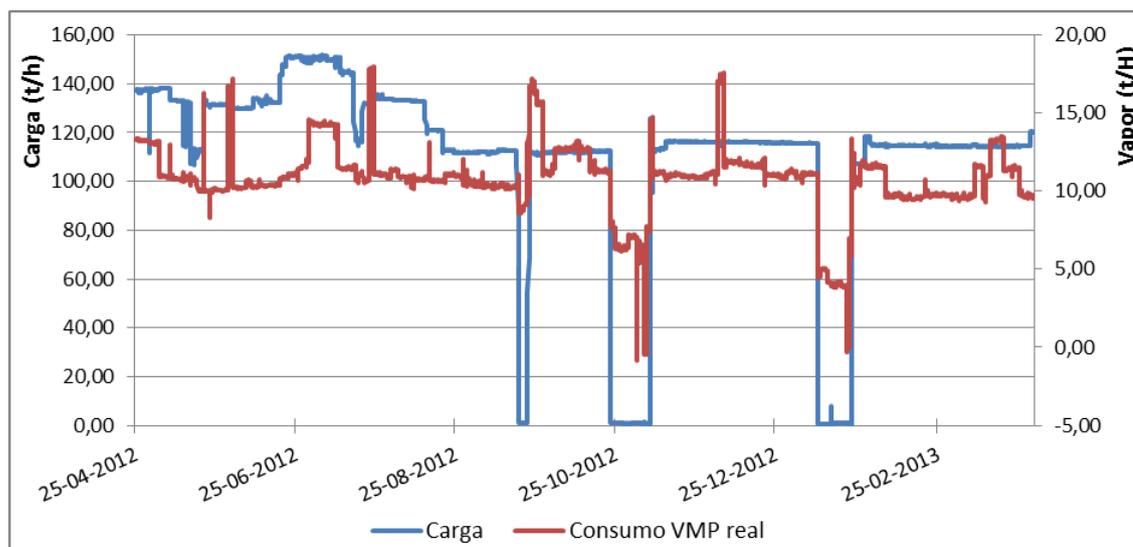


Figura 4.19 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2000.

Depois de se efetuar o habitual processo de filtragem e de tratamento de dados realizou-se a regressão polinomial de 2ª ordem.

Tabela 4.9 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2000.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,00081	-0,16048	18,64018	0,09055	1,01316	7,53088

44 Resultados da previsão de consumos

Com os coeficientes definidos e com o recurso à equação (3.4) é possível prever o consumo de vapor da unidade consoante a carga processada por hora.

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,00081 * \text{carga}^2 - 0,16048 * \text{carga} + 18,64018$$

Com a equação do consumo de vapor calculada é possível comparar com o consumo real de vapor com a previsão, como demonstrado na figura 4.20.

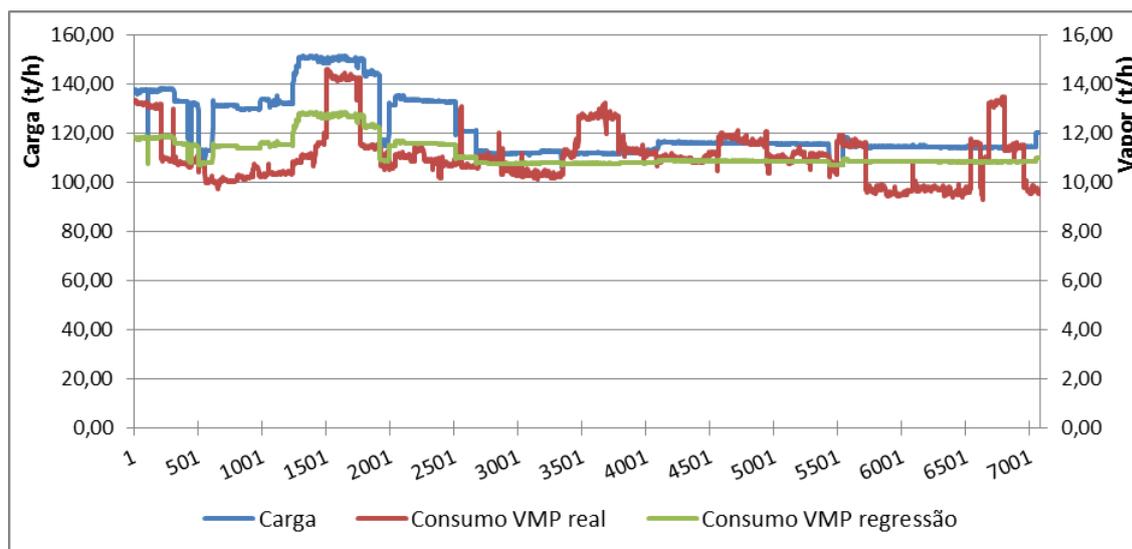


Figura 4.20 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2000.

Através da figura 4.20 e do desvio médio quadrático verificado na tabela 4.9 conclui-se que nesta unidade, o consumo de vapor nem sempre depende somente da carga. Isto deve-se ao facto de, ao contrário de grande parte das unidades da FAR, o equipamento que consome mais vapor na unidade não ser o das colunas de destilação mas sim algumas bombas que são acionadas ou não devido a outros fatores. Estas bombas recebem o vapor através dos injetores mencionados.

No entanto, procedeu-se ao cálculo do balanço total da unidade com o vapor estimado e com o consumo elétrico médio calculado na tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Consumo elétrico médio para a U-2000.

U-2000		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	933,81	933,81
Carga máxima	915,30	845,25
Média	907,02	
Desv.pad	42,07	

$$\text{Balanço}_{total} = 0,90702 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{2000}}{\lambda} \right) .$$

Com o balanço total calculado é possível traçar as curvas respetivas aos regimes definidos de funcionamento do TG3, tal como demonstrado na figura 4.21.

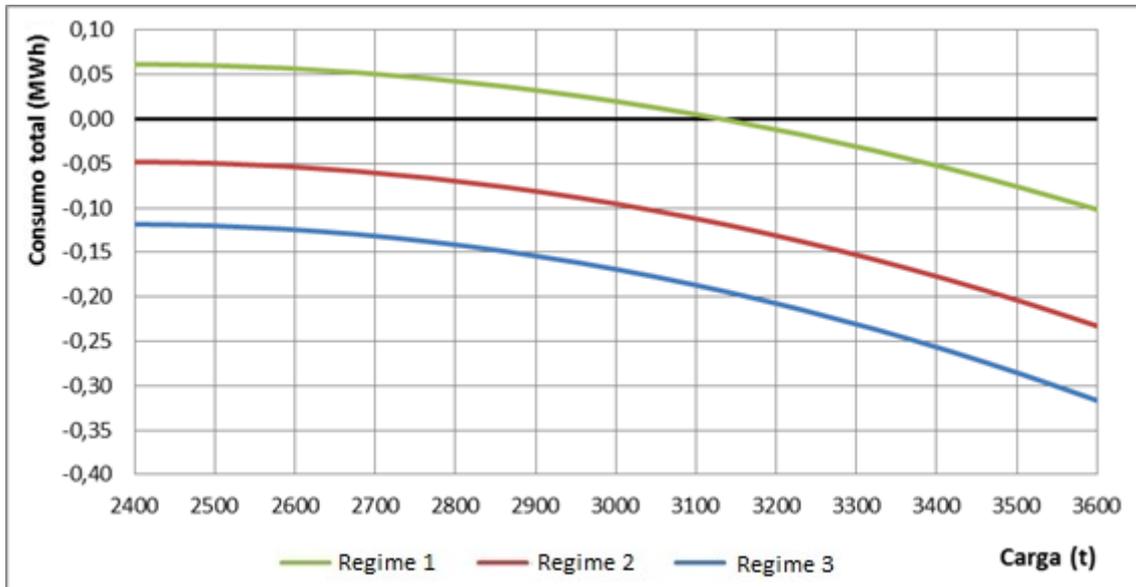


Figura 4.21 - Curvas do balanço total da U-2000 relativamente à carga processada por dia.

A U-2000, como se pode observar na figura 4.21, devido às variações da carga processada na unidade por dia, pode variar no balanço total aproximadamente em 0,15 MWh. A unidade para quantidades maiores de produto processado precisará de uma quantidade maior de vapor para realizar normalmente as suas funções o que fará com que seja automaticamente produzido mais energia no TG3. Logo como a energia produzida no TG3 aumenta, a compensação feita pelo TG2 e pela importação de energia terá de ser menor. Com o sistema antigo não era possível ter em conta estas variações do consumo de vapor e consequentemente o impacto destas na produção de energia. Note-se que se ocorresse uma variação na carga processada de 3600 t/dia para 2400 t/dia, isso significaria uma diminuição de produção 0,15 MWh e, se nada fosse feito, um aumento equivalente na importação. Este aumento poderia representar um desvio de quase 1,2% da energia importada.

4.2.2 -Unidade 2100

A unidade de desasfaltação pelo propano trata o resíduo de vácuo da destilação, produzindo um óleo desasfaltado (DAO) e resíduo asfáltico. O processo utilizado por esta unidade é a extração líquido-líquido que ocorre numa coluna de discos rotativos, RDC

46 Resultados da previsão de consumos

(*Rotating Disc Contator*). O solvente utilizado é o propano líquido, o qual dissolve preferencialmente os componentes parafínicos de baixo peso molecular em detrimento dos compostos asfálticos pesados [9].

Quanto aos consumos de vapor desta unidade eles rondam em média 11,73 t/h que são maioritariamente consumidos coluna de discos rotativos e a coluna relativa ao solvente utilizado no processo. Observe-se na figura 4.22 a carga que a unidade processa e o VMP enviado para o respetivo coletor.

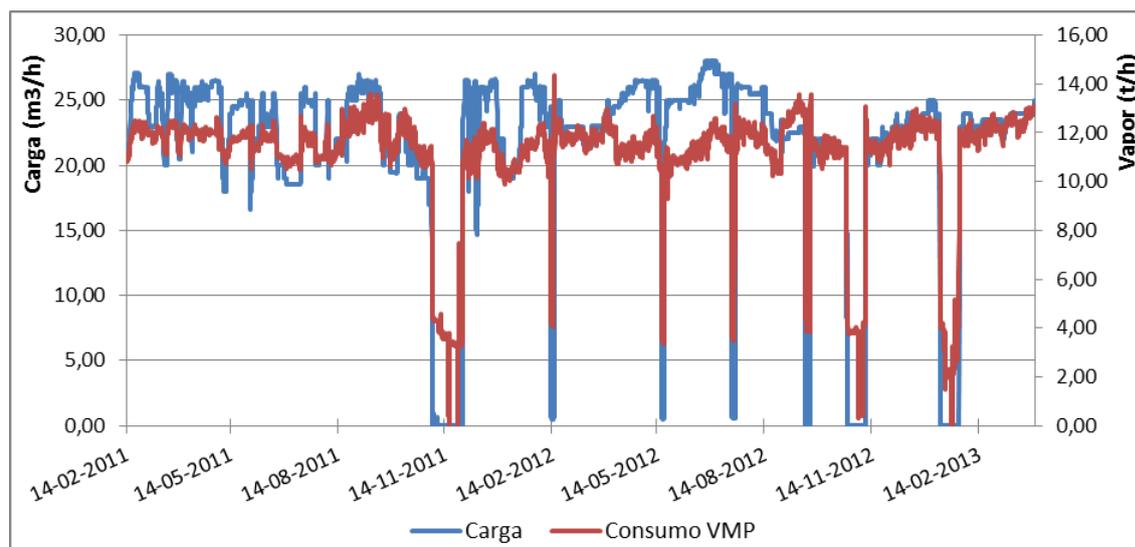


Figura 4.22 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2100.

Realizando o processo de filtragem, em que são retirados os erros que a base de dados contém e considerando apenas as alturas em que a unidade estava a trabalhar procedeu-se ao cálculo da equação de consumo de vapor da unidade.

Tabela 4.11 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2100.

Θ_2	Θ_1	Θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
-0,02938	1,48124	-6,72198	0,04525	0,53066	3,48931

Através dos coeficientes da tabela 4.11 e da equação 3.4 definida no capítulo 3 é possível definir a equação de consumo de vapor da unidade e consequentemente utiliza-la para fazer uma comparação com o consumo real, demonstrado na figura 4.23.

$$\text{Consumo VMP regressão} = -0,02938 * \text{carga}^2 + 1,48124 * \text{carga} - 6,72198 \quad .$$

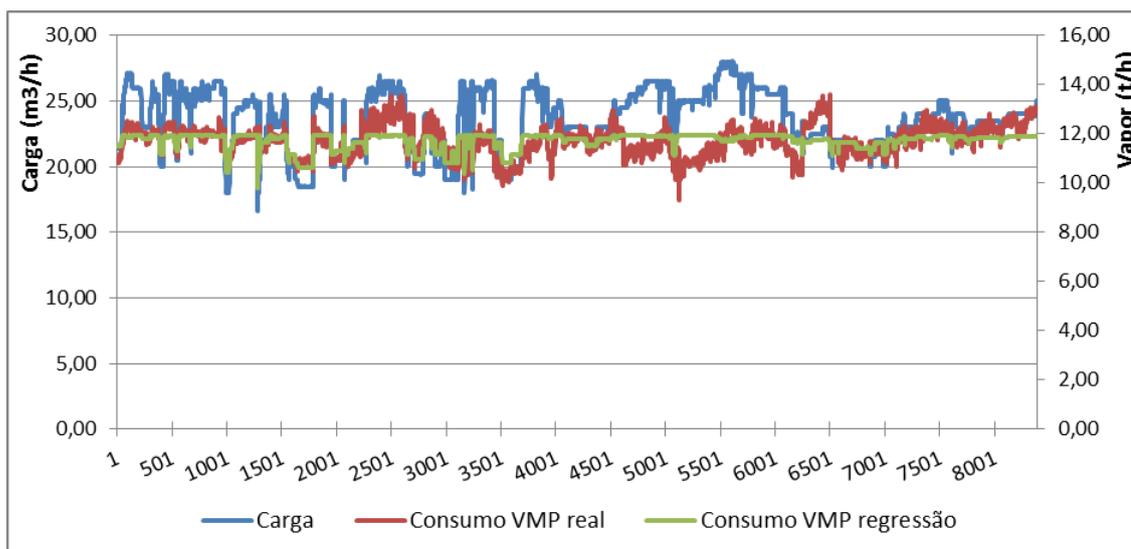


Figura 4.23 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2100.

Como se pode verificar na tabela 4.11, a previsão apresenta um desvio médio quadrático de 0,04525, que é um valor bastante aceitável comparando com as restantes regressões realizadas para as outras unidades. No entanto pode-se observar na figura 4.23 que, apesar do consumo de vapor estimado reagir às alterações na quantidade de carga que a unidade processa, nem sempre estas alterações estão de acordo com o modelo implementado. Este incidente ocorre provavelmente devido à constituição da carga como já foi referido anteriormente. Mesmo que a carga processada na unidade seja elevada, se a constituição desta for mais “leve”, correspondendo a uma densidade do líquido menor, será necessário menos vapor para a unidade realizar as suas funções.

Para posteriormente ser calculado o balanço total desta unidade, será necessário saber o consumo elétrico médio que esta unidade regista. Como se pode ver na tabela 4.12 esta não demonstra grandes alterações no consumo elétrico.

Tabela 4.12 - Consumo elétrico médio para a U-2100.

U-2100		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	268,42	263,63
Carga máxima	280,65	270,42
Média	271,53	
Desv.pad	8,57	

48 Resultados da previsão de consumos

Com o intuito de saber as alterações que esta unidade poderá provocar no diagrama de importação de energia semanal, procedeu-se ao cálculo do balanço total da unidade através da equação de vapor estimado e com o consumo elétrico médio calculado na tabela 4.12.

$$Balanço_{total} = 0,27153 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{2100}}{\lambda} \right) .$$

Com o balanço calculado é possível traçar as curvas do balanço total, apresentadas na figura 4.21, correspondentes aos regimes definidos de funcionamento do TG3 com os três valores de λ registados na tabela 3.2.

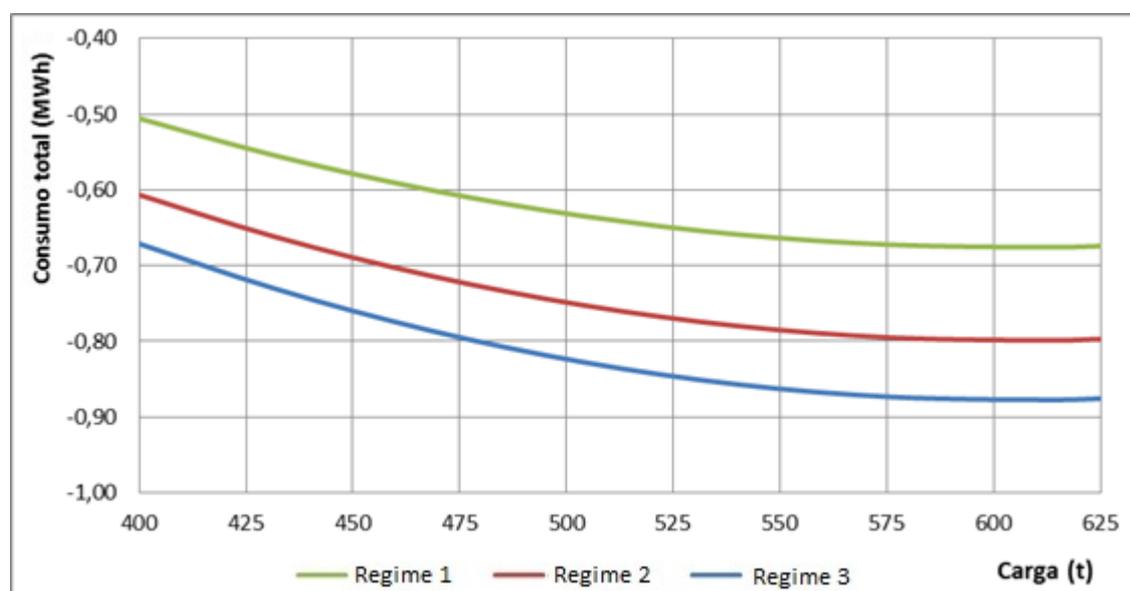


Figura 4.24 - Curvas do balanço total da U-2100 relativamente à carga processada por dia.

No caso desta unidade, as variações na quantidade de carga processada podem provocar alterações no balanço total correspondentes a aproximadamente 0,20 MWh. Se estas variações na quantidade de carga processada e consequentemente do consumo de vapor não forem tomadas em conta, como no sistema antigo, poderia ocorrer no pior dos casos, um aumento de 0,20 MWh na energia importada à EDP. Tendo em conta que a importação média da refinaria ronda os 12,5 MWh, estes 0,2 MWh correspondem 1,6% da energia importada, apenas considerando esta unidade.

4.2.3 -Unidade 2200

Esta unidade trata os destilados de vácuo produzidos na unidade de destilação e o DAO da unidade de desasfaltação pelo processo de extração líquido-líquido, usando como solvente o furfural. Este tratamento aumenta o índice de viscosidade dos destilados e desasfaltados

por eliminação dos compostos aromáticos. A extração faz-se numa coluna de discos rotativos (RDC), em contra corrente, introduzindo-se a carga e o solvente a dois níveis diferentes da coluna [9].

A U-2200 é detora de 3 colunas que necessitam de vapor para realizar as suas funções, que resultam num valor médio de 7,22 t/h de VMP que é enviado para esta unidade. Na figura 4.25 é possível visualizar a carga processada pela unidade e o consumo de VMP registado.

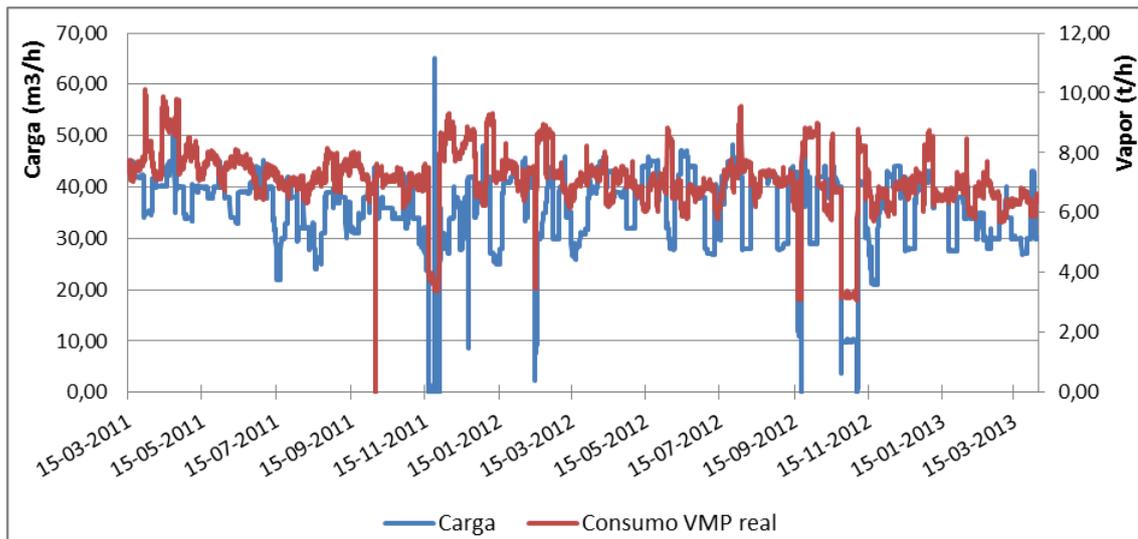


Figura 4.25 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2200.

Após o tratamento de dados e a filtragem habitual referida no capítulo 3 é feita a regressão de 2ª ordem para se determinar a equação do consumo de vapor desta unidade.

Tabela 4.13 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2200.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
-0,00166	0,12849	4,79228	0,10099	0,72939	7,56856

Com o recurso à equação 3.4 verifica-se o seguinte consumo de vapor.

$$\text{Consumo VMP regressão} = -0,00166 * \text{carga}^2 + 0,12849 * \text{carga} + 4,79228$$

Como se pode verificar na tabela 4.13 o desvio medio quadrático da previsão resultou num valor de 0,10099. Este valor é um pouco superior ao observado na unidade 2000, pelas mesmas razões já referidas. A carga processada na unidade não parece ser o único fator a afetar o consumo de vapor. Neste caso seria importante descobrir o que provoca estas variações no consumo de vapor de forma a ser possível melhorar a previsão. Esta característica é de tal forma acentuada que, considerando só a carga como variável de

50 Resultados da previsão de consumos

entrada para a previsão, seria mais simples considerar um valor médio para o consumo de vapor desta unidade. Tal como se pode verificar na figura 4.26, o consumo VMP estimado apenas com a quantidade de carga como variável independente não sofre grandes alterações ao contrário de outras previsões já realizadas.

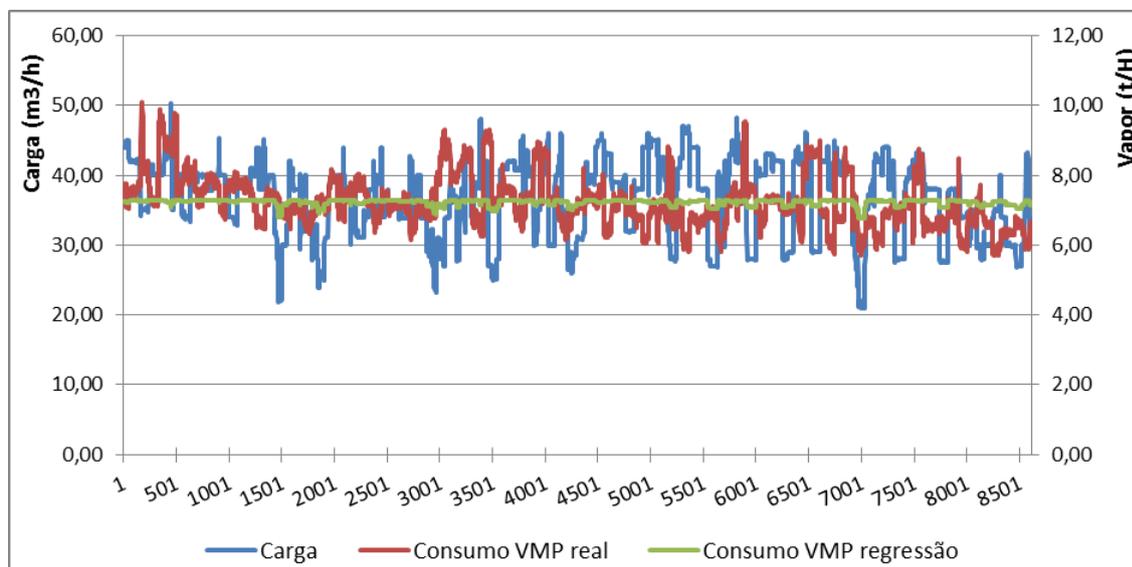


Figura 4.26 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2200.

Para se descobrir o balanço total da unidade foi calculado o consumo elétrico médio, apresentado na tabela 4.14, e foi subtraído as alterações que o consumo de vapor desta unidade provoca no TG3.

Tabela 4.14 - Consumo elétrico médio para a U-2200.

U-2200		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	533,50	456,37
Carga máxima	563,11	545,39
Média	524,59	
Desv.pad	47,08	

$$Balanço_{total} = 0,52459 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{2200}}{\lambda} \right)$$

Com o balanço desta unidade calculado procede-se à habitual apresentação das curvas, apresentadas na figura 4.27, correspondentes aos diferentes λ anteriormente definidos.

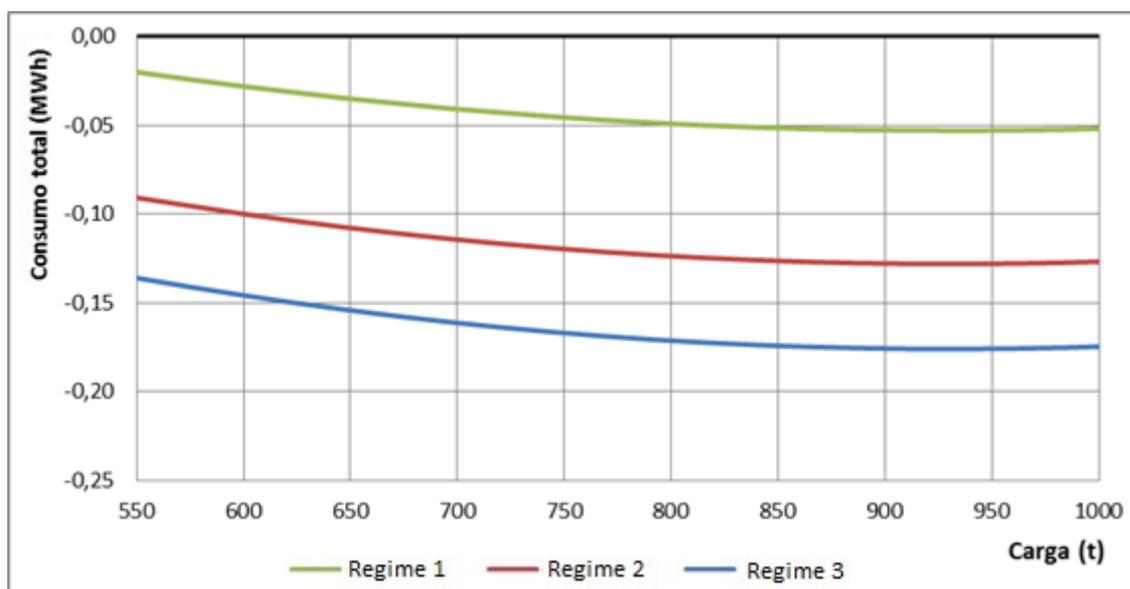


Figura 4.27 - Curvas do balanço total da U-2200 relativamente à carga processada por dia.

Tal como foi referido anteriormente, a U-2200 terá outros fatores para além da quantidade de carga processada que melhor caracterizariam o consumo de vapor desta unidade que talvez mereciam ser estudados por alguém com particular experiência no processo de funcionamento da unidade. Com apenas a quantidade de carga processada como variável de entrada para a previsão, o balanço total desta unidade só varia em aproximadamente 0,025 MWh. Neste caso, provavelmente seria mais prático usar um balanço total médio uma vez que a variação calculada não compensa a complexidade criada.

4.2.4 - Unidade 2300

A unidade 2300 trata os refinados provenientes da unidade extração pelo furfural ou destilados da unidade 2000 por processos de cristalização/filtração, utilizando como solvente uma mistura de metiletilcetona e tolueno. Este tratamento separa da carga os compostos parafínicos de ponto de fusão elevado, cuja presença no óleo base final lhe retira características de fluidez a baixas temperaturas [9].

A U-2300 possui principalmente 4 colunas que necessitam de vapor para realizar as suas funções de recuperação de parafina mole e de parafina dura, alcançando um valor médio de 13,36 t/h de consumo de vapor. Na figura 4.28 pode-se ver a carga que a unidade processou e o consumo de vapor correspondente durante um determinado período de tempo escolhido.

52 Resultados da previsão de consumos

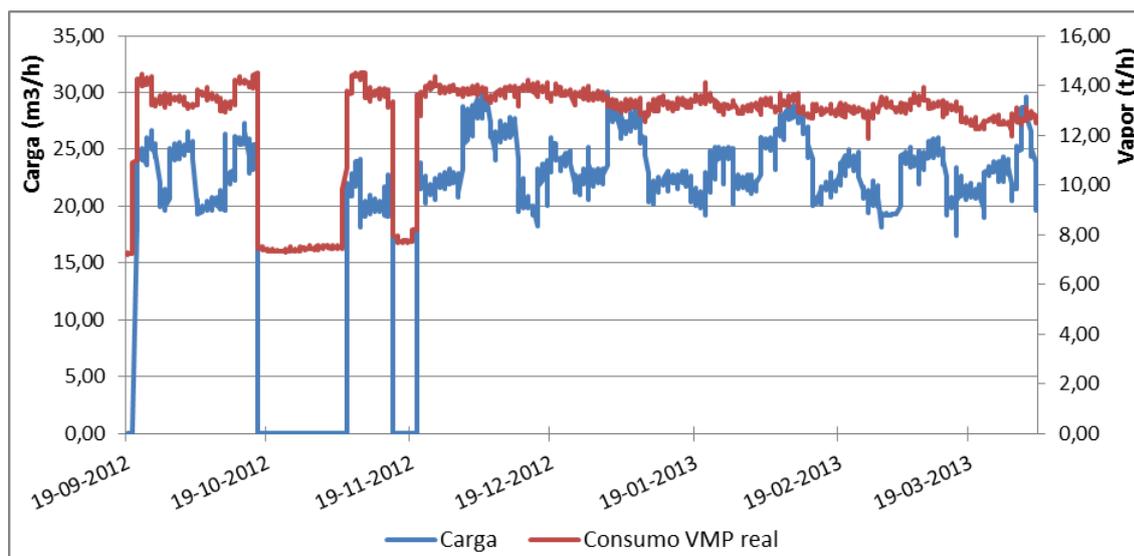


Figura 4.28 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2300.

De seguida procedeu-se ao tratamento e filtragem de dados e é efetuada a regressão de 2ª ordem com a finalidade de se descobrir a equação do consumo de vapor estimado.

Tabela 4.15 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2300.

Θ_2	Θ_1	Θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,00277	-0,12364	14,7233	0,03386	0,45255	2,68535

Com o recurso à equação 3.4 verifica-se o seguinte consumo de vapor.

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,00277 * \text{carga}^2 - 0,12364 * \text{carga} + 14,7233$$

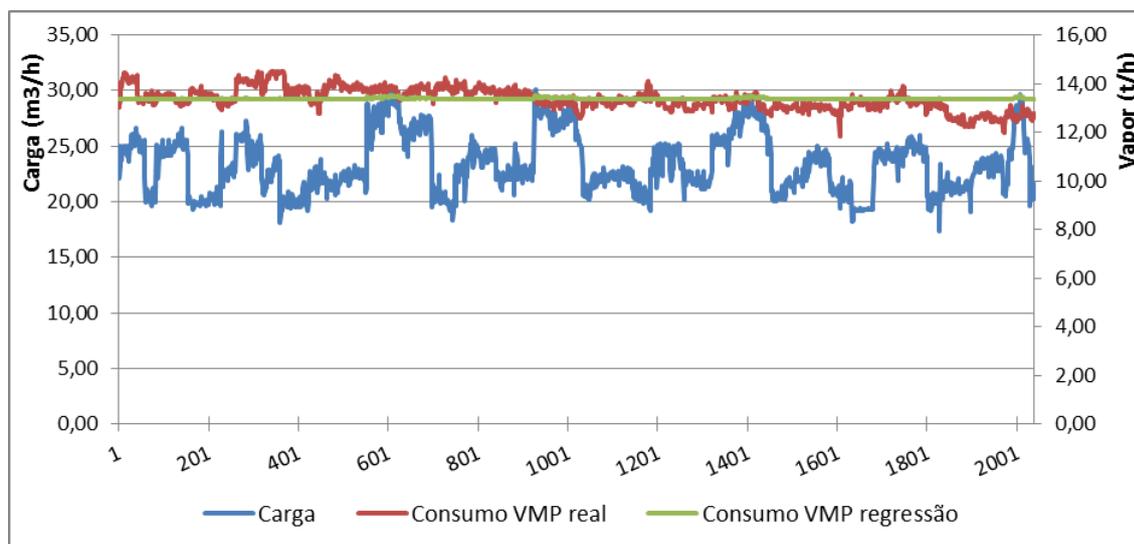


Figura 4.29 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2300.

Observando a tabela 4.15 verifica-se que o desvio médio quadrático é relativamente baixo sendo o erro médio percentual de aproximadamente 2,67% que é um valor bastante aceitável. A razão desta regressão ser bastante aceitável deve-se ao facto de o consumo de vapor desta unidade não variar muito, mesmo sujeito a alterações na carga processada consideráveis. Essa particularidade pode ser observada na figura 4.29 em que o consumo de vapor estimado resulta praticamente numa reta de valor aproximado ao valor médio de 13,36 t/h.

Para descobrir o impacto desta unidade e do consumo de vapor que esta unidade provoca na produção do TG3, calculou-se o balanço total através da equação 3.5. Na tabela 4.16 é apresentado o consumo elétrico da unidade.

Tabela 4.16 - Consumo elétrico médio para a U-2300.

U-2300		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	3310,59	3206,08
Carga máxima	3350,31	3332,81
Média	3299,95	
Desv.pad	64,65	

$$Balanço_{total} = 3,29995 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{2300}}{\lambda} \right)$$

Com o balanço desta unidade calculado procede-se à habitual apresentação das curvas do balanço total para aos diferentes valores de λ definidos, exibidas na figura 4.30.

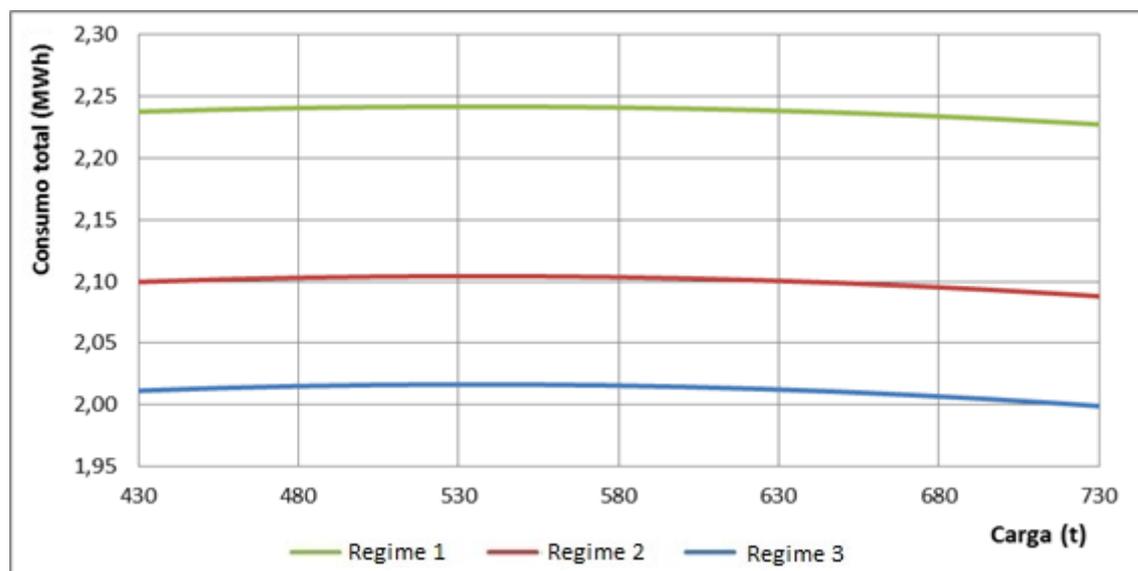


Figura 4.30 - Curvas do balanço total da U-2300 relativamente à carga processada por dia.

A unidade 2300, tal como já foi observado na figura 4.29 não apresenta grandes variações no consumo de vapor, funcionando entre os 12 e 14 t/h de VMP. Devido ao facto de a previsão do balanço apenas variar em 0,01 MWh, tal como é possível ver na figura 4.30, neste caso seria mais simples considerar o balanço total como um valor médio. A complexidade criada não compensaria as alterações que a quantidade de carga processada provoca na unidade.

4.2.5 -Unidade 2400

A unidade 2400 permite melhorar a cor dos óleos base, garantindo, por outro lado, uma maior estabilidade aos fenómenos de oxidação. O óleo desparafinado, na presença de um catalisador, reage com hidrogénio num reator de leito fixo, de forma a obter as especificações definidas [9].

Quanto aos consumos de vapor esta unidade consome relativamente pouco, com uma média de 1,89 t/h quando em funcionamento normal. Na figura 4.31 está demonstrado a carga processada na unidade e o seu respetivo consumo de vapor para um determinado período de tempo estudado.

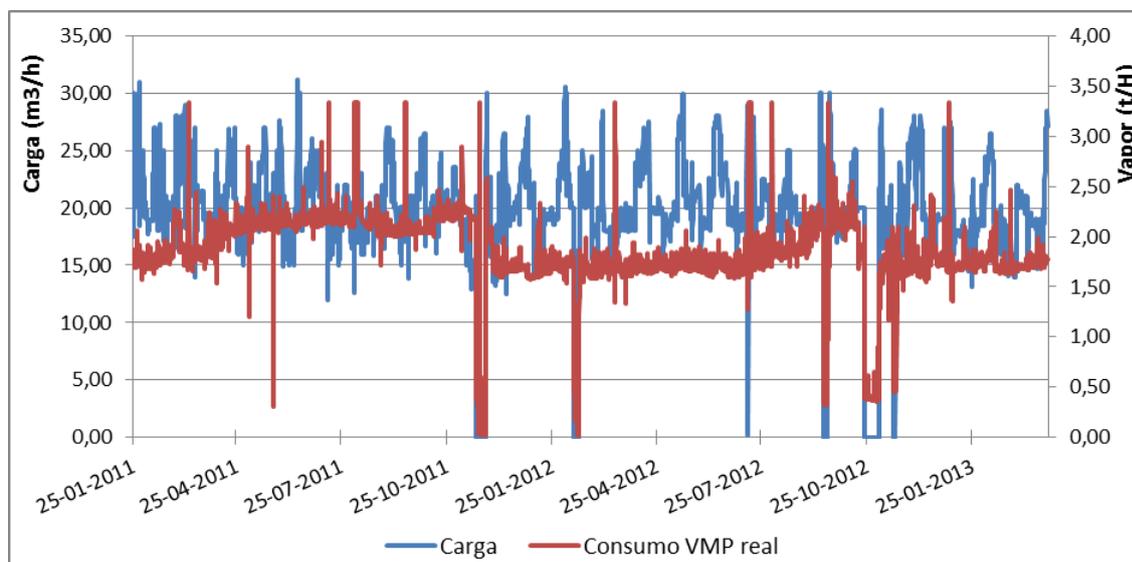


Figura 4.31 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2400.

Realizando o processo de filtragem, em que são retirados os erros que a base de dados contém e considerando apenas as alturas em que a unidade estava a trabalhar procedeu-se ao cálculo da equação de consumo de vapor da unidade.

Tabela 4.17 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2400.

Θ_2	Θ_1	Θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
-0,00112	0,04422	1,46160	0,13948	0,26349	10,7533

Com o recurso à equação 3.4 verifica-se o seguinte consumo de vapor.

$$\text{Consumo VMP regressão} = -0,00112 * \text{carga}^2 + 0,04422 * \text{carga} + 1,46160$$

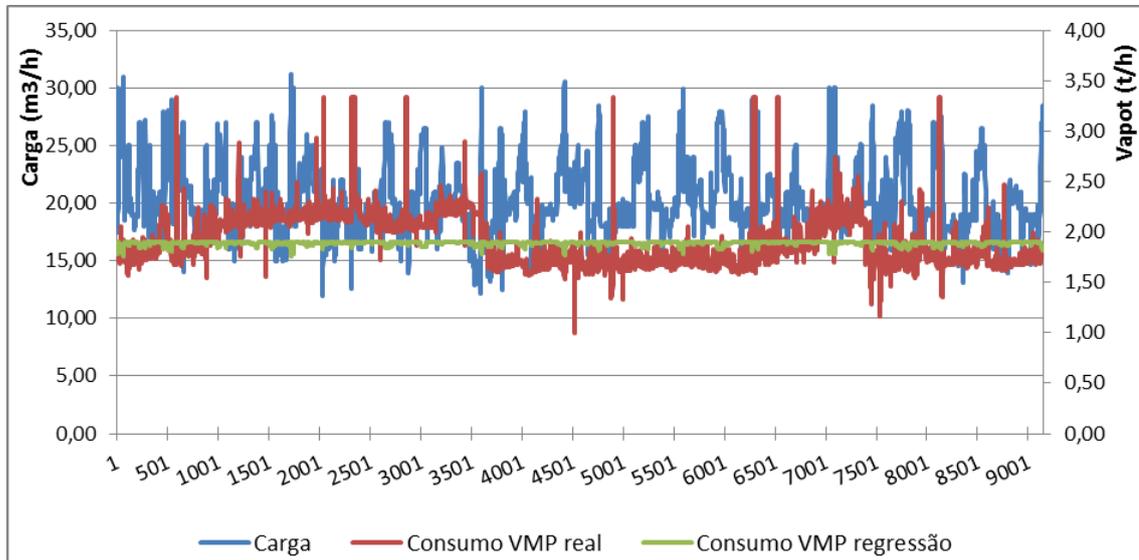


Figura 4.32 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2400.

A regressão da equação do consumo de vapor para esta unidade apresenta um desvio médio quadrático e um erro percentual médio elevado, que são justificadas pelas subidas abruptas do consumo de vapor verificadas na figura 4.32. No entanto como em média o consumo de vapor desta unidade é relativamente baixo o erro percentual médio, que apesar de ser superior ao das outras unidades, não vai provocar um impacto tão grande na energia produzida no TG3. Tal como na unidade 2300, para simplificar o processo, o consumo de vapor desta unidade poderia ser considerado como igual ao valor médio.

Para descobrir o impacto desta unidade e do consumo de vapor que esta unidade provoca na produção do TG3, calculou-se o balanço total através da equação 3.5. Na tabela 4.16 é apresentado o consumo elétrico da unidade.

Tabela 4.18 - Cálculo do consumo elétrico médio para a U-2400.

U-2400		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	100,02	99,19
Carga máxima	195,32	132,53
Média	131,77	
Desv.pad	45,12	

56 Resultados da previsão de consumos

$$Balanço_{total} = 0,13177 - \left(\frac{\text{Consumo VMP regressão}_{2400}}{\lambda} \right)$$

Com a equação do balanço total definida é possível traçar as curvas, apresentadas na figura 4.33, respetivas para os três regimes de funcionamento do TG3 definidos.

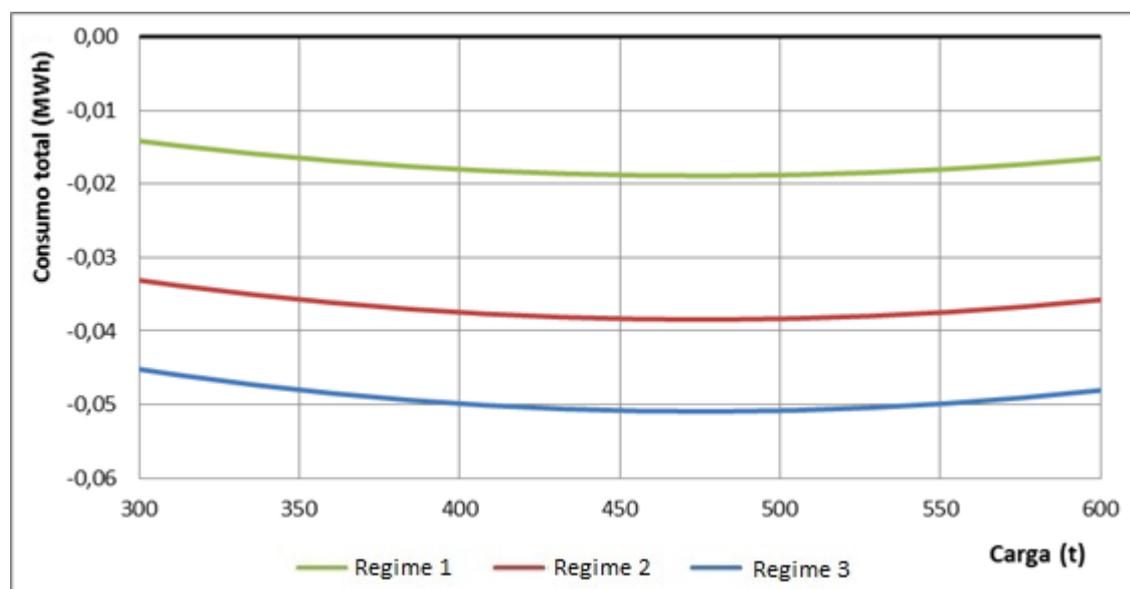


Figura 4.33 - Curvas do balanço total da U-2400 relativamente à carga processada por dia.

A U-2400 tem um consumo de vapor bastante baixo comparado com as outras unidades estudadas, o que significa que as suas alterações de carga processada por dia, à partida não iriam grande impacto na energia produzida no TG3. Essa característica pode ser observada na figura 4.33, uma vez que o balanço total não tem uma variação maior que 0,005 MWh.

Devido ao reduzido consumo de vapor desta unidade seria mais indicado considerar um balanço médio para cada um dos três dos regimes de funcionamento do TG3 considerados.

4.2.6 - Unidade 2500

A unidade 2500, onde é realizado a hidrogenação de parafinas, permite efetuar o melhoramento e a estabilização da cor e o aumento da pureza das parafinas provenientes da unidade de desparafinação, utilizando hidrogénio com 99,5 % de pureza. A reação ocorre em reatores de leito fixo, utilizando um catalisador de cobalto/molibdénio e operando em dois estágios de temperatura (dois estágios de reação). No processo, há remoção de compostos de enxofre e azoto e saturação de aromáticos necessários para obtenção das especificações de qualidade pela *Food and Drugs Administration* [9].

No que diz respeito aos consumos de vapor, esta unidade consome ainda menos que a unidade 2400 tendo um consumo médio de 0,88 t/h quando em funcionamento normal. Na figura 4.34 é possível ver a carga processada na unidade e o consumo de vapor necessário para a unidade realizar as suas funções., durante o período escolhido.

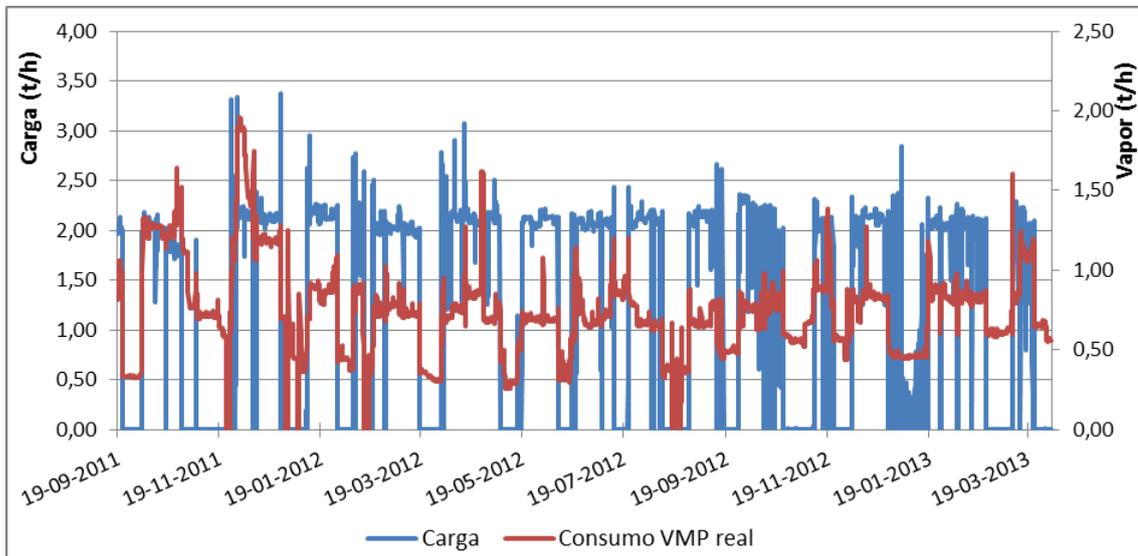


Figura 4.34 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-2500.

Depois o habitual processo de filtragem dos dados procedeu-se à regressão da equação de 2º grau de consumo de vapor da unidade 2500.

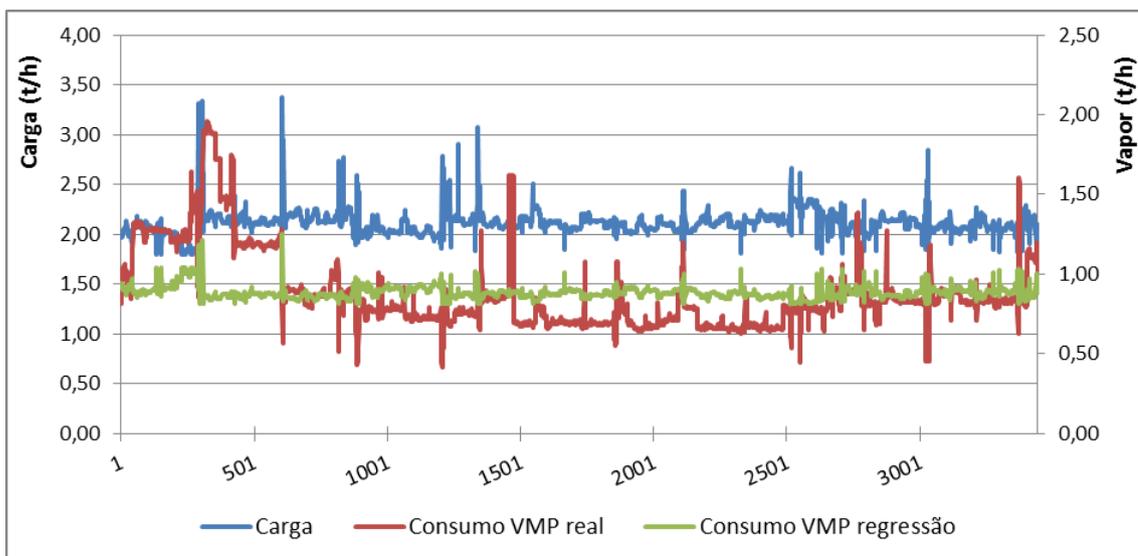


Figura 4.35 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-2500.

Tabela 4.19 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-2500.

Θ_2	Θ_1	Θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,07797	-0,25068	1,21299	0,28133	0,24799	19,2491

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,07797 * \text{carga}^2 - 0,25068 * \text{carga} + 1,21299 \quad .$$

Apesar de o desvio médio quadrático ser relativamente elevado, o impacto que esta unidade terá no consumo de vapor global da refinaria é muito reduzido pois esta consome menos de 1 t/h normalmente. Consequentemente o erro médio percentual é também consideravelmente elevado se comparado com regressões realizadas noutras unidades, mas devido ao baixo consumo de vapor da unidade não é particularmente preocupante. Tal como a U- 2400, nesta unidade seria presumivelmente mais coerente definir o consumo de vapor como um valor médio.

Contudo, traçaram-se as curvas do balanço total da unidade através da equação 3.5, tendo-se calculado primeiro o consumo elétrico médio da unidade U-2500 na tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Cálculo do consumo elétrico médio para a U-2500.

U-2500		
Nível de carga	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	491,76	487,37
Carga máxima	494,96	490,22
Média	491,08	
Desv.pad	3,16	

$$\text{Balanço}_{total} = 0,49108 - \left(\frac{\text{Consumo VMP}_{2500}}{\lambda} \right)$$

O balanço da unidade, isto é, a energia que terá de ser satisfeita pelo TG2 e pela importação, não chega a variar 0,02 MWh como pode ser observado na figura 3.36. Nesta situação, tal como referido na U-2400, não compensaria considerar o balanço total da unidade como uma curva. Seria mais eficaz e menos complexo considerar apenas um valor médio para cada um dos regimes considerados.

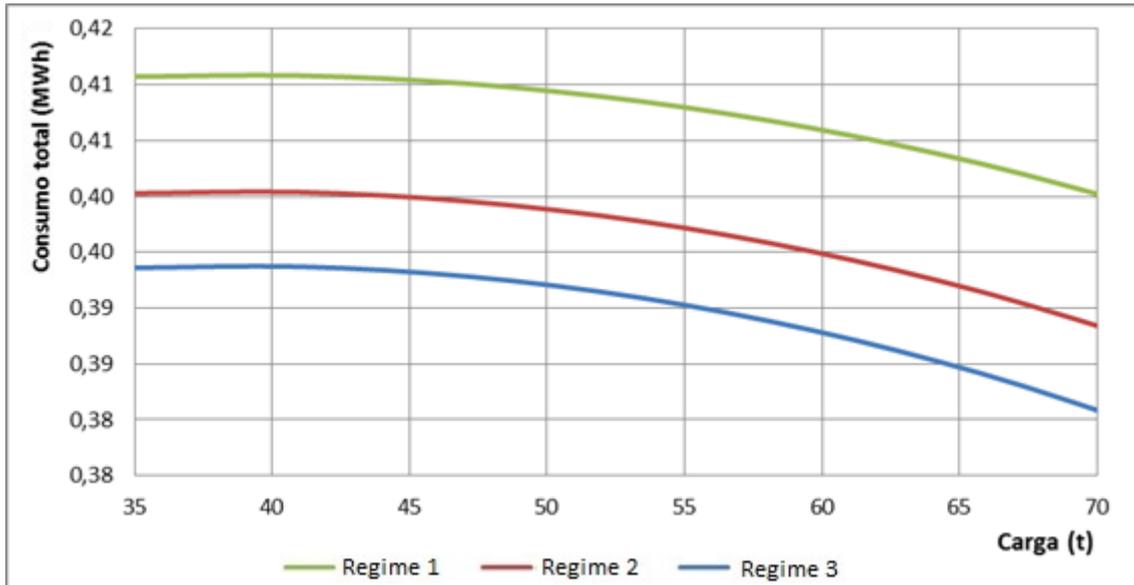


Figura 4.36 - Curvas do balanço total da U-2500 relativamente à carga processada por dia.

4.3 - Fábrica de combustíveis linha I

A fábrica de combustíveis da refinaria de Matosinhos tem uma capacidade de tratamento de petróleo bruto de 3,2 milhões de toneladas por ano. É constituída por 14 unidades processuais que, utilizando petróleo bruto, obtém toda a gama de produtos combustíveis, incluindo grande parte da matéria-prima que alimenta a fábrica de aromáticos e solventes.

Dada a flexibilidade e interligação das suas instalações, esta unidade 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.

Nesta secção só vão ser tratados as unidades consumidoras de vapor da linha I da fábrica de combustíveis, uma vez que devido à sua enorme extensão seria necessário mais tempo para poder estudar os consumos das restantes unidades desta fábrica. A linha I da FCO é composta por 6 unidades no total, sendo apenas 4 destas consumidoras de vapor. Estas 4 unidades dividem-se em dois grupos de duas, devido à sua dependência de funcionamento entre as unidades.

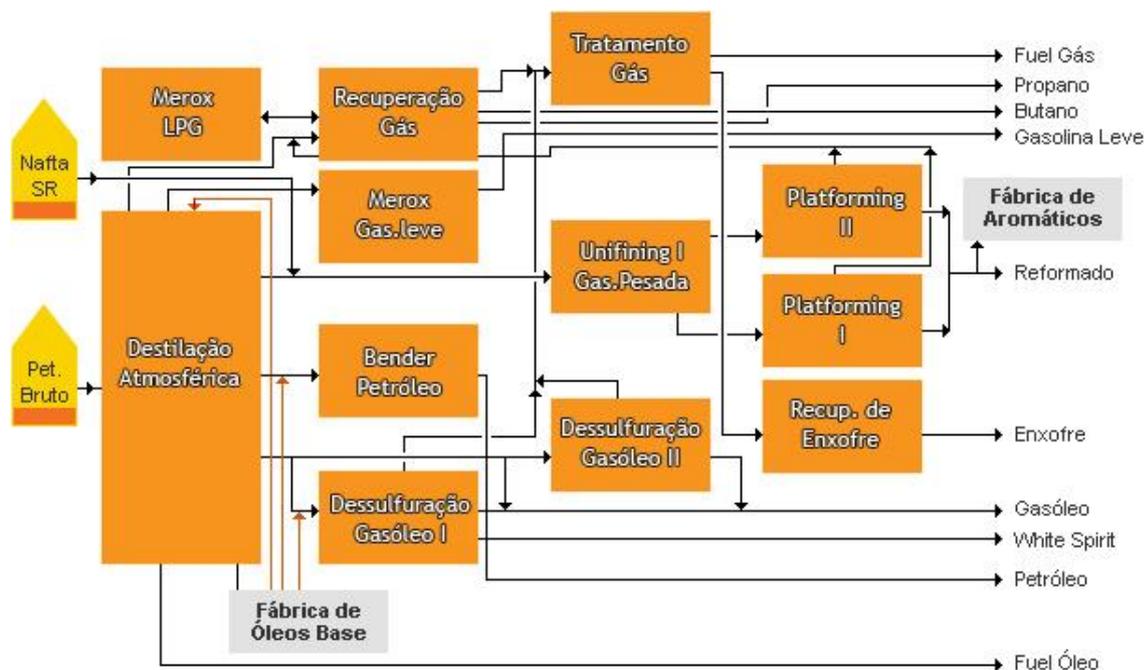


Figura 4.37 - Esquema processual da fábrica de combustíveis [9].

4.3.1 - Unidade 1200/1300

A U-1200 é onde se faz a dessulfuração da gasolina pesada, nesta unidade é removido por via catalítica em atmosfera de hidrogénio, os compostos orgânicos de enxofre, oxigénio e azoto presentes na gasolina pesada, os quais atuariam como veneno permanente ou temporário do catalisador da unidade de reformação catalítica, U-1300 (platforming), situada a jusante na fileira de tratamento. O produto gasoso da reação, 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 [9].

Estas duas unidades estão interligadas e são as ambas consumidoras de vapor de média, no entanto, o único caudalímetro disponível está localizado na unidade 1300 o que faz com que não seja possível saber ao certo qual a quantidade consumida de VMP pela U-1200 ou pela U-1300. O vapor chega à U-1300, onde está localizado o caudalímetro, e depois é distribuído pelas duas unidades. Isto possibilita a exerceção de uma regressão multivariável usando as duas cargas de ambas as unidades.

A unidade 1300 tem uma aparência com a unidade 0400 da fábrica de aromáticos, já tratada em anteriormente, quando em funcionamento exporta vapor de média para o circuito de vapor da refinaria, no entanto, em situações anormais (avaria ou manutenção), quando a

unidade 1300 não tiver capacidade de produzir vapor, ela vai importar/consumir como uma unidade normal consumidora de vapor. É também importante referir que não é possível importar ou exportar simultaneamente pois o circuito de vapor é único.

Recentemente, a empresa tem tido alguns problemas com a U-1300, esta poderá estar sujeita a diferentes testes e reparações o que faz com que em vez de exportar como é normal, a unidade está a consumir vapor juntamente com a U-1200. No entanto depois da manutenção realizada na paragem planeada para final de Maio a unidade 1300 irá novamente voltar ao funcionamento normal de exportação de vapor.

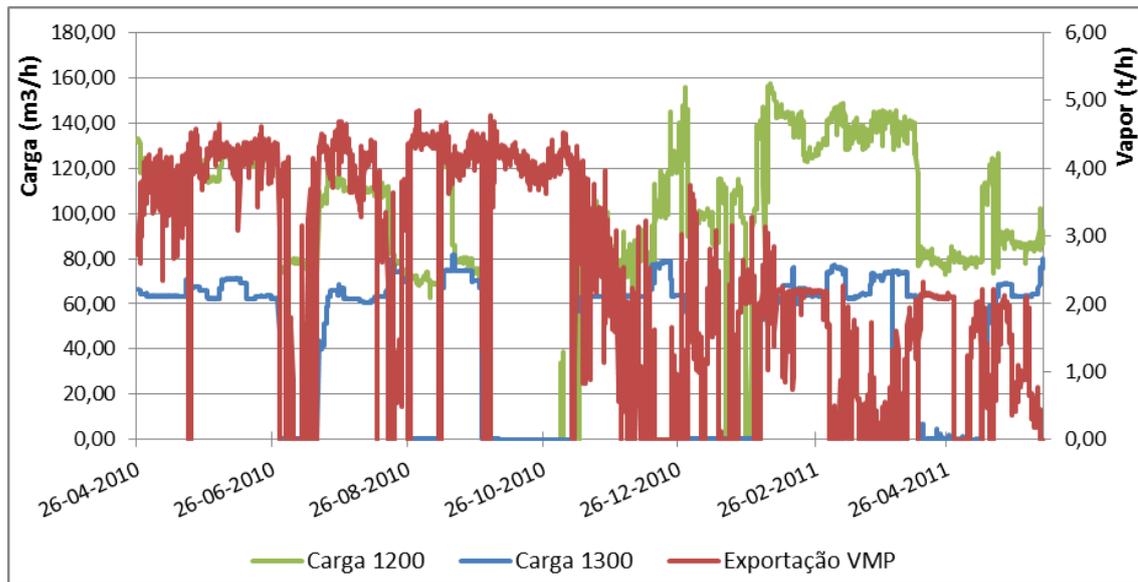


Figura 4.38 - Gráfico relativo à carga e exportação de VMP da U-1200/1300.

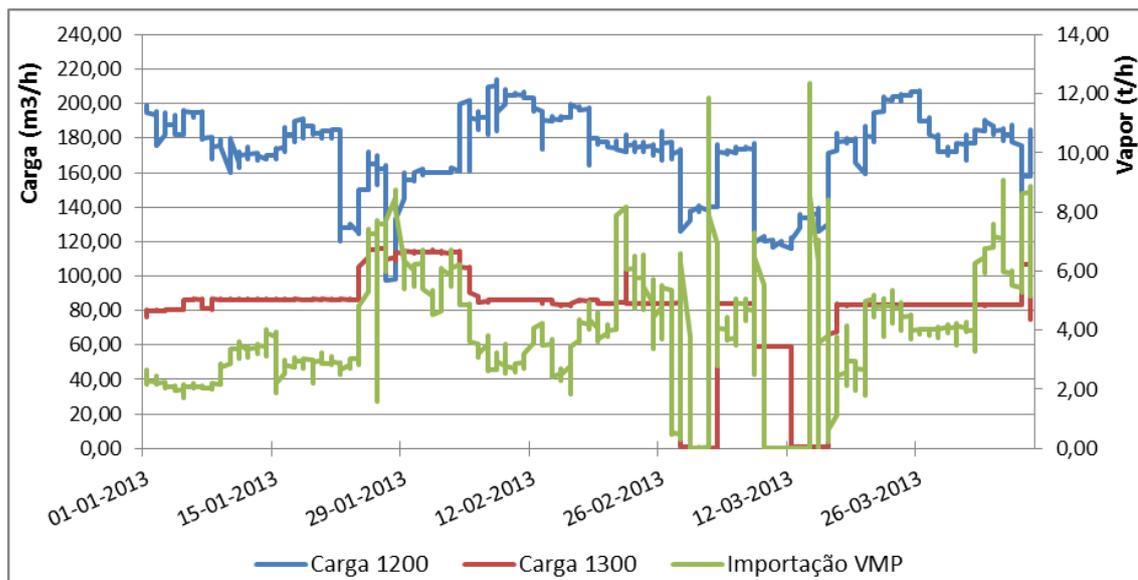


Figura 4.39 - Gráfico relativo à carga e importação de VMP da U-1200/1300.

62 Resultados da previsão de consumos

Com vista a estas duas possíveis situações decidiu-se fazer duas regressões diferentes, uma para caracterizar o funcionamento normal em que é feita exportação de vapor para o circuito da refinaria, e outro onde é caracterizado o funcionamento recente e anormal da unidade 1300, em que há importação de vapor. Nas figuras 4.38 e 4.39 é possível ver a exportação ou importação de VMP das unidades 1200/1300 e suas respetivas cargas, quantidade de matéria-prima que estão a processar.

Analisando os gráficos, é facilmente visível que a exportação e importação de vapor são bastante voláteis, o faz com que a regressão feita para definir a equação que caracteriza estas unidades apresente um erro acrescido. Isto deve-se provavelmente ao facto de grande parte das unidades da fábrica de combustíveis linha I serem bastante antigas e respetivamente os medidores também o são. Depois de se filtrar, o melhor possível, os dados obtidos, procedeu-se ao desenvolvimento da equação polinomial 2ª ordem, fazendo uma regressão multivariável e obteve-se os seguintes coeficientes.

Tabela 4.21 - Coeficientes da equação de exportação de vapor para a U-1200/1300.

β_2	β_1	θ_2	θ_1	$\beta_0+\theta_0$	RSMD	RMSE	MAPE
0,0062	-0,08593	4,018E-04	-0,07806	10,6163	0,08606	0,34920	6,76576

Tabela 4.22 - Coeficientes da equação de importação de vapor para a U-1200/1300.

β_2	β_1	θ_2	θ_1	$\beta_0+\theta_0$	RSMD	RMSE	MAPE
0,00112	-0,13807	1,325E-05	-0,01714	9,92557	0,28335	1,13804	25,4815

É importante referir que, neste caso, foi feito uma regressão multivariável, o que faz com que a equação (3.4) tenha de ser ligeiramente alterada para ser aplicada neste caso.

$$Z'(carga) = \sum_{j=0}^n \beta_j * carga_{1300}^j + \sum_{i=0}^n \theta_i * carga_{1200}^i \quad , \quad (4.2)$$

Com estes coeficientes da tabela 4.21 e 4.22 é possível estimar a importação ou exportação do consumo de vapor de média da unidade com o recurso à equação (4.2) acima referida.

Não é demais repetir que esta unidade, em funcionamento normal, está a exportar vapor para a refinaria. Apenas foi feito também uma equação de importação para, de alguma forma, precaver as situações em que a unidade não está a funcionar normalmente, isto é, não produz vapor de média pressão.

Através da análise dos valores dos erros, das tabelas 4.21 e 4.22, é possível verificar que o erro percentual médio da importação é bastante superior aos verificados até ao momento. Isto deve-se ao facto, já falado anteriormente, de esta unidade ser bastante antiga, originando valores muito voláteis. No entanto tentou-se realizar a melhor regressão possível, demonstradas nas figuras 4.40 e 4.41.

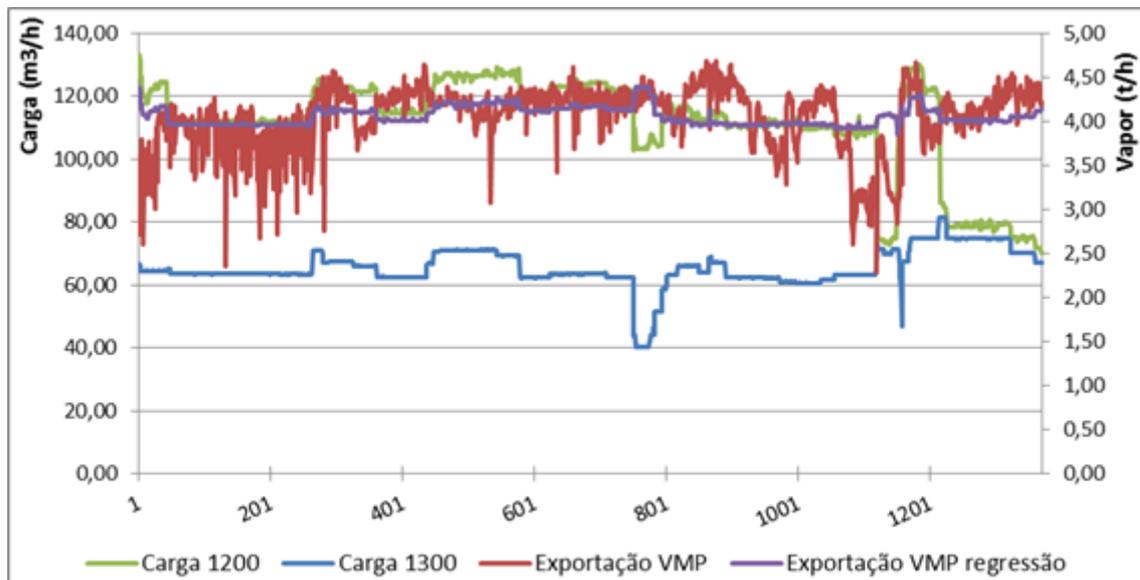


Figura 4.40 - Gráfico da exportação de vapor real e da regressão realizada para a U-1200/1300.

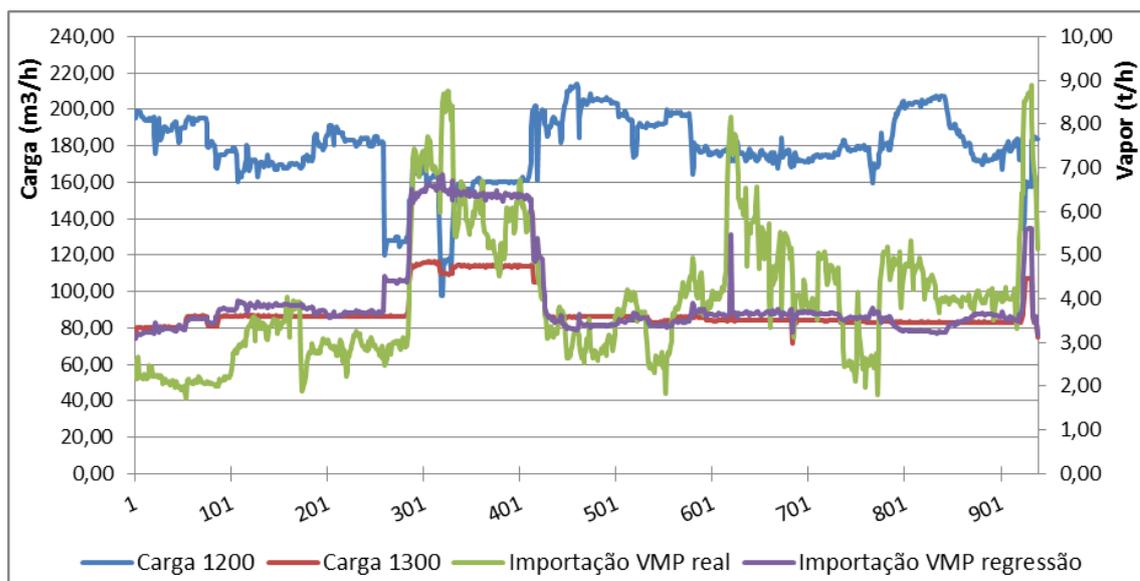


Figura 4.41 - Gráfico da importação de vapor real e da regressão realizada para a U-1200/1300.

64 Resultados da previsão de consumos

Com as equações capazes de realizar as previsões do consumo de vapor da unidade 1200/1300, procedeu-se ao cálculo do consumo elétrico médio destas unidades para posteriormente se calcular o balanço total da U-1200/1300. Neste caso calculou-se apenas para o funcionamento normal de exportação, porque é o habitualmente observado. Depois da paragem planeada da refinaria, a unidade 1300 irá trabalhar em funcionamento normal.

Tabela 4.23 - Consumo elétrico médio para a U-1200/1300.

Nível de carga	U-1200		U-1300	
	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	966,98	915,36	582,12	480,69
Carga máxima	1163,71	962,89	559,20	536,90
Média	1002,24		539,73	
Desv.pad	110,16		43,47	

$$Balanço_{total} = (1,00224 + 0,53973) + \left(\frac{\text{Exportação VMP regressão}_{1200/1300}}{\lambda} \right)$$

Com a equação do balanço total é possível traçar as respetivas curvas onde se pode observar as variações na unidade 1200/1300 conforme as cargas de cada uma. Foram desenvolvidos dois gráficos (figura 4.42 e 4.43) para se perceber a variação do balanço total perante as variações, tanto na carga da 1300, como na da 1200.

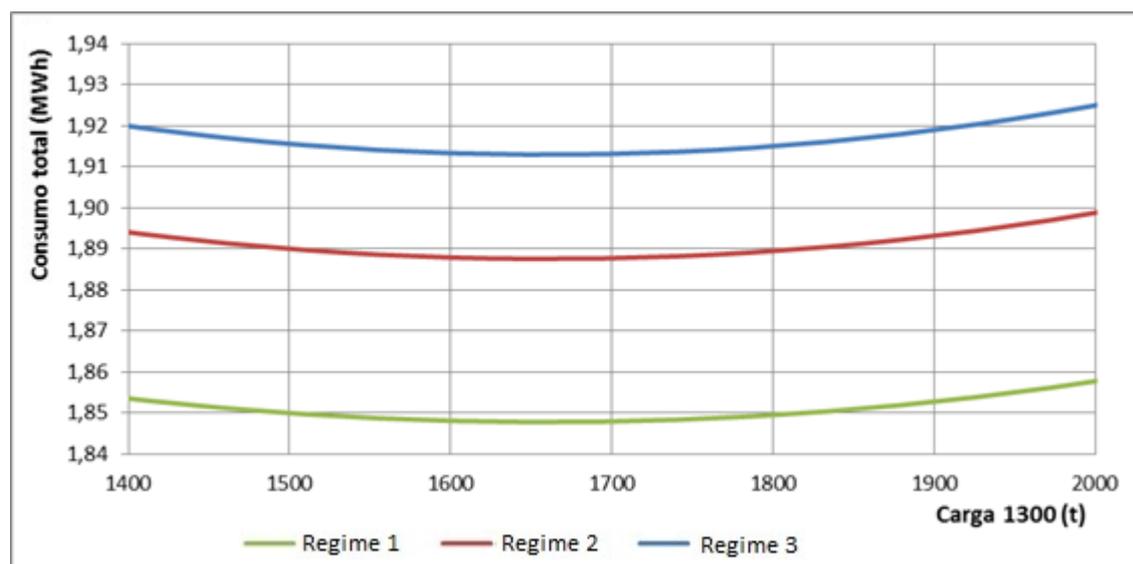


Figura 4.42 - Curvas do balanço total da U-1200/1300 relativamente à carga processada por dia na unidade 1300.

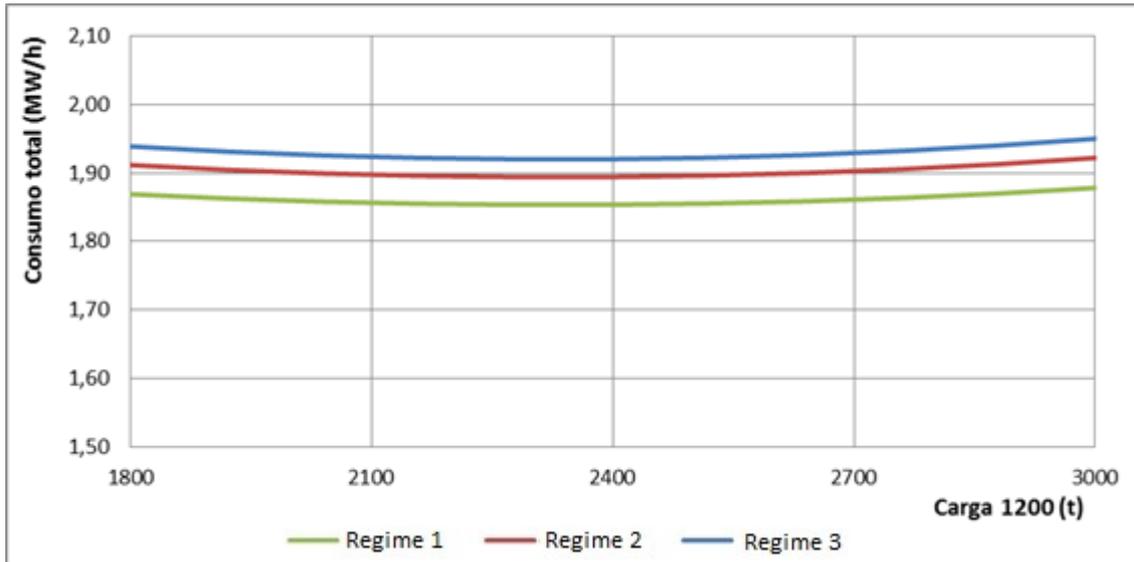


Figura 4.43 - Curvas do balanço total da U-1200/1300 relativamente à carga processada por dia na unidade 1200.

Como para esta unidade foi efetuada uma regressão de multivariável, apresentou-se as curvas separadamente para se ver melhor quais as alterações que cada uma das cargas pode provocar. É possível observar nas figuras 4.42 e 4.43, que a variação da carga da U-1300 provoca ligeiramente maiores variações no balanço da unidade. No entanto nenhuma das variações de carga provoca uma variação superior a 0,05 MWh. Para uma variação no balanço total tão baixo seria mais eficaz o uso de um valor médio de consumo de vapor.

4.3.2 - Unidade 1500/1600

As unidades 1500 e 1600 trabalham sempre em simultâneo, o que significa que têm uma apenas uma única entrada de matéria-prima como se fosse uma única unidade. A U-1500, denominada de tratamento de gases, realiza a extração do gás sulfídrico contido nas várias correntes gasosas destinadas a fuel-gás, utilizando uma lavagem em contracorrente com uma solução aquosa de dietanolamina. A U-1600, onde se realiza a recuperação de gases, compreende a separação dos gases incondensáveis, contidos nas correntes GPL (propano e butano), provenientes de diferentes unidades. Os produtos resultantes destas operações são o fuel-gás, que é enviado à unidade de tratamento de gases, e o GPL, que depois de sujeito ao tratamento Merox, é separado em propano e butano comerciais [9].

Estas unidades são simples unidades consumidoras de vapor e são compostas por diversos equipamentos consumidores de vapor de média pressão, sendo apenas um equipamento consumidor de vapor de intermédia pressão, localizado na U-1500. O vapor de intermédia pressão está compreendido entre vapor de média e o de baixa pressão, existindo alguns

equipamentos na refinaria que consomem este tipo de vapor. No entanto este tipo de vapor é simplesmente vapor de média pressão enviado da fábrica de utilidades que depois é transformado em intermédia pressão na própria unidade. Em média este grupo de unidades consome em média 4,3 t/h de vapor. A figura 4.44 exhibe o consumo de vapor correspondente à quantidade de matéria-prima que é processada na unidade, isto é, a carga da unidade.

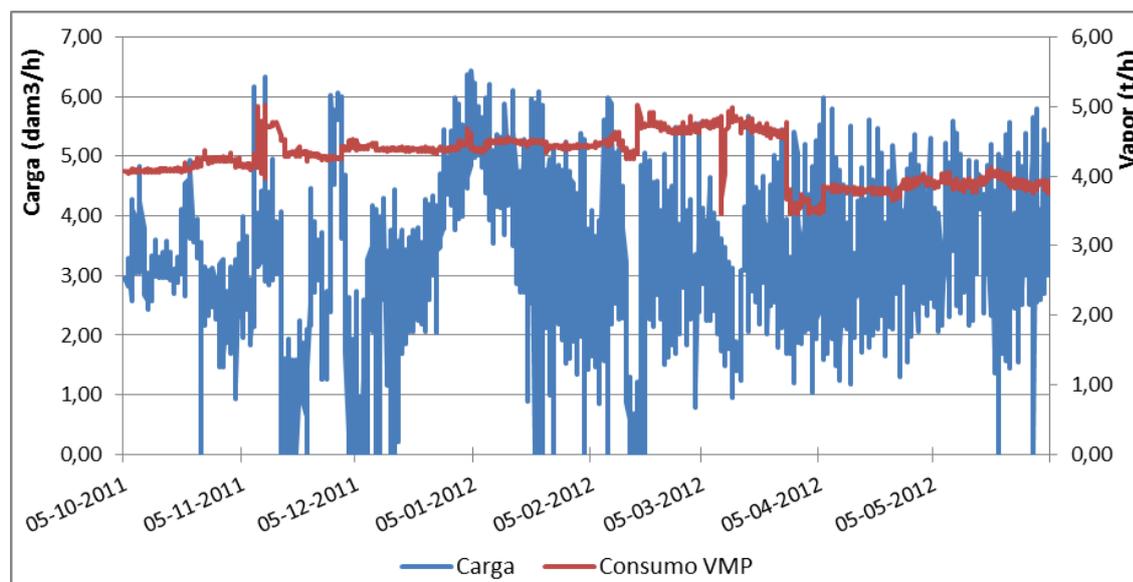


Figura 4.44 - Gráfico relativo à carga e consumo de VMP da U-1500/1600.

Igualmente às unidades 1200/1300, estas unidades têm bastantes anos de trabalho, o que quer dizer que podem estar sujeitos a alguns erros de medição ou erros da RTDB. Observando o gráfico da figura 4.44, é claramente visível o valor 0 constante na carga processada na unidade e no entanto esta consome vapor normalmente. Estes valores estão marcados na RTDB como *invalid* e foram eliminados do processo. A razão para estes valores nulos não se deve apenas a eventuais erros de medida, mas também a problemas de verificação/atualização da base de dados, em que não foi possível guardar/atualizar os respetivos valores de consumos de vapor. Não parece verosímil a empresa desconhecer este valor durante tanto tempo; o mais provável será uma falha no processo de armazenamento de dados.

Mesmo com um menor número de dados, procedeu-se à filtragem habitual de forma a ser possível realizar a regressão da equação de consumo de vapor da U-1500/1600 em funcionamento normal, tendo-se chegado aos coeficientes da tabela 4.24.

Tabela 4.24 - Coeficientes da equação de consumo de vapor para a U-1500/1600.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSE	MAPE
0,02458	-0,16504	4,50690	0,33470	0,06744

Com estes coeficientes da tabela é possível prever, com um determinado erro, o consumo de vapor de média e intermédia pressão das unidades com o recurso à equação (3.4):

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,02458 * \text{carga}^2 - 0,16504 * \text{carga} + 4,50690$$

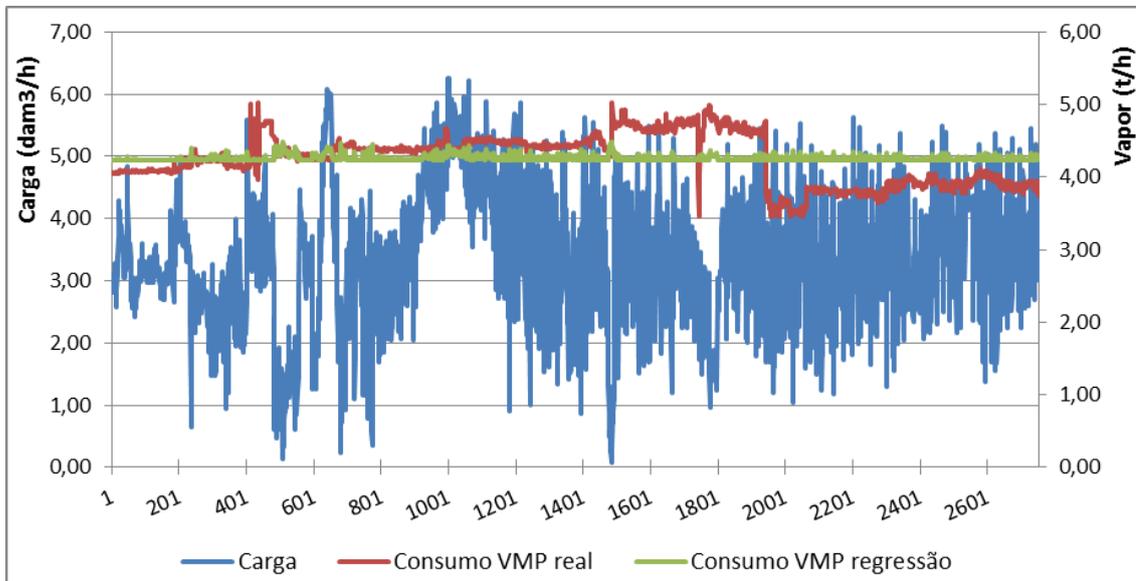


Figura 4.45 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão realizada para a U-1500/1600.

Os consumos de vapor destas unidades não têm grande relação com a quantidade de matéria-prima que estas estão a receber, como se pode verificar nos gráficos acima. Nestes casos seria provavelmente mais simples utilizar um valor médio constante de consumo de vapor pois não iria provocar erros significativos na energia que irá ser produzida no TG3. Outra hipótese seria apurar outras variáveis que ajudassem a descrever mais precisamente o consumo de vapor da U-1500/1600.

No entanto fez-se a uma rápida análise dos consumos elétricos e de vapor desta unidade para se verificar isso. Procedeu-se ao cálculo do consumo elétrico médio das unidades e depois ao cálculo do balanço total com o recurso à equação 3.5.

Tabela 4.25 - Consumo elétrico médio para a U-1500/1500.

Nível de carga	U-1500		U-1600	
	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)	ConsEE máximo (kWh)	ConsEE mínimo (kWh)
Carga mínima	82,78	77,60	1163,50	1050,36
Carga máxima	81,66	76,37	1364,96	1175,94
Média	79,60		1188,69	
Desv.pad	3,10		130,39	

$$Bal\grave{a}n\grave{c}o_{total} = (0,007960 + 1,18869) - \left(\frac{\text{Consumo VMP regress\~{a}o}_{1500/1600}}{\lambda} \right)$$

Através da equação do balanço total é possível traçar as curvas respetivas, apresentadas na figura 4.46, tendo em conta os três regimes de funcionamento considerados para o TG3.

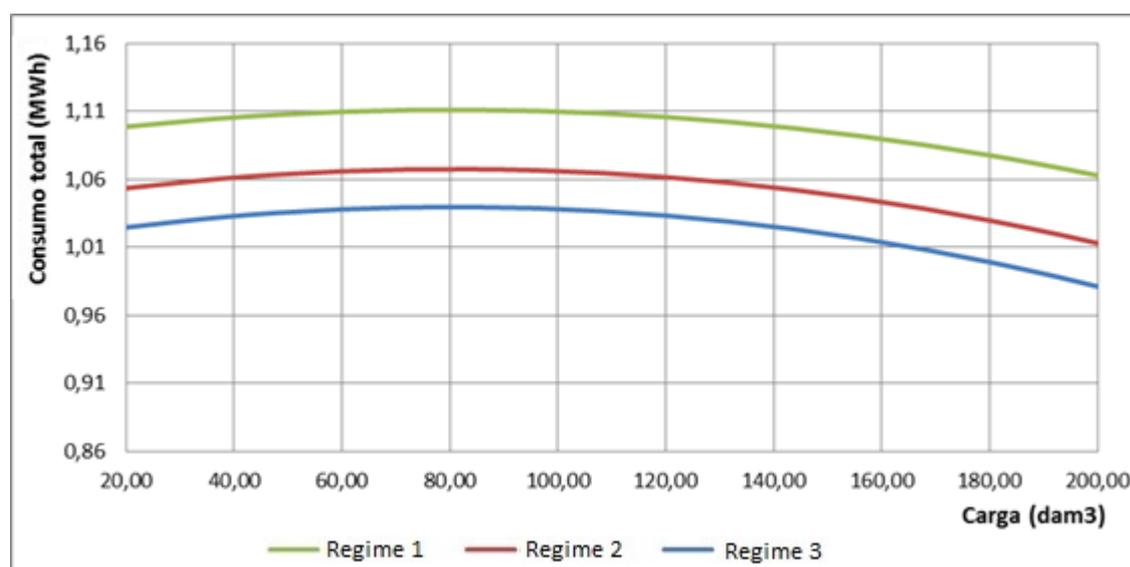


Figura 4.46 - Curvas do balanço total da U-1500/1600 relativamente à carga processada por dia.

Como é possível observar na figura 4.46, e como já tinha sido mencionado anteriormente, o balanço total desta unidade reage muito pouco com as variações na carga existentes, não chegando a alcançar 0,05 MWh. Relativamente ao consumo total da refinaria, 0,05 MWh corresponde a aproximadamente 0,15%, o que é significativamente baixo. O consumo desta unidade poderia ser considerado como um valor médio na previsão semanal, uma vez que não sofre grandes alterações. No entanto foi feita na mesma desenvolvido a equação de 2ª ordem, no caso de ser decidido utilizar esta abordagem na previsão final.

4.4 - Estratégias possíveis para melhorar a previsão

Apesar do principal objetivo desta dissertação ser a definição de modelos que permitam prever o consumo de vapor de uma unidade face à quantidade de matéria-prima que a unidade está a processar, nem sempre esta quantidade é suficiente para descrever o seu comportamento.

Neste subcapítulo pretendeu-se estudar duas estratégias que poderiam ser implementadas pela empresa com o objetivo de se melhorar os modelos implementados.

4.4.1 - Regressão multivariável com dados meteorológicos

Após discussão com diversas pessoas relacionadas com o processo industrial das diferentes unidades e fábricas da refinaria e de alguma pesquisa realizada, foi concluído que os fatores climáticos podiam ter algum efeito nos consumos de vapor da refinaria. Isto verifica-se pois, para além de poderem afetar as atividades portuárias, as diferenças de temperaturas, chuva, etc, podem também condicionar os consumos de vapor dos equipamentos ou até mesmo no circuito de vapor da refinaria [7].

Para realizar este estudo seria necessário ter acesso a uma base de dados com dados meteorológicos, preferencialmente locais, e combina-los com a base de dados disponibilizada pela refinaria. No entanto essas bases de dados tão específicas são um pouco difíceis de se obter, podendo mesmo ter custos bastante elevados. Então para o estudo desta dissertação foi utilizada uma base de dados referente a médias de Portugal Continental. O maior inconveniente desta base de dados é que se trata de dados meteorológicos de 2010 a 2011, enquanto as regressões realizadas neste trabalho foram maioritariamente calculadas a partir de dados de 2011 a 2013.

Com o objetivo de se testar diferentes fatores climáticos, foi utilizada a unidade 0200 da fábrica de aromáticos como unidade de teste devido ao seu consumo elevado de vapor e ao seu valor nos consumos de vapor da refinaria. Foi necessário recorrer de novo ao programa *Aspen* para se retirar dados de carga e consumos de vapor que corresponde-se ao período dos dados meteorológicos. Com estes dados realizou-se duas regressões, uma em que a variável independente é simplesmente a carga tal como descrito na metodologia no capítulo 3, outra onde as variáveis de entrada seriam a carga mais os fatores climáticos que poderiam aumentar a fiabilidade da previsão. Na base de dados meteorológicos é possível ter acesso à temperatura, pluviosidade, radiação solar, nuvens, densidade do ar, velocidade e direção do vento [6].

Através da metodologia anteriormente utilizada na realização deste trabalho, fez-se uma regressão 2ª ordem em que a carga seria a única variável independente para depois ser comparada com a regressão multivariável [8].

Tabela 4.26 - Coeficientes da equação univariável de consumo de vapor testada para a U-0200.

θ_2	θ_1	θ_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,02270	-1,82948	73,9675	0,06254	2,350558	5,31772

$$\text{Consumo VMP regressão} = 0,02270 * \text{carga}^2 - 1,82948 * \text{carga} + 73,9675 \quad .$$

70 Resultados da previsão de consumos

Para o desenvolvimento da equação multivariável, dos dados meteorológicos referidos foram utilizados a temperatura, a pluviosidade e radiação solar pois foram os que demonstraram melhor reação à diminuição do erro quadrático.

Tabela 4.27 - Coeficientes da equação multivariável de consumo de vapor testada para a U-0200.

β_4	β_3	β_2	β_1	β_0	RMSD	RMSE	MAPE
0,001699	-0,23700	2,94547	0,000473	40,1379	0,05159	1,93921	4,39059

$$\text{Consumo VMP regressão} = \beta_4 * R_{\text{solar}} + \beta_3 * \text{Temperatura} + \beta_2 * \sqrt{\text{Pluviosidade}} + \beta_1 * \text{carga}^2 + \beta_0 .$$

É possível observar através das tabelas 4.26 e 4.27 que o erro médio quadrático diminuiu e consequentemente o erro médio percentual diminuiu de 5,32% para aproximadamente 4,39%. Apesar de ser melhorado apenas aproximadamente 1%, se esta estratégia da contabilização dos fatores climáticos fosse implementada nas outras unidades, já seria uma melhoria considerável. É importante também referir que os dados meteorológicos utilizados representam uma média do país e não uma localidade em específico. Se fosse possível utilizar este tipo de dados meteorológicos relativos à zona onde a refinaria se encontra, estes provavelmente teriam um peso ainda maior. A refinaria de Matosinhos está situada junto ao mar e nestes locais os fatores climáticos nem sempre são idênticos à média do país, sobretudo no que diz respeito à força do vento e à sua direção, que pode ser sido a causa de as características do vento não melhorarem o suficiente a previsão para serem considerados como uma variáveis de entrada. Na figura 4.47 é possível observar o consumo de vapor real da unidade, e o consumo previsto com a regressão univariável e multivariável. Note-se que o consumo previsto através da regressão multivariável acompanha bastante melhor o consumo real, principalmente quando há mudança de dia para noite e vice-versa.

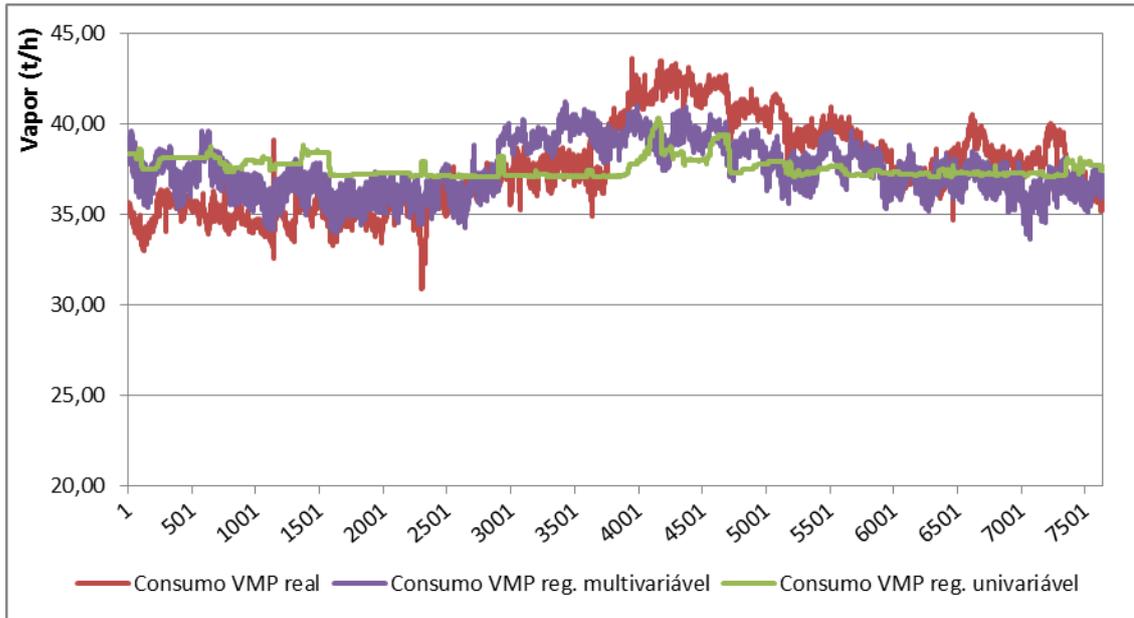


Figura 4.47 - Gráfico do consumo de vapor real e da regressão univariável e multivariável testada para a U-0200.

4.4.2 - Consequências da alteração da constituição da carga nos consumos de vapor

Como já foi referido ao longo deste trabalho, a constituição da carga processada numa unidade tem influência no consumo de vapor utilizado para se produzir os produtos pretendidos. Esta característica, apesar de não ser observável em todas as unidades da refinaria, afeta consideravelmente o consumo de vapor de certas unidades. Por exemplo, nas unidades onde é feito a destilação se a carga que estiver a ser processada for constituída por líquidos mais “pesados”, esta para realizar as suas funções terá de consumir mais vapor. Quando se diz um líquido mais “pesado” refere-se à densidade do produto, ou matéria-prima, que a unidade recebe para posteriormente conceber os produtos pretendidos pela empresa.

Tome-se como exemplo a unidade 0200 da FAR apresentada na secção 4.1.2 e repare-se na figura 4.48 onde é possível observar a carga que está a ser processada na unidade e o consumo de vapor em duas alturas distintas assinaladas com duas circunferências. Assinalado a verde encontrasse um máximo relativo registado em inícios de Janeiro de 2012, onde foi observado um máximo relativo da carga de 50,30 t/h correspondente a um máximo de 36,85 t/h de consumo de vapor da unidade. Na situação assinalada a azul encontrasse um máximo relativo registado em finais de Fevereiro de 2013, onde foi observado um máximo relativo da carga de 54,59 t/h correspondente a um máximo de 35,09 t/h de consumo de vapor.

72 Resultados da previsão de consumos

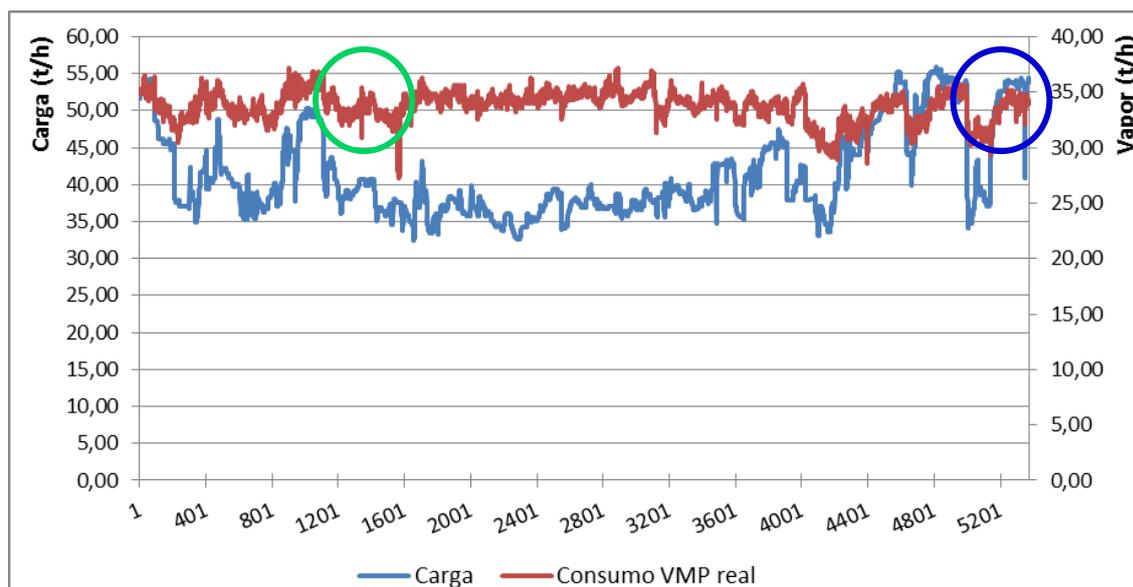


Figura 4.48 - Gráfico de observação do tipo de carga consumido na U-0200.

Para uma quantidade de carga menor (assinalado a verde) a unidade consumiu mais vapor do que para uma quantidade de carga maior (assinalado a azul). Logo é possível concluir que quando a unidade estava a processar menos carga, a constituição dessa carga seria mais pesada do que na outra situação, uma vez que as colunas de destilação consumiram mais vapor. Apesar destes desvios não parecem significativos, eles podem chegar a atingir quase 5 t/h de vapor consumido. Uma alteração de 4 t/h no consumo de vapor iria provocar uma alteração na energia produzida no TG3 de aproximadamente 0,4 MWh que pode corresponder a um desvio da energia importada de 3%. Claro que esta unidade é a que consome mais vapor da refinaria e é onde esta situação ocorre com maiores consequências. No entanto devido ao extenso número de unidades existentes, a agregação de todos estes pequenos desvios podem provocar consideráveis alterações na energia elétrica total produzida pela refinaria, tornando esta estratégia numa boa hipótese de explorar no sentido de melhorar a previsão de consumos de vapor.

Capítulo 5

Conclusão e trabalhos futuros

O Capítulo 5 encerra a dissertação e apresenta as conclusões retiradas do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, bem como apresenta as limitações da metodologia de cálculo utilizada. Sugere também ainda possíveis progressos para o método de cálculo utilizado e estratégias que poderiam ser implementados para trabalhos futuros.

5.1 - Conclusão

O trabalho desenvolvido no âmbito da dissertação consistiu, numa primeira fase, no enquadramento do projeto e da compreensão da importância do projeto para a refinaria. Foi necessário adquirir os conceitos básicos relativos ao funcionamento da refinaria, assim como as alternativas que a empresa tem para obtenção de energia, seja através de importação ou de produção interna da refinaria. No que diz respeito à importação saliente-se que um complexo industrial desta grandeza deve cumprir os valores de energia elétrica contratados, sob pena de incorrer em penalizações. Ao mesmo tempo a refinaria tem capacidade de produção de energia interna mas devido ao preço por MWh dos turbo-grupos, é vantajoso importar energia grande parte do tempo. No entanto para além do consumo de energia elétrica, a refinaria necessita também de vapor de média pressão para que as unidades das diferentes fábricas possam realizar as suas funções devidamente. Dado que este vapor pode ser obtido através dos turbo-grupos com turbina a vapor em contra-pressão, aproveita-se esta característica para produzir energia elétrica correspondente ao vapor que a refinaria necessita. O resto da energia elétrica necessária para a empresa trabalhar é produzido pelo turbo-grupo com turbina a vapor em condensação total ou é importada da rede.

Com a constante relação entre a energia produzida internamente e os consumos de vapor das unidades, é possível compreender a importância que a previsão de consumos irá

constituir no planeamento da empresa. Para a previsão do consumo de vapor das unidades foram especificados diversos modelos, baseados em regressões polinomiais, sendo grande parte delas de 2º grau e apenas dependendo da quantidade de carga que cada unidade processa. No caso em que duas unidades partilhavam o mesmo coletor de vapor, utilizou-se as duas quantidades de cargas processadas como variáveis independentes.

Depois de encontrada a equação do consumo de vapor, foi analisado o impacto que a unidade teria relativamente à energia produzida no turbo-grupo de contrapressão. Para isso foi criado um balanço total da unidade que reflete simultaneamente o consumo elétrico e o consumo de vapor da unidade. Com a realização das diversas regressões foi verificado que certas unidades não têm desvios significativos no consumo de vapor e conseqüentemente desvios na energia que é produzida na refinaria. Nestas unidades seria, provavelmente mais simples e prático, considerar o balanço total da unidade como um valor médio.

Para além das análises relacionadas com o objetivo principal da dissertação, procedeu-se a dois estudos complementares, feitos para examinar a possibilidade de melhorar as estimativas. Analisou-se o impacto que os fatores climáticos poderiam ter nos consumos de vapor e também o impacto da constituição da carga, isto é, a densidade da matéria-prima processada na unidade.

Como resultado principal do trabalho efetuado nesta dissertação salienta-se a possibilidade de realizar estimativas do consumo total das unidades estudadas dependendo da quantidade de carga que a empresa pretenda que as unidades processem. No processo anterior tal não era possível. O apuramento da capacidade de previsão significa um planeamento mais rigoroso e, deste modo, melhores decisões relativamente ao processo de compra e venda de energia.

5.2 - Trabalhos futuros

Apesar das diversas fábricas e respetivas unidades analisadas, ficou a faltar a linha II da fábrica de combustíveis e a fábrica de lubrificantes. A refinaria de Matosinhos é o maior complexo industrial do Norte e sendo o tempo de realização da dissertação limitado era difícil incluir todas as unidades constituintes da refinaria. No entanto, a metodologia utilizada neste trabalho mostrou-se adequada e passível de ser aplicada nas restantes unidades do complexo.

Com os dois estudos feitos no final da dissertação, ficam também duas possibilidades de desenvolvimento que se sugere que sejam equacionadas pela empresa num futuro próximo. A estratégia de incluir os dados meteorológicos na previsão pode ser mais complicada e dispendiosa, contudo a da constituição da carga é um conceito relativamente acessível de implementar, uma vez que essa análise já é, de certa forma, feita na refinaria.

Referências

- [1] L. Shun-Tsai, H. Sy-Ruen, and H. Ting-Yen, "Optimal identification of self-reunion multiple regression (SRMR) model based on regression function for short-term load forecasting," in *Power Engineering Conference, 2005. IPEC 2005. The 7th International*, 2005, pp. 1-46.
- [2] Y. Lijie, L. Qing, and C. Dezhen, "Recovery of steam produced from a large scale medical waste incinerator boiler: Choice of utilization system," in *Power Engineering and Automation Conference (PEAM), 2011 IEEE*, 2011, pp. 294-297.
- [3] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, *Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry*, United States Department of Energy, 2012.
- [4] J. G. da Silva Fonseca, T. Oozeki, T. Takashima, G. Koshimizu, Y. Uchida, and K. Ogimoto, "Photovoltaic power production forecasts with support vector regression: A study on the forecast horizon," in *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2011 37th IEEE*, 2011, pp. 002579-002583.
- [5] M. B. Jain, M. K. Nigam, and P. C. Tiwari, "Curve fitting and regression line method based seasonal short term load forecasting," in *Information and Communication Technologies (WICT), 2012 World Congress on*, 2012, pp. 332-337.
- [6] C. D. Monteiro, "Modelos de Regressão", Apontamentos da unidade curricular de Técnicas de Previsão do MIEEC, FEUP, 2012.
- [7] C. D. Monteiro, J. N. Fidalgo, "Previsão de consumos", Apontamentos da unidade curricular de Técnicas de Previsão do MIEEC, FEUP, 2012.
- [8] M. A. Matos, "Manual Operacional para a Regressão Linear", FEUP, 1995.
- [9] "Galp Energia - Refinaria de Matosinhos". Disponível em <http://www.galpenergia.com>. Acesso em Maio de 2013.
- [10] Cogen Portugal, "O que é a Cogeração". Disponível em http://www.cogenportugal.com/general_content/showInformation.aspx?mt=1&ml=34&type=2. Acesso em Maio de 2013.
- [11] GALP, "Descrição funcional da Central", documento interno da GALP, 2011.
- [12] GALP, "Manual de formação da Fábrica de Utilidades", documento interno da GALP, 2011.
- [13] ABB, and GALP, "Datasheet Turbogenerator 23 MW and Acceptance Tests", documento interno da GALP, 1977/1980.