

Reformulação de um Sistema de Gestão de Consumos de Energia

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Química

Ramo – Otimização Energética na Indústria Química

Mariana Gomes de Sousa

1080960

Orientador: Doutor Eng.º Christopher de Sá

Orientador da Empresa: Eng.º Luís Braga

Realizado em:



Porto, Novembro de 2014

Resumo

Atualmente a energia é considerada um vetor estratégico nas diversas organizações. Assim sendo, a gestão e a utilização racional da energia são consideradas instrumentos fundamentais para a redução dos consumos associados aos processos de produção do sector industrial. As ações de gestão energética não deverão ficar pela fase do projeto das instalações e dos meios de produção, mas sim acompanhar a atividade da Empresa. A gestão da energia deve ser sustentada com base na realização regular de diagnósticos energéticos às instalações consumidoras e concretizada através de planos de atuação e de investimento que apresentem como principal objetivo a promoção da eficiência energética, conduzindo assim à redução dos respetivos consumos e, conseqüentemente, à redução da fatura energética. Neste contexto, a utilização de ferramentas de apoio à gestão de energia promovem um consumo energético mais racional, ou seja, promovem a eficiência energética e é neste sentido que se insere este trabalho.

O presente trabalho foi desenvolvido na Empresa RAR Açúcar e apresentou como principais objetivos: a reformulação do Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa, a criação de um modelo quantitativo que permitisse ao Gestor de Energia prever os consumos anuais de água, fuelóleo e eletricidade da Refinaria e a elaboração de um plano de consumos para o ano de 2014 a partir do modelo criado.

A reformulação do respetivo Sistema de Gestão de Consumos resultou de um conjunto de etapas. Numa primeira fase foi necessário efetuar uma caracterização e uma análise do atual Sistema de Gestão de Consumos da Empresa, sistema composto por um conjunto de sete ficheiros de cálculo do programa Microsoft Excel[®]. Terminada a análise, selecionada a informação pertinente e propostas todas as melhorias a introduzir nos ficheiros, procedeu-se à reformulação do respetivo SGE, reduzindo-se o conjunto de ficheiros de cálculo para apenas dois ficheiros, um onde serão efetuados e visualizados todos os registos e outro onde serão realizados os cálculos necessários para o controlo energético da Empresa. O novo Sistema de Gestão de Consumos de Energia será implementado no início do ano de 2015. Relativamente às alterações propostas para as folhas de registos manuais, estas já foram implementadas pela Empresa. Esta aplicação prática mostrou-se bastante eficiente uma vez que permitiu grandes melhorias processuais nomeadamente, menores tempos de preenchimento das mesmas e um encurtamento das rotas efetuadas diariamente pelos operadores. Através do levantamento efetuado aos diversos contadores foi possível identificar todas as áreas onde será necessário a sua instalação e a substituição de todos os contadores

avariados, permitindo deste modo uma contabilização mais precisa de todos os consumos da Empresa. Com esta reestruturação o Sistema de Gestão de Consumos tornou-se mais dinâmico, mais claro e, principalmente, mais eficiente.

Para a criação do modelo de previsão de consumos da Empresa foi necessário efetuar-se um levantamento dos consumos históricos de água, eletricidade, fuelóleo e produção de açúcar de dois anos. Após este levantamento determinaram-se os consumos específicos de água, fuelóleo e eletricidade diários (para cada semana dos dois anos) e procedeu-se à caracterização destes consumos por tipo de dia. Efetuada a caracterização definiu-se para cada tipo de dia um consumo específico médio com base nos dois anos. O modelo de previsão de consumos foi criado com base nos consumos específicos médios dos dois anos correspondentes a cada tipo de dia. Procedeu-se por fim à verificação do modelo, comparando-se os consumos obtidos através do modelo (consumos previstos) com os consumos reais de cada ano. Para o ano de 2012 o modelo apresenta um desvio de 6% na previsão da água, 12% na previsão da eletricidade e de 6% na previsão do fuelóleo. Em relação ao ano de 2013, o modelo apresenta um erro de 1% para a previsão dos consumos de água, 8% para o fuelóleo e de 1% para a eletricidade. Este modelo permitirá efetuar contratos de aquisição de energia elétrica com maior rigor o que conduzirá a vantagens na sua negociação e consequentemente numa redução dos custos resultantes da aquisição da mesma. Permitirá também uma adequação dos fluxos de tesouraria à necessidade reais da Empresa, resultante de um modelo de previsão mais rigoroso e que se traduz numa mais-valia financeira para a mesma.

Foi também proposto a elaboração de um plano de consumos para o ano de 2014 a partir do modelo criado em função da produção prevista para esse mesmo ano. O modelo apresenta um desvio de 24% na previsão da água, 0% na previsão da eletricidade e de 28% na previsão do fuelóleo.

Palavras – Chave: Energia, Eficiência Energética, Sistema de Gestão de Consumos de Energia, Consumos Energéticos, Modelo de Previsão de Consumos

Abstract

Energy is currently considered a strategic vector in various organizations. Therefore, the management and rational use of energy are considered essential tools for reducing consumption associated with the production processes in the industrial sector. Energy management should not be done only in the design phase of facilities and means of production, but rather follow the activity of the Company. Energy management should be sustained based on the holding of regular energy audits to consuming facilities and implemented through action plans and investment that have as main objective the promotion of energy efficiency, thus leading to the reduction of the respective consumption and, consequently, the reduction of the energy bill. In this context, the use of support energy management tools promote a more rational energy consumption, i.e., promote energy efficiency and it is in this idea that this work is based on.

The present work was developed in the Company RAR Açúcar and presented as main objectives: recasting the Energy Consumption Management System of the Company, the creation of a quantitative model that would allow the Energy Manager to predict the annual consumption of water, fuel and electricity of the Refinery and the elaboration of a plan of consumption to the year 2014 based on the model created.

The reformulation of the respective Consumption Management System resulted in a set of steps. In the first phase it was necessary to make a characterization and analysis of the current system of Consumption Management that consisted of a set of seven calculation files of Microsoft Excel[®] program. After the analysis, the selection of the relevant information and all the proposed improvements to the files, came the overhaul of the respective EMS, reducing the set of files used to calculate to only two files, one where there will be made and viewed all the records and another where the necessary calculations for the energy control of the Company will be realized. The new Energy Consumption Management System will be implemented at the beginning of the year 2015. Regarding the proposed amendments to the sheets of manual records, these have already been implemented by the Company. This practical application has shown to be very efficient since it allowed large procedural improvements like less time filling the sheets and a shortening of routes carried out daily by the operators. Through a survey conducted at various counters, all the areas where the installation and replacement of all defective meters were identified, allowing a more accurate and correct accounting of all the Company's consumptions. With this restructuring the Consumption Management System of the Company has become more dynamic, clear, and especially more efficient.

To create the model used to predict the consumption of the Company it was necessary to make up a survey of the historical consumption of water, electricity, fuel oil and sugar production of two years. After this survey, the specific consumption of water, electricity and fuel oil daily (of every week of those two years) were determined and a characterization of these types of consumption per day was made. After the characterization was performed, it was then defined for each type of day, a specific average consumption based in the two years. The prediction model of consumption was created based on the specific average consumption of the two years corresponding to each type of day. After that, the verification of the model was made, comparing the obtained results using the model (predicted consumptions) with the real consumptions of each year. For the year 2012 the model shows a deviation of 6% in predicting the water, 12% in predicting the electricity and 6% in the fuel prediction. For the year 2013, the model has an error of 1% for the prediction of water consumption, 8% for fuel oil and 1% for electricity. This model will allow the company to purchase contracts of electrical power with greater rigor leading to advantages in negotiating and consequently a reduction of the costs of acquiring it. It will also allow for an adequacy of cash flows to the real needs of the Company, resulting from a more accurate prediction model which translates into a financial asset for the Company.

It was also proposed the elaboration of a consumption plan for the year of 2014 based on the created model on the basis of expected production for the same year. The model shows a deviation of 24% in predicting the water, 0% in predicting the electricity and 28% in the fuel prediction.

Key-Words: Energy, Energy Efficiency, Energy Consumption Management System, Energy Consumption, Consumption Predicting Model

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à administração da Empresa RAR Açúcar, pela oportunidade de realização de estágio, o que me permitiu um contacto com a indústria e deste modo aumentar o meu leque de conhecimentos.

Gostaria de agradecer ao meu orientador na Empresa, Eng.º Luís Braga, pela preocupação, apoio e disponibilidade prestada durante todo o estágio e por todo o conhecimento que me transmitiu.

Ao Sr.º João Carlos, pela disponibilidade que mostrou para me ajudar e para me esclarecer dúvidas, sempre que precisei.

A todas as pessoas da RAR Açúcar que me ajudaram na minha integração e com quem convivi diariamente.

Ao meu orientador do ISEP, Doutor Christopher Sá, por toda a disponibilidade, apoio e ajuda prestada durante o estágio.

Agradeço a todos os docentes do ISEP que contribuíram para a minha formação académica.

Gostaria também de agradecer a duas pessoas muito importantes na minha vida, os meus pais, por todo o carinho, dedicação, apoio prestados durante os anos de curso e por todos os esforços que fizeram para tornar este sonho possível.

Aos meus irmãos, por todo o carinho e amor que sempre me transmitiram.

Ao meu namorado, por todo o incentivo, apoio, preocupação e carinho demonstrado durante todos estes anos.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos que sempre me acompanharam, por toda a amizade e carinho demonstrado ao longo da minha vida.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação da Empresa	1
1.2	Caracterização da Empresa RAR Açúcar	2
1.3	Descrição do Processo de Refinação	3
1.4	Motivação e Objetivos	15
1.5	Estrutura da dissertação.....	16
2	Fundamentação teórica	19
2.1	Panorama Energético Mundial.....	19
2.2	Enquadramento da Gestão de Energia.....	22
2.2.1	A Gestão da Energia	23
2.2.2	Indicadores de desempenho energético	24
2.2.3	Auditorias energéticas	26
2.2.4	Sistemas de Gestão de Energia	26
2.2.5	Tipos de Sistemas de Gestão de Energia.....	27
2.3	Enquadramento legal.....	29
2.3.1	Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril	29
2.3.2	Norma ISO 50001:2011	32
2.4	Modelos de Previsão	34
3	Consumos Energéticos.....	37
3.1	Energia Elétrica	37
3.2	Fuelóleo, Gás Natural e Propano.....	38
3.3	Água.....	38
4	Sistema de Gestão de Energia da Empresa	39
4.1	Caracterização do Atual Sistema de Gestão de Energia	39
5	Reformulação do Sistema de Gestão de Energia	55
5.1	Levantamento dos contadores da Empresa.....	55
5.2	Análise dos Ficheiros de Excel	57
5.3	Revisão das estimativas do atual SGE	68
5.4	Revisão das folhas de registos manuais.....	76
5.5	Novo Sistema de Gestão de Consumos	76
6	Modelo de Previsão de Consumos	81
6.1	Levantamento dos consumos históricos	81
6.2	Determinação dos consumos específicos.....	83
6.3	Caracterização dos consumos específicos por tipo de dia.....	84

6.4	Caracterização do ano de 2012.....	86
6.5	Caracterização do ano de 2013.....	91
6.6	Verificação do modelo	96
6.7	Plano de Consumos	97
	Conclusão.....	99
	Bibliografia.....	101
	Anexo A.....	105
	Anexo B.....	107
	Anexo C.....	125

Índice de figuras

Figura 1.1. Empresa RAR Açúcar [1]	2
Figura 1.2. Diagrama representativo da RAR Cogeração	3
Figura 1.3. Fluxograma do processo de refinação de açúcar	5
Figura 2.1. Consumo de energia primária por fonte energética [6].....	19
Figura 2.2. Consumo de energia primária por fonte energética na União Europeia [6]	20
Figura 2.3. Dependência energética Nacional e da União Europeia [6]	20
Figura 2.4. Consumo de energia final por setor de atividade [6]	21
Figura 2.5. Consumo de energia final por setor de atividade na União Europeia e em Portugal [6]	21
Figura 2.6. Modelo do Sistema de Gestão de Energia da Norma ISO 50001 [14].....	33
Figura 3.1. Consumos energéticos de ambas as Empresas	37
Figura 4.1. Estrutura do Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa ..	40
Figura 4.2. Estrutura da tabela existente na folha de registos onde diariamente são introduzidas as leituras de água por tipo de contador	44
Figura 4.3. Estrutura da tabela existente na folha de registos onde diariamente são determinados os consumos de água por tipo de contador	45
Figura 4.4. Mapa diário com os vários consumos da Empresa	46
Figura 4.5. Estrutura da folha onde mensalmente são determinados e visualizados os KPI'S.....	48
Figura 4.6. Esquema representativo da Central de Cogeração.....	49
Figura 5.1. Distribuição dos consumos de energia primária no ano de 2013	62
Figura 5.2. Distribuição das emissões de gases com efeito de estufa no ano de 2013	63
Figura 5.3. Evolução do consumo específico de energia durante o ano de 2013.....	64
Figura 5.4. Evolução do indicador intensidade carbónica ao longo do ano de 2013 ...	64
Figura 5.5. Esquema representativo da turbina KKK.....	73
Figura 5.6. Esquema representativo da turbina KKK.....	74
Figura 5.7. Esquema representativo do desgaseificador da água de alimentação às caldeiras	75
Figura 6.1. Evolução dos consumos ao longo de uma semana normal.....	84
Figura 6.2. Consumo específico mínimo, máximo e médio de água para cada tipo de dia do ano de 2012.....	88
Figura 6.3. Quantidade de água consumida nos dias do tipo A e P do ano de 2012... 89	
Figura 6.4. Consumo específico de eletricidade para cada tipo de dia do ano de 2012	89
Figura 6.5. Consumo de eletricidade nos dias do tipo A e P do ano de 2012.....	90
Figura 6.6. Consumo específico de fuelóleo para cada tipo de dia do ano de 2012 ...	90
Figura 6.7. Consumo de fuelóleo para os dias do tipo A e P do ano de 2012	91
Figura 6.8. Consumo específico de água por tipo de dia	93
Figura 6.9. Quantidade de água consumida para cada tipo de dia do ano de 2013	93
Figura 6.10. Consumo específico de eletricidade para cada tipo de dia do ano de 2013	94
Figura 6.11. Consumo de eletricidade nos arranques e nas paragens do ano de 2013	94
Figura 6.12. Consumo específico de fuelóleo para cada tipo de dia do ano de 2013 ..	95
Figura 6.13. Consumo de fuelóleo nos arranques e nas paragens do ano de 2013....	95

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Indicadores de eficiência energética [12].....	25
Tabela 2.2. Ferramentas de apoio à gestão de energia e respetivas entidades promotoras [4].....	28
Tabela 4.1. Consumos faturados entre as Empresas.....	51
Tabela 5.1. Contadores de água avariados e respetivas características	56
Tabela 5.2. Características do contador de retorno de fuelóleo avariado	57
Tabela 5.3. Indicadores de desempenho propostos.....	60
Tabela 5.4. Fatores de conversão das diferentes formas de energia para tep e para kgCO ₂ e segundo o Decreto-Lei nº 71/2008	61
Tabela 5.5. Consumo de energia primária e emissões de gases com efeito de estufa no ano 2013.....	62
Tabela 5.6. Valores obtidos para os indicadores energéticos e consumo total de energia primária, para o ano de 2013	65
Tabela 5.7. Evolução do Consumo Específico de Energia de 2013 a 2019	65
Tabela 5.8. Evolução do indicador Intensidade Energética de 2013 a 2019	66
Tabela 5.9. Manutenção do histórico do indicador Intensidade Carbónica até 2019 ...	66
Tabela 5.10. Resultados obtidos para cada tipo de perda e rendimento em cada caldeira	72
Tabela 5.11. Número de folhas de cálculo existentes inicialmente em cada ficheiro e número de folhas de cálculo existentes após a reformulação	79
Tabela 6.1- Número de tipo de dias existentes no ano de 2012.....	87
Tabela 6.2. Quantidade de tipos de dias existentes no ano de 2013	92
Tabela 6.3. Erro associado ao modelo criado para cada tipo de consumo.....	97
Tabela 6.4. Erro associado ao modelo na previsão dos consumos para o ano de 2014	98

Nomenclatura

Unidades de Medida

Variável	Designação	Unidades
A	Fração em peso de inertes no combustível	%
()	Amperes	A
°Be	Densidade do líquido	()
°Brix	Percentagem de massa de sólidos na solução	%
C _{cc}	Fração em peso do combustível nas cinzas volantes	%
C	Percentagem em peso de carbono no combustível	%
CO	Percentagem em volume de monóxido de carbono nos gases de combustão	%
CO ₂	Percentagem em volume de dióxido de carbono nos gases de combustão	%
F _{cl}	Fração em peso das cinzas volantes em relação ao total de inertes no combustível	%
H	Percentagem em peso de hidrogénio no combustível nas condições de queima	%
K	Constante que depende do combustível utilizado	()
M	Massa	kg
P	Pressão	Bar
P _{Cf}	Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo	%
PCI	Poder Calorífico Inferior	kJ/kg
P _{CO}	Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão	%
P _{CV}	Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes	%
P _{H2O}	Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão	%
P _{gc}	Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão	%
P _P	Calor perdido nas purgas	%

()	rotações por minuto	rpm
T	Temperatura	°C
Tag	Temperatura da água de alimentação à caldeira	°C
TDS	Sólidos dissolvidos totais	ppm
Tg	Temperatura dos gases de combustão	°C
()	Distorção harmónica total	THD
Tp	Temperatura das purgas	°C
()	Tensão Elétrica	V

Letras Gregas

η	Rendimento da caldeira	%
--------	------------------------	---

Lista de Abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
ARCE	Acordo de Racionalização de Consumos de Energia
CEE	Consumo Específico de Energia
CER's	Créditos de Carbono
DGAIEC	Direção Geral das Alfândegas e Impostos especiais sobre o Consumo
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA's	Licenças de Emissões de dióxido de carbono
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IC	Intensidade Carbónica
IE	Intensidade Energética
INE	Instituto Nacional de Estatística

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISSO	<i>International Organisation for Standardisation</i>
ISP	Imposto sobre os Produtos Petrolíferos e Energéticos
KPI's	<i>Key Performance Indicator</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNALE	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PREn	Plano de Racionalização de Consumos de Energia
PRM	Posto de Regulação e Medida
PRT	Posto de Receção/Transformação e Distribuição
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RAR	Refinarias de Açúcar Reunidas
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
SMAS	Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento
URE	Utilização Racional de Energia

Símbolos Químicos

CaO	Óxido de Cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂ O	Água

1 Introdução

1.1 Apresentação da Empresa

A Empresa RAR Açúcar foi constituída em 1962, como resultado da concentração de nove unidades de refinação de açúcar que existiam no Norte do País. A sigla RAR (Refinarias de Açúcar Reunidas) resulta exatamente da reunião dessas refinarias. Atendendo à necessidade de produção de grandes quantidades de açúcar, foi projetada uma nova refinaria para substituir as já existentes, sendo que até à conclusão da nova unidade de produção, começar-se-ia a comercializar a produção existente nas nove refinarias estabelecidas.

As novas instalações da RAR começaram a ser construídas em 1963, ficando concluídas em 1967, data em que a RAR iniciou a sua laboração com uma capacidade de produção superior (25 000 t/ano), permitindo à Empresa atingir, nesse mesmo ano, cerca de 22 000 toneladas vendidas, o que correspondia a 11,78% das vendas de açúcar no País.

No ano seguinte a Empresa passou a ter uma nova composição acionista, possibilitando um novo dinamismo e, simultaneamente, um crescimento da mesma. Na sequência da nova composição acionista foi realizado um aumento de capital da sociedade e aumentada a capacidade de produção da Refinaria com o objetivo de acompanhar o crescimento das vendas e o aumento da quota de mercado da RAR.

Em 1973 a RAR adquiriu a Refinaria Angola, localizada em Matosinhos, altura em que o volume de vendas da Empresa passou a representar aproximadamente 45% do mercado nacional.

As décadas de 1970 e 1980 foram marcadas pela expansão da atividade da RAR, pela diversificação para outras áreas de negócio e conseqüente criação de mais empresas que passariam desde então a constituir o grupo que é hoje conhecido como “Grupo RAR”.

No ano de 1991 a Refinaria de Matosinhos foi encerrada e toda a atividade produtiva da RAR foi concentrada na Refinaria do Porto. A concentração da atividade da RAR numa única unidade produtiva e os sucessivos investimentos em tecnologia permitiu à Empresa aumentar a sua capacidade produtiva e desta forma obter assinaláveis ganhos de eficiência.

No início do século XXI a Empresa apresentava uma capacidade produtiva de 240.000 t/ano, sendo que o objetivo traçado nessa altura passava pela afirmação da RAR como uma referência de qualidade no mercado ibérico no que respeita a produtos e serviços inovadores.

Nos últimos anos, a Empresa tem-se ajustado às novas realidades do mercado, apostando na modernização dos seus processos de fabrico, logístico e também de gestão com o intuito de se tornar cada vez mais eficiente.

A Empresa RAR Açúcar (figura 1.1) continua empenhada em garantir a qualidade e a segurança alimentar dos seus produtos, assumindo o compromisso de melhoria contínua do seu comportamento ambiental. Como resultado deste empenho, a Empresa tem obtido ao longo destes últimos anos algumas certificações. No ano de 1998 obteve a certificação de qualidade pela norma NP EN ISO 9001:2000, em 2006 a certificação ambiental pela norma ISSO 14001:2004 e mais recentemente (em 2009 e 2010) obteve a certificação em segurança alimentar pelas normas NP EN ISSO 22000:2005 e IFS (*International FOOD Standard*).



Figura 1.1. Empresa RAR Açúcar [1]

1.2 Caracterização da Empresa RAR Açúcar

A Empresa RAR Açúcar é composta por duas Empresas distintas e autónomas: a RAR Cogeração e a RAR Refinaria.

A RAR Cogeração é constituída por duas centrais, a Central de Cogeração a gás natural e a Central de Cogeração a fuelóleo, ambas responsáveis pela produção de energia térmica para a laboração da Refinaria. Para além de energia térmica, nestas centrais é também produzida energia elétrica.

A central designada por central de Cogeração a gás natural é composta por um ciclo combinado de produção de energia elétrica e energia térmica, uma turbina a gás natural e uma caldeira de recuperação.

A central de Cogeração a fuelóleo é composta por três caldeiras aquatubulares. Neste tipo de caldeiras a água circula no interior dos tubos onde é aquecida pelos gases de combustão que circulam no exterior dos mesmos, produzindo vapor de alta pressão (24 bar). O vapor produzido nas caldeiras antes de ser encaminhado para os consumidores finais (Refinaria) atravessa uma turbina de contrapressão onde sofre uma forte expansão, aumentando desta forma a sua velocidade e reduzindo a sua pressão e a sua temperatura (temperatura final de 125°C e pressão de 1 bar). Este é alimentado à turbina consoante as necessidades da Refinaria, ocorrendo simultaneamente a produção de energia elétrica. O vapor produzido na caldeira de recuperação é enviado para um coletor geral onde é misturado com o vapor turbinado, sendo posteriormente enviado para a Refinaria. Na figura 1.2 encontra-se representado um diagrama simplificado da Empresa RAR Cogeração.

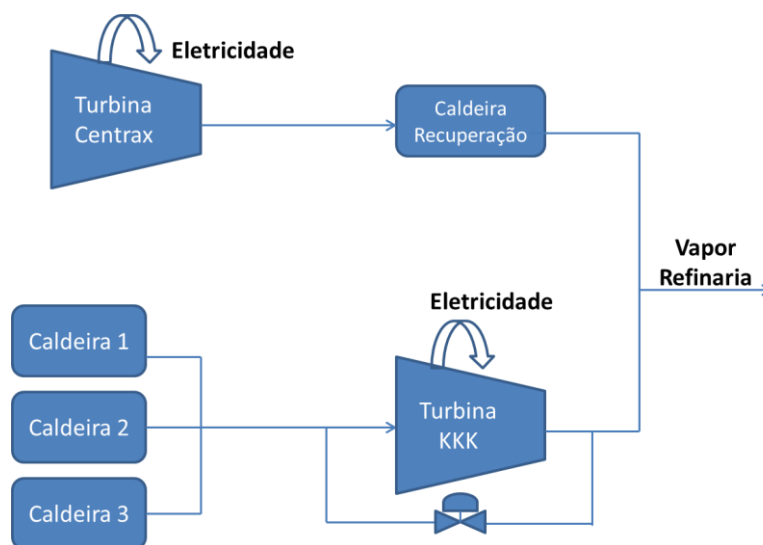


Figura 1.2. Diagrama representativo da RAR Cogeração

1.3 Descrição do Processo de Refinação

A matéria-prima utilizada para o processo de fabrico é a rama, produzida a partir da cana do açúcar em países tropicais e subtropicais da Ásia, África e América Central e do Sul. Esta é recebida no Porto de Leixões, e transportada em camiões até aos armazéns da Refinaria onde é armazenada. A partir do armazém a rama é transportada através de um tapete rolante para a fábrica, sendo armazenada em silos.

A rama do açúcar é transformada em cristais de açúcar puros através de um processo de refinação. Este processo tem como principal objetivo extrair a quantidade máxima de sacarose existente na rama, e através de processos de cristalização, obter cristais de açúcar com elevada pureza e que obedeçam às normas alimentares em vigor.

O processo de refinação de açúcar é constituído por um conjunto de etapas, a afinação, a dissolução, a carbonatação, a filtração, a descoloração, a evaporação, a cristalização, a centrifugação, a secagem e a classificação, encontrando-se representado na figura 1.3 o respetivo fluxograma do processo.

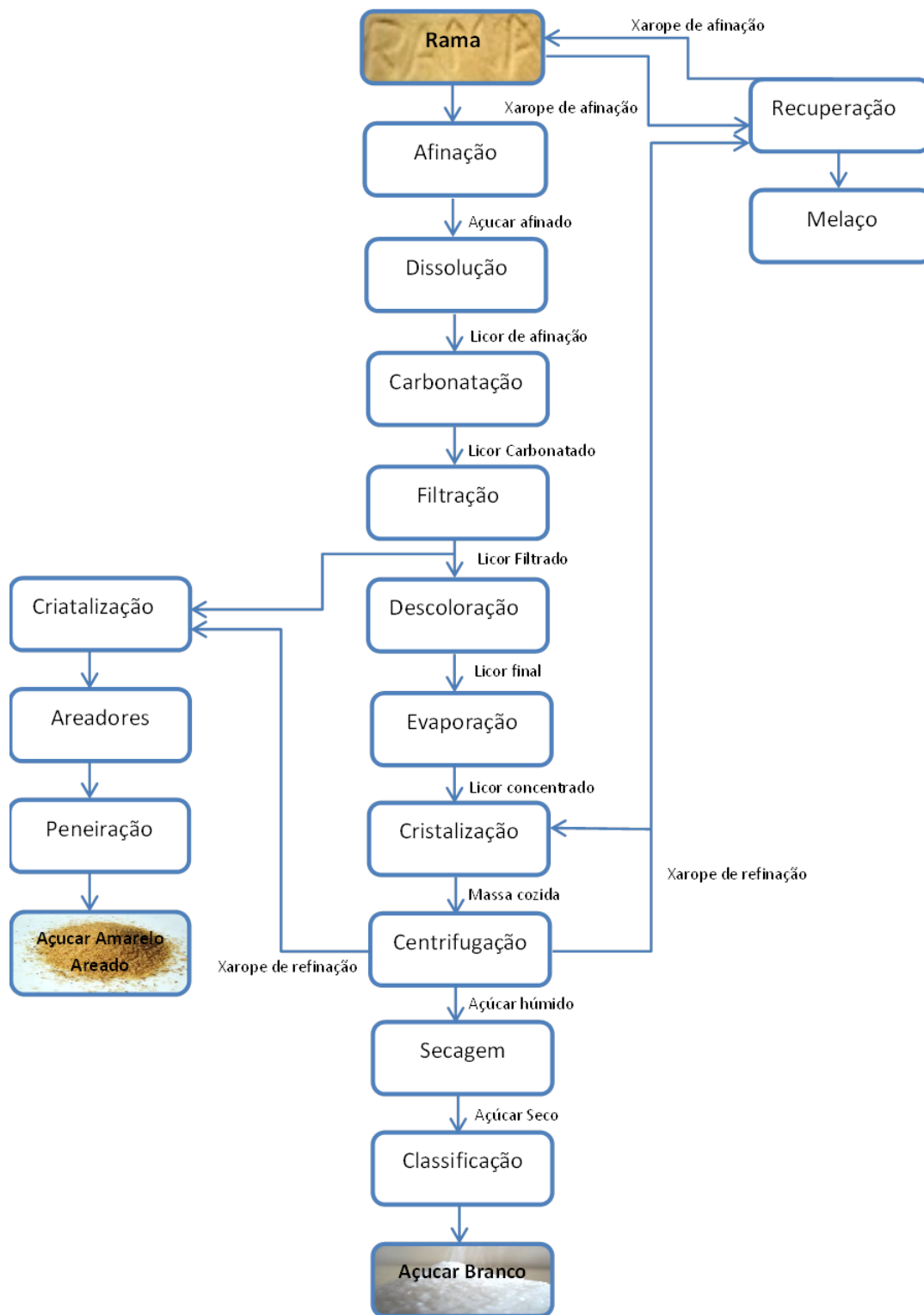


Figura 1.3. Fluxograma do processo de refinação de açúcar

- **Afinação**

A rama de açúcar apresenta um aspeto acastanhado escuro devido à película de impurezas que envolvem o cristal. Esta película é responsável pela acumulação de

impurezas, sendo necessário a sua remoção para que se obtenha açúcar de boa qualidade. Para tal, numa primeira fase a rama é submetida a um processo de afinção, de forma a separar a película superficial de impurezas do cristal de rama.

Em função das necessidades de produção, parte da rama que se encontra armazenada nos silos é pesada numa balança e descarregada numa amassadora de rama. Nesta amassadora, a rama é misturada com um xarope de afinção quente (aquecido previamente num permutador de placas até uma gama de temperaturas de 70-75°C e com uma concentração entre os 70-75°Brix), para que a película superficial da rama seja amolecida. O doseamento da adição do xarope de afinção quente é realizado em função da consistência pretendida para o magma, devendo a sua concentração oscilar entre 66 e os 68°Brix (percentagem de massa de sólidos na solução) e a sua temperatura estar próxima dos 40°C.

A mistura resultante é designada por magma de afinção, que através de uma calha passa para uma amassadora intermédia. Esta amassadora recebe o magma composto por uma mistura de cristais de rama e xarope sobressaturado em sacarose, que vai cristalizando durante o tempo em que permanece nesta amassadora. Posteriormente, o magma segue para a secção de centrífugas de afinção, secção composta por quatro centrífugas descontínuas. Estas centrífugas são essencialmente constituídas por um cilindro vertical revestido com uma rede, que funciona como uma cesta, permitindo a separação dos cristais de rama (originando o açúcar afinado) do xarope de afinção que os envolve.

O ciclo de uma centrifugação inicia-se quando o magma de afinção entra no topo da centrífuga e se espalha pela parede da sua cesta, devido à força centrífuga que varia entre as 50 e as 80 rpm. O movimento de rotação vai aumentando, e desta forma vai expulsando o xarope pela rede da cesta. Quando a rotação atinge a velocidade de 1500 rpm, grande parte do xarope que envolve os cristais já foi expulso, sendo então realizada uma lavagem com água quente (85°C-90°C) que entra na centrífuga através de uma cana de injetores, permitindo retirar a película que ainda resta.

Após a realização da lavagem, a centrífuga entra em desaceleração, e com auxílio de um raspador, o açúcar afinado é descarregado para um sem fim (transportador de parafuso), constituído por injetores que adicionam água doce. As águas doces são adicionadas de forma a facilitar o transporte do açúcar para o dissolvedor e ao mesmo tempo funcionam como pré-dissolvedor. Após cada ciclo, procede-se à lavagem da rede da centrífuga, para se retirar os grãos de açúcar que ficaram agarrados à mesma.

A etapa seguinte é designada por dissolução do açúcar afinado.

- **Dissolução do açúcar afinado**

A etapa de dissolução permite que o açúcar afinado, o açúcar recuperado e o açúcar não conforme sejam dissolvidos em dissolvedores. O açúcar afinado e o recuperado resultam da etapa de afinação e de recuperação, existindo para cada tipo de açúcar um dissolvedor (o dissolvedor de afinação e dissolvedor de recuperação). Já o açúcar não conforme, corresponde ao açúcar que retorna à fábrica por não apresentar as condições necessárias para a sua comercialização, tais como o rompimento das embalagens ou o empedramento do açúcar devido à humidade.

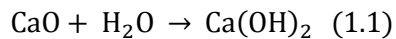
O dissolvedor de afinação recebe o açúcar proveniente das centrífugas de afinação. Este é composto por três agitadores, e apesar de ter uma válvula de vapor direto este não é aquecido durante a operação, apenas é aquecido no arranque (no início da semana) e caso ocorra algum problema que justifique a sua utilização. Já o açúcar de recuperação é recebido pelo dissolvedor de recuperação aquecido durante a operação com vapor direto através de injetores, que dissolve o açúcar com águas doces.

Depois de dissolvidos, os açúcares passam para um tanque retangular, designado por tanque do dissolvedor. Antes de caírem no tanque, os açúcares passam por um peneiro vibratório que permite retirar todos os sólidos indesejáveis que o licor possa ainda conter. No tanque retangular, os licores provenientes de cada dissolvedor são então recolhidos, sendo uma parte destes bombeada para a etapa seguinte e a restante parte bombeada para o dissolvedor de afinação. O licor é aquecido num permutador de placas (de 70 para 95°C), antes de entrar no dissolvedor de afinação. Para que a concentração dos licores seja ajustada para uma concentração de aproximadamente 65°Brix, são também adicionadas águas doces no tanque do dissolvedor. O licor que sai do dissolvedor é designado por licor de afinação, licor este que é bombeado para a etapa seguinte, a carbonatação.

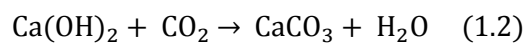
- **Carbonatação**

Esta etapa tem como principal objetivo eliminar as impurezas que ainda não foram eliminadas do licor nas etapas anteriores, uma vez que apenas os sólidos de grandes dimensões foram removidos. Para a remoção das impurezas, utilizam-se reações de carbonatação que através de fenómenos de co-precipitação conduzem à formação de precipitados de carbonato de cálcio que vão arrastar as impurezas que se encontram em suspensão.

É adicionada uma solução de hidróxido de cálcio a 10°Bé ao licor afinado no misturador licor + cal. A solução de hidróxido de sódio é preparada previamente a partir da junção de óxido de cálcio e água (preparador de cal) e é designada por corrente de leite de cal. A mistura destes dois reagentes resulta na reação seguinte:



A mistura de licor e cal passa então por gravidade para três saturadores (saturadores aquecidos com vapor), passando numa calandra de modo a garantir a temperatura de reação (cerca de 80°C). Quando a mistura entra nos saturadores, uma corrente de gás (composta por CO₂ e ar), entra em contato com a mesma e o hidróxido de cálcio precipita sob a forma de carbonato de cálcio, ocorrendo nos saturadores a seguinte reação:



Esta corrente de gás tem origem nos gases de combustão das caldeiras, passando inicialmente numa torre de lavagem de gases com o objetivo de serem retiradas poeiras, fuligens ou gases solúveis que estes possam conter. A lavagem é realizada com água, passando estes à saída da torre ainda por uma solução de hidróxido de sódio para serem neutralizados.

A admissão de CO₂ nos saturadores é controlada através do pH da mistura licor e cal existente nos mesmos, devendo o pH ser aproximadamente de 9. O licor que sai dos primeiros saturadores é então encaminhado para outro saturador (saturador B, sem aquecimento) que tem como finalidade acertar o pH para valores entre os 8 e os 8,3, através da adição de CO₂ proveniente dos gases de combustão de forma a garantir que os precipitados não se dissolvam no licor. O produto obtido nos saturadores é designado por licor carbonatado.

- **Filtração**

O licor carbonatado segue então para a etapa de filtração, onde são removidos os precipitados resultantes da carbonatação.

Esta etapa encontra-se dividida em duas fases, na primeira fase o licor carbonatado passa por um filtro de prensa, atravessando um conjunto de placas, onde os precipitados que estão misturados com o mesmo vão ficando retidos nas membranas. Este processo é contínuo, sendo o licor transferido numa segunda fase para um filtro rotativo. O filtro rotativo funciona como um filtro de segurança, uma vez que permite

eliminar qualquer partícula que não tenha sido removida no primeiro filtro. Na fábrica existem dois filtros de prensa e dois filtros rotativos que trabalham desfasados de forma a permitir que esta etapa opere em modo contínuo quando um filtro termina um ciclo e entra em lavagem.

Antes do início do ciclo de filtração, é efetuada a passagem de uma suspensão (dicalite mais licor) pelo filtro, de modo que todas as telas das placas do mesmo fiquem totalmente molhadas, designando-se esta etapa por pré-camada. Esta pré-camada tem como principal finalidade facilitar a filtração, criando uma película nas telas que ajuda a reter os precipitados e no fim do ciclo facilitar a remoção do bolo formado.

Quando o filtro de prensa e o filtro rotativo atingem a sua pressão máxima, torna-se necessário proceder à sua limpeza. A limpeza dos filtros de prensa é realizada com a passagem de água quente pelo bolo, com o objetivo de recuperar o açúcar contido neste, dando esta água quente origem às águas doces. Quando a limpeza termina, o filtro abre e o bolo cai para um transportador sem fim, onde ocorre a pré-dissolução do bolo com água quente de modo a transformar o bolo num resíduo líquido que é encaminhado para um depósito de águas turvas. A limpeza do filtro rotativo também é efetuada com água quente, mas neste filtro a água de lavagem desfaz o bolo, originando as águas turvas que também são encaminhadas para o depósito de águas turvas.

Estas águas resultantes da lavagem dos filtros são ainda encaminhadas para outro filtro de prensa, para que sejam filtradas e se recupere todo o açúcar (sob a forma de água doce) que possa ter ficado retido no bolo durante o processo de filtração.

O licor resultante da filtração (licor filtrado) é então encaminhado para um depósito antes de passar para a etapa seguinte, a etapa de Descoloração, no caso da produção de açúcar branco. Quando se pretender produzir açúcar amarelo o licor filtrado é encaminhado para a etapa de cristalização.

- **Descoloração**

Após a filtração o licor filtrado (licor de açúcar) é submetido a um processo de descoloração, com a finalidade de se remover a cor do mesmo, de modo a que os cristais de açúcar não apresentem no final uma cor escura.

A descoloração é realizada através do processo de permuta iónica, que consiste numa troca estequiométrica de catiões ou aniões de uma fase líquida por catiões ou aniões de uma resina permutadora de iões.

Na RAR existem cinco sistemas de permuta iónica em paralelo: dois sistemas de uma coluna e três sistemas de duas colunas em série, designadas por colunas de descoloração. No interior de cada coluna existe um leito de resinas, do tipo aniónicas forte, que permutam o ião cloreto da resina com o anião corante existente no licor, quando ocorre a passagem do licor pelo leito das resinas.

Quando estas atingem a capacidade máxima de permuta (a resina encontra-se saturada), estas já não conseguem efetuar a troca de iões, tornando-se necessário parar o sistema (deixar de alimentar o licor) e iniciar-se o processo de regeneração. A regeneração tem como principal objetivo restituir a capacidade de permuta da resina, sendo constituída por várias etapas:

- 1ª Etapa: 1º Desaçucaramento - A coluna encontra-se cheia de licor e é necessário proceder-se à sua expulsão. Esta etapa inicia-se com a entrada de água quente pelo topo da coluna, saindo licor que é enviado para o depósito de licor final.
- 2ª Etapa: 2º Desaçucaramento – Quando a concentração à saída da coluna é inferior a 40°Brix, a corrente de saída é encaminhada para o depósito das águas doces das resinas.
- 3ª Etapa: Esvaziamento – Nesta etapa o licor contido na coluna já foi todo expulso, existindo no seu interior água que é enviada para a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).
- 4ª Etapa: Descompactação – Pela base da coluna, entra ar comprimido com o objetivo de descompactar as resinas.
- 5ª Etapa: Enchimento - Pelo topo lateral da coluna entra água recuperada.
- 6ª Etapa: Levantamento – Pela base da coluna alimenta-se água recuperada, de forma a eliminarem-se os caminhos preferenciais. Esta água sai pelo topo da coluna e é posteriormente enviada para a ETAR.
- 7ª Etapa: Regeneração das resinas com cloreto de sódio – Os iões cloreto da resina são repostos através da passagem de salmoura (cloreto de sódio) pela coluna, sendo os iões corados libertados para a salmoura. O efluente expulso apresenta no primeiro período de tempo uma concentração de cloretos baixa podendo ser encaminhado para a ETAR. Quando a concentração de cloretos no efluente começa a ser superior a 130 mg/l este é enviado para uma estação de nano filtração, com a finalidade de se recuperar parte dos cloretos.
- 8ª Etapa: Lavagem lenta – Nesta fase ocorre a entrada de água quente e o efluente expulso é enviado para a ETAR.

- 9ª Etapa: Lavagem rápida – Entrada de água quente, ocorrendo a recuperação do efluente expulso (água).

A solução aquosa de cloreto de sódio utilizada apresenta uma concentração de 10°Be, podendo ser preparada de várias maneiras, dependendo do tipo de regeneração que se pretende realizar. A regeneração pode ser de dois tipos, regeneração normal ou regeneração especial.

A regeneração normal é efetuada quando a coluna atinge 10 horas de permuta, sendo utilizada nesta regeneração uma solução de cloreto de sódio preparada a partir de salmoura recuperada, a qual é ajustada para uma concentração de 10°Be com salmoura fresca filtrada.

Já na regeneração especial, é utilizada salmoura fresca e ocorre quando já foram realizadas 20 regenerações normais.

Após o processo de permuta iônica, o licor que abandona as colunas de descoloração é enviado para um depósito, antes de prosseguir para a etapa de evaporação.

- **Evaporação**

O licor que abandona a etapa de descoloração não contém impurezas, encontrando-se já nas condições necessárias para ser cristalizado. Contudo a concentração de açúcar no licor não é muito elevada (cerca de 63°Brix), sendo necessário que este licor seja pré-aquecido num permutador de calor, passando primeiro por um processo de evaporação para aumentar a sua concentração.

A evaporação é realizada de forma contínua num evaporador de duplo efeito, composto por dois corpos cilíndricos, possuindo ambos uma calandra de tubos verticais, existindo apenas no primeiro corpo a entrada de vapor vivo. O aquecimento do segundo corpo é efetuado com os vapores resultantes da evaporação que ocorre no primeiro corpo, ocorrendo a passagem do primeiro para o segundo devido a este último se encontrar sob o efeito de vácuo (criado a partir de um condensador barométrico que lhe está associado).

Os vapores que se formam no segundo efeito são aproveitados para aquecer uma corrente de água fria alimentada ao depósito de água quente da fábrica. O aquecimento é realizado num permutador de calor de carcaça e tubos, onde são purgados os condensados obtidos. O vapor que não condensou é enviado para um condensador

barométrico, onde ocorre a condensação total dos vapores, devido ao contacto direto da água fria proveniente da torre de refrigeração com estes. A concentração do licor obtida no final da evaporação é de 72°Brix.

- **Cristalização do açúcar branco**

Nesta etapa ocorre a transformação do licor concentrado em cristais de açúcar e solução saturada de açúcar, sendo esta mistura designada por massa cozida.

Procede-se então à centrifugação das massas cozidas para que se obtenham cristais de açúcar, ocorrendo assim a separação das duas fases, cristais de açúcar e solução de açúcar (xarope de refinação).

A cristalização é efetuada em três cristalizadores descontínuos designados por tachos de vácuo através da utilização de vácuo, sendo esta cristalização designada por cozedura. Os tachos de vácuo são corpos cilíndricos compostos por uma calandra de vapor.

No processo de cristalização, o licor concentrado que entra no tacho de vácuo é concentrado até atingir o ponto de sobressaturação. Quando se atinge o ponto de sobressaturação, é adicionada uma suspensão de pó de açúcar em álcool (sementeira), que é responsável pela formação dos cristais. Para que ocorra o crescimento dos cristais e o enchimento do tacho é ainda adicionado xarope de refinação ou mais licor, em função do tipo de açúcar pretendido. Este xarope é resultante da centrifugação da massa obtida na cozedura.

Apesar de a cozedura operar em modo descontínuo, os vapores resultantes da evaporação são removidos continuamente do tacho, passando em primeiro lugar por um separador para separar possíveis partículas de açúcar que possam ter sido arrastadas nos vapores e posteriormente por um condensador barométrico. Quando os vapores entram no condensador são colocados em contacto com uma corrente de água fria que conduz à condensação total dos mesmos. Antes de entrar na torre de refrigeração, a água resultante da condensação sofre uma queda acentuada de pressão, queda esta responsável pelo vácuo criado no interior do tacho. Este vácuo apresenta um papel bastante importante e decisivo numa cozedura, pois as soluções de açúcar vão sofrendo degradação térmica, o que implica que a temperatura de cozedura não possa ser muito elevada e que esteja compreendida no intervalo de 72°C a 75°C. Para além de prevenir a formação de açúcares de cor mais intensa ou de açúcares invertidos, este permite também a existência de uma maior temperatura entre

a alimentação de licor e a alimentação de vapor ocorrendo desta forma uma maior taxa de transferência de calor entre as duas correntes.

Quando o tempo de cozedura termina, a massa é descarregada para um depósito cristizador, constituído por um agitador, que possibilita a mistura das massas cozidas até a passagem destas para a etapa seguinte (centrifugação).

A centrifugação das massas cozidas é realizada em cinco centrífugas descontínuas (centrífugas de refinação), onde ocorre a separação das duas fases, cristais de açúcar e solução de açúcar (xarope de refinação).

O ciclo de uma centrifugação inicia-se com a entrada da massa cozida pelo topo da centrífuga, espalhando-se a massa pelo cesto através do movimento de rotação. A centrífuga aumenta a velocidade de rotação durante alguns segundos, até atingir a rotação para a qual se encontra programada. Quando a rotação é atingida, os cristais já se encontram maioritariamente separados do xarope, procedendo-se à sua lavagem com água quente (água proveniente de condensados limpos recuperados) de forma a eliminar a película de xarope que envolve o cristal.

O dispositivo que efetua a lavagem dos cristais e da cesta no final de cada ciclo de centrifugação apresenta o mesmo princípio de funcionamento que as centrífugas de afinação.

Depois de terminado cada ciclo de centrifugação, os cristais de açúcar obtidos encontram-se húmidos, necessitando de ser secos. O xarope de refinação que é separado dos cristais de açúcar é utilizado nas cozeduras seguintes.

- **Cristalização do açúcar amarelo**

O açúcar amarelo é cristalizado a partir do licor filtrado (proveniente da etapa de filtração) e do xarope de refinação (proveniente de uma cozedura de licor filtrado), que não sofreram descoloração nas colunas de permuta iónica.

Ambos são alimentados a um tacho de vácuo, onde são concentrados até que ocorra o aparecimento espontâneo de cristais. Pretende-se neste tipo de cozedura que se formem cristais de pequenas dimensões e em grande quantidade, não se utilizando uma sementeira para a formação dos mesmos uma vez que esta promove a formação de cristais de maiores dimensões.

Quando a massa de cristais de açúcar amarelo se forma, o tacho de vácuo aquece até uma temperatura de 110°C, promovendo assim o aumento da pressão no interior do tacho. Atingida a temperatura de 110°C a massa já está pronta e é descarregada nos areadores, que funcionam sob vácuo com a finalidade de eliminarem a água presente na massa de açúcar. O seu princípio de funcionamento baseia-se na separação da água existente na massa cozida através do próprio calor da massa, passando a água evaporada numa primeira fase por um separador e de seguida por um condensador barométrico.

Encontrando-se pronto o açúcar amarelo húmido, ou seja, quando a máxima quantidade de água já foi evaporada, este é descarregado dos areadores para um sistema de transporte que o conduz até ao local de ensaque. Este açúcar não passa pelas etapas descritas seguidamente, apenas passa pelas mesmas o açúcar branco.

- **Secagem**

O açúcar obtido nas centrífugas de refinação contém um teor de humidade que não possibilita a sua conservação nas melhores condições, sendo necessário proceder-se à remoção da água existente em excesso. O processo de secagem é realizado em dois secadores rotativos (com capacidade de 10 e 20 toneladas) através de um fluxo de ar em co-corrente aspirado através de ventiladores. Antes de entrar no secador o ar passa por filtros que asseguram que as impurezas contidas no ar não são arrastadas.

À saída do secador entra ar à temperatura ambiente em contracorrente, aspirado também por um ventilador, que é conduzido para um ciclone onde ocorre a separação do açúcar contido no ar, dando origem às águas doces do despoeiramento.

- **Classificação**

Após o processo de secagem, o açúcar é enviado através de transportadores de tela e elevadores de alcatruzes, para silos (antes de serem classificados) ou diretamente para os classificadores. Os classificadores são peneiros vibratórios constituídos por mais que uma rede que permitem a separação dos cristais de açúcar em diferentes granulometrias.

- **Armazenamento**

Depois de embalado, o açúcar é armazenado em armazéns com ambiente condicionado.

- **Recuperação de açúcar**

No processo de refinação de açúcar existe ainda um sector designado por sector da recuperação que pode ser integrado na etapa de cristalização uma vez que faz utilização desta técnica. Uma vez que das etapas de centrifugação resultam muitos excedentes de xaropes que ainda contêm um teor considerável de sacarose, este sector permite que a mesma possa ser recuperada.

A sacarose a recuperar é proveniente dos xaropes excedentes e das águas doces (provenientes dos despoeiramentos, água de lavagem de filtros, água de lavagem das resinas, etc.). Para tal são também utilizados tachos de vácuo para cristalizar o açúcar presente nas correntes citadas anteriormente, podendo a cristalização ser classificada em quatro tipos: Pré-primeira, primeira, segunda e terceira.

De cada cozedura resultam massas com diferentes teores de sacarose, correspondendo as massas mais ricas em sacarose à cristalização de pré-primeira e primeira e as menos ricas em sacarose às restantes cristalizações (segunda e terceira), sendo todas centrifugadas. Assim sendo, consoante a sua pureza (teor de sacarose) os açúcares resultantes são encaminhados para diferentes destinos. Os açúcares obtidos através das cristalizações de pré-primeira e primeira são introduzidos no início do processo, através do dissolvedor de recuperação. Já o açúcar proveniente da segunda e da terceira recuperação é utilizado como pé de cozedura (alternativa à sementeira) nas cozeduras de primeira recuperação e segunda recuperação. As massas cozidas que proveem dos tachos de vácuo de recuperação são centrifugadas nas suas centrífugas contínuas.

A Empresa opera cinco dias por semana (com descanso semanal), 24 horas por dia em regime de três turnos: 1º turno das 7h30 até às 15h30, 2º turno das 15h30 às 23h30 e 3º turno das 23h30 às 7h30.

1.4 Motivação e Objetivos

A energia é um fator fundamental para a atividade de qualquer Empresa, mas como todos os outros recursos tem um preço. Ao longo do tempo tem-se verificado um aumento global do seu consumo, acompanhado de um aumento dos seus custos, sendo

esperado um agravamento desta tendência. A diminuição das reservas petrolíferas e a escassez dos recursos fósseis em Portugal conduzem a uma dependência nacional face aos mercados internacionais, provocando um agravamento dos custos com a energia.

[2]

Num mercado cada vez mais competitivo, o controlo dos custos é fundamental para a obtenção de lucros e sobrevivência das Empresas.

Apesar da competitividade entre as diversas Empresas ser a principal razão para a sensibilização do sector industrial relativamente à utilização eficiente da energia, o aumento da pressão ambiental veio também reforçar a necessidade de eficiência na utilização da mesma. Seja por imposição legal, seja pela necessidade de cumprir exigências ambientais como forma de aceder a sistemas de apoio ou simplesmente por uma questão de imagem ou de pressão pública, a eficiência energética é cada vez mais um dos temas da atualidade. Prevê-se ainda que futuramente seja introduzido o princípio do poluidor-pagador, através da implementação de taxas ou impostos ambientais, penalizando assim as Empresas que não cumpram as normas ou requisitos exigidos. [3]

Neste contexto, um sistema de gestão de energia eficiente promove um consumo energético mais racional, ou seja, promove a eficiência energética e é neste sentido que este trabalho será realizado.

O presente trabalho apresenta como principais objetivos:

- Reformular o Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa;
- Criar um modelo de previsão de consumos;
- Elaborar um plano de consumos para o ano de 2014 com base no modelo criado.

1.5 Estrutura da dissertação

Este trabalho é constituído por 7 Capítulos. No Capítulo 1 é realizada uma breve apresentação e caracterização da Empresa e descrito o seu processo de fabrico.

O Capítulo 2 é composto pela fundamentação teórica do trabalho, sendo efetuada uma caracterização do panorama energético mundial e demonstrada a necessidade de utilizar cada vez mais a energia de uma forma eficiente. É também abordado o tema da gestão da energia e apresentadas ferramentas de apoio à mesma. Neste capítulo é também apresentado o enquadramento legal para Empresas consumidoras intensivas de energia.

No Capítulo 3 são apresentados e descritos, de uma forma muito sucinta, os principais consumos energéticos da Empresa.

No Capítulo 4 é efetuada uma caracterização detalhada do atual Sistema de Gestão de Consumos da Empresa e descrito o modo de funcionamento do mesmo.

No Capítulo 5 são apresentados os critérios estabelecidos para a reformulação do respetivo Sistema de Gestão de Consumos, é realizada uma descrição da análise efetuada a cada ficheiro e indicadas melhorias a inserir nos mesmos. Neste capítulo é também apresentado e caracterizado o novo Sistema de Gestão de Consumos de Energia.

No Capítulo 6 são descritas todas as etapas que permitiram a criação do modelo de previsão de consumos e apresentado o respetivo modelo. É também elaborado um plano de consumos para o ano de 2014 com base no modelo criado.

No último Capítulo são apresentadas as conclusões obtidas para este trabalho.

2 Fundamentação teórica

A energia é um elemento fundamental na sociedade atual, uma vez que assegura o desenvolvimento económico e social de um país. [4]

Contudo, o aumento constante dos preços da energia, a conjuntura económica atual, a pressão por resultados financeiros, a ameaça do esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, e as preocupações ambientais conduzem-nos cada vez mais à necessidade de uma utilização mais consciente da energia. [5]

Estes fatores contribuem também para uma mudança na forma como as Empresas encaram a energia, levando-as a desenvolver e a implementar programas de otimização e de gestão energética que são fundamentais para solucionar problemas relativos aos consumos atuais, combaterem as alterações climáticas e, ao mesmo tempo, permitindo que as Empresas se mantenham competitivas no mercado. A energia deverá, por isso, ser considerada como um fator de produção tão importante como a mão-de-obra, a matéria-prima ou o capital, devendo ser gerida de uma forma contínua e eficaz. [5]

2.1 Panorama Energético Mundial

Atualmente, grande parte da energia utilizada no mundo provém dos combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão. Dada esta realidade, é importante caracterizar o consumo energético mundial para nos permitir ter uma visão global do atual panorama energético.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE) e no ano de 2011, Portugal apresentou um consumo de energia primária na ordem dos 22237 ktep (figura 2.1).

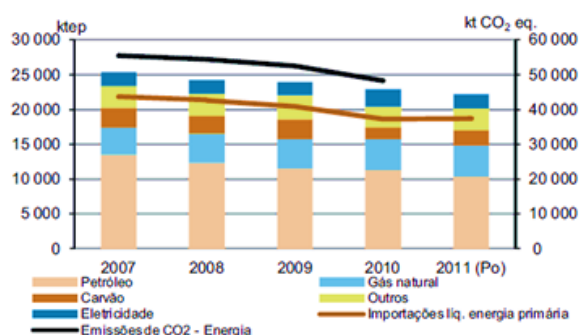


Figura 2.1. Consumo de energia primária por fonte energética [6]

Relativamente ao tipo de fonte energética utilizada no consumo de energia primária, verifica-se através da análise da figura 2.1 que é o petróleo a fonte energética mais utilizada, apresentando um peso relativo de 46%, seguindo-se o gás natural com um peso relativo de 20%.

A figura 2.2 ilustra o consumo de energia primária por fonte energética na União Europeia e em Portugal.

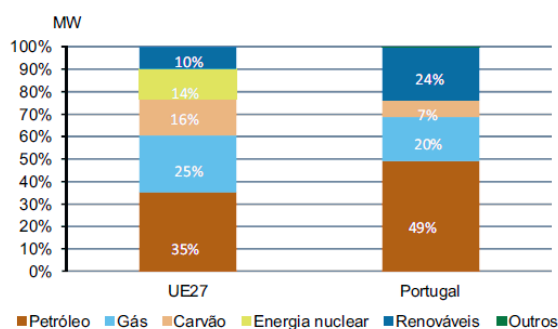


Figura 2.2. Consumo de energia primária por fonte energética na União Europeia [6]

Através da análise da figura 2.2, verifica-se que, em comparação com a estrutura de consumo de energia primária da União Europeia, Portugal apresenta uma maior dependência de Petróleo com cerca de 49% face a 35%. Contudo consome mais energia proveniente das fontes renováveis, com um peso relativo de 24%.

O facto de Portugal não possuir, praticamente, recursos energéticos fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão, conduz a que o país apresente uma elevada dependência energética externa.

No ano de 2011, cerca de 79% da energia primária consumida em Portugal foi importada, situando-se muito acima da média da União Europeia, que no ano de 2010, foi cerca de 53%, tal como é possível observar através da figura 2.3.

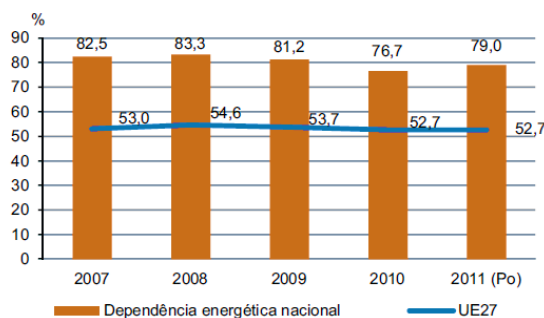


Figura 2.3. Dependência energética Nacional e da União Europeia [6]

Relativamente ao consumo de energia final por setor em Portugal, verifica-se, através da figura 2.4, que em 2011 o consumo de energia final situou-se na ordem dos 17 mil ktep, sendo o setor dos transportes (36%) e a indústria (31%) os que mais contribuíram para estes valores de consumo energético.

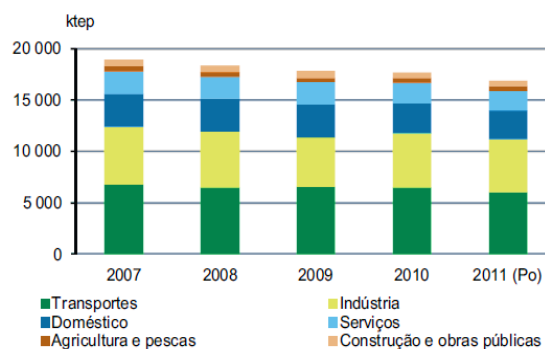


Figura 2.4. Consumo de energia final por setor de atividade [6]

Relativamente à União Europeia observa-se, a partir da figura 2.5, que também são os setores dos transportes e industrial os que mais contribuem para o consumo de energia final.

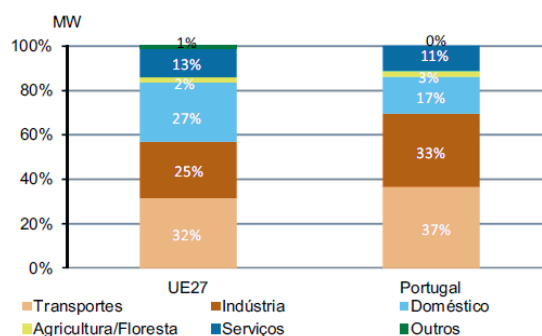


Figura 2.5. Consumo de energia final por setor de atividade na União Europeia e em Portugal [6]

Dado o atual problema que Portugal apresenta relativo à elevada dependência energética externa, qualquer estratégia neste domínio deverá apresentar como principais pilares, a segurança no abastecimento de energia, o crescimento económico e competitividade e a sustentabilidade ambiental. [6]

Apesar do setor energético ser essencial para o equilíbrio da economia mundial, este provoca um elevado impacto ambiental, quer pela utilização intensiva dos combustíveis fósseis, cujas reservas têm vindo a diminuir progressivamente ao longo do tempo, quer

pelo aumento da concentração de gases com efeito de estufa (CO₂) resultante da utilização dos mesmos.

Sendo os setores dos transportes e da indústria os que mais contribuem para o consumo de energia, deverá recair sobre estes uma maior atenção e preocupação na procura de soluções que permitam que os respetivos setores sejam mais eficientes na utilização da energia nas suas atividades.

2.2 Enquadramento da Gestão de Energia

Inicialmente, a questão da conservação da energia e a sua utilização racional foi fortemente motivada pelas crises petrolíferas e pelas preocupações com a segurança de abastecimento energético. Mais recentemente, o aparecimento de preocupações adicionais como os impactos ambientais e a sustentabilidade, vieram reforçar a necessidade da promoção da eficiência energética. [7]

Existe, contudo, um aspeto que se mantém comum ao longo do tempo, que é o relativo ao interesse na redução dos custos de fornecimento e dos encargos resultantes da aquisição da energia. [7]

A questão da sustentabilidade ambiental encontra-se relacionada com os impactos resultantes da exploração, transformação, transporte e utilização da energia. A sua utilização desempenha um papel importante na medida em que permite determinar as quantidades de energia produzida e consumida e, de certa forma, a “dimensão” dos seus impactos. [7]

No mundo empresarial, as diversas organizações não têm influência sobre os preços da energia, sobre as políticas governamentais ou sobre a economia global. No entanto, estas têm total influência sobre a forma como se gerem os seus recursos, entre eles a energia. [8]

No pensamento de alguns industriais ainda prevalece a ideia de que ao crescimento económico está associado um aumento dos consumos de energia. [3]

Contudo, o aparecimento do conceito de Utilização Racional de Energia (URE) veio alterar decisivamente a forma como as Empresas encaram a energia, demonstrando ser possível “crescer” sem aumentar os consumos ou afetar a qualidade da produção. Tal como qualquer outro fator de produção, a energia deve ser gerida de uma forma

contínua e eficaz. Nesta vertente, a gestão da energia apresenta um papel fundamental. [3]

2.2.1 A Gestão da Energia

“A gestão da energia caracteriza-se por abranger um vasto conjunto de boas práticas, que inclui a utilização de ferramentas de apoio que visam, através da monitorização de consumos, o aumento da eficiência energética.” [4]

Por eficiência energética entende-se “o conjunto de práticas e políticas, que permitam uma redução dos custos com a energia ou aumentem a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração.” [5]

De uma forma mais generalizada, entende-se como utilização eficiente da energia, utilizar menos energia para produzir o mesmo, produzir mais com a mesma energia e inovar nos processos e nos produtos para produzir mais e melhor com menos utilização da energia. Assim sendo, gerir a energia não deverá apenas significar uma redução nos consumos, mas sim garantir a sua utilização da forma mais racional possível. [9]

No setor industrial, a eficiência energética poderá ser definida como a diminuição do consumo de energia mantendo-se o mesmo nível de serviços, ou seja, utilizar a energia de forma racional. [5]

Para que a utilização racional da energia seja possível e para que um programa de eficiência energética tenha resultados, é necessário e fundamental gerir rigorosamente todas as formas de energia utilizadas na indústria. [5]

Segundo Ferreira (1994) em Lemes (2009), em qualquer circunstância o método e o nível de gestão deverão satisfazer os seguintes requisitos:

- Conhecer os consumos de energia;
- Contabilizar os consumos de energia;
- Dispor de dados para decidir;
- Agir para otimizar;
- Controlar as situações.

Em suma, é importante que um método de gestão possibilite o seguinte:

- A medição e a valorização da energia consumida;
- O cálculo do valor da energia transformada dentro da Empresa;

- A determinação da parte da energia no preço de custo dos produtos fabricados;
- Análise da situação existente para determinar as possibilidades de ação e fixar as prioridades e as metas a atingir;
- Avaliação e acompanhamento da rentabilidade dos investimentos em eficiência energética. [5]

2.2.2 Indicadores de desempenho energético

Um dos aspetos mais importantes da gestão da energia é o levantamento, o tratamento e a análise de dados. Estes deverão permitir a caracterização do consumo energético de cada Empresa (incluindo a sua evolução ao longo do tempo) traçar metas a atingir, identificar desvios e/ou ineficiências, salientar oportunidades de melhoria e permitir a avaliação das medidas tomadas. [10]

Cada Empresa deverá seleccionar os dados mais importantes a recolher e os indicadores a calcular tendo como principais critérios a sua utilidade e o detalhe que se pretende. [10]

Os indicadores energéticos podem ser definidos como macro-indicadores (quando caracterizam a eficiência de uma região ou país) e micro-indicadores (quando caracterizam a eficiência de uma Empresa, edifício ou habitação). Estes indicadores podem ainda ser divididos em duas categorias em função dos seus objetivos: indicadores descritivos ou explicativos. [11]

Na tabela 2.1 apresentam-se os principais indicadores utilizados para medir a eficiência energética de uma Empresa.

Tabela 2.1. Indicadores de eficiência energética [12]

Indicadores descritivos	Indicadores explicativos
Económicos – intensidade energética da empresa (Consumo final / custo da produção)	Económicos – Mostram os efeitos na intensidade energética (por área)
Técnico/Económicos – consumos médios e consumos específicos (consumo final por área/ quantidade dos produtos)	Técnico/Económicos – efeito do consumo médio na variação do consumo total por área.

Os indicadores calculados com base no custo são importantes para as Empresas, pois permitem o conhecimento e o acompanhamento do esforço económico-financeiro associado ao consumo de energia. Contudo, estes apresentam um papel mais importante quando se pretende efetuar uma avaliação do desempenho global da Empresa, uma vez que o seu conhecimento e o seu acompanhamento permitem uma maior sensibilização, quer da gestão de topo, quer dos trabalhadores. [10]

Fatores como as variações dos preços da energia dificultam não só a evolução do grau de eficiência energética como também o impacto das medidas que a organização tenha implementado, tornando-se necessário considerar um conjunto de informação que inclua indicadores associados tanto aos custos como aos consumos. [10]

Um acompanhamento regular destes indicadores permite obter um maior controlo sobre o desempenho energético. Permite também estabelecer estratégias para intervir em áreas de menor rendimento, incentivando deste modo a boas práticas para a eficiência energética. [10]

Independentemente do sistema de gestão de energia adotado pela Empresa, a sua aplicação terá que passar inicialmente por uma fase de conhecimento da situação energética da instalação. Este conhecimento é obtido através da realização de uma auditoria energética que deverá fornecer um conjunto de informações importantes ao sistema organizado de gestão energética, ou seja, ao método de gestão projetado para implementar na instalação consumidora. [5]

2.2.3 Auditorias energéticas

A auditoria energética pode ser entendida como o exame detalhado das condições de utilização de energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detetadas. [3]

É um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo também como finalidade reduzir essas perdas sem afetar a produção, isto é, economizar energia através da utilização mais eficiente da mesma. [3]

Os principais objetivos para a realização de uma auditoria energética a uma instalação consumidora de energia são:

- Quantificar os consumos e custos por forma de energia;
- Examinar o modo como a energia é utilizada na instalação;
- Relacionar o consumo de energia com a produção, determinando um indicador energético de grande relevância, o consumo específico de energia;
- Determinar os consumos de energia por sector, processo ou equipamento;
- Examinar detalhadamente o modo como a energia está a ser utilizada;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Propor medidas corretivas e analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;
- Propor, se não existir, um sistema organizado de gestão de energia. [3]

2.2.4 Sistemas de Gestão de Energia

Para que seja possível uma gestão eficiente da energia é necessário a utilização de ferramentas de apoio, nomeadamente os sistemas de gestão de energia.

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) é uma abordagem sistemática e estruturada que apresenta como principal objetivo a otimização da utilização da energia, ou seja aumentar o grau de eficiência energética. Este engloba um conjunto de elementos, tais como:

- A definição de políticas e a fixação de objetivos;
- O planeamento do respetivo SGE, que deverá incluir a caracterização da situação atual relativa ao consumo de energia, bem como as perspetivas futuras;

- A definição de procedimentos adequados na utilização da energia, incluindo a compra de produtos e de serviços que sejam energeticamente eficientes e a sensibilização para a adoção de boas práticas;
- O levantamento dos dados relativos ao desempenho energético e a sua análise;
- A procura constante de oportunidades de melhoria e a introdução das medidas adequadas. [10]

A sua implementação promoverá uma melhoria no desempenho energético, proporcionando deste modo diversos benefícios à organização, contribuindo ainda para o desenvolvimento sustentável. Existem algumas vantagens resultantes da adoção de um SGE, tais como:

- Diminuição dos custos relativos à energia;
- Promoção de uma melhoria/diferenciação da imagem da Empresa nos mercados;
- Contribuição para a diminuição do consumo dos recursos energéticos;
- Contribuição para a diminuição dos impactos ambientais associados à produção de energia, nomeadamente a poluição e o consumo de recursos naturais;
- Diminuição da emissão de gases com efeito de estufa (GEE). [10]

Estes sistemas permitem também detetar situações menos normais nas Empresas através dos consumos (de água, eletricidade, gás ou outro combustível) não proporcionais à utilização, auxiliando assim os serviços de manutenção. [5]

2.2.5 Tipos de Sistemas de Gestão de Energia

Atualmente existem alguns programas de apoio à gestão de energia na indústria, que permitem o registo dos diversos consumos energéticos, com o objetivo de criar medidas de poupanças energéticas e económicas. Na tabela 2.2 apresentam-se algumas dessas ferramentas de apoio e as respetivas entidades que as disponibilizam.

Tabela 2.2. Ferramentas de apoio à gestão de energia e respetivas entidades promotoras [4]

Programa	Entidade	Referência
AVReporter Basic Edition v2.5	KONsys	http://www.konsys-international.com/default.php?cikk=266
EnergyPrint	EnergyPrint	http://energyprint.com/building-energy-management-tool
Optima Energy Management	Optima	http://www.optimaenergy.net/software/software-support
EnergyActive	eComponents	http://ecomponentstech.com/energy-information-system/energyactive/
eSight energy	Esight	http://www.esightenergy.com/Sales/eSightMtsuite.aspx
Energy Brain v5.2	Qenergia	http://www.qenergia.pt/129/software-gestao-de-energia-energy-brain.htm
Dexcell Energy Manager v2.8.1	DEXMA	http://www.dexmatech.com/productos/
Energy Tracking Tool	Energy Star	http://www.energystar.gov/index.cfm?c=industry.industrybenchmarkingtools
Data Center Profiler v2.0 - Software Tool Suite	Advanced Manufacturing Office, U.S. Department of Energy.	http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/datacenters/software.html
Industrial Facilities Scorecard v3.0	Advanced Manufacturing Office, U.S. Department of Energy.	https://save-energy-now.org/EM/tools/tools/Pages/IF_Scorecard.aspx
Plant Energy Profiler v1.0	Advanced Manufacturing Office, U.S. Department of Energy.	https://save-energy-now.org/em/tools/Pages/ePEP.aspx
Energy Lens	BizEE	http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/software_eep.html

2.3 Enquadramento legal

2.3.1 Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril

O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril, surgiu como uma das medidas previstas no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). O presente decreto-lei está orientado para promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia. Como Empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia consideram-se todas as Empresas que apresentem, no ano civil anterior, consumos energéticos superiores a 500 toneladas equivalentes de petróleo (500 tep/ano), com exceção das instalações de cogeração juridicamente autónomas dos respetivos consumidores de energia.

Este sistema pode ainda abranger as Empresas que, embora tenham um consumo energético inferior a 500 tep/ano, pretendam, voluntariamente, aderir à celebração de acordos de racionalização de consumo de energia.

Este sistema de gestão de energia, para além de definir quais as Empresas classificadas como consumidoras intensivas de energia, estabelece também um regime diversificado e administrativamente mais simplificado para as Empresas que, atualmente, já se encontram vinculadas a compromissos de redução das emissões de CO₂ definidos no Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE).

O SGCIE divide as empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia em dois patamares:

- Em instalações com consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano. Estas Empresas ou instalações ficam obrigadas à realização de auditorias energéticas com uma periodicidade de seis anos (sendo que a primeira destas auditorias deve ser realizada no prazo de quatro meses após o registo).
- Em instalações com consumo de energia igual ou superior a 500 tep/ano mas inferior a 1000 tep/ano. As instalações são obrigadas à realização de auditorias com uma periodicidade de oito anos. (A primeira destas auditorias deve ser realizada no ano seguinte ao ano do registo).

As auditorias energéticas deverão incidir sobre as condições de utilização da energia, bem como na conceção e no estado da instalação promovendo assim o aumento da eficiência energética. Da auditoria energética deverão ser levantados todos os dados

necessários para a elaboração do Plano de Racionalização dos consumos de energia (PREn) para ser submetido a aprovação por parte da ADENE (Agência para a Energia).

O PREn deverá prever a implementação nos primeiros três anos de todas as medidas identificadas com um período de retorno do investimento inferior ou igual a 1000 tep/ano ou com um período de retorno do investimento igual ou inferior a três anos no caso das restantes instalações. Deverá ainda estabelecer metas relativas à intensidade energética e carbónica com base nos seguintes indicadores energéticos: intensidade energética, intensidade carbónica e consumo específico de energia.

A Intensidade Energética (IE) é definida como o quociente entre o consumo total de energia e o Valor Acrescentado Bruto da Empresa (VAB).

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Valor Acrescentado Bruto (€)}} \quad (2.1)$$

Em que:

VAB = Vendas (POC 71) + Prestações de serviços (POC 72) + Proveitos suplementares (POC 73) + Trabalhos para a própria empresa (POC 75) - Custos das mercadorias vendidas e das matérias consumidas (POC 61) - Fornecimentos e serviços externos (POC 62) - Outros custos e perdas operacionais (POC 65).

A Intensidade Carbónica (IC) é definida como o quociente entre o valor das emissões de gases com efeito de estufa da instalação e o consumo total de energia.

$$\text{Intensidade Carbónica} = \frac{\text{Emissões de Gases de efeito de estufa (kgCO}_2\text{)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}} \quad (2.2)$$

O Consumo Específico de Energia (CEE) é definido pelo quociente entre o consumo total de energia e o volume de produção da Empresa.

$$\text{Consumo Especifico de Energia} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Produção}} \quad (2.3)$$

Para efeitos do presente plano, o consumo total de energia deverá considerar apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis.

As metas referidas anteriormente encontram-se sujeitas a uma melhoria no mínimo de 6% dos indicadores de intensidade energética e de intensidade carbónica do ano anterior (num período de 6 anos) no caso de instalações com um consumo intensivo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano e a uma melhoria de 4% (em 4 anos) para as restantes instalações. As instalações deverão manter, no mínimo, os valores históricos da intensidade carbónica.

Após aprovação o PReN passa a designar-se por Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE), acordo este estabelecido com a entidade responsável pela supervisão e fiscalização, a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

Este acordo contém os objetivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento a obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram instalações CIE), que se encontram apresentados de seguida:

- Em instalações com consumos de energia inferiores a 1000 tep/ano, beneficiam de ressarcimento de 50% dos custos das auditorias energéticas obrigatórias, até ao limite de 750 €, desde que se tenha verificado o cumprimento de pelo menos 50% das medidas previstas no ARCE e ao ressarcimento de 25% dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia até um limite de 10000 €.
- Em instalações com consumos de energia iguais ou superiores a 1000 tep/ano, beneficiam de ressarcimento de 25% dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia até um limite de 10000 €.

No caso das instalações que consumam apenas gás natural e/ou energias renováveis, os limites previstos nos números anteriores são majorados em 25 % no caso das energias renováveis e 15 % no caso do gás natural.

O operador explorador de instalações sujeitas ao PNALE, com um ARCE, será identificado em declaração pela DGEG, para efeitos de reconhecimento da isenção do ISP, por parte da DGAIEC (Direção Geral de Alfândegas e Impostos Especiais sobre o Consumo).

2.3.2 Norma ISO 50001:2011

A norma ISO 50001 surgiu em 2011 por iniciativa da *International Organization for Standardization* (ISO). Esta norma especifica os requisitos necessários para uma organização estabelecer, implementar, manter e melhorar um Sistema de Gestão de Energia (SGE), permitindo assim uma abordagem sistemática, com vista a alcançar a melhoria contínua do desempenho energético. [13]

Para promover a melhoria contínua do desempenho energético, esta norma utiliza o processo **Plan-Do-Check-Act** (PDCA), um ciclo composto pelas seguintes etapas:

- O **Planeamento** – Revisão do sistema energético e estabelecimento da linha orientadora, dos indicadores de desempenho energético, objetivos, metas e planos de ação necessários para fornecer resultados de acordo com as oportunidades de melhorar a eficiência energética;
- A **Implementação e o funcionamento** – Implementação dos planos de ação definidos anteriormente;
- A **Verificação** – Monitorização e medição dos processos face à Política Energética, os objetivos, as obrigações legais e outros requisitos, apresentando os resultados;
- A **Ação** – Através dos resultados obtidos, tomar ações para melhorar continuamente o desempenho do Sistema de Gestão de Energia. [14]

Estas características permitem às diversas organizações integrar a gestão da energia nos esforços globais, promovendo desta forma uma melhoria na qualidade, a gestão ambiental e outros desafios endereçados pelos seus sistemas de gestão. Para além disso, a norma 50001 fornece um quadro de exigências que permitem às organizações:

- O desenvolvimento de uma política para a utilização mais eficiente da energia;
- A fixação de metas e objetivos de acordo com a política energética adotada;
- A criação de indicadores para a compreensão e a tomada de decisões referentes à utilização e ao consumo de energia;
- A medição dos resultados;
- A análise da eficácia da política definida;
- A melhoria contínua do Sistema de Gestão de Energia (SGE) [8]

Na figura 3.1 encontra-se apresentado um esquema representativo do funcionamento da Norma ISO 50001.

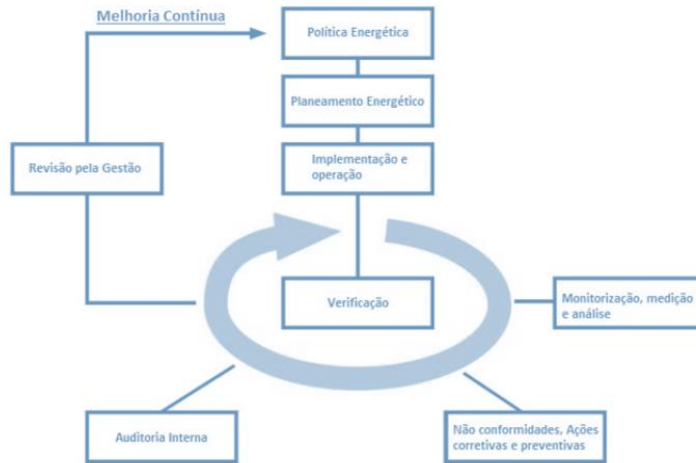


Figura 2.6. Modelo do Sistema de Gestão de Energia da Norma ISO 50001 [14]

A implementação da Norma ISO 50001 apresenta determinados benefícios para as organizações, nomeadamente:

- Permite o estabelecimento de sistemas de processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência, a utilização, o consumo e a intensidade energética;
- Reduz os custos com a energia, as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e outros impactos ambientais, através de uma gestão sistemática da energia;
- Demonstra que a organização implementou um sistema de gestão energético sustentável, aperfeiçoou a base da utilização da energia e comprometeu-se a melhorar continuamente a sua performance a nível energético. [13]

A presente Norma não fixa metas para uma melhoria do desempenho energético da organização. Esta fica sob a responsabilidade do gestor de energia da respetiva organização ou das autoridades reguladoras. Assim sendo, todas as organizações podem implementar esta norma para estabelecer uma linha base, para que a um ritmo adequado às suas capacidades e ao seu contexto, o seu desempenho energético possa vir a ser continuamente melhorado. [15]

2.4 Modelos de Previsão

A previsão constitui uma etapa bastante importante nos processos de planeamento da gestão de operações e da logística. A realização de uma previsão consiste em tentar prever o “futuro”, auxiliando este conhecimento na tomada de decisões. As previsões permitem determinar onde, quanto e quando os produtos serão requisitados de forma a responder adequadamente às necessidades da Empresa. [16]

Assim sendo, as previsões são fundamentais em diferentes horizontes do planeamento:

- Previsões a curto prazo: são necessárias para o planeamento operacional, gerir *stocks*, planos de reabastecimento, definir os percursos de entrega, etc.
- Previsões a médio prazo: são utilizadas para o planeamento da produção e determinação dos recursos que serão necessários, bem como o seu transporte e distribuição.
- Previsões a longo prazo: são utilizadas para o planeamento estratégico, nomeadamente para a escolha de fornecedores, quantidades e locais de distribuição e fábricas, estando estas previsões mais suscetíveis a fatores externos (como a situação económica). [16]

Os métodos de previsão podem ser divididos em duas categorias: métodos quantitativos e métodos qualitativos.

Os modelos quantitativos utilizam a matemática e a estatística para identificar padrões nos dados históricos. Estes dados podem ser divididos entre o estudo de séries temporais e o estudo de métodos causais. As séries temporais envolvem a análise estatística de dados passados da variável que se pretende prever. Já os métodos causais trabalham não só com a análise passada da variável a ser prevista, como também com a análise de outras variáveis que possam ter influência sobre esta. [16] [17]

Os métodos qualitativos são métodos baseados no julgamento e apreciação de especialistas, principalmente quando não há dados históricos ou estes são insuficientes. Estes métodos apresentam normalmente um menor grau de precisão que os métodos quantitativos, devido à incorporação de opiniões de especialistas no processo. Contudo são bastante utilizados por Empresas, possivelmente pela relação das previsões por eles geradas corresponderem às metas de procura estabelecidas pelas mesmas. Poderá também existir a combinação de ambos os métodos. [16]

Um bom modelo de previsão deverá não só fornecer um número como previsão final, como também um intervalo ao redor do número, uma vez que de nada adianta obter uma previsão da quantidade de unidades de um produto que será consumida num determinado mês, se não se conhecer qual o intervalo de confiança em torno desse número. Assim sendo, quanto maior for o horizonte do planejamento, menos precisas serão as previsões, ou seja, mais largo será o intervalo de confiança. [16]

3 Consumos Energéticos

Neste Capítulo serão apresentados e descritos os principais consumos energéticos da Empresa RAR Açúcar.

Como já foi mencionado anteriormente, a RAR Açúcar é composta por duas Empresas autónomas e distintas, a RAR Cogeração e a RAR Refinaria. Ambas as Empresas consomem diferentes formas de energia para a sua laboração diária. A RAR Cogeração recebe energia elétrica da rede nacional e utiliza como fonte de energia térmica o gás natural, o propano e o fuelóleo. Já a RAR Refinaria consome três formas de energia, o vapor, o gás natural e a energia elétrica. Para além destes consumos, ambas as Empresas consomem água para a sua laboração diária.

Na figura 3.1 encontra-se apresentado um diagrama representativo das principais formas de energias consumidas por ambas as Empresas.

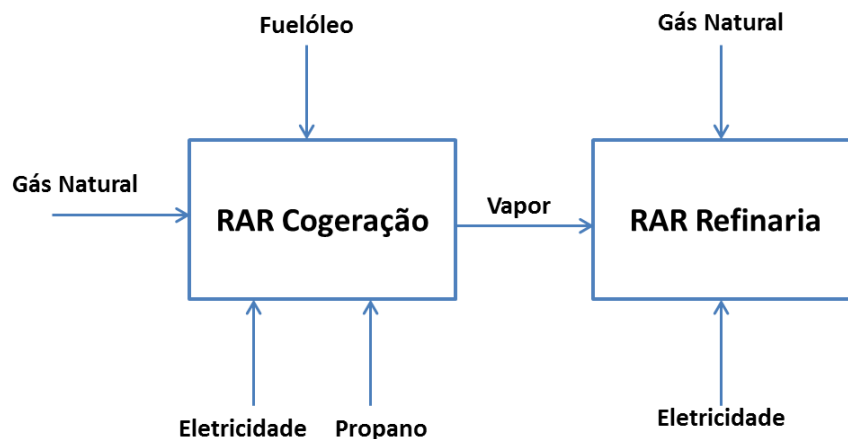


Figura 3.1. Consumos energéticos de ambas as Empresas

3.1 Energia Elétrica

A energia elétrica consumida na Empresa é fornecida pela rede nacional em Média Tensão a 15 kV, através de dois postos de transformação que se encontram interligados a um posto de receção/transformação e distribuição (PRT) da RAR Cogeração designado por Interligação. Este posto é responsável pela entrada e saída de energia elétrica da Empresa.

A partir do PRT é alimentada uma saída para o posto de transformação da Refinaria, posto este que alimenta seis transformadores (cinco transformadores de 630 kVA e um de 315 kVA), onde a energia elétrica é convertida de Média Tensão para Baixa Tensão

(380 kVA). A rede de Baixa Tensão é composta por um Quadro Elétrico Geral de Baixa Tensão (QGBT), constituído por 21 painéis, que fazem a distribuição da energia elétrica para os quadros parciais (analísadores de energia) existentes nas várias secções da Empresa.

Para além da Refinaria, a interligação alimenta também uma saída para as duas turbinas, a turbina Centrax e a turbina KKK existentes na Empresa de Cogeração, e para um transformador de serviços auxiliares, designado por TSA gás natural. A turbina Centrax e a turbina KKK produzem energia elétrica que injetam no barramento da Cogeração (interligação) para ser enviada para a rede, sendo posteriormente vendida.

3.2 Fuelóleo, Gás Natural e Propano

Os combustíveis fuelóleo, gás natural e propano são adquiridos conforme as necessidades da RAR Cogeração. O combustível fuelóleo é armazenado em dois tanques existentes na Empresa, e a partir destes é alimentando às três caldeiras existentes. O propano é adquirido em quantidades reduzidas, uma vez que apenas é utilizado quando as caldeiras funcionam a fuelóleo. Já o gás natural é distribuído através de dois postos de regulação e medida (PRM) existentes também na área da Empresa, designados por PRM1 e PRM2. O PRM1 fornece o gás natural para duas das caldeiras (caldeira 1 e 3) e para a turbina Centrax. Já o PRM2 distribui o gás natural para a cantina e para os lavabos.

3.3 Água

A água consumida na Empresa provem de três origens diferentes: é fornecida pelos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS), provem da captação de água do subsolo e também do aproveitamento da água da chuva. A captação de água do subsolo é efetuada diariamente através de nove furos artesianos existentes na Empresa. A água da chuva é captada nos telhados, sendo posteriormente filtrada e enviada para um reservatório de água. O controlo e monitorização de todos os consumos são realizados pelo Gestor de Energia da Empresa através de um Sistema de Gestão de Consumos de Energia (SGE).

4 Sistema de Gestão de Energia da Empresa

Neste Capítulo será caracterizado detalhadamente o atual Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa, como também descrito o modo de funcionamento do mesmo.

4.1 Caracterização do Atual Sistema de Gestão de Energia

O atual SGE consiste numa base de dados composta por um conjunto de ficheiros de cálculo do programa Microsoft Excel®, onde diariamente são registados os consumos energéticos (*inputs*). A partir destes registos é possível obter um relatório dos consumos da Empresa e calcular os indicadores chave de desempenho associados ao sistema (indicadores calculados mensalmente). Estes indicadores permitem avaliar em que medida os objetivos e as metas definidas pela Empresa estão a ser cumpridas e se estão de acordo com a legislação em vigor.

Neste Sistema de Gestão de Consumos todos os *inputs* e *outputs* são acompanhados por valores de um ano de referência, permitindo desta forma que o Gestor de Energia possa comparar resultados. Este é constituído por sete ficheiros do programa Microsoft Excel®, com um total de cento e duas folhas de cálculo. Os ficheiros apresentam uma determinada funcionalidade no Sistema de Gestão de Consumos e são designados por:

- Folha de consumos;
- Folha de cálculo “KPI’s-Folha de Cálculo”;
- Índices de cozedura e consumos de água;
- Faturação entre a RAR Cogeração e a RAR Refinaria;
- Cotação do fuelóleo;
- Cotação de *spot* de títulos de emissão;
- Declaração das instalações elétricas de serviço particular térmicas/cogeração.

Na figura seguinte encontra-se apresentada a estrutura do Sistema de Gestão de Consumos da Empresa.

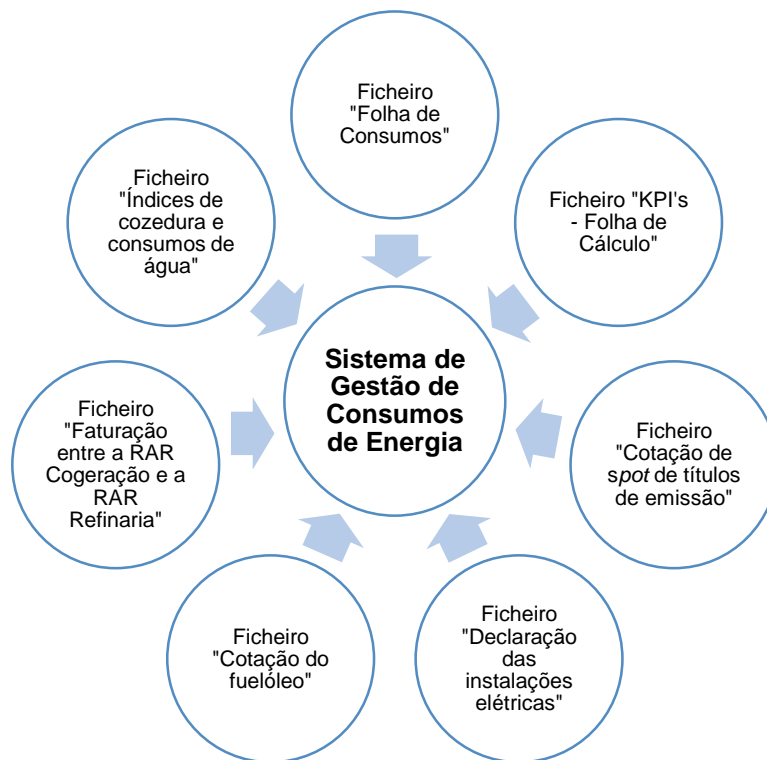


Figura 4.1. Estrutura do Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa

- **Ficheiro “Folha de Consumos”**

O ficheiro designado por “Folha de Consumos” corresponde ao ficheiro onde são introduzidos diariamente os *inputs*, ou seja, os consumos energéticos e dados necessários ao sistema de gestão. Este ficheiro é constituído por 18 folhas de cálculo, correspondendo:

- Duas folhas para o registo dos consumos/produção de eletricidade;
- Uma folha para o registo dos consumos de água;
- Uma folha para o registo dos consumos de gás natural, fuelóleo e produção de vapor,
- Uma folha para o registo da produção de açúcar branco e açúcar amarelo;
- Uma folha onde é gerada a declaração para a Direcção-Geral das Alfândegas e Impostos especiais sobre o consumo;
- Uma folha para o registo das horas de funcionamento das caldeiras;
- Uma folha para a contagem do gás natural consumido no PRM1;
- Uma folha para o registo de todos os dados necessários para posterior cálculo dos indicadores de desempenho do sistema;
- Uma folha com o relatório dos consumos diários;

- Uma folha com o relatório dos consumos mensais;
- Uma folha com o relatório anual de consumos (folha que vai sendo atualizada mensalmente);
- Uma folha com o Plano de Racionalização de Consumos (esta folha de cálculo permite ao Gestor de Energia o acompanhamento do respetivo plano de consumos da Empresa);
- Algumas folhas de cálculo onde são apresentados graficamente todos os consumos mensais.

Cada folha de registos (onde são introduzidos os *inputs*) é constituída pelos diversos contadores de água, gás natural, eletricidade e fuelóleo existentes nas várias secções da Empresa. Neste SGE consideram-se como *inputs*:

Consumos/Captações de água

- Consumo da RAR Refinaria, da RAR Cogeração e o consumo global da Empresa;
- Consumo de água dos SMAS;
- Quantidade de água captada do subsolo (por furo) e quantidade de água da chuva aproveitada;
- Consumo de água da Empresa Centrar (Empresa inserida no edifício da RAR Açúcar) e da RAR-Saúde;
- Quantidade de condensados recuperados da Refinaria;
- Consumo de água nas caldeiras para a produção de vapor;
- Horas de funcionamento dos furos artesianos.

Consumos/Produções de eletricidade

- Consumo de energia elétrica da RAR Refinaria (total e por secções), RAR Cogeração e global da Empresa;
- Consumo de energia elétrica na cantina;
- Consumo de energia elétrica nos edifícios;
- Consumo/produção de energia elétrica das turbinas;
- Consumo de energia elétrica nas oficinas;
- Consumos de energia na torre de refrigeração;

Consumos de Gás Natural, Fuelóleo e produção de vapor

- Consumo de gás natural na turbina Centrax;

- Consumo de gás natural nas caldeiras;
- Consumo de gás natural na cantina e nos lavabos;
- Consumo de gás natural no PRM1 (total de consumo da turbina e caldeiras) e PRM2 (total de consumo da cantina e dos lavabos);
- Consumo de fuelóleo nas caldeiras;
- Produção de vapor nas caldeiras;
- Horas de funcionamento das caldeiras;

Cotações

- Cotações do fuelóleo.
- Cotação das licenças de emissão de dióxido de carbono e dos Créditos de Carbono;

Os diferentes consumos da Empresa são obtidos através das leituras retiradas dos diversos contadores existentes, sendo o ficheiro dos *inputs* preenchido através da introdução das mesmas.

Algumas das leituras são retiradas diariamente dos contadores pelos operadores da Empresa (em cada turno) através de folhas de registo existentes para cada tipo de consumo (estas folhas são compostas pelos diversos contadores). Outras (algumas leituras relativas aos consumos de água e eletricidade) são obtidas no computador através de uma interface que reúne toda a informação necessária.

No caso dos consumos de energia elétrica, existem analisadores de energia instalados em cada saída do quadro geral de baixa tensão (QGBT) e que permitem conhecer diariamente, a partir de um computador, o consumo instantâneo e histórico de energia em determinadas áreas da Empresa, através da medição de algumas grandezas elétricas (V, A, COS ϕ , THD). Para a água é diariamente recebido um relatório relativo às captações de água dos diversos furos e horas de funcionamento dos mesmos.

Como os diversos contadores de água, gás natural, vapor, fuelóleo e eletricidade vão acumulando diariamente os consumos, o consumo real de um dia é determinado através da diferença entre a leitura retirada do contador no próprio dia e a leitura do dia anterior. Na equação seguinte encontra-se apresentado um exemplo para a determinação do consumo de água num determinado dia.

$$\text{Consumo de água}_{\text{dia } 3} = \text{leitura}_{\text{dia } 3} - \text{leitura}_{\text{dia } 2} \quad (4.1)$$

Os restantes consumos diários são determinados da mesma forma.

Na figura 4.2 e 4.3 encontra-se apresentado um exemplo da estrutura da folha de registos da água inserida no ficheiro “Folha de Consumos”. A folha de registos é constituída por duas tabelas, uma onde são introduzidas as leituras (tabela a verde) por tipo de contador e outra onde são determinados os consumos reais (tabela a branco).

As folhas de cálculo para a introdução dos restantes consumos de gás natural, vapor, eletricidade e fuelóleo apresentam uma estrutura semelhante às folhas da água.

[m3]	Cont. nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1		
Água SMAS	1																																		
	2																																		
	2A																																		
	3																																		
	3A																																		
Água Canal/Fáb.	4																																		
	5																																		
Água Fáb./Cald.(7)	(junto bb natral)																																		
Trat. Água/Cald.(8)	(sala deprim)																																		
Água Furos/Canal	(sala filtros)																																		
Caldeira 3	Kg																																		
Caldeira 2	Kg																																		
Caldeira 1	Kg																																		
Caldeira Recuperação	m3																																		
Condensados 721																																			
Horas																																			
Água Extraída	Poço 1																																		
	Poço 4																																		
	JK 4																																		
	HDN3																																		
	G 1																																		
	G 2																																		
	G 3																																		
	G 4																																		
	G 5																																		
	G 7																																		
	HDN1																																		
HDN2																																			
CO2 (JKs)																																			
Captação de água																																			
Água Extraída	Poço 1																																		
	Cont.1(G1,G3 e G4)																																		
	Cont.2(G1,G3 e G4)																																		
	G 1																																		
	G 2																																		
	G 3																																		
	G 4																																		
	G 5																																		
	G 7																																		
	HDN1																																		
HDN2																																			
HDN3																																			
CO2 (JKs)																																			

Figura 4.2. Estrutura da tabela existente na folha de registos onde diariamente são introduzidas as leituras de água por tipo de contador

[m3]	Cont. nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
Água SMAS	1																																
	2																																
	2A																																
	DIF																																
	3																																
	3A																																
	DIF																																
	4																																
	2+3																																
	2A+3A																																
VERIFICAÇÃO DOS SMAS	DIF																																
Diferença (2+3) - (2A+2B)	%																																
	ALERTA																																
Água Canal/Fáb.	5																																
	6																																
	5+6																																
Verif contadores	(2+3+5+6)-(2A+3A)																																
Água só Fáb.	(5+6-8)																																
Trat. Água/Calde.	(sala de tratamento)																																
Água Furos/Canal	(sala filtros)																																
Caldeira 3	m3																																
Caldeira 2	m3																																
Caldeira 1	m3																																
Caldeira Recuperação	m3																																
Total contagem Caldeiras	m3																																
Condensados 721	m3																																
Horas																																	
Água Extraída	Poço 1																																
	Poço 2																																
	JK 4																																
	HDN3																																
	G 1																																
	G 2																																
	G 3																																
	G 4																																
	G 5																																
	G 7																																
	HDN1																																
	HDN2																																
	Poço e JK																																
	G																																
CO2 (JKs)																																	
Água Extraída	Poço 1																																
	Cont.1(G1,G3 e G4)																																
	Cont.2(G1,G3 e G4)																																
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	G 2																																
	G 3																																
	G 4																																
	G 5																																
	G 7																																
	HDN1																																
	HDN2																																
	HDN3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Poço, JK, HDN3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 4.3. Estrutura da tabela existente na folha de registos onde diariamente são determinados os consumos de água por tipo de contador

Em ambas as tabelas os números de 1 a 31 correspondem aos diferentes dias de um mês. Para cada mês é criado um ficheiro do tipo “Folha de Consumos” (existindo anualmente 12 ficheiros deste tipo), o que vai permitindo a criação de uma base de dados para consulta futura.

Após a introdução de todos os *inputs* é possível obter um relatório global de todos os consumos da Empresa (diário, mensal e anual), permitindo deste modo que o Gestor de Energia analise os diferentes consumos obtidos e, a partir destes, calcule os indicadores chave de desempenho do processo na folha “KPI’s-folha de cálculo” (*outputs*).

Na figura seguinte encontra-se representada a estrutura do mapa obtido diariamente com todos os consumos da Empresa.

Nafta equivalente para Refinaria	=		kg
Vapor para Refinaria	=		kg
Agua para Fábrica (5+6)	=		m3
Produção p/tanque jk’s e Torre	=		m3
Furos e G’s	=		m3
Água para torre	=		m3
SMAS	=		m3
CO2 (JKs)	=		m3
(Agua Cont. Caldeiras)	=		m3
Energia Comprada MT RARA	=		kWh
Energia Vendida RCOG	=		kWh
Energia Consumida Refinaria	=		kWh
Energia Cons. Cog. (Comprada)	=		kWh
Energia Empacotamento	=		kWh
Energia Edificios	=		kWh
Energia Cantina	=		kWh
Eficiência da Cogeração	=		%
Energia Global	=		kWh

Figura 4.4. Mapa diário com os vários consumos da Empresa

Neste Sistema de Gestão de Energia consideram-se como *outputs*:

- Os indicadores chave desempenho do processo (KPI’s);
- Os índices de cozeduras e consumos de água;
- A faturação entre a RAR Cogeração e a RAR Refinaria;
- O mapa diário, mensal e anual de todos os consumos energéticos;
- A Declaração para a Direcção-Geral das Alfândegas e Impostos especiais sobre o consumo;

- A Declaração relativa às instalações elétricas de serviço particular térmicas/cogeração;
- O Plano de Racionalização dos Consumos de Energia;

- **Ficheiro “KPI’s-Folha de Cálculo ”**

O ficheiro de Excel “KPI’s – Folha de Cálculo” é composto por 18 folhas de cálculo. Nestas folhas são calculados os indicadores chave de desempenho a partir dos consumos mensais obtidos do ficheiro “Folha de Consumos”. Estes indicadores são determinados e analisados mensalmente pelo Gestor de Energia, e posteriormente comparados com os valores de referência existentes. Através do acompanhamento e da análise sistemática destes indicadores é possível obter um conhecimento sobre as tendências do consumo, o que permite a identificação de desvios bem como a identificação de oportunidades de melhoria. Os indicadores de desempenho (KPI’s) utilizados neste Sistema de Gestão de Energia são:

- Volume de gás natural consumido no PRM1 (Nm³);
- Energia elétrica consumida na Refinaria (kWh);
- Energia elétrica produzida na RAR Cogeração (kWh);
- Energia elétrica consumida no empacotamento do açúcar (kWh)
- Fatura de gás natural (€);
- Recuperações térmicas em Nafta;
- Vapor produzido nas caldeiras (kg);
- Vapor consumido na Refinaria (kg);
- Consumo específico de vapor (kg vapor/t_{açúcar});
- Consumo específico de água (m³ água/t_{açúcar});
- Consumo específico de eletricidade (kWh eletricidade/t_{açúcar})

Na figura 4.5 encontra-se apresentada a estrutura da folha de Excel inserida no ficheiro “KPI’s – Folha de Cálculo” onde mensalmente são determinados e visualizados os diferentes KPI’s.

			EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH
			jan/14	fev/14	mar/14	abr/14	mai/14	jun/14	jul/14	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14
4	CNSGNQ	volume GN [m³]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	COGNISH	E entrada [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	COGPRDH	E saída [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	CNSGNV	Factura GN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	COGRECT	recuperações térmica em nafta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	VPCALD	V cald	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	CNSVAP	V fábrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	CNEELE	E empacotamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	CNSELR	E refinaria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13		Condensados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14		Efluentes												

Figura 4.5. Estrutura da folha onde mensalmente são determinados e visualizados os KPI'S

Os KPI's designados por “Volume de gás natural consumido no PRM1”, “Energia elétrica consumida na Refinaria”, “Energia elétrica produzida na RAR Cogeração”, “Fatura de gás natural” e “Energia elétrica consumida no empacotamento do açúcar” resultam do somatório dos respetivos consumos/produções ao longo de um mês. Estes indicadores permitem ao Gestor de Energia acompanhar a evolução dos consumos e os respetivos custos ao longo do tempo.

Os restantes KPI's são calculados pelo Gestor de Energia, sendo por vezes necessário a utilização de estimativas para a determinação dos mesmos.

O KPI “Vapor produzido nas caldeiras” é determinado a partir dos consumos mensais de gás natural e fuelóleo, sendo obtido através do balanço representado na equação seguinte:

$$m_{\text{Vapor produzido}} \text{ (kg)} = \text{massa de combustível (kg)} \times 13 \left(\frac{\text{kg vapor}}{\text{kg combustível}} \right) \quad (4.2)$$

O valor 13 é uma estimativa e corresponde à capacidade das caldeiras, ou seja, é a razão entre a quantidade de combustível necessária para gerar uma determinada quantidade de vapor. A massa de combustível corresponde ao consumo mensal de gás natural e fuelóleo nas caldeiras.

O KPI “Vapor consumido na Refinaria” também é calculado pelo Gestor de Energia. Como já foi referido anteriormente, o vapor antes de ser enviado para a Refinaria atravessa uma turbina de contrapressão (turbina KKK), sendo parte deste vapor utilizado para produzir energia elétrica (vapor turbinado).

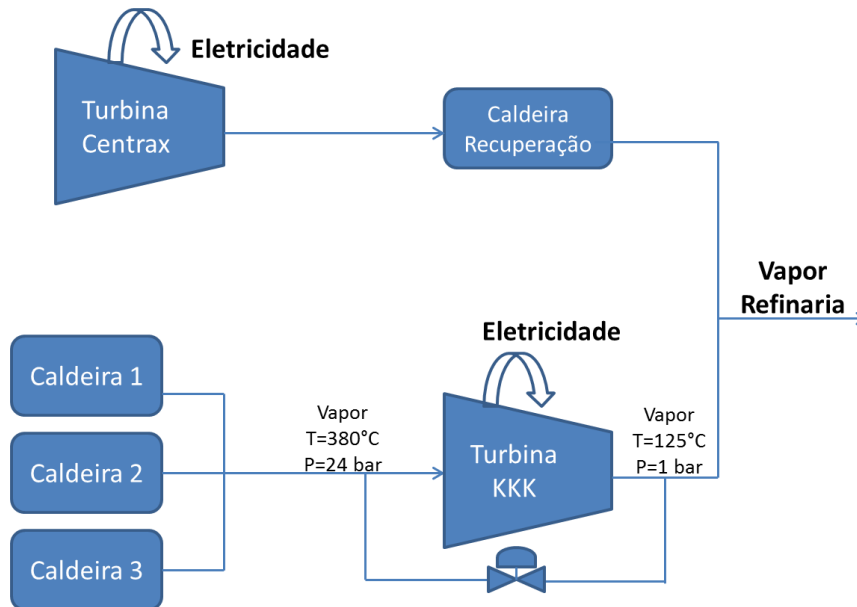


Figura 4.6. Esquema representativo da Central de Cogeração

Assim sendo, o vapor efetivamente consumido na Refinaria é determinado mensalmente através de um balanço realizado à Central de Cogeração representado na equação seguinte:

$$\text{Vapor}_{\text{refinaria}} = \text{vapor turbinado} + \text{vapor não turbinado} \times 1,22 - \text{vapor consumido no desgaseificador} + \text{vapor caldeira recuperação} \quad (4.3)$$

O vapor turbinado é obtido através de:

$$\text{Vapor}_{\text{Turbinado}} = \text{Energia elétrica produzida}_{\text{turbina KKK}} \times 13,3 \quad (4.4)$$

O valor 13,3 corresponde ao consumo específico de vapor na turbina KKK (kg vapor/kWh) e permite determinar a quantidade de vapor utilizada para produzir energia elétrica.

O vapor não turbinado (vapor que não passou na turbina) é obtido através de:

$$\text{Vapor não turbinado} = (\text{Total vapor produzido caldeiras} - \text{Vapor Turbinado}) \times 1,22 \quad (4.5)$$

O valor 1,22 corresponde a uma estimativa utilizada para a determinação da massa de vapor que não é turbinada na turbina.

O desgaseificador remove o ar e os gases dissolvidos na água de alimentação das caldeiras, utilizando vapor para aquecer e desgaseificar a mesma. Uma vez que não existe nenhum contador que contabilize o consumo de vapor no desgaseificador para aquecer a água de alimentação à caldeira, este é determinado através de uma estimativa:

$$\text{Vapor consumido desgaseificador} = (\text{vapor produzido caldeiras} + \text{vapor produzido caldeira recuperação}) \times 0,113 \quad (4.6)$$

O valor 0,113 corresponde à relação quantidade de vapor que é necessário injetar no desgaseificador para aquecer 1 kg de água.

Este indicador permite acompanhar mensalmente o consumo de vapor na Refinaria e desta forma detetar anomalias referentes a este consumo.

O KPI “consumo específico de vapor” é determinado através da razão entre a quantidade de vapor consumida na Refinaria e a quantidade de açúcar produzida mensalmente (equação 4.8).

$$\text{Consumo específico de vapor} = \frac{\text{Consumo vapor refinaria (kg)}}{\text{Produção (t açúcar)}} \quad (4.7)$$

Como do processo de refinação resultam dois tipos de açúcar, para efeitos de cálculo o açúcar amarelo é transformado em açúcar branco, sendo designado por açúcar branco equivalente.

O consumo específico de água e de eletricidade é calculado do mesmo modo que o consumo específico de vapor, correspondendo ambos os consumos ao total de água e eletricidade consumida mensalmente no processo de refinação de açúcar. Estes indicadores permitem conhecer mensalmente qual a quantidade de água, eletricidade e vapor necessária para produzir uma tonelada de açúcar.

- **Ficheiro “Índices de cozeduras e consumos de água”**

Para além do ficheiro “KPI’s-folha de cálculo” existe também outro ficheiro para o cálculo dos indicadores de desempenho individuais, designada por “Índices de cozedura e consumos de água” (ficheiro composto por 46 folhas de cálculo). Este ficheiro é preenchido mensalmente com o número de cozeduras (cristalizações) ocorridas por tonelada de açúcar durante um mês e com os consumos de água por cozedura (por tipo

de equipamento utilizado no processo de refinação), a partir de um relatório gerado num *software* da Empresa. São também introduzidos os consumos de eletricidade (obtidos dos analisadores de energia) por tipo de equipamento de refinação e por diferentes secções da Refinaria e a produção do respetivo mês em análise. A partir destes dados são calculados os indicadores consumo específico de água, consumo específico de vapor e consumos específico de eletricidade por equipamento e por secção da Refinaria. Estes indicadores permitem saber especificamente por equipamento onde é que se “gastou” mais no processo de refinação e assim identificar possíveis anomalias nos consumos, caso os indicadores globais obtidos (consumo específico de vapor, água e eletricidade) apresentem valores superiores aos valores de referência.

- **Ficheiro de Faturação entre a RAR Refinaria e a RAR Cogeração**

A acompanhar o ficheiro “Folha de Consumos” e o ficheiro “KPI’s-folha de cálculo”, existe também o ficheiro de Excel para a faturação entre a RAR Cogeração e a RAR Refinaria. O ficheiro é composto por cinco folhas de cálculo, uma para a entrada dos dados necessários para a determinação dos custos energéticos mensais (dados obtidos do ficheiro “Folha de Consumos”), três folhas para o cálculo dos custos associados ao vapor, água e eletricidade e outra para o resumo dos consumos/custos mensais entre as Empresas.

A Empresa RAR Cogeração fornece o vapor à RAR Refinaria e é responsável pela faturação do consumo de energia elétrica da mesma. Já a empresa RAR Refinaria é responsável pela faturação dos consumos de água da empresa RAR Cogeração. Na tabela 4.1 encontram-se apresentados os consumos faturados entre as Empresas.

Tabela 4.1. Consumos faturados entre as Empresas

Empresa a faturar	Consumos faturados
RAR Cogeração → RAR Refinaria	Energia elétrica (kWh)
RAR Cogeração → RAR Refinaria	Vapor (kg)
RAR Refinaria → RAR Cogeração	Água (m ³)

O custo e o consumo mensal da água, vapor e energia elétrica são determinados da seguinte forma:

Custo/consumo de vapor pela RAR Refinaria

O custo do vapor fornecido à RAR Refinaria é determinado através do somatório dos custos dos combustíveis (gás natural e fuelóleo) consumidos para a produção do vapor consumido na Refinaria mais a parcela corresponde à quantidade de gás natural consumida na caldeira de recuperação. Este custo é determinado através da equação seguinte:

$$\text{Custo}_{\text{vapor}} = \text{Custo total do Combustível}_{\text{caldeiras 1,2,3}} - \text{Custo do combustível para produção eletricidade} \\ + \text{Custo combustível}_{\text{caldeira recuperação}} + 2,05 \times \text{Vapor consumido} \quad (4.8)$$

O valor 2,05 (€/kg vapor) corresponde aos custos associados com a manutenção das tubagens de vapor, etc.

O custo total do combustível consumido nas três caldeiras é obtido através de:

$$\text{Custo total (€)} = \text{consumo total combustível (kg)} \times \text{Preço médio mês} \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) \quad (4.9)$$

O preço médio do combustível varia mensalmente uma vez que está dependente da quantidade de gás natural e de fuelóleo consumida e das faturas relativas a cada combustível. O consumo total de combustível corresponde a gás natural mais fuelóleo.

O custo do combustível consumido para a produção de energia é obtido através de:

$$\text{Custo combustível (€)} = \text{Produção da turbina KKK (kWh)} \times 0,120 \left(\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) \times \text{Preço médio mês} \left(\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right) \quad (4.10)$$

O custo do combustível (gás natural) consumido na caldeira de recuperação é determinado através de:

$$\text{Custo Gás N.} = \frac{\text{Entalpia do Vapor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) \times \text{Massa de vapor produzida (kg)}}{\text{PCI}_{\text{gás natural}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3} \right)} \times \text{Preço}_{\text{gás natural}} \left(\frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \right) \quad (4.11)$$

A massa de vapor consumida pela Refinaria é determinada do mesmo modo que a massa de vapor utilizada nos indicadores de desempenho.

Custo/Consumo de água pela RAR Cogeração

O consumo de água pela RAR Cogeração é determinado através de uma estimativa pelo facto de não existir nenhum contador que contabilize os consumos correspondentes à mesma, sendo determinado através de:

$$\text{Consumo de água (m}^3\text{)} = \text{consumo total de água nas caldeiras (m}^3\text{)} \times 0,15 \quad (4.12)$$

O valor 0,15 é uma estimativa que contabiliza as perdas de água ocorridas no processo de tratamento da água para as caldeiras (desmineralização) e as perdas de água nas purgas das caldeiras.

O custo faturado pela água é:

$$\text{Custo}_{\text{água}}(\text{€}) = \text{consumo de água (m}^3\text{)} \times \text{Preço}_{\text{água}}\left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3}\right) \quad (4.13)$$

Custo/Consumo de eletricidade pela RAR Refinaria

O consumo de energia elétrica na RAR Refinaria é mensalmente obtido subtraindo ao consumo global da Empresa (indicado no contador da interligação) todos os consumos das restantes áreas que apresentam contadores de eletricidade. O custo relativo a este consumo é determinado através de uma estimativa, considerando que a Refinaria consumiu uma determinada quantidade de energia elétrica num determinado número de horas de ponta, vazio e cheia (número de horas estimado).

- **Ficheiro de Cotação de *spot* de títulos de emissão**

O ficheiro “Cotação de *spot* de limites de emissão” é preenchido mensalmente com as cotações das Licenças de Emissões de dióxido de carbono (EUA’s) e dos Créditos de Carbono (CER’s). Este ficheiro permite o acompanhamento das variações das cotações de EUA’s e CER’s no mercado de carbono. O mercado de carbono surgiu a partir do Protocolo de Quioto com o objetivo de reduzir as emissões de Gases de Efeito de Estufa. Assim sendo, cada tonelada de CO₂ não emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento pode ser negociada neste mercado através dos certificados de emissão reduzidas, equivalendo cada tonelada de CO₂ a um crédito de carbono. As instalações industriais que não conseguirem reduzir as suas emissões poderão comprar os CER em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. As licenças de emissão permitem às Empresas emitir uma tonelada de CO₂. Cada instalação apresenta um número de licenças de emissão atribuído, devendo no final de cada ano entregar uma quantidade de licenças equivalente às suas emissões. As Empresas que enfrentarem dificuldades em manter as suas emissões dentro das

licenças que lhe foram atribuídas poderão tomar medidas para reduzir as mesmas ou comprar no mercado de licenças a quantidade que lhe falta para cumprir as suas obrigações.

- **Ficheiro de Cotação do Fuelóleo**

O ficheiro correspondente à folha de cotação do fuelóleo é o ficheiro onde diariamente são inseridas as cotações do fuelóleo, permitindo desta forma a criação de um histórico de cotações deste combustível. Esta informação será depois utilizada para o cálculo dos indicadores de desempenho.

O Sistema de Gestão de Energia da Empresa permite assim gerir, controlar e analisar diariamente/mensalmente todos os consumos e detetar a existência de possíveis anomalias, permitindo uma utilização eficiente dos consumos energéticos. Contudo, este sistema apresenta algumas limitações na sua utilização. A necessidade de introdução de nova informação ao sistema (novos contadores, etc.) e a sua adaptação à realidade atual da Empresa conduziu ao seu “crescimento” de forma desorganizada. Este crescimento resultou num aumento do número de ficheiros de Excel e conseqüentemente no número de folhas de cálculo, acumulando informação desnecessária, desatualizada e redundante, tornando-o pouco eficiente. A elevada importância que este sistema apresenta para a Empresa, como ferramenta na gestão dos diversos consumos, tornou necessária a sua reformulação.

5 Reformulação do Sistema de Gestão de Energia

A primeira etapa para a reformulação do atual Sistema de Gestão consistiu numa análise exaustiva dos sete ficheiros de Excel que o compõem. Para tal foi necessário definir alguns critérios que facilitassem esta análise e possibilitassem a sua reestruturação, criando um Sistema de Gestão composto apenas por dois ficheiros de Excel (um para registos e outro para cálculos). Os critérios definidos para a análise foram os seguintes:

1. Identificação dos *inputs* e *outputs* mais importantes;
2. Análise de todos os contadores e registos existentes no atual SGE;
3. Levantamento de todos os contadores de água, eletricidade, gás natural, vapor e fuelóleo existentes na Empresa;
4. Análise de todos os ficheiros/folhas de cálculo e identificação de toda a informação desatualizada e redundante;
5. Revisão dos KPI's atuais, estimativas utilizadas para a determinação dos mesmos e dos cálculos efetuados no ficheiro de faturação;
6. Revisão das folhas de registos manuais utilizadas pelos operadores;

Estabelecidos os critérios a utilizar para a reformulação do respetivo Sistema de Gestão de Consumos, prosseguiu-se então numa primeira fase para o levantamento dos contadores existentes na Empresa.

5.1 Levantamento dos contadores da Empresa

Dada a elevada importância que os diversos contadores apresentam no Sistema de Gestão de Energia, realizou-se um levantamento dos contadores de água, gás natural, fuelóleo, vapor e eletricidade. Este levantamento teve como principal objetivo identificar possíveis avarias nos contadores (que conduzem à contabilização incorreta dos consumos), identificar contadores que ainda não estavam inseridos no sistema e identificar possíveis locais para a sua instalação. O levantamento dos contadores foi realizado por tipo de consumo, iniciando-se com os contadores de água.

Foram identificados os diversos contadores de água da Empresa, detetando-se que alguns estavam avariados. Deste modo, para que se obtenha uma contabilização correta dos consumos de água propôs-se a substituição dos mesmos. Na tabela

seguinte encontram-se apresentados os contadores de água em que foram detetadas avarias e as características correspondentes a cada um.

Tabela 5.1. Contadores de água avariados e respetivas características

Contador de água	Caraterísticas			
	Modelo	Referência	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)
CO ₂ (água fria)	--	--	--	--
Tacho 5	Typ WP Dynamic 80	9961464-03	40	130
Centrífugas de Refinação	Type Mag 2500 Danfloss			

Durante o levantamento efetuado verificou-se também que não existia nenhum contador a contabilizar a água consumida na RAR Cogeração, propondo-se desta forma a instalação de dois contadores de água, um à entrada do tanque 721 (tanque de água desmineralizada e que fornece a água para as caldeiras) e outro à saída do mesmo. A instalação destes dois contadores permitirá um conhecimento mais rigoroso dos consumos de água relativos àquela secção.

Identificaram-se também os contadores de água quente da Refinaria, contadores estes que não constavam no atual Sistema de Gestão de Energia e que serão introduzidos no novo Sistema.

Terminado o levantamento dos contadores de água, procedeu-se à sua organização por referência, por características e por tipo de contador. Foi também possível elaborar um *flow-sheet* para a água, que permitirá conhecer o circuito da água na Empresa (apresentada no anexo C).

Prosseguiu-se então para o levantamento dos contadores de fuelóleo, gás natural e vapor. Detetou-se que o contador de retorno do fuelóleo se encontrava avariado, impedindo desta forma o funcionamento do contador de entrada do fuelóleo nas caldeiras. Assim sendo, propôs-se a sua substituição por outro contador com as seguintes características:

Tabela 5.2. Características do contador de retorno de fuelóleo avariado

Contador fuelóleo	Caraterísticas				
Retorno	Marca	Modelo	Pressão (bar)	Caudal (m ³ /h)	Volume (dm ³)
	Bopp & Reuther	OPE-18 nº532682	16	18	0,487

Relativamente aos contadores de eletricidade não foi detetado nenhum contador avariado. Com este levantamento foi também possível organizar os diferentes analisadores de energia por número de painel a que lhes está associado e por área correspondente.

Identificou-se também a existência de novos contadores de eletricidade e de água na Empresa, contadores que não constavam do atual Sistema de Gestão.

Com este levantamento torna-se possível a introdução dos contadores no novo sistema, permitindo desta forma que todos os consumos sejam contabilizados o mais corretamente possível. Terminado o levantamento dos contadores, prosseguiu-se então para a análise criteriosa dos diversos ficheiros de Excel que compõem o atual Sistema de Gestão de Consumos.

5.2 Análise dos Ficheiros de Excel

Como mencionado anteriormente a análise exaustiva efetuada a cada ficheiro apresentou como principais objetivos a identificação de informação desatualizada e redundante, a seleção de informação importante para o SGE e a identificação de melhorias a inserir em cada ficheiro de Excel. O primeiro ficheiro analisado foi o ficheiro “Folha de Consumos”.

- **Ficheiro “Folha de Consumos”**

Através da análise às diversas folhas de cálculo que compõem este ficheiro observou-se que nas folhas onde são inseridos os registos (*inputs*) existiam alguns contadores de água e eletricidade que já não apresentavam utilidade no respetivo Sistema de Gestão. Verificou-se também a existência de alguma informação redundante entre as diversas folhas, informação que pode ser reagrupada e colocada na mesma folha. A informação selecionada neste ficheiro será introduzida no novo ficheiro de registos, sendo também introduzidas algumas melhorias.

Foram também propostas a criação de duas novas folhas a inserir neste ficheiro, nomeadamente:

1. Criação de uma nova folha de cálculo designada por “Auto-consumos” para a introdução dos consumos de eletricidade das duas turbinas para posterior preenchimento de uma declaração;
2. Criação de uma nova folha de cálculo designada por “Declaração REN”, compostas por todos os dados necessários para preenchimento da respetiva declaração.

Terminada a análise verificou-se que as melhorias a introduzir no novo ficheiro seriam:

1. As duas folhas existentes para a introdução dos registos relativas aos consumos de eletricidade podem ser convertidas apenas numa folha, tornando a folha de consumos de eletricidade mais eficiente e de fácil análise;
2. A informação contida na folha para introdução das horas de funcionamento das caldeiras e a contagem do gás natural será introduzida na folha de registos do vapor, gás natural e fuelóleo.
3. Introdução dos novos contadores existentes na Empresa nas folhas de registos, permitindo desta forma uma contabilização correta de todos os consumos;
4. Organização dos analisadores de energia existentes na folha para registos dos consumos de eletricidade, por área e por painel associado.
5. Junção da informação redundante existente nas diversas folhas deste ficheiro, conduzindo à diminuição do número de folhas de cálculo (foram eliminadas nove folhas).

Efetuada a análise a este ficheiro procedeu-se à análise do ficheiro “KPI’s-folha de Cálculo”.

- **Ficheiro “KPI’s – folha de Cálculo”**

Durante a análise efetuada a este ficheiro verificou-se a existência de folhas de cálculo repetidas (folhas relativas à faturação entre as Empresas), que já se encontravam inseridas no ficheiro “Faturação entre a RAR Refinaria e a RAR Cogeração”. Este ficheiro continha também muita informação (consumos da Empresa) desatualizada, informação que foi adicionada ao longo do tempo ao sistema, contribuindo para que este ficheiro apresentasse uma estrutura pouco organizada e de difícil análise. Verificou-se também que alguns dos indicadores de desempenho calculados nesta folha já não apresentavam qualquer utilidade no atual SGE, devido às alterações que foram

ocorrendo na Empresa (substituição dos motores a gás). Os indicadores a retirar são os indicadores relativos aos motores a gás natural, nomeadamente as recuperações térmicas em nafta, o rendimento da cogeração, a energia de entrada na cogeração e a energia de saída da cogeração.

Após a análise exaustiva deste ficheiro foi efetuada a seleção de toda a informação pertinente, permitindo assim a redução do número de folhas de cálculo existentes (sendo eliminadas dozes folhas). A informação selecionada será também introduzida no novo ficheiro de cálculo a criar. Para além da introdução da informação que já constava no ficheiro de cálculo antigo, propôs-se também a introdução de melhorias no novo ficheiro.

As propostas a introduzir no novo ficheiro foram:

1. Uma vez que o ficheiro “Índices de cozedura e consumos de água” também é utilizado para a determinação de indicadores de desempenho, a informação contida neste ficheiro será introduzida no novo ficheiro para cálculos;
2. Introdução do Plano de Racionalização de Consumos no novo ficheiro de Cálculo.
3. Proposta de novos indicadores de desempenho;

Os indicadores propostos para introduzir no novo Sistema de Gestão de Consumos de Energia encontram-se apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5.3. Indicadores de desempenho propostos

Indicador	Caraterização
$\text{Custo água} = \frac{\text{Custo da água consumida (€)}}{\text{Produção açúcar (t)}}$	Permite conhecer o custo da água necessária para produzir uma tonelada de açúcar.
$\text{Custo energia elétrica} = \frac{\text{Custo da eletricidade (€)}}{\text{Produção açúcar (t)}}$	Permite determinar o custo da eletricidade necessária para a produção de uma tonelada de açúcar.
$\text{Custo vapor} = \frac{\text{Custo do vapor consumido (€)}}{\text{Produção açúcar (t)}}$	Permite avaliar o custo do vapor necessário para a produção de uma tonelada de açúcar.
$\frac{\text{kg vapor}}{\text{kg combustível}} = \frac{\text{Massa de vapor produzida}}{\text{Massa de combustível consumido}}$	Indica a capacidade das caldeiras
$\text{Índice de recuperação de condensados} = \frac{\text{Volume condensados (m}^3\text{)}}{\text{Produção (t)}}$	Indica a quantidade de condensados que retorna à central de Cogeração por tonelada de açúcar produzido.
$\text{Consumo específico de gás natural} = \frac{\text{Consumo de gás (Nm}^3\text{)}}{\text{Produção de Eletricidade (kWh)}}$	Permite saber a quantidade de gás necessária na turbina Centrax por quilowatt-hora de eletricidade produzida.
$\text{Custo do Gas Natural} = \frac{\text{Custo do gás consumido (€)}}{\text{Produção de eletricidade (kWh)}}$	Custo do gás natural na turbina Centrax necessário para produzir um quilowatt-hora de eletricidade.
$\text{Global} = \frac{\text{Venda açúcar (€)} + \text{Venda eletricidade (€)}}{\text{Produção (t)}}$	
$= \frac{\text{Custo total energia} + \text{Custo do fuelóleo} + \text{Custo gás N.} - \text{Venda turbina C.} - \text{Venda turbina KKK}}{\text{Produção (t)}}$	Permite saber o custo mensal total da energia por tonelada de açúcar produzido

Analisado o ficheiro “KPI’s – folha de cálculo”, passou-se para a folha de cálculo relativa ao Plano de Racionalização de Consumos de Energia.

- **Folha de cálculo com o Plano de Racionalização de Consumos de Energia**

Para a reformulação da folha relativa ao Plano de Racionalização de consumos de energia foi necessário recalcular os indicadores energéticos (intensidade energética,

consumo específico de energia, intensidade carbónica), de forma a verificar se as metas estabelecidas pelo plano em vigor estavam atualizadas.

Para o cálculo dos respetivos indicadores energéticos foi necessário efetuar um levantamento de todos os consumos energéticos e produção mensal da RAR Refinaria no ano de 2013. Os dados foram obtidos através dos consumos históricos existentes no Sistema de Gestão de Consumos de Energia da Empresa. No ano de 2013 a Refinaria consumia cinco formas de energia: eletricidade, vapor, gasóleo, gasolina e gás natural. Como já foi mencionado anteriormente o gás natural consumido na RAR Refinaria é utilizado nos lavabos e na cantina. Já a gasolina e o gasóleo são consumidos pela frota de transportes.

Por questões de confidencialidade estes dados não serão apresentados no relatório.

Após o levantamento de todos os consumos, procedeu-se então à conversão de todas as formas de energia a toneladas equivalentes de petróleo (tep) e a emissões de gases com efeito de estufa (quilogramas de CO₂ equivalente) para posterior cálculo dos indicadores energéticos.

Segundo o Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril, os fatores para a conversão das diferentes formas de energia a toneladas equivalentes de petróleo e a quilogramas de CO₂ equivalente são:

Tabela 5.4. Fatores de conversão das diferentes formas de energia para tep e para kgCO₂e segundo o Decreto-Lei nº 71/2008

Forma de Energia	Fatores de Conversão	
Eletricidade	215 x 10 ⁻⁶ tep/kWh	0,47 kgCO ₂ e/kWh
Gás Natural	1,077 tep/t	2 683,7 kgCO ₂ e/tep
Gasolina	0,72 tep/m ³	2 897,3 kgCO ₂ e/tep
Gasóleo	0,853 tep/m ³	3 098,2 kgCO ₂ e/tep
Vapor	--	72,3 kgCO ₂ e/GJ

Para o vapor, a conversão para tep é efetuada considerando o rendimento térmico médio das caldeiras, através da equação seguinte:

$$\text{Energia do vapor (tep)} = \frac{\text{Entalpia específica do vapor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)}{\eta_{\text{térmico}} \times 41,868} \quad (5.1)$$

Segundo o Decreto-Lei n.º 71/2008, o valor a utilizar para o rendimento térmico das caldeiras é de 0,90. A entalpia do vapor foi retirada da tabela de propriedades termodinâmicas do vapor, considerando uma pressão de 1 bar e a temperatura de 125°C (condições de utilização do vapor na Refinaria), sendo esta de 2726,7 kJ/kg.

Na tabela 5.5 encontra-se apresentado o consumo de energia primária e as emissões de gases com efeito de estufa para cada forma de energia no ano de 2013.

Tabela 5.5. Consumo de energia primária e emissões de gases com efeito de estufa no ano 2013

Forma Energia	tep	kgCO ₂ e
Vapor	18 896	57 199 663
Eletricidade	3 551	4 435 764
Gasóleo	103	317 628
Gasolina	9	26 226
Gás Natural	25	67 240
Total	22 584	62046 521

Para uma melhor perceção da distribuição das diferentes formas de energia no ano de 2013, traçou-se o gráfico seguinte.

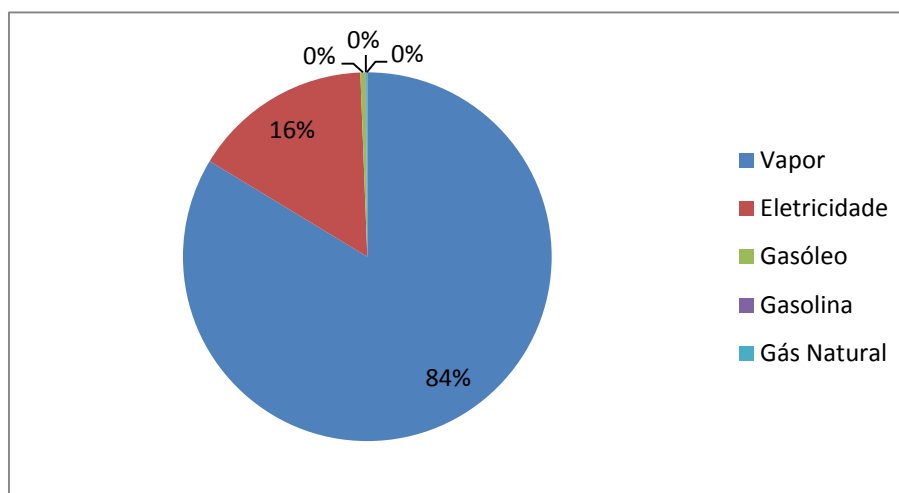


Figura 5.1. Distribuição dos consumos de energia primária no ano de 2013

Da análise da figura 5.1 verifica-se que o gás natural, o gasóleo e a gasolina representam uma parcela quase nula no total de energia primária consumida na Refinaria, sendo o vapor (com 84%) aquele que mais contribui para o total desse consumo.

Na figura 5.2 encontra-se apresentada a distribuição das emissões de gases com efeito de estufa no ano de 2013 por forma de energia.

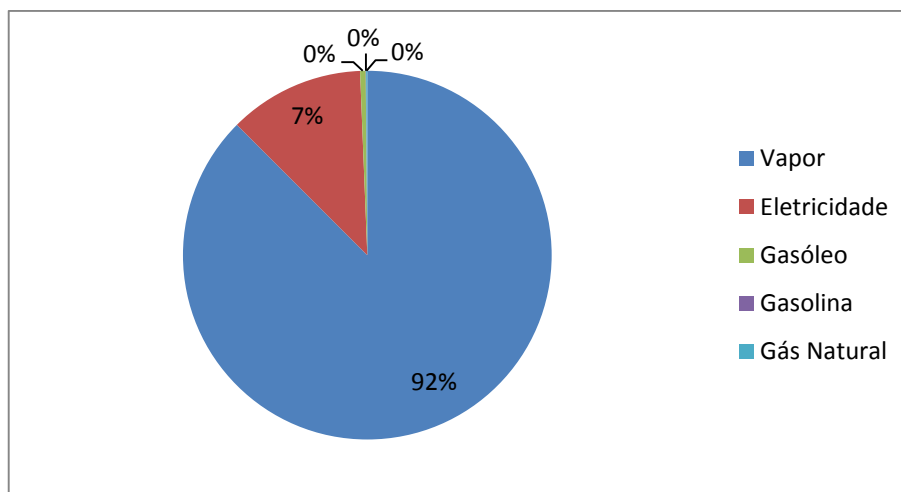


Figura 5.2. Distribuição das emissões de gases com efeito de estufa no ano de 2013

Através da figura anterior verifica-se que é novamente o vapor aquele que mais contribui para o valor total relativo à emissão de gases com efeito de estufa (com 92%). O gasóleo, a gasolina e o gás natural contribuem com uma percentagem muito pequena (quase nula), com 0,51%, 0,04% e 0,11% respetivamente.

Efetuada todas as conversões determinaram-se, então, os indicadores energéticos mensais. Estes indicadores foram calculados utilizando as equações 2.1, 2.2 e 2.3 apresentadas no capítulo 2. Os cálculos efetuados encontram-se apresentados no anexo B.

Na figura 5.3 encontra-se representada a variação do consumo específico de energia ao longo do ano de 2013. Os dados utilizados para a elaboração deste gráfico encontram-se na tabela B.3 do anexo B.

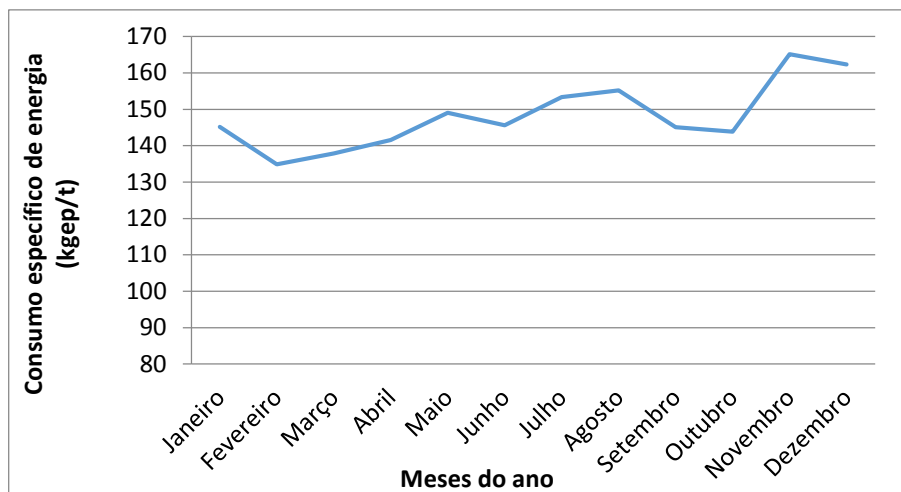


Figura 5.3. Evolução do consumo específico de energia durante o ano de 2013

Através da figura anterior verifica-se que o consumo específico de energia no ano de 2013 oscilou entre os 135 kgep/t e os 165 kgep/t, apresentando o maior valor no mês de Novembro.

Na figura seguinte encontra-se representada a variação da intensidade carbónica no ano de 2013. Os valores utilizados para a elaboração deste gráfico encontram-se apresentados na tabela B.4 do anexo B.

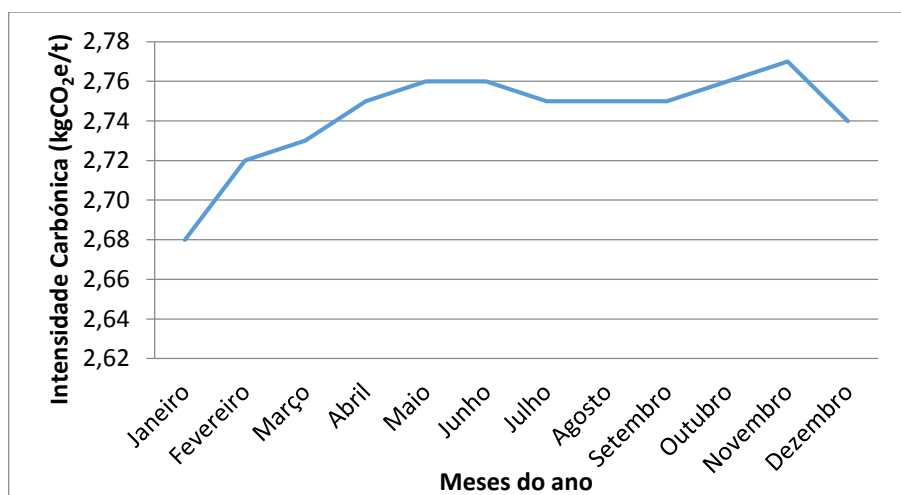


Figura 5.4. Evolução do indicador intensidade carbónica ao longo do ano de 2013

Através da figura 5.4 observa-se que os valores da intensidade carbónica oscilaram entre os 2,68 kgCO₂e/t e os 2,77 kgCO₂e/t, apresentando um valor máximo no mês de Novembro.

Na tabela 5.6 encontram-se apresentados os valores obtidos para o ano de 2013 para os indicadores energéticos e para o consumo total de energia primária.

Tabela 5.6. Valores obtidos para os indicadores energéticos e consumo total de energia primária, para o ano de 2013

Ano 2013	
Consumo específico de Energia (kgep/t)	148,27
Intensidade Carbónica (kgCO₂e/t)	2,74
Intensidade Energética (kgep/€)	6,39
Consumo total energia primária (tep)	22583,7

Segundo o Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril, a Empresa é considerada consumidora intensiva de energia uma vez que no ano de referência (2013) apresentou um consumo energético superior a 1 000 tep (22 583,7 tep). O consumo específico de energia obtido para o ano de 2013 foi de 148,27 kgep/t. O valor de referência (CEE) para este tipo de indústria é de 105 kgep/t, devendo este servir de controlo para a Empresa. [18]

Para os restantes indicadores não foram encontrados valores de referência correspondentes a este tipo de indústria.

Determinados todos os indicadores energéticos e classificada a Empresa, procedeu-se à elaboração do Plano de Racionalização do Consumo de Energia. Uma vez que a Empresa é considerada consumidora intensiva de Energia, as metas a estabelecer no presente Plano de Racionalização de Consumos de Energia são:

- No mínimo uma redução de 6% no indicador Consumo Específico de Energia em 6 anos;
- No mínimo uma redução de 6% no indicador Intensidade Energética em 6 anos;
- Manutenção do histórico do indicador Intensidade Carbónica.

Na tabela 5.7 encontra-se apresentada a evolução do indicador Consumo Específico de Energia, do ano de 2013 até ao ano de 2019.

Tabela 5.7. Evolução do Consumo Específico de Energia de 2013 a 2019

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CEE (kgep/t)	148,27	139,37	131,01	123,15	115,76	108,81	102,28

Como já foi mencionado anteriormente, o indicador Consumo Específico de Energia deverá sofrer uma redução de 6% em 6 anos, devendo apresentar o valor de 102,28 kgep/t no ano de 2019.

Na tabela 5.8 encontra-se apresentada a evolução do indicador Intensidade Energética, do ano de 2013 até ao ano de 2019.

Tabela 5.8. Evolução do indicador Intensidade Energética de 2013 a 2019

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
IE (kgep/€)	6,39	6,01	5,65	5,31	4,99	4,69	4,41

O indicador Intensidade Energética deverá também sofrer uma redução de 6% em 6 anos, devendo apresentar no ano de 2019 o valor de 4,41 kgep/€.

Na tabela 5.9 encontra-se apresentado o indicador Intensidade Carbónica durante 6 anos, do ano de 2013 até ao ano de 2019.

Tabela 5.9. Manutenção do histórico do indicador Intensidade Carbónica até 2019

Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
IC (kgCO ₂ e/t)	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74

Relativamente ao indicador Intensidade Carbónica, este deverá apresentar o valor de 2,74 kgCO₂e/t no ano de 2019.

Como já mencionado anteriormente, o novo Plano de Racionalização de Consumos obtido será introduzido no novo ficheiro de cálculo, deixando de existir no ficheiro “Folha de Consumos” a folha “Plano de Racionalização de Consumos de Energia”.

- **Ficheiro Índices de cozedura e consumos de água**

Durante a análise realizada a este ficheiro verificou-se que faltavam alguns consumos de energia elétrica referentes às secções e equipamentos da Refinaria. Deste modo, os consumos em falta serão introduzidos nas novas folhas de cálculo. Após análise extensiva da informação, foi possível reduzir o número de folhas de cálculo existentes neste ficheiro, passando este a ser composto por apenas cinco folhas. Como já foi mencionado anteriormente as folhas de cálculo existentes no mesmo serão introduzidas no novo ficheiro de cálculo a criar.

- **Ficheiro de faturação entre a empresa RAR Refinaria e a RAR Cogeração**

Da análise efetuada a este ficheiro verificou-se que o consumo de eletricidade faturado à RAR Refinaria já não necessitava de ser calculado e que a fórmula utilizada para a determinação do custo do vapor se encontrava desatualizada. O consumo de

eletricidade da RAR Refinaria apresentado na folha de faturação era calculado mensalmente, uma vez que não existia nenhum contador que contabilizasse apenas os consumos correspondentes da mesma. Atualmente existe um contador que indica esse consumo, permitindo conhecer de uma forma mais rigorosa os consumos de eletricidade por horas de ponta (hp), vazio (hv) e cheia (hc). Relativamente ao custo do vapor verificou-se que a fórmula utilizada para a determinação do mesmo também necessitava de alterações. Com a recente substituição dos motores a gás natural e respetiva caldeira de recuperação por uma turbina a gás e nova caldeira de recuperação, as propriedades do vapor utilizadas para a determinação do gás natural consumido na caldeira de recuperação sofreram alterações. A nova caldeira de recuperação apresenta um contador que indica a energia do vapor produzido (kWh), podendo a quantidade de gás natural consumida na mesma ser determinada a partir desta energia.

Após a análise deste ficheiro, verificou-se que era desnecessária a existência de cinco folhas de cálculo para a faturação dos consumos. Desta forma reduzir-se-á o número de folhas, passando a existir apenas uma folha de cálculo para a faturação entre Empresas. Esta folha será introduzida no novo ficheiro de registos, deixando de existir o ficheiro “Faturação entre a RAR Refinaria e a RAR Cogeração”. Para além da informação contida no ficheiro de faturação antigo, na nova folha de faturação serão também introduzidas algumas melhorias.

As melhorias propostas para inserir na folha de faturação entre Empresas foram:

1. Uma vez que existe um contador que contabiliza os consumos de eletricidade correspondentes à Refinaria por diferentes horas de vazio, ponta e cheia substituir-se-á na nova folha de faturação o consumo calculado de energia elétrica pelo consumo indicado no contador.
2. O custo da eletricidade consumida na Refinaria será substituído por:

$$\text{Custo}_{\text{eletricidade}} = \text{Consumo}_{\text{hp}} \times \text{Custo}_{\text{hp}} + \text{Consumo}_{\text{hv}} \times \text{Custo}_{\text{hv}} + \text{Consumo}_{\text{hc}} \times \text{Custo}_{\text{hc}} + \text{Custo}_{\text{PT}} + \text{Custo}_{\text{PC}} \quad (5.2)$$

O PT correspondente à potência tomada e o PC corresponde à potência contratada.

3. Com a proposta de instalação de dois contadores de água na RAR Cogeração, o consumo de água passará a ser o indicado nos respetivos contadores, evitando deste modo a utilização de estimativas para o conhecimento do mesmo. Este consumo será introduzido na folha de faturação.

4. Na fórmula utilizada para a determinação do custo do vapor a parcela correspondente ao custo do gás natural na caldeira de recuperação (C.R.) será alterada para:

$$\text{Custo do Gás Natural}_{C.R.} = \frac{\text{Energia Vapor (kWh)}}{\text{Pci Gás Natural} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right)} \times \eta_{\text{caldeira Recuperação}} \times \text{Preço}_{\text{gás natural}} \left(\frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} \right) \quad (5.3)$$

- **Ficheiro Cotação de Fuelóleo e Cotação de *spot* de títulos de Emissão**

Da análise efetuada a ambos os ficheiros verificou-se que não era necessário a existência de dois ficheiros para o registo das respetivas cotações. Desta forma, ambos os ficheiros serão convertidos em apenas duas folhas de cálculo (uma para as cotações do fuelóleo e outra para a cotação dos títulos de emissão), sendo posteriormente introduzidas no novo ficheiro para Cálculos. Deixarão assim de existir os ficheiros individuais “Ficheiro Cotação do Fuelóleo” e “Ficheiro Cotação de *spot* de Títulos de Emissão”, permitindo desta forma uma redução do número de ficheiros que constituem o atual SGE.

- **Ficheiro da Declaração relativa às instalações elétricas de serviço particular térmicas/cogeração**

Este ficheiro não sofreu alterações, sendo inserido no novo Sistema de Gestão de Consumos de Energia no ficheiro para registos.

Efetuada a revisão de todos os ficheiros passou-se à revisão das estimativas utilizadas pelo Gestor de Energia.

5.3 Revisão das estimativas do atual SGE

Nesta secção serão recalculadas todas as estimativas utilizadas pelo Gestor de Energia para efetuar os cálculos de determinação dos KPI's. Esta revisão apresentou como principal objetivo verificar se as estimativas utilizadas se encontravam atualizadas de acordo com as alterações (mudanças de equipamentos) que foram ocorrendo na Empresa ao longo do tempo. As estimativas recalculadas foram:

- Relação massa de vapor/massa combustível (13 kg vapor/kg combustível);
- Rendimento médio das três caldeiras (88%);

- Consumo específico de vapor na turbina KKK (13,3 kg vapor/kWh);
- Consumo de vapor no desgaseificador (0,113 kg vapor/kg água);
- Razão entre a massa de vapor à saída da turbina e a massa de vapor à entrada (1,20 kg vapor saída/kg vapor entrada) para determinação do vapor não turbinado;

Procedeu-se então ao cálculo da relação (massa vapor/massa combustível) que permite a determinação da quantidade teórica de vapor produzida nas três caldeiras.

- **Relação massa de vapor/massa combustível**

Esta relação é obtida a partir da razão entre a energia contida no vapor e a energia total do combustível:

$$\eta_{\text{caldeira}} = \frac{m_{\text{vapor}} \times (h_V - h_L)}{m_{\text{combustível}} \times \text{PCI}} \quad (5.4)$$

O m_{vapor} corresponde à massa de vapor produzida na caldeira e o $m_{\text{combustível}}$ corresponde à massa de combustível alimentada à caldeira. O h_V corresponde à entalpia do vapor produzido na caldeira, o h_L corresponde à entalpia da água de alimentação às caldeiras e o PCI corresponde ao poder calorífico inferior do combustível.

Como para o cálculo desta estimativa é necessário conhecer o rendimento médio das três caldeiras, procedeu-se numa primeira fase à determinação do mesmo.

- **Rendimento das três caldeiras**

Existem dois métodos para a determinação do rendimento de uma caldeira, o método direto (razão entre o calor fornecido ao fluido de trabalho e a energia total do combustível) e o método indireto. O rendimento das caldeiras foi determinado pelo método indireto, também designado por método das perdas, pelo facto de este método ser mais preciso que o método direto.

Como já foi referido anteriormente, na Empresa existem três caldeiras das quais duas consomem gás natural e fuelóleo (caldeira 1 e 3) e a restante apenas fuelóleo. Como o método das perdas é utilizado para apenas um tipo de combustível, a determinação do rendimento das duas caldeiras equipadas com queimadores mistos será efetuado através de uma soma ponderada, considerando uma fração de 50% de gás natural e 50% de fuelóleo no total de combustível alimentado a cada caldeira.

A determinação do rendimento de uma caldeira pelo método das perdas é efetuada através da seguinte equação:

$$\eta_{\text{Caldeira}} = 100 - \Sigma \text{ das perdas} \quad (5.5)$$

Para a realização deste cálculo as perdas consideradas foram:

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes [19]

$$P_{cv} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33\,820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times PCI} \quad (5.6)$$

Em que:

A - Corresponde à fração em peso de inertes no combustível;

F_{ci} - Corresponde à fração em peso das cinzas volantes em relação ao total de inertes do combustível;

PCI - Corresponde ao poder calorífico inferior do combustível alimentado à caldeira;

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo [19]

$$P_{cf} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33\,820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times PCI} \quad (5.7)$$

Estas perdas apenas são consideradas caso o combustível seja sólido. Como um dos combustíveis é líquido (fuelóleo) e o outro gasoso (gás natural) para efeitos de cálculo considerar-se-ão estas perdas iguais a 0%.

- Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão [19]

$$P_{gc} = \frac{K \times (T_g - T_a) \times \left(1 - \frac{P_{cv} + P_{cf}}{100}\right)}{CO_2} \quad (5.8)$$

Em que:

K - Corresponde a uma constante que depende do combustível utilizado;

T_g - Corresponde à temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira;

T_a - Corresponde à temperatura do ar de combustão à entrada da caldeira;

P_{cv} + P_{cf} - Corresponde às perdas nas cinzas de fundo e cinzas volantes;

CO₂ - Corresponde à % em volume de CO₂ presente nos gases de combustão.

A constante K é obtida da tabela B.5 apresentada no anexo B.

- Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão [19]

$$P_{H_2O} = \frac{(m_{H_2O} + 9 \times H) \times (210 - 4.2 \times T_a + 2.1 \times T_g)}{P_{ci}} \quad (5.10)$$

Em que:

m_{H_2O} – Representa a % em peso de humidade no combustível nas condições de queima;

H – Representa a % em peso de hidrogénio no combustível nas condições de queima.

- Perdas associados a inqueimados nos gases de combustão [19]

$$P_{CO} = \frac{K1 \times CO \times (1 - 0.1 \times (P_{cv} + P_{cf}))}{CO + CO_2} \quad (5.11)$$

Em que:

K1 – Corresponde a uma constante que depende do combustível utilizado;

CO – Representa a % em volume de monóxido de carbono nos gases de combustão;

CO₂ – Representa a % em volume de dióxido de carbono nos gases de combustão;

A constante K1 é obtida da tabela B.7 apresentada no anexo B.

- Perdas por radiação e convecção

As perdas por radiação e convecção são obtidas através da tabela B.8 apresentada no anexo B, sendo necessário conhecer a capacidade nominal da caldeira.

- Calor perdido nas purgas [19]

$$P_p = \frac{(T_p - T_{ag}) \times (p) \times (100 - E_p)}{(T_p - T_{ag}) \times (p) + (100 - (p)) \times (600 - T_{ag})} \quad (5.12)$$

Em que:

T_p – Representa a temperatura das purgas (°C);

T_{ag} - Representa a temperatura da água de alimentação à caldeira (à entrada do economizador, °C);

P – Representa a % das purgas em relação ao total de água de alimentação da caldeira;

E_p - Representa o somatório de todas as perdas referidas nas equações anteriores.

Na tabela seguinte encontram-se apresentados os resultados obtidos para cada tipo de perdas (%) e o rendimento correspondente a cada caldeira.

Tabela 5.10. Resultados obtidos para cada tipo de perda e rendimento em cada caldeira

Tipo de perda	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes (%)	0	0	0
Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo (%)	0	0	0
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (%)	7,88	13,72	7,71
Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (%)	2,04	2,62	2,04
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (%)	0,001	0,02	0,0014
Perdas por radiação e convecção (%)	1,4	1,4	1,4
Calor perdido nas purgas (%)	0,22	0,17	0,23
Rendimento da caldeira (%)	88,48	82,14	88,62

Conhecido o rendimento de cada caldeira determinou-se o rendimento médio das mesmas através da seguinte equação:

$$\bar{\eta}_{caldeiras} = \frac{\eta_{caldeira\ 1} + \eta_{caldeira\ 2} + \eta_{caldeira\ 3}}{3} \quad (5.13)$$

O novo rendimento médio das três caldeiras é de 86,41%.

Determinado o rendimento médio das três caldeiras, aplicou-se então a equação 5.4 para a determinação da relação massa de vapor/massa de combustível. O valor obtido

para esta estimativa foi de 13,14 kg vapor/kg combustível, valor muito próximo da estimativa inicial (13 kg vapor/kg combustível).

Os cálculos efetuados para a determinação do rendimento de cada caldeira e da relação massa vapor/massa combustível encontram-se apresentados no anexo B.

A terceira estimativa a ser recalculada foi a correspondente ao consumo específico de vapor na turbina KKK.

- **Consumo específico de vapor na turbina KKK**

O vapor produzido nas três caldeiras sofre uma forte expansão no interior da turbina KKK, resultando num aumento da sua velocidade e conseqüentemente numa redução da sua pressão e temperatura. Assim sendo, o consumo específico de vapor na turbina KKK foi determinado através da queda de entalpia que o vapor sofre na mesma. Na figura seguinte encontra-se apresentado um esquema representativo da turbina KKK com as condições do vapor à entrada e à saída da mesma.

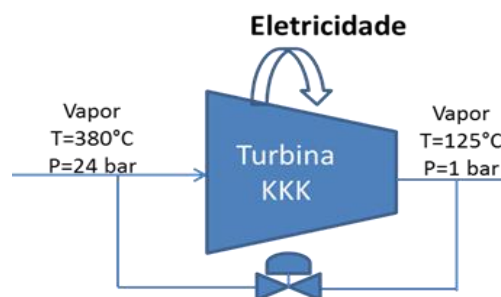


Figura 5.5. Esquema representativo da turbina KKK

Conhecendo as condições do vapor à entrada e à saída da turbina obtém-se:

$$\text{Queda entálpica} = (hV_e - hV_s) \times \eta_{\text{turbina}} \quad (5.14)$$

O hV_e e o hV_s correspondem à entalpia do vapor. O η corresponde ao rendimento da turbina. Estas entalpias foram retiradas das tabelas de propriedades termodinâmicas do vapor para a temperatura e pressão correspondentes às suas condições de entrada e saída da turbina.

O valor obtido para o consumo específico de vapor na turbina foi de 10,3 kg vapor/kWh. Uma vez que o valor inicial desta estimativa era de 13,3 kg vapor/kWh introduzir-se-á a

nova estimativa obtida no novo SGE. Os cálculos relativos a esta estimativa encontram-se apresentados no anexo B.

- **Relação utilizada para a determinação da massa de vapor não turbinado**
(1,22 kg vapor saída/kg vapor entrada)

A estimativa 1,22 foi determinada através de um balanço de massa e de energia realizado ao ponto de mistura do vapor a seguir à válvula *by-pass* (válvula utilizada para regular as pressões). No ponto de mistura (representado na figura seguinte) são adicionados condensados a 90°C ao vapor com o objetivo de manter as condições do vapor à saída da turbina estáveis (temperamento do vapor) após a forte expansão que este sofre no interior da turbina.

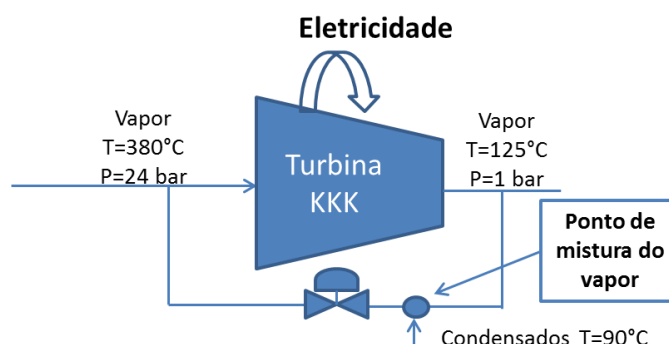


Figura 5.6. Esquema representativo da turbina KKK

O balanço de massa efetuado ao ponto de mistura foi:

$$m_{\text{vapor } 24 \text{ bar}} + m_{\text{condensados}} = m_{\text{vapor } 1 \text{ bar}}$$

O balanço de energia foi efetuado através da equação seguinte:

$$m_{\text{vapor}} \times hV_{24 \text{ bar}} + m_{\text{condensados}} \times hL_{90^\circ\text{C}} = m_{\text{vapor}} \times hV_{1 \text{ bar}}$$

Rearranjando os balanços, a relação 1,22 é obtida através de:

$$m_{\text{vapor } 1 \text{ bar}} = \left(\frac{hV_{24 \text{ bar}} - hL_{90^\circ\text{C}}}{hV_{1 \text{ bar}} - hL_{90^\circ\text{C}}} \right) \times m_{\text{vapor } 24 \text{ bar}}$$

O valor obtido para esta estimativa foi de 1,20, verificando-se deste modo que não existia uma diferença significativa relativamente ao valor inicial (1,22). Os cálculos efetuados encontram-se apresentados no anexo B.

- **Vapor consumido no desgaseificador**

A última estimativa a ser recalculada foi a relação que permite determinar a quantidade de vapor consumido no desgaseificador. Este utiliza vapor a uma temperatura média de 132,7 °C para aquecer a água de alimentação das caldeiras de 50°C até 116°C. Na figura 5.7 encontram-se representadas as respectivas correntes de entrada e de saída do desgaseificador.

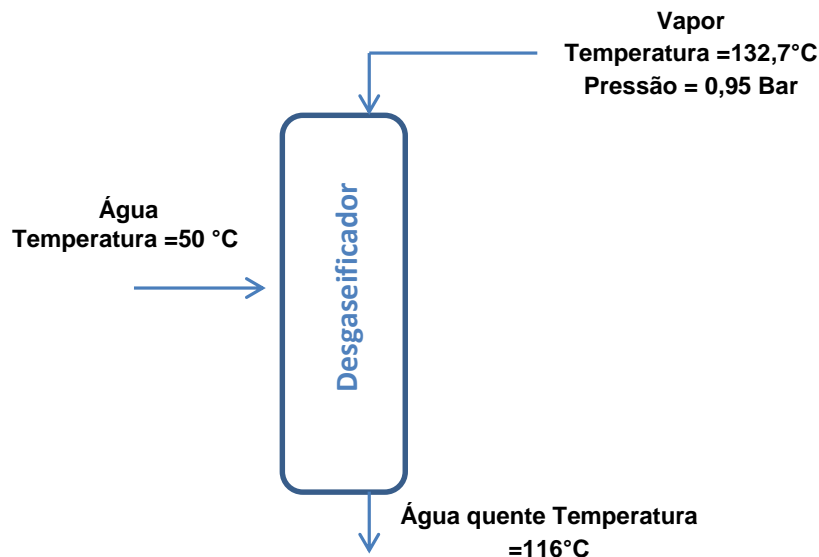


Figura 5.7. Esquema representativo do desgaseificador da água de alimentação às caldeiras

Conhecidas as correntes de entrada e de saída, realizou-se um balanço de massa e de energia ao desgaseificador. Estes balanços encontram-se representados nas equações seguintes.

- Balanço de massa

$$m_{\text{água}} + m_{\text{vapor}} = m_{\text{total}}$$

O vapor ao entrar em contato com a água fria condensa, transferindo-lhe assim a sua energia. Assim sendo, a massa total indicada à saída do desgaseificador corresponde à água que entrou no desgaseificador mais o vapor que condensou.

$$m_{\text{total}} = m_{\text{água produzida}} + m_{\text{vapor produzido}}$$

- Balanço de energia

$$m_{\text{água}} \times hL_{50\text{ °C}} + m_{\text{vapor}} \times hV_{132,7\text{ °C}} = m_{\text{total}} \times hL_{116\text{ °C}}$$

Assim sendo, o caudal de vapor consumido nos desgaseificador é obtido através de:

$$m_{\text{vapor}} = m_{\text{água}} \times \frac{(hL_{116^{\circ}\text{C}} - hL_{50^{\circ}\text{C}})}{(hV_{132,7^{\circ}\text{C e } 0,95 \text{ bar}} - hL_{116^{\circ}\text{C}})}$$

Os cálculos relativos a esta estimativa encontram-se no anexo B. O resultado obtido para a nova estimativa foi de 0,124 kg vapor/1 kg água.

Recalculadas todas as estimativas utilizadas pelo Gestor de Energia, procedeu-se à revisão das folhas de registos utilizadas pelos operadores.

5.4 Revisão das folhas de registos manuais

A última etapa para a reformulação do respetivo Sistema de Gestão de Consumos consistiu na revisão de todas as folhas de registos manuais dos consumos diários utilizadas pelos operadores da Empresa. As folhas de registo apresentavam alguns contadores cujas leituras já não precisavam ser retiradas e também necessitavam de ser atualizadas com os novos contadores que existiam na Empresa. Procedeu-se então à sua reconstrução, introduzindo-se todos os contadores que ainda não constavam nestas folhas (contadores relativos à turbina Centrax, caldeira de recuperação e contadores de água quente da fábrica) e retirando-se todos os contadores que já não apresentavam nenhuma utilidade. As folhas de registo foram elaboradas no programa Microsoft Excel[®]. A reformulação destas folhas de registos conduziu a significativas melhorias processuais nomeadamente, uma redução nos tempos de preenchimento das folhas e um encurtamento das rotas diárias efetuadas pelos operadores para retirarem os diversos consumos de água, vapor, eletricidade, fuelóleo e gás natural dos respectivos contadores.

5.5 Novo Sistema de Gestão de Consumos

Efetuada a análise e a revisão do atual Sistema de Gestão de Consumos da Empresa procedeu-se, então, à construção dos novos ficheiros. Este SGE será constituído por dois ficheiros do programa Microsoft Excel[®], um ficheiro designado por “Registos” e outro por “Cálculos”. Nestes ficheiros foi introduzida toda a informação selecionada do antigo SGE e todas as melhorias indicadas anteriormente. O ficheiro “Registos” substituirá o ficheiro “Folha de Consumos” e será o novo ficheiro para a introdução de todos os *inputs* (consumos). Este ficheiro apresenta a seguinte estrutura:

- Uma folha de cálculo (designada por “Água”) composta por três tabelas, uma onde serão introduzidas todas as leituras, outra onde serão automaticamente

determinados os consumos de água da Empresa e outra que funcionará como quadro resumo dos consumos diários de água;

- Uma folha de cálculo (designada por “Eletricidade”) com a mesma estrutura da folha de cálculo “Água”, onde serão inseridas todas as leituras da eletricidade e determinados os respetivos consumos da Empresa e produções das turbinas;
- Uma folha de cálculo (designada por “Vapor”) com a mesma estrutura que as duas folhas mencionadas anteriormente, onde serão introduzidas todas as leituras do gás natural, fuelóleo, vapor, horas de funcionamento das caldeiras e determinados os respetivos consumos e produção de vapor;
- Uma folha de cálculo (designada por “Produção”) onde serão introduzidas as produções de açúcar branco e açúcar amarelo;
- Uma folha para o mapa dos consumos diários;
- Uma folha para o mapa dos consumos mensais;
- Uma folha para o mapa anual (atualizada mensalmente);
- Uma folha de cálculo para a faturação entre as Empresas RAR Refinaria e a RAR Cogeração. (Esta folha é preenchida automaticamente após a introdução de todos os consumos mensais);
- Uma folha (designada por “Cotação do fuelóleo”), que vai sendo preenchida mensalmente com as cotações do fuelóleo relativas ao respetivo mês;
- Uma folha (designada por “Cotação do spot de título de emissão”), que vai sendo preenchida com as cotações referentes ao respetivo mês;
- Uma folha designada por “Auto-consumos”, onde serão apresentados os consumos de energia elétrica nas turbinas para o preenchimento de uma declaração;
- Uma folha designada por “Declaração REN”, onde serão apresentados todos os consumos para preenchimento da respetiva declaração;
- A Declaração relativa às instalações elétricas de serviço particular térmicas/cogeração;
- Uma folha designada por “Dados para KPI’s” que é preenchida automaticamente após a introdução de todos os consumos mensais.

Tal como no SGE anterior, será criado para cada mês um ficheiro do tipo “Registos” (existindo anualmente 12 ficheiros deste tipo).

Construído o ficheiro “Registos” procedeu-se à construção do ficheiro designado por “Cálculos”. Este ficheiro substituirá os ficheiros “KPI’s - Folha de Cálculo”, “Índices de cozeduras e consumos de água”, “Cotação do fuelóleo” e o ficheiro “Cotação de *spot* de

títulos de emissão” e será o ficheiro onde o Gestor de Energia determinará mensalmente todos os indicadores de desempenho, acompanhará o Plano de Racionalização de Consumos e o histórico das cotações de fuelóleo e dos *spots* de títulos de emissão. Este ficheiro apresenta a seguinte estrutura:

- Uma folha para entrada dos dados para a determinação dos KPI’s (O Gestor de Energia obterá estes dados do ficheiro “Registos”, da folha de cálculo “Dados para KPI’s” e ao introduzi-los nesta folha todos os indicadores de desempenho serão automaticamente calculados todos os meses, uma vez que ambas as folhas se encontram hiperligadas);
- Uma folha de cálculo com os dados necessários para o Plano de Racionalização de consumos;
- Uma folha de cálculo com os indicadores energéticos para o Plano de Racionalização de consumos;
- Uma folha de cálculo com o novo Plano de Racionalização de Consumos (do ano de 2013 até ao ano de 2019);
- Cinco folhas de cálculo para a determinação dos índices de cozedura e consumos de água;
- Uma folha de cálculo com o histórico da cotação de fuelóleo (folha esta que vai sendo atualizada mensalmente com a informação inserida na folha “cotação do fuelóleo” do ficheiro “Registos”);
- Uma folha de cálculo com o histórico da cotação de *spot* de títulos de emissão (folha esta que vai sendo atualizada mensalmente com a informação inserida na folha “cotação de *spot* de títulos de emissão” do ficheiro “Registos”);
- Uma folha de cálculo onde mensalmente são determinados e visualizados os indicadores de desempenho globais (esta folha vai sendo atualizada mensalmente).
- Uma folha de cálculo para visualização gráfica dos indicadores de desempenho mensais.

O novo ficheiro designado por “Cálculos” será um ficheiro anual, existindo apenas um ficheiro deste tipo para cada ano, o que permitirá ao Gestor de Energia um acompanhamento mais rigoroso da evolução mensal de todos os consumos e indicadores de desempenho.

Foi criado um ficheiro modelo de Excel “Registos” e um ficheiro modelo “Cálculos”, evitando deste modo que seja efetuado todos os meses uma cópia do ficheiro de

registos do mês passado e que seja necessário apagar toda a informação correspondente a esse mês para que seja introduzida a informação relativa ao novo mês.

Na tabela seguinte encontra-se apresentado o número de folhas de cálculo que constituíam os sete ficheiros de Excel iniciais e o número de folhas de cálculo existentes em cada ficheiro após a respetiva reformulação.

Tabela 5.11. Número de folhas de cálculo existentes inicialmente em cada ficheiro e número de folhas de cálculo existentes após a reformulação

Ficheiro de Excel	Número de folhas de cálculo iniciais	Número de folhas de cálculo finais
“Folha de Consumos”	18	11
“KPI’s-Folha de Cálculo”	18	8
“Índices de cozeduras e consumos de água”	46	5
“Faturação entre a RAR Cogeração e a RAR Refinaria”	5	1
“Cotação de <i>spot</i> de títulos de emissão”	2	1
“Cotação do fuelóleo”	1	1
“Declaração das instalações elétricas”	12	12

Com esta reformulação foi possível reduzir o número de ficheiros/folhas de cálculo que constituíam o SGE antigo, para apenas dois ficheiros com um total de 39 folhas de cálculo. Foi também possível introduzir melhorias, introduzir nova informação, selecionar toda a informação desatualizada e redundante, tornando deste modo o sistema de gestão de fácil utilização, mais dinâmico e, sobretudo mais eficiente.

6 Modelo de Previsão de Consumos

A última etapa deste trabalho consistiu na criação de um modelo quantitativo que permitisse ao Gestor de Energia fazer uma previsão anual dos consumos de água, eletricidade e fuelóleo da Refinaria. Esta informação permitirá ao Gestor de Energia estimar com alguma antecedência quais os consumos que a Empresa terá e, conseqüentemente, apoiá-lo na tomada de algumas decisões, nomeadamente na escolha dos fornecedores (realização de contratos) e nas provisões financeiras.

A criação do modelo pretendido resultou da conciliação de várias etapas, nomeadamente:

1. Levantamento dos consumos históricos reais de água, eletricidade, fuelóleo, gás natural e da produção de açúcar (branco e amarelo) de dois anos (ano de 2012 e de 2013);
2. Determinação dos consumos específicos diários de água, eletricidade e fuelóleo da Refinaria para os dois anos referidos;
3. Caracterização dos consumos específicos por tipo de dia para os dois anos;
4. Determinação dos consumos específicos médios, mínimos e máximos por tipo de dia para os dois anos;
5. Verificação do modelo (determinação do erro associado ao modelo);

6.1 Levantamento dos consumos históricos

A primeira etapa para a criação do modelo consistiu no levantamento dos consumos diários de água, fuelóleo, eletricidade, gás natural e produção de açúcar de dois anos (de Janeiro a Dezembro), o ano de 2012 e o ano de 2013. Estes consumos e produções diárias foram retirados do histórico existente no Sistema de Gestão de Consumos da Empresa. Os consumos de água e eletricidade utilizados para o modelo foram os consumos retirados diretamente do SGE. Já o fuelóleo a utilizar para o modelo foi determinado a partir do consumo total de fuelóleo e gás natural retirado também do SGE. Por questões de confidencialidade estes consumos não serão apresentados no relatório.

Como já mencionado anteriormente, do total de vapor produzido nas caldeiras, apenas uma quantidade é consumida na Refinaria, pelo fato deste atravessar uma turbina de contrapressão (turbina KKK) e parte ser utilizado para produzir energia elétrica. Assim

sendo, o fuelóleo a considerar para o modelo corresponde apenas ao utilizado para a produção do vapor efetivamente consumido na Refinaria.

No ano de 2012 as três caldeiras apenas consumiam fuelóleo como combustível. A quantidade de fuelóleo diária a utilizar para o modelo foi determinada através da equação seguinte:

$$\text{Fuelóleo}_{\text{vapor}} = \text{Fuel consumido} - \text{Produção de eletricidade}_{\text{turbina kkk}} \times 0,120 \quad (6.1)$$

Como já foi referido anteriormente, o valor 0,120 corresponde ao consumo específico de fuelóleo na turbina KKK (kg fuelóleo/kWh). O fuelóleo consumido corresponde ao total de fuelóleo consumido nas três caldeiras.

Já no ano de 2013, com a instalação de dois queimadores mistos em duas das caldeiras, o fuelóleo equivalente para a produção de vapor passou a ser determinado de forma diferente. Assim sendo, o fuelóleo consumido para a produção vapor foi determinado através do somatório da quantidade de fuelóleo e de gás natural utilizada para a produção do mesmo subtraindo a parcela utilizada para a produção de energia elétrica. Na equação 6.2 encontra-se apresentada a equação utilizada para a determinação do consumo de fuelóleo no ano de 2013 a utilizar para o modelo.

$$\text{Fuelóleo equivalente}_{\text{vapor}} = \text{Fuelóleo}_{\text{vapor}} + \text{Gás Natural}_{\text{vapor}} \quad (6.2)$$

A determinação do fuelóleo consumido para produção de vapor foi efetuada através da equação seguinte.

$$\text{Fuelóleo}_{\text{vapor}} = \text{Fuelóleo}_{\text{consumido}} - \text{Fuelóleo}_{\text{produção eletricidade}} \quad (6.3)$$

O fuelóleo consumido corresponde ao total de fuelóleo consumido diariamente nas três caldeiras.

A quantidade de gás natural consumido para a produção de vapor foi calculada através da equação seguinte.

$$\text{Gás Natural}_{\text{vapor}} = (\text{Gás Natural}_{\text{consumido}}) \times \frac{\text{PCI G. N}}{\text{PCI Fuel}} - \text{Gás Natural}_{\text{produção eletricidade}} \quad (6.4)$$

O gás natural consumido corresponde ao consumo diário total de gás natural nas duas caldeiras.

A quantidade de fuelóleo e de gás natural que foi utilizado para produzir eletricidade foi determinada através das equações seguintes:

- Fração de gás natural e de fuelóleo no total do combustível

$$\% \text{ Gás Natural} = \frac{\text{Gás natural}_{\text{consumido}} \times \text{PCI}_{\text{G.N}}}{\text{Gás Natural}_{\text{consumido}} \times \text{PCI}_{\text{G.N}} + \text{Fuelóleo}_{\text{consumido}} \times \text{PCI}_{\text{Fuel}}} \quad (6.5)$$

- Fuelóleo equivalente utilizado para produzir eletricidade na turbina KKK

$$\text{Fuelóleo}_{\text{equivalente}} = \text{Produção eletricidade}_{\text{turbina kkk}} \times 0,120 \quad (6.6)$$

- Quantidade de gás natural utilizado para produzir eletricidade

$$\text{Consumo Gás Natural}_{\text{turbina KKK}} = \% \text{ Gás Natural} \times \text{Fuelóleo}_{\text{equivalente KKK}} \quad (6.7)$$

- Quantidade de fuelóleo utilizada para produzir eletricidade

$$\text{Consumo fuelóleo}_{\text{turbina kkk}} = \% \text{Fuelóleo} \times \text{Fuelóleo}_{\text{equivalente KKK}} \quad (6.8)$$

Estes cálculos foram efetuados para todos os dias de cada ano. Foi então possível obter a quantidade de combustível (fuelóleo mais gás natural) equivalente para a produção do vapor efetivamente consumido na Refinaria. Como já foi mencionado anteriormente, por questões de confidencialidade estes cálculos não serão apresentados no relatório.

Obtidos todos os consumos diários necessários, procedeu-se então à determinação dos consumos específicos de água, eletricidade e fuelóleo diários para cada semana de cada ano.

6.2 Determinação dos consumos específicos

Os resultados obtidos para os consumos específicos diários também não serão apresentados, sendo apenas indicada a forma como foram determinados. Os consumos específicos diários foram obtidos através das equações seguintes.

- Consumo específico de água (CEA)

$$\text{CEA}_{\text{diário}} = \frac{\text{Consumo de água Refinaria (m}^3\text{)}}{\text{Produção Açúcar (t)}} \quad (6.9)$$

- Consumo específico de eletricidade (CEE)

$$CEE_{\text{diário}} = \frac{\text{Consumo eletricidade Refinaria (kWh)}}{\text{Produção Açúcar (t)}} \quad (6.10)$$

- Consumo específico de fuelóleo (CEF)

$$CEF_{\text{diário}} = \frac{\text{Consumo fuelóleo (kg)}}{\text{Produção Açúcar (t)}} \quad (6.11)$$

Todos os consumos e produção correspondem a um determinado dia da semana. A produção utilizada para estes consumos específicos corresponde a açúcar branco equivalente (açúcar amarelo mais açúcar branco). Determinados todos os consumos específicos diários, procedeu-se então à sua caracterização por tipo de dia.

6.3 Caracterização dos consumos específicos por tipo de dia

A Refinaria labora normalmente cinco/seis dias por semana, com arranque à segunda-feira e paragem à sexta-feira ou ao sábado, podendo ainda laborar algumas semanas sem interrupção, consoante as necessidades de produção do açúcar. Numa semana normal (arranque à segunda-feira e paragem à sexta-feira) os consumos de eletricidade, água e fuelóleo apresentam a evolução apresentada na figura 6.1.

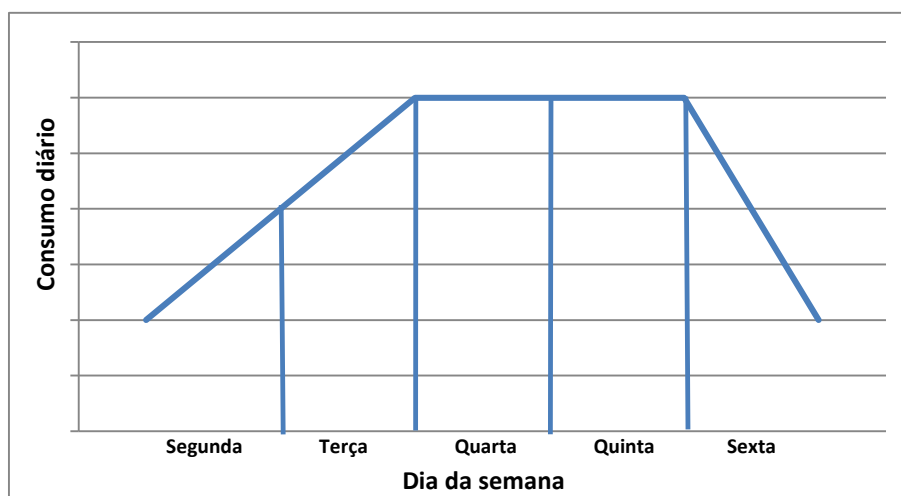


Figura 6.1. Evolução dos consumos ao longo de uma semana normal

Contudo ao longo de um ano, as 52 semanas não são todas semanas normais, uma vez que existem os feriados que vão influenciar o dia em que ocorre o arranque e a

paragem do processo de refinação de açúcar. Além disso, os arranques e as paragens podem ocorrer em diferentes horas o que também irá influenciar a quantidade de água, eletricidade e fuelóleo consumida num determinado dia. Os arranques e as paragens do processo de refinação podem ocorrer no primeiro turno (às 7h30), no segundo turno (às 15h30) e muito raramente no terceiro turno (às 23h30).

Os consumos diários da Refinaria apresentam assim variações em função do dia da semana, sendo por essa razão necessário efetuar-se a sua caracterização por tipo de dia para que se obtenha um modelo o mais próximo possível da realidade. Esta caracterização terá como base a hora de arranque, a hora de paragem e o dia de laboração da Refinaria.

As segundas-feiras de uma semana foram caracterizadas em três tipos de dias:

- Caso o arranque ocorra às 7h30 → Tipo de dia **A1**
- Caso o arranque seja às 15h30 → Tipo de dia **A2**
- Continuação da laboração do dia anterior → Tipo de dia **F8** (caso a Refinaria labore quinze dias seguidos)

As terças-feiras podem ser de quatro tipos:

- Arranque às 7h30 (caso seja feriado à segunda-feira) → Tipo de dia **A1**
- Arranque às 15h30 (caso seja feriado à segunda-feira) → Tipo de dia **A2**
- Continuação do processo de refinação do dia anterior → Tipo de dia **F2**
- Continuação do processo de refinação do dia anterior → Tipo de dia **F9**

O tipo de dia F9 só existe caso a Refinaria labore quinze dias seguidos, correspondendo este tipo de dia à terça-feira da segunda semana de laboração.

As quartas-feiras podem ser de dois tipos:

- Continuação do processo de refinação do dia anterior → Tipo de dia **F3** (quando a Refinaria labora apenas uma semana)
- Continuação do processo de refinação do dia anterior → Tipo de dia **F10** (caso a Refinaria labore quinze dias seguidos correspondendo este dia à quarta-feira da segunda semana)

As quintas-feiras podem ser:

- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F4** (quando a Refinaria labora apenas uma semana)
- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F11** (caso a Refinaria labore quinze dias seguidos correspondendo este dia à quinta-feira da segunda semana)

As sextas-feiras podem ser:

- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F5**
- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F12**
- Paragem às 23h30 → Tipo de dia **P1**
- Paragem às 7h30 → Tipo de dia **P2**
- Paragem às 15h30 → Tipo de dia **P3**

Os sábados podem ser:

- Paragem às 7h30 → Tipo de dia **P2**
- Paragem às 15h30 → Tipo de dia **P3**
- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F6** (caso a Refinaria labore quinze dias seguidos este dia corresponde ao sábado da primeira semana)

Os domingos podem ser:

- Continuação do processo de refinação → Tipo de dia **F7** (Este dia só existirá caso a Refinaria labore quinze dias seguidos).

Os dias em que a Refinaria se encontra parada foram designados por dia **NF**.

Com base na designação estabelecida para cada tipo de dia, procedeu-se então à caracterização de todos os dias de cada semana do ano de 2012 e de 2013.

6.4 Caracterização do ano de 2012

A caracterização efetuada a cada dia permitiu contabilizar e agrupar o número de dias do mesmo tipo existentes num ano e deste modo caracterizar os respetivos consumos

específicos associados a cada dia. Na tabela 6.1 encontra-se apresentada a caracterização do ano de 2012.

Tabela 6.1- Número de tipo de dias existentes no ano de 2012

Tipo de dia	Número de dias
A1	8
A2	36
F2	44
F3	44
F4	43
F5	34
P1	9
P2	35
P3	0

Os restantes 112 dias são dias NF. Como já foi referido anteriormente, correspondem a dias em que a Refinaria não laborou (fins de semana ou semanas em que por algum motivo esteve parada).

Com base nesta caracterização, definiu-se um consumo específico de água, fuelóleo e eletricidade para cada tipo de dia (dias representados na tabela 6.1) do ano de 2012. Esta definição foi efetuada com base na média dos vários consumos específicos correspondentes aos diferentes tipos de dias, sendo retirada para esta média todos os pontos que apresentavam desvios à normalidade. Estes desvios podem resultar de diversos fatores tais como, avarias na fábrica, o tipo de açúcar produzido e até mesmo o nível de produção. No caso dos dias correspondentes aos arranques e às paragens consideraram-se as quantidades médias consumidas por tipo de dia (A1, A2, P1, P2). Esta consideração resulta do facto de estes tipos de dias apresentarem consumos específicos muito inconstantes (produção do dia muito baixa e variável) o que dificulta a definição do respetivo consumo. Nos dias designados por NF apesar da parte de refinação estar parada, as restantes secções da Empresa continuam a laborar o que implica a existência de consumos e custos fixos para a mesma, definindo-se também um consumo médio para este tipo dia.

Foi também possível definir um consumo específico mínimo e máximo característico para cada consumo e para cada tipo de dia da semana, que se encontram representados nos gráficos seguintes.

Os gráficos seguintes apresentam uma tendência dos consumos específicos e quantidades consumidas nos diferentes tipos de dias da semana, uma vez que por motivos de confidencialidade os valores reais não podem ser apresentados.

Na figura 6.2 encontram-se representados os consumos específicos de água mínimos, máximos e médios correspondentes aos dias do tipo F2,F3,F4 e F5 do ano de 2012.

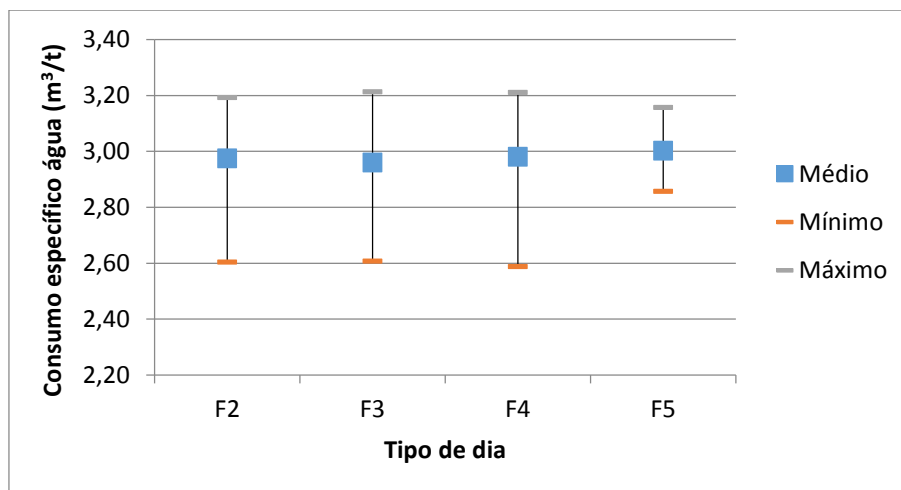


Figura 6.2. Consumo específico mínimo, máximo e médio de água para cada tipo de dia do ano de 2012

Da análise do gráfico anterior, é possível verificar que cada tipo de dia apresenta um consumo específico característico, oscilando os CEA mínimos entre os 2,68 m³/t e os 2,67 m³/t e os valores máximos entre os 3,21 m³/t e os 3,19 m³/t. Os consumos específicos médios correspondentes a cada tipo de dia apresentam valores muito próximos (3 m³/t)

No gráfico seguinte encontram-se apresentadas as quantidades médias, mínimas e máximas consumidas nos diferentes tipos de arranques e de paragens.

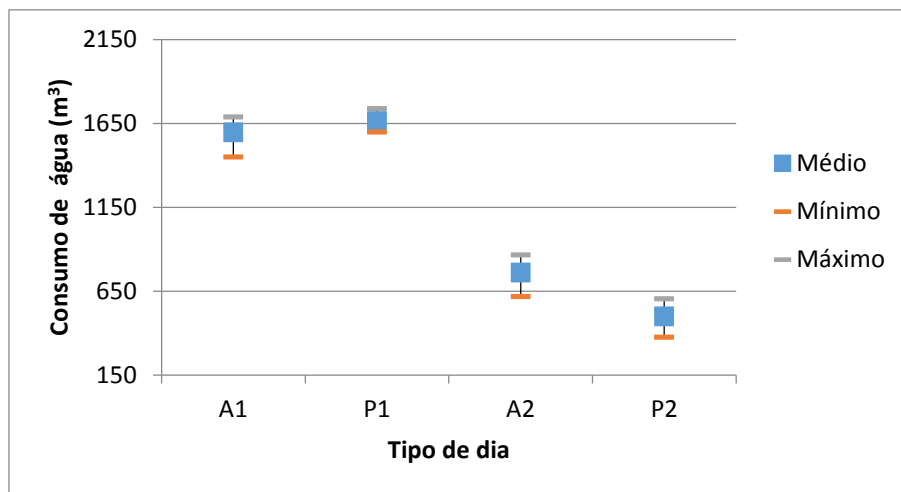


Figura 6.3. Quantidade de água consumida nos dias do tipo A e P do ano de 2012

Através da análise do gráfico é possível verificar que os consumos de água variam consoante o tipo de arranque (diferentes horas do arranque/paragem), apresentando maiores consumos o tipo de dia A1 e P1 (arranque às 7h30m e paragem às 15h30m).

Na figura 6.4 encontram-se apresentados os consumos específicos da eletricidade nos tipos de dias F2, F3, F4 e F5.

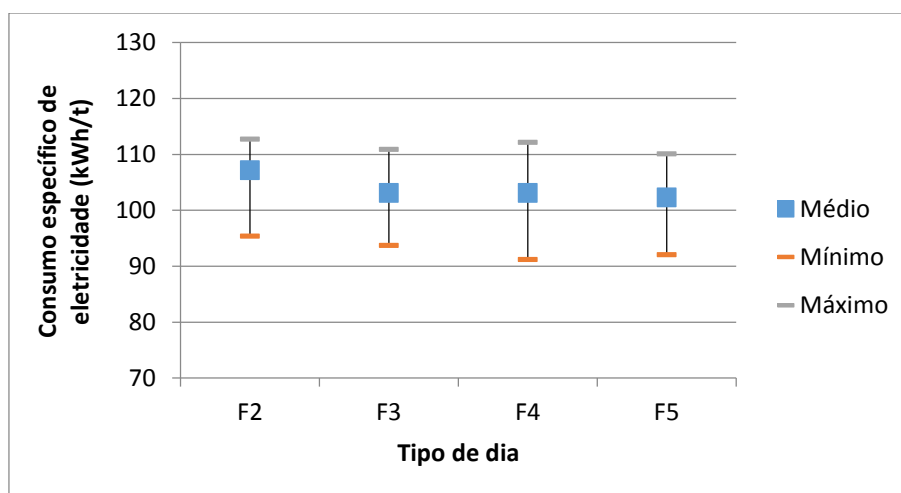


Figura 6.4. Consumo específico de eletricidade para cada tipo de dia do ano de 2012

Da análise do gráfico verifica-se que os dias do tipo F3, F4 e F5 apresentam consumos específicos médios de eletricidade muito próximos, variando numa gama de valores entre os 102 e os 104 kWh/t. O tipo de dia F2 apresenta um consumo específico médio superior aos restantes dias, próximo dos 109 kWh/t.

Na figura seguinte encontram-se apresentadas as quantidades de eletricidade consumidas em função do tipo de arranque e paragem.

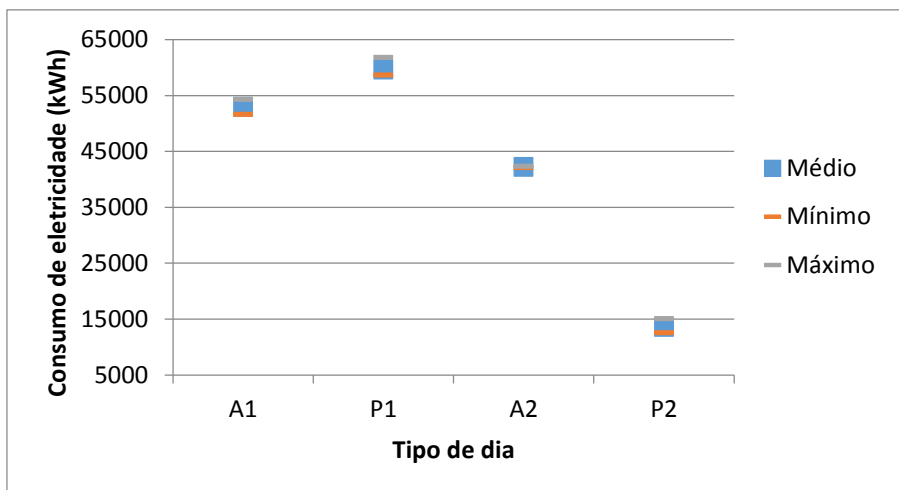


Figura 6.5. Consumo de eletricidade nos dias do tipo A e P do ano de 2012

Da análise da figura anterior é possível verificar que os tipos de dia A e P apresentam valores de consumos mínimos, máximos e médios muito próximos. Tal como se observou no consumo de água, os tipos de dia A1 e P1 apresentam maiores consumos de eletricidade.

No gráfico seguinte encontram-se representados os consumos específicos de fuelóleo para os diferentes tipos de dias.

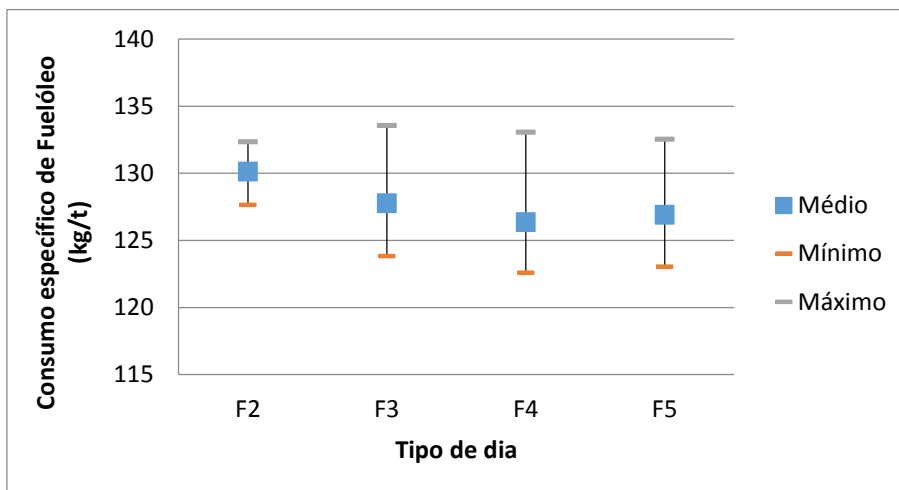


Figura 6.6. Consumo específico de fuelóleo para cada tipo de dia do ano de 2012

Através do gráfico anterior é possível verificar que os dias F3, F4 e F5 apresentam consumos específicos médios de fuelóleo mais baixos que o tipo de dia F2. Os consumos médios para estes tipos de dias oscilam entre os 126 kg/t e os 129 kg/t.

Na figura 6.7 encontra-se indicada a quantidade mínima, máxima e média de fuelóleo consumida nos diferentes arranques e paragens do ano de 2012.

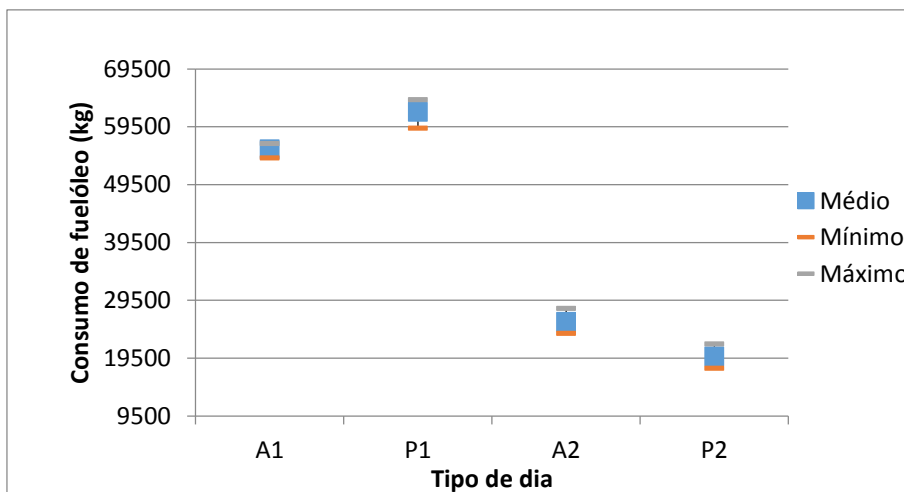


Figura 6.7. Consumo de fuelóleo para os dias do tipo A e P do ano de 2012

Através da figura 6.7 verifica-se que as paragens e os arranques apresentam consumos médios, mínimos e máximos de fuelóleo muito próximos. Tal como nos restantes consumos, são os dias A1 e P1 que apresentam maiores consumos de fuelóleo.

6.5 Caracterização do ano de 2013

Os diferentes dias do ano de 2013 foram caracterizados do mesmo modo que os dias de 2012. Ao efetuar-se a caracterização observou-se que em alguns dos meses de 2013 (mês de Setembro, Outubro, Dezembro) a Refinaria laborou duas semanas seguidas, o que não aconteceu no ano de 2012. Assim sendo, num total de 365 dias obteve-se a caracterização apresentada na tabela 6.2.

Tabela 6.2. Quantidade de tipos de dias existentes no ano de 2013

Tipo de dias	Número de dias
A1	31
A2	13
A3	1
F2	45
F3	45
F4	44
F5	41
F6	4
F7	4
F8	4
F9	4
F10	4
F11	4
F12	4
P1	1
P2	44

Os restantes 72 dias são dias do tipo NF e corresponderam (tal como em 2012) a fins de semanas ou dias/semanas em que a Refinaria esteve parada.

Conhecido o número de dias tipo existentes no ano, definiu-se tal como em 2012, um consumo específico para cada tipo de dia, com base na média dos consumos diários determinados para cada dia. Para o valor médio de cada consumo específico foram também retirados todos os pontos que apresentavam desvios à normalidade (desvios resultantes de fatores já mencionados anteriormente). Definiu-se também para cada tipo de dia um consumo específico mínimo e máximo, encontrando-se estes consumos apresentados nos gráficos seguintes. Como já foi referido anteriormente, este ano apresenta uma característica diferente do ano de 2012, que é o facto de a Refinaria ter laborado duas semanas seguidas em alguns meses do ano. Por este motivo, nos gráficos seguintes são apresentados mais tipos de dias que os tipos de dias apresentados no ano de 2012.

Na figura 6.8 encontram-se representados os consumos específicos de água para cada tipo de dia do ano de 2013.

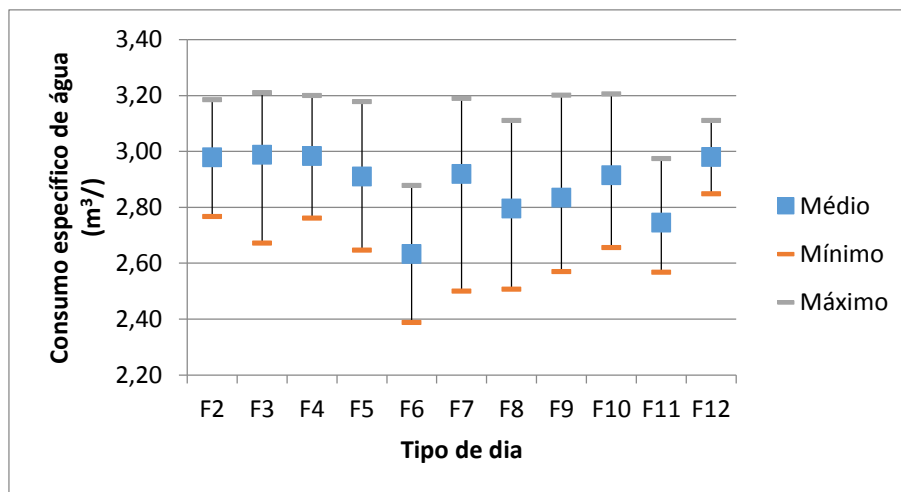


Figura 6.8. Consumo específico de água por tipo de dia

Pela análise da figura 6.8 verifica-se que o consumo específico médio de água varia entre os 2,61 m³/t e os 3 m³/t em função do tipo de dia.

A quantidade média, máxima e mínima de água consumida nos dias do tipo A e P encontra-se apresentada na figura seguinte.

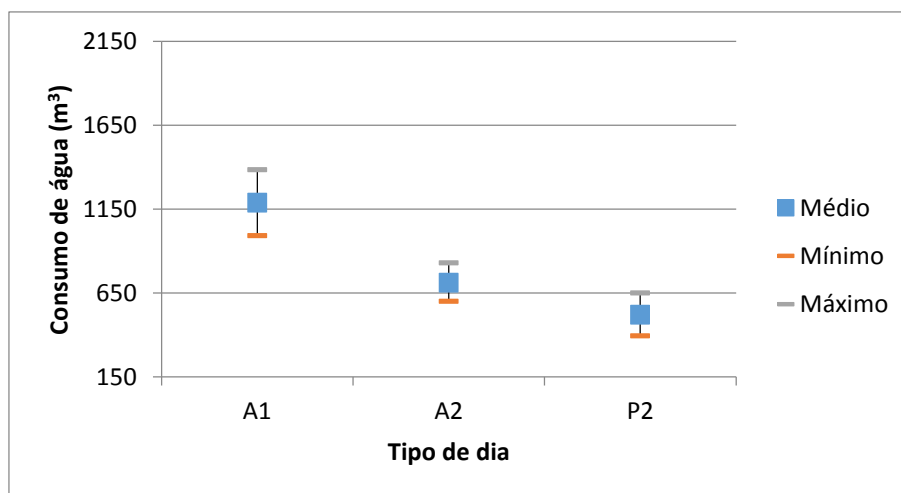


Figura 6.9. Quantidade de água consumida para cada tipo de dia do ano de 2013

O tipo de dia P1 não se encontra apresentado no gráfico uma vez que no ano de 2013 só existiu um dia deste tipo. Como não existia uma amostra representativa dos consumos para este tipo de dia (ano de 2013), para efeitos do modelo desprezou-se o mesmo. Tal como no ano de 2012, verifica-se que o tipo de dia A1 (arranque às 7h30) apresenta maiores consumos que o tipo de dia A2. Os consumos mínimos, máximos e médios apresentam valores muito próximos.

Na figura seguinte encontra-se representado o consumo específico de eletricidade característico de cada tipo de dia.

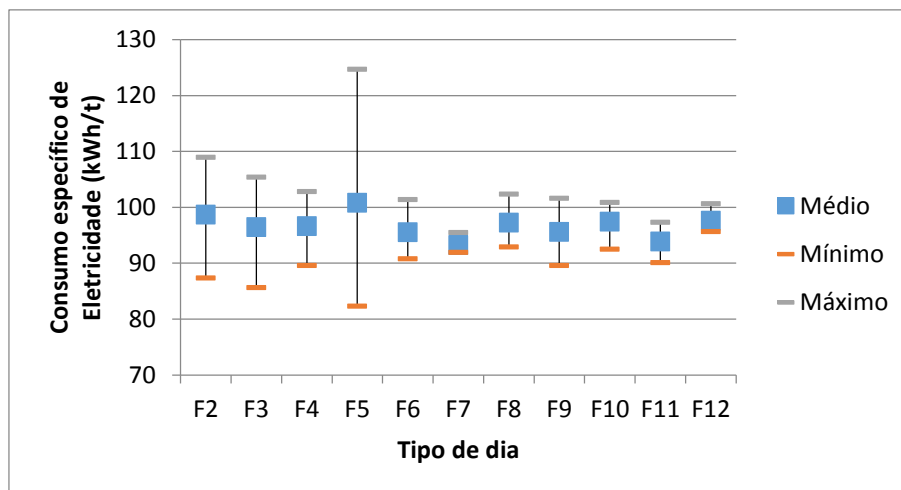


Figura 6.10. Consumo específico de eletricidade para cada tipo de dia do ano de 2013

Da análise do gráfico anterior, observa-se que os diferentes tipos de dias apresentam consumos específicos médios de eletricidade muito próximos, oscilando entre os 93 kWh/t e os 101 kWh/t.

Na figura 6.11 encontra-se representada a quantidade de eletricidade consumida nos diferentes dias de arranque e de paragem.

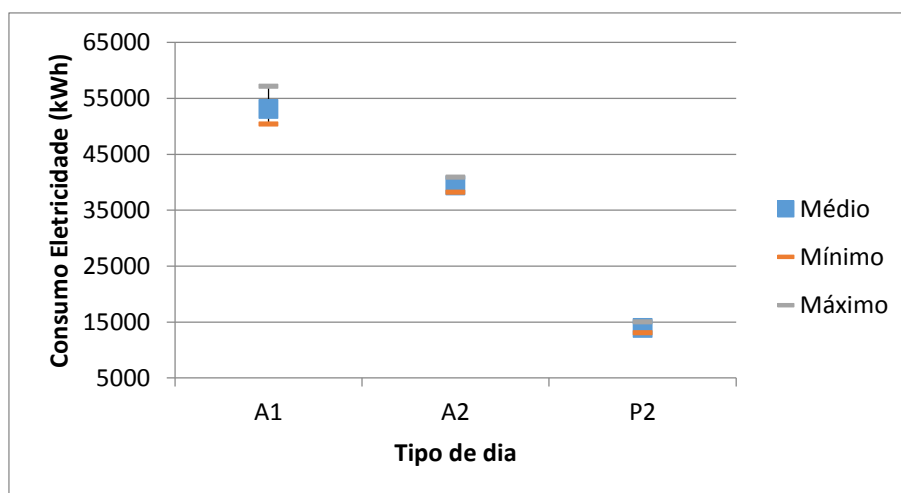


Figura 6.11. Consumo de eletricidade nos arranques e nas paragens do ano de 2013

Da análise do gráfico anterior, verifica-se mais uma vez que cada tipo de dia apresenta um consumo de eletricidade característico, sendo o dia do tipo A1 (arranque às 7h30m) aquele que apresenta um maior consumo de eletricidade.

Na figura 6.12 encontra-se apresentado o consumo específico médio, mínimo e máximo obtido para cada tipo de dia do ano de 2013.

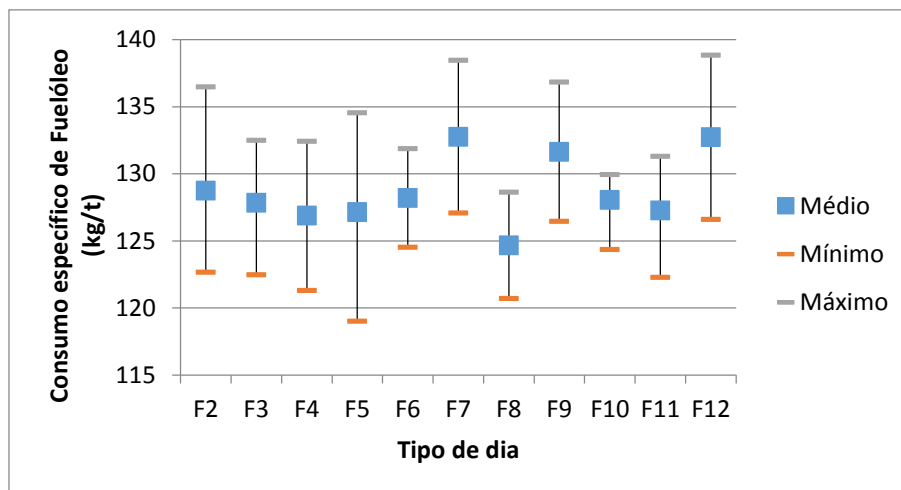


Figura 6.12. Consumo específico de fuelóleo para cada tipo de dia do ano de 2013

Pela análise da figura 6.12 verifica-se que o consumo específico de fuelóleo varia em função do tipo de dia associado, oscilando os valores médios entre os 125 kg/t e os 133 kg/t.

Na figura seguinte encontra-se apresentado o consumo de fuelóleo correspondente aos dias de paragem e arranque da Refinaria.

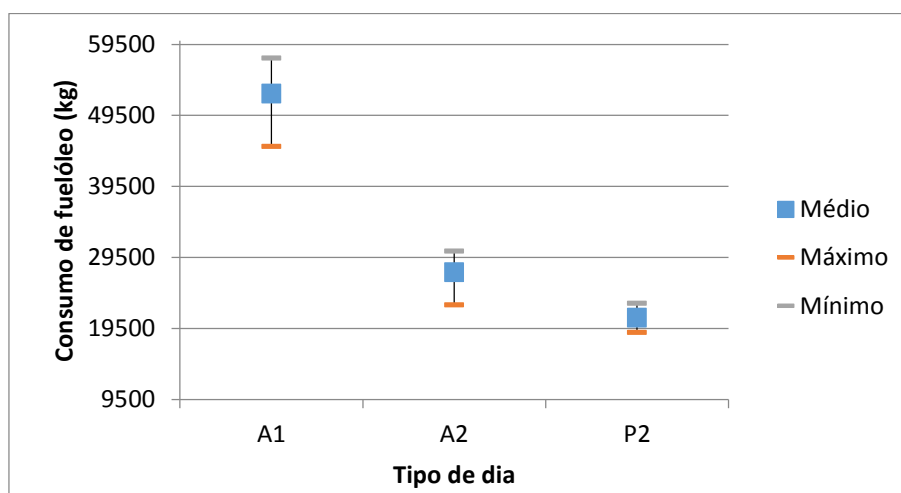


Figura 6.13. Consumo de fuelóleo nos arranques e nas paragens do ano de 2013

Da análise da figura 6.13 observa-se mais uma vez que os dias do tipo A1 (arranque do processo de refinação às 7h30m) apresentam consumos de fuelóleo mais elevados. Os consumos dos restantes dias são muito mais baixos, apresentando valores mínimos entre os 19 500 kg de fuelóleo e os 45 000 kg de fuelóleo e valores máximos entre os 57 000 kg e os 23 000 kg de fuelóleo.

Após análise dos dois anos observa-se que os mesmos tipos de dias, em anos diferentes, apresentam consumos de água, fuelóleo e eletricidade muito próximos,

verificando-se desta forma que existe um padrão de consumo semelhante ao longo dos anos característico para cada tipo de dia.

Caracterizados os diferentes tipos de dias existentes nos dois anos, procedeu-se à determinação de um consumo específico médio e quantidades médias de água, fuelóleo e eletricidade para cada tipo de dia, tendo como base os dois anos analisados. O consumo específico médio e quantidades médias correspondentes a cada tipo de dia serão a base do modelo quantitativo que permitirá prever os consumos futuros. Contudo, os tipos de dia F6, F7, F8, F9, F10, F11 e F12 apenas existiram no ano de 2013. Por isso, para os tipos de dia anteriormente mencionados serão apenas considerados para o modelo os valores médios relativos aos consumos do ano de 2013. De notar novamente que, por questões de confidencialidade, os respetivos consumos específicos correspondentes ao modelo não serão apresentados.

6.6 Verificação do modelo

A última etapa consistiu na verificação do modelo, ou seja, na determinação do erro associado ao modelo criado. Esta verificação foi realizada com base nas produções diárias reais dos anos históricos analisados, o ano de 2012 e 2013. Assim sendo, sabendo o tipo de dia correspondente a cada semana foi possível aplicar o modelo, obtendo-se para cada semana de cada mês o consumo esperado de água, eletricidade e fuelóleo. O consumo semanal esperado foi obtido através dos consumos específicos e quantidades médias definidas para cada tipo de dia (modelo). Na equação seguinte encontra-se apresentado um exemplo da aplicação do modelo para a previsão dos consumos de uma semana.

$$\text{Consumo}_{\text{água}} = \bar{Q}_A + \bar{K}_{F2} \times P_{\text{real}} + \bar{K}_{F3} \times P_{\text{real}} + \bar{K}_{F4} \times P_{\text{real}} + \bar{K}_{F5} \times P_{\text{real}} + \bar{Q}_P \quad (6.12)$$

O \bar{Q}_A representa a quantidade média de água consumida num arranque. Esta quantidade seria A1 ou A2 consoante o tipo de dia da semana. Os $\bar{K}'s$ representam o consumo específico médio de água correspondente a cada tipo de dia (F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11 e F12). O \bar{Q}_P representa a quantidade média de água correspondente às paragens. Tal como nos arranques, este dia poderia ser do tipo P1 ou P2. O P_{real} representa a produção real do respetivo dia da semana. O modelo foi aplicado para cada semana de cada mês para ambos os anos. Os restantes consumos esperados de eletricidade e fuelóleo foram determinados da mesma forma que o consumo de água.

Através do somatório dos consumos obtidos pelo modelo para cada semana, foi possível obter as quantidades previstas para cada mês e o total correspondente ao ano de 2012 e 2013. Uma vez que eram conhecidos os consumos reais de água, fuelóleo e eletricidade para os respetivos anos foi possível determinar o erro associado ao modelo, ou seja, o erro existente entre a quantidade prevista e a quantidade real consumida. Na tabela seguinte encontra-se apresentado o erro associado ao modelo para a previsão dos consumos dos dois anos.

Tabela 6.3. Erro associado ao modelo criado para cada tipo de consumo

Erro do modelo			
Ano	Água	Fuelóleo	Eletricidade
2012	6%	6%	12%
2013	1%	8%	1%

O modelo criado apresenta um erro de 6% em relação à previsão dos consumos de água, 6% para o fuelóleo e de 12% para a eletricidade para o ano de 2012. Já para o ano de 2013 o modelo apresenta um desvio de 1% para a previsão dos consumos de água, 8% para o consumo de fuelóleo e de 1% para o consumo de eletricidade.

6.7 Plano de Consumos

O último objetivo do trabalho consistiu na elaboração de um plano de consumos para o ano de 2014 em função da produção prevista para esse mesmo ano. Através de um calendário fornecido pelo Gestor de Energia foi possível identificar os tipos de dia que existirão no ano de 2014 e desta forma aplicar o modelo criado. Sabendo os tipos de dias existentes em cada mês, aplicaram-se as quantidades médias e consumos específicos médios característicos de cada dia (modelo), obtendo-se deste modo os consumos previstos de água, fuelóleo e eletricidade para cada mês do ano de 2014. O modelo foi aplicado a partir da equação 6.12 e, por questões de confidencialidade, os cálculos efetuados para a determinação dos consumos previstos não serão apresentados no relatório. Depois de determinados os consumos previstos para o ano de 2014, foi então determinado o erro associado à aplicação do modelo para a previsão dos respetivos consumos. Na tabela 6.4 encontra-se apresentado o erro associado ao modelo na previsão dos consumos de água, fuelóleo e eletricidade para o ano de 2014.

Tabela 6.4. Erro associado ao modelo na previsão dos consumos para o ano de 2014

Erro do modelo			
Ano	Água	Fuelóleo	Eletricidade
2014	24%	28%	0%

O modelo apresenta um erro de 24% na previsão do consumo de água, 28% na previsão do consumo de fuelóleo e 0% na previsão do consumo de eletricidade. O elevado erro referente à previsão dos consumos de água e fuelóleo poderá ser explicado pela existência de dias em que é necessário efetuar paragens na fábrica para intervenções (devido a avarias), paragens estas que não se encontram contabilizadas no respetivo modelo.

Conclusão

O trabalho realizado apresentava como principais objetivos a reformulação do Sistema de Gestão de Energia da Empresa, a criação de um modelo quantitativo que permitisse prever os consumos de água, eletricidade e fuelóleo da Refinaria e a elaboração de um plano de consumos para o ano de 2014 com base no modelo criado.

Com a reformulação do Sistema de Gestão de Consumos da Empresa foi possível reduzir o número de ficheiros de cálculo que o constituíam, identificar toda a informação necessária, retirar todas as redundâncias que existiam e introduzir melhorias no Sistema. Criou-se um Sistema de Gestão de Consumos composto apenas por dois ficheiros (com um total de 39 folhas de cálculo) do programa Microsoft Excel®, um para registos e outro para cálculos. O novo Sistema de Gestão de Consumos de Energia será implementado pela Empresa no início do ano de 2015. Relativamente às alterações propostas para as folhas de registos manuais, estas já foram implementadas pela Empresa. Esta aplicação prática mostrou-se muito eficiente uma vez que permitiu grandes melhorias processuais nomeadamente, menores tempos de preenchimento das folhas de registos e um encurtamento das rotas efetuadas diariamente pelos operadores para retirar as leituras dos diversos contadores para o preenchimento das mesmas. O levantamento efetuado aos diversos contadores da Empresa permitiu a identificação de todas áreas onde será necessário a sua substituição, como também a implementação de novos contadores em locais onde estes não existiam. Assim sendo, com o levantamento efetuado será possível uma contabilização mais precisa de todos os consumos da Empresa. Com esta reformulação o novo Sistema de Gestão de Consumos tornou-se muito mais dinâmico, claro, e, sobretudo mais eficiente, promovendo tal como em todos os Sistemas de Gestão de Consumos de Energia uma utilização mais eficiente da mesma.

O modelo para a previsão dos consumos de água, eletricidade e fuelóleo da Refinaria foi criado com base nos dois anos analisados, sendo definido para cada tipo de dia um consumo específico médio (para os tipos de dia F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11 e F12) e uma quantidade média para os dias correspondentes aos arranques e às paragens (tipo de dia A1, A2, P1 e P2). Cada tipo de dia apresenta um consumo característico, existindo um padrão de consumos semelhante para cada tipo de dia dos dois anos analisados. Conclui-se que o modelo criado apresentou um erro de 6% para a previsão dos consumos de água, 6% para a previsão do consumo de fuelóleo e de 12 % para a previsão dos consumos de eletricidade para o ano de 2012. Para o ano de 2013 apresentou um erro de 1% na previsão da quantidade de água, 8% na previsão do

fuelóleo e de 1% na previsão da eletricidade. Este modelo apresenta um papel bastante importante para a Empresa uma vez que permitirá efetuar contratos de aquisição de energia elétrica com maior rigor o que conduzirá a vantagens na sua negociação e consequentemente a uma redução dos custos resultantes da aquisição da mesma. Permitirá também uma adequação dos fluxos de tesouraria às necessidade reais da Empresa, resultante de um modelo de previsão mais rigoroso e que se traduz numa mais-valia financeira para a mesma.

Relativamente à elaboração de um plano de consumos para o ano de 2014 tendo como base a produção prevista para esse mesmo ano, conclui-se após aplicação do modelo que este apresenta um erro de 24% na previsão do consumo de água, 28% na previsão do consumo de fuelóleo e 0% na previsão do consumo de eletricidade.

Bibliografia

- [1] "RAR Açúcar," RAR Açúcar, 2010. [Online]. Available: <http://www.docerar.pt/index.php?id=120>. [Acedido em 12 Abril 2014].
- [2] C. T. d. C. e. Portugal, "Energia Guia do Empresário".
- [3] "ADENE," Janeiro 2004. [Online]. Available: http://moodle.fct.unl.pt/pluginfile.php/212445/mod_resource/content/0/documentos/Recursos/Eficiencia_Energetica_na_Industria_ADENE.pdf. [Acedido em 3 Março 2014].
- [4] A. M. Martins, "Caracterização de Ferramentas de Apoio à Gestão de Energia na Indústria," Coimbra, 2012.
- [5] G. M. Lemes, "Redução Energética – Optimização e Redução do Consumo de Energia," 2009.
- [6] Instituto Nacional de Estatística, "Estatísticas do Ambiente 2011," Instituto Nacional de Estatística, 2012.
- [7] A. R. Soares, "GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS ENERGÉTICOS - CONTEXTUALIZAÇÃO E ANÁLISE," 2011.
- [8] "Sistemas de Gestão de Energia," [Online]. Available: http://www.ipq.pt/backfiles/Sistema_gestao_energia.pdf. [Acedido em 3 Março 2014].
- [9] P. V. Costa, "Gestão do Consumo de Energia - Eliminação de Desperdício," 2009.
- [10] Centro Tecnológico do Calçado de Portugal, [Online]. [Acedido em 5 Março 2014].
- [11] M. A. Saidel, L. B. Favato e C. Morales, "Indicadores Energéticos e Ambientais: Ferramenta importante na gestão da energia elétrica," São Paulo.
- [12] "Gestão da enegia," [Online]. [Acedido em 29 Fevereiro 2014].
- [13] "SGS," [Online]. [Acedido em 3 Março 2014].
- [14] "Gestão de Energia e Eficiência Energética nas Empresas," 25 Janeiro 2013. [Online]. [Acedido em 1 Março 2014].
- [15] L. M. Morgado, "Gestão de Energia na Indústria Automóvel: o caso Renault CACIA," Aveiro, 2012.

- [16] Coelho, Leandro C., "Controle de estoques: logística e previsão de demanda," 29 Outubro 2009. [Online]. Available: <http://www.logisticadescomplicada.com/control-de-estoques-logistica-e-previsao-de-demanda/>. [Acedido em 3 Junho 2014].
- [17] M. R. Furtado, "Aplicação de um modelo de previsão da demanda total nos credenciados Belgo Pronto," Brasil, 2006.
- [18] C. M. Pinho, "Gestão de Energia Térmica," Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [19] M. Lerenó, "'Apontamentos da cadeira Fontes e Conversão de Energia'," 2012/2013.

Anexos

Anexo A

A. Dados para Cálculos

Neste capítulo serão apresentados todos os dados fornecidos pela Empresa e utilizados para os cálculos efetuados no anexo B.

Na tabela seguinte encontram-se apresentadas as características correspondentes a cada caldeira.

Tabela A.1 Características de cada caldeira

Caraterísticas das Caldeiras			
Designação da Caldeira	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Tipo de Combustível	Fuelóleo e Gás Natural	Fuelóleo	Fuelóleo e Gás Natural
Pressão vapor (bar)	24,4	22,6	23,3
Temperatura do vapor (°C)	244	284	224
Temperatura água alimentação (°C)	130	143	123
Potência Nominal (MW)	21,4	9,32	27,23

A composição dos gases de combustão foi obtida através de medições efetuadas aos gases de combustão à saída de cada caldeira. Na tabela seguinte encontram-se apresentados os resultados obtidos para as medições efetuadas.

Tabela A.2. Composição dos gases de combustão à saída de cada caldeira

Propriedades dos gases de combustão	O₂ (%)	CO (PPM)	CO₂ (%)	Temperatura dos gases à saída da caldeira (°C)
Caldeira 1	7,27	2-3	10,28	208
Caldeira 2	10,76	27	7,20	208
Caldeira 3	8,50	3,5	10,5	207

Na tabela A.3 encontram-se apresentados os parâmetros da água de alimentação à caldeira e da água obtida nas purgas de cada caldeira.

Tabela A.3. Composição da água das caldeiras

Parâmetros da água	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 3
Condutividade água alimentação (µs/cm)	5,502	3,941	5,502
TSD água purga (µs/cm)	430,4	276,8	704,9

Na tabela seguinte encontram-se apresentadas as propriedades das correntes de entrada e de saída do desgaseificador.

Tabela A.4 Temperatura e pressão das correntes de entrada e saída do desgaseificador

Características do Desgaseificador	
Temperatura Vapor (°C)	132,7
Temperatura água fria (°C)	50
Temperatura água quente (°C)	116

Anexo B

B. Cálculos

Neste capítulo serão efetuados todos os cálculos correspondentes ao capítulo 5 do relatório.

B.1 Determinação da energia primária (tep) para cada forma de energia e das emissões gasosas (kgCO₂e)

- **Exemplo de cálculo para determinação da energia primária**

Para converter cada forma de energia a toneladas equivalentes de petróleo foi necessário utilizar as conversões indicadas na tabela 5.4 do capítulo 5.

A energia primária correspondente à eletricidade consumida no mês de Janeiro foi igual a:

$$\text{Energia primária}_{\text{eletricidade}} = \text{consumo eletricidade} \times 215 \times 10^{-6} = 227 \text{ tep}$$

As restantes formas de energia foram convertidas da mesma forma que a eletricidade.

Na tabela B.1 encontram-se apresentados os resultados obtidos para a energia primária de cada forma de energia.

Tabela B.1. Resultados obtidos para o consumo de energia primária (tep) para cada mês do ano de 2013

Mês	Forma de Energia				
	Vapor (tep)	Eletricidade (tep)	Gasóleo (tep)	Gasolina (tep)	Gás Natural (tep)
Janeiro	926,2	227,0	8,4	0,8	2,3
Fevereiro	1 316,7	276,8	8,8	0,8	2,1
Março	1 357,0	273,9	7,5	0,8	2,6
Abril	1 597,0	293,0	6,9	0,8	2,5
Mai	1 683,5	302,5	9,0	1,0	2,4
Junho	1 481,7	269,8	9,4	1,1	1,7
Julho	1 701,9	317,1	7,6	0,8	1,6
Agosto	1 703,0	312,7	9,0	0,3	1,3
Setembro	1 717,6	313,3	8,9	0,6	1,1
Outubro	2 204,2	390,0	11,9	0,8	2,0
Novembro	1 939,3	331,2	8,8	0,8	2,8
Dezembro	1 268,0	243,6	6,4	0,5	2,7
Total	18 896,1	3551,0	102,5	9,1	25,1

A conversão de cada tipo de energia para quilogramas equivalente de dióxido de carbono foi efetuada utilizando os fatores de conversão indicados na tabela 5.4 do capítulo 5.

- **Exemplo de cálculo para determinação das emissões de gases com efeito de estufa**

As emissões de gases com efeitos de estufa pela eletricidade no mês de Janeiro foram:

$$\text{Emissões gases efeito estufa}_{\text{eletricidade}} = \text{consumo eletricidade} \times 0,47 \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kWh}} = 283\,608,3 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

As restantes formas de energia foram convertidas do mesmo modo que a eletricidade.

Na tabela B.2 encontram-se apresentados os resultados relativos às emissões de gases com efeitos de estufa para cada forma de energia.

Tabela B.2. Resultados relativos às emissões de gases com efeito de estufa para cada mês do ano de 2013

Mês	Forma de Energia (kgCO ₂ e)				
	Vapor	Eletricidade	Gasóleo	Gasolina	Gás Natural
Janeiro	2 803 764,8	283 608,3	26 049,1	2 245,1	6 061,7
Fevereiro	3 985 646,4	345 764,9	27 113,3	2 438,6	5 564,3
Março	4 107 673,5	342 137,0	23 245,3	2 270,7	7 009,6
Abril	4 834 123,9	366 034,6	21 302,0	2 274,3	6 831,1
Mai	5 096 165,6	377 819,8	27 821,2	2 759,9	6 520,8
Junho	4 485 307,1	337 002,7	29 010,3	3 077,5	4 582,4
Julho	5 151 664,1	396 142,3	23 472,0	2 310,8	4 306,1
Agosto	5 155 108,7	390 662,6	27 876,7	810,4	3 387,9
Setembro	5 199 298,8	391 398,6	27 659,3	1 865,5	2 835,3
Outubro	6 672 206,9	487 122,1	36 783,4	2 230,5	5 292,3
Novembro	5 870 344,6	413 731,6	27 381,7	2 409,4	7 532,5
Dezembro	3 838 359,2	304 339,1	19 913,9	1 533,3	7 315,7
Total	57199663,4	4435763,7	317628,2	26225,9	67239,6

B.2 Determinação dos Indicadores Energéticos

Os dados necessários para a determinação dos indicadores energéticos (consumo de energia primária (tep) e emissões de gases com efeito de estufa (kgCO₂e)) encontram-se apresentados nas tabelas B.1 e B.2. As equações utilizadas para a determinação dos indicadores energéticos consumo específico de energia, intensidade carbónica e intensidade energética encontram-se apresentadas no capítulo 2 (equação 2.1, 2.2 e 2.3).

- **Exemplo de cálculo para a determinação do consumo específico de energia (CEE)**

O consumo total de energia primária a utilizar para o indicador CEE corresponde ao somatório do total de energia primária correspondente a cada forma de energia.

Para cada mês foi determinado o consumo total de energia primária e o consumo específico de energia correspondente.

O consumo específico de energia correspondente ao mês de Janeiro foi igual a:

$$CEE = \frac{\text{Consumo total energia (kgep)}}{\text{Produção (t)}} = 145,18 \text{ kgep/t}$$

Na tabela B.3 encontram-se apresentados os consumos específicos obtidos para os restantes meses.

Tabela B.3 Consumos específicos de energia correspondentes a cada mês do ano de 2013

Mês	Consumo específico de energia (kgep/t)
Janeiro	145,18
Fevereiro	134,91
Março	137,90
Abril	141,53
Mai	149,05
Junho	145,62
Julho	153,37
Agosto	155,20
Setembro	145,05
Outubro	143,88
Novembro	165,18
Dezembro	162,32

O consumo específico de energia para o ano de 2013 foi determinado através da média dos consumos apresentados na tabela B.3.

$$= \frac{CEE_{2013}}{12} = \frac{145,18 + 134,91 + 137,90 + 141,53 + 149,05 + 145,62 + 153,37 + 155,20 + 145,05 + 143,88 + 165,18 + 162,32}{12}$$

$$= 148,27 \text{ kgep/t}$$

- Exemplo de cálculo para a determinação da intensidade carbónica (IC)

As emissões de gases com efeito de estufa a utilizar no indicador energético correspondem ao total de emissões obtidas para cada mês.

O indicador energético intensidade carbónica para o mês de Janeiro foi de:

$$IC = \frac{\text{Emissões de gases de efeito de estufa (kgCO}_2\text{e)}}{\text{Consumo total de energia (kgep)}} = 2,68 \text{ kgCO}_2\text{e/kgep}$$

Os restantes indicadores foram determinados da mesma forma para os restantes meses do ano. Na tabela B.4 encontram-se apresentados os resultados obtidos para a intensidade energética.

Tabela B.4. Resultados obtidos para a intensidade carbónica para cada mês do ano de 2013

Mês	Intensidade Carbónica (kgCO₂e/kgep)
Janeiro	2,68
Fevereiro	2,72
Março	2,73
Abril	2,75
Maió	2,76
Junho	2,76
Julho	2,75
Agosto	2,75
Setembro	2,75
Outubro	2,76
Novembro	2,77
Dezembro	2,74

O indicador intensidade carbónica correspondente ao ano de 2013 foi obtido através da média do indicador obtido para cada mês. Assim sendo:

$$IC = \frac{2,68 + 2,72 + 2,73 + 2,75 + 2,76 + 2,76 + 2,75 + 2,75 + 2,75 + 2,76 + 2,77 + 2,74}{12} = 2,74 \text{ kgCO}_2\text{e/kgep}$$

- **Exemplo de cálculo para a determinação do indicador energético intensidade energética (IE)**

$$IE = \frac{\text{Consumo total energia (kgep)}}{\text{Valor Acrescentado Bruto (€)}} = 6,39 \text{ kgep/€}$$

B.3 Determinação do rendimento das caldeiras

Como já foi referido no capítulo 5, o rendimento das três caldeiras foi determinado através do método das perdas.

O rendimento foi determinado a partir da equação seguinte:

$$\eta_{\text{caldeira}} = 100 - \Sigma \text{perdas}$$

- **Cálculo do rendimento da caldeira 2**

A caldeira 2 consome como combustível o fuelóleo.

O somatório das perdas foi determinado através de:

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes

$$P_{cv} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33\,820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times P_{ci}} = 0\%$$

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo

$$P_{cf} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33\,820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times P_{ci}} = 0\%$$

Ambas as perdas são consideradas zero, uma vez que as equações anteriores apenas se aplicam a combustíveis sólidos.

- Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão

$$P_{gc} = \frac{K \times (t_g - t_a) \times \left(1 - \frac{P_{cv} + P_{cf}}{100}\right)}{CO_2}$$

Os valores a utilizar para a constante K foram retirados da tabela B.5.

Tabela B.5. Valores de K com base no PCI [19]

Combustível	Valor de K
Carvão betuminoso	0,66
Gasóleo	0,51
Thick, thin, burner, óleos	0,54
Propano	0,45
Gás Natural	0,35

Dado que o combustível consumido na caldeira é o fuelóleo, o valor correspondente à constante K é de 0,54 (thin fuel).

A temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira e a % em volume de CO₂ encontram-se apresentados no anexo A na tabela A.2.

A temperatura ambiente média do ar à entrada da caldeira é de 25°C.

Assim sendo:

$$P_{gc} = \frac{0,54 \times (208 - 25) \times \left(1 - \frac{0}{100}\right)}{7,20} = 13,72\%$$

As perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão foram de 13,72%.

- Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão

$$P_{H_2O} = \frac{(m_{H_2O} + 9 \times H) \times (210 - 4,2 \times t_a + 2,1 \times t_g)}{P_{ci}}$$

A % em peso de humidade e de hidrogénio no combustível nas condições de queima foi retirada da tabela B.6.

Tabela B.6. % em peso de água e de hidrogénio no combustível nas condições de queima [19]

Combustível	% peso de Hidrogénio	% peso de Água
Coque	2,0	2,0
Antracite	3,0	1,0
Carvão Betuminoso	4,0	7,0
Gasóleo	13	-
Thick, thin, burner e óleos	11,5	-
Propano	18,2	-
Trufa	6,4	20
Madeira	6,8	15
Gás Natural	21,6	-

Assim sendo:

$$P_{H_2O} = \frac{(0 + 9 \times 21,6) \times (210 - 4,2 \times 25 + 2,1 \times 208)}{40200} = 2,62\%$$

As perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão foram de 2,62%.

- Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão

$$P_{CO} = \frac{K1 \times CO \times (1 - 0,1 \times (P_{cv} + P_{cf}))}{CO + CO_2}$$

A constante K1 foi retirada da tabela B.7.

Tabela B.7. Valores de K1 [19]

Combustível	Valor de K1
Carvão Betuminoso	63
Gasóleo	53
Óleos (thick, thin, burner)	54
Propano	48
Gás Natural	36

A constante K1 apresenta o valor de 54 para o combustível fuelóleo.

A percentagem de monóxido de carbono e de dióxido de carbono encontra-se apresentada na tabela A.2 no anexo A.

Assim sendo:

$$P_{CO} = \frac{54 \times 0,0027 \times (1 - 0,1 \times (0))}{0,027 + 7,20} = 0,02\%$$

As perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão são de 0,02%.

- Perdas por radiação e convecção

As perdas por radiação e convecção são obtidas através da tabela B.8.

Tabela B.8. Perdas por radiação e convecção [19]

Tipo de Caldeira	Perdas à Capacidade Nominal (%)
Caldeira Aquatubular ou tubos de fumo com capacidade ≥ 5 MW	1.4
Caldeira Aquatubular ou tubos de fumo com capacidade entre 2 e 5 MW	1.6
Caldeira de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade ≤ 2 MW	2.0
Caldeiras de refratário, caldeiras de tubos de fumo com topo seco e caldeiras com soleira em refratário	3.0
Caldeiras de água quente em ferro fundido	4.5

Através das características correspondentes à caldeira 2 (apresentadas no anexo A na tabela A.1) foi possível retirar da tabela B.8 as perdas da caldeira por radiação e convecção. Sabendo que a caldeira 2 é do tipo aquatubular e com uma potência nominal de 9,32 MW, as perdas por radiação e convecção apresentam o valor de 1,4%.

- Calor perdido nas purgas

$$P_p = \frac{(T_p - T_{ag}) \times (p) \times (100 - E_p)}{(T_p - T_{ag}) \times (p) + (100 - (p)) \times (600 - T_{ag})}$$

O valor de p (% de purgas em relação ao total de água de alimentação à caldeira) foi obtido através do balanço realizado ao total de sólidos dissolvidos na água da caldeira (TDS). Os dados a utilizar para este balanço foram obtidos através das análises realizadas à água de alimentação da caldeira e da água retirada nas purgas. Estes valores encontram-se apresentados na tabela A.3 no anexo A.

O balanço realizado ao total dos sólidos dissolvidos na água da caldeira é:

$$m_{ag} \times TDS_{ag} = m_{vapor} \times TDS_{vapor} + m_{purgas} \times TDS_{purgas}$$

Para efeitos de cálculo considera-se que o vapor não arrasta sólidos, logo considera-se no balanço a parcela correspondente ao vapor igual a zero.

Assim sendo:

$$P = \frac{2,52}{177,15} \times 100 = 1,42\%$$

O calor perdido nas purgas corresponde:

$$P_p = \frac{(218,65 - 143) \times (1,42) \times (100 - 17,69)}{(218,65 - 143) \times (1,42) + (100 - (1,42)) \times (600 - 143)} = 0,17\%$$

Tabela B.9. Propriedades do vapor na caldeira 2

Propriedades do vapor	
Pressão (bar)	22,6
Temperatura saturação (°C)	218,65
Entalpia do Vapor	2 800,6
Entalpia do Líquido	937,41

Conhecidas todas as perdas na caldeira 2, determinou-se então o rendimento da mesma.

O rendimento da caldeira 2 é igual a:

$$\eta_{caldeira 2} = 100 - 13,72 - 2,55 - 0,02 - 1,4 - 0,17 = 82,14\%$$

- **Cálculo do rendimento da Caldeira 1**

A caldeira 1 está equipada com queimadores mistos, consumindo simultaneamente gás natural e fuelóleo. Como o método das perdas apenas permite a determinação das perdas para caldeiras que consomem apenas um combustível aplicar-se-á este método utilizando uma soma ponderada. Considerar-se-á uma fração de 50% de gás natural e 50% de fuelóleo no total de combustível.

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes

$$P_{cv} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times P_{ci}} = 0\%$$

- Perdas associadas ao combustível nas cinzas de fundo

$$P_{cf} = \frac{A + F_{ci} \times C_{cc} \times 33820 \times 100}{(1 - C_{cc}) \times P_{ci}} = 0\%$$

Como foi mencionado anteriormente ambas as perdas são consideradas zero pelo facto das equações anteriores apenas se aplicarem a combustíveis sólidos.

- Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão

$$P_{gc} = \left(\frac{K \times (t_g - t_a) \times \left(1 - \frac{P_{cv} + P_{cf}}{100}\right)}{CO_2} \right) \times 0,50 + \left(\frac{K \times (t_g - t_a) \times \left(1 - \frac{P_{cv} + P_{cf}}{100}\right)}{CO_2} \right) \times 0,50$$

A constante K foi retirada da tabela B.5, apresentando o valor de 0,54 para o fuelóleo e de 0,35 para o gás natural.

A temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira e a % em volume de CO₂ encontram-se na tabela A.2 no anexo A.

A temperatura ambiente média utilizada para o ar à entrada da caldeira é de 25°C

Assim sendo:

$$P_{gc} = \left(\frac{0,54 \times (207 - 25) \times \left(1 - \frac{0}{100}\right)}{10,28} \right) \times 0,50 + \left(\frac{0,35 \times (207 - 25) \times \left(1 - \frac{0}{100}\right)}{10,28} \right) \times 0,50 = 7,88\%$$

As perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão são de 7,88%.

- Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão

$$P_{H_2O} = \left(\frac{(m_{H_2O} + 9 \times H) \times (210 - 4,2 \times t_a + 2,1 \times t_g)}{P_{ci \text{ Fuelóleo}}} \right) \times 0,50 + \left(\frac{(m_{H_2O} + 9 \times H) \times (210 - 4,2 \times t_a + 2,1 \times t_g)}{P_{ci \text{ Gás Natural}}} \right) \times 0,50$$

A % em peso de hidrogénio e de água para o fuelóleo são de 11,5% e 0% respetivamente. Para o gás natural a % em hidrogénio é de 21,6% e a % de água é de 0%. Estes valores foram retirados da tabela B.6.

As perdas associadas à entalpia do vapor de água são:

$$P_{H_2O} = \left(\frac{(0 + 9 \times 11,5) \times (210 - 4,2 \times 25 + 2,1 \times 207)}{40\,200} \right) \times 0,50 + \left(\frac{(0 + 9 \times 21,6) \times (210 - 4,2 \times 25 + 2,1 \times 207)}{38\,818,8} \right) \times 0,50$$

$$= 2,04\%$$

- Perdas associados a inqueimados nos gases de combustão

$$P_{CO} = \left(\frac{K1 \times CO \times (1 - 0,1 \times (P_{cv} + P_{cf}))}{CO + CO_2} \right) \times 0,50 + \left(\frac{K1 \times CO \times (1 - 0,1 \times (P_{cv} + P_{cf}))}{CO + CO_2} \right) \times 0,50$$

A constante K1 para o fuelóleo é de 54 e para o gás natural é de 35,5 Ambas as constantes foram retiradas da tabela B.7.

A percentagem de monóxido de carbono e de dióxido de carbono encontra-se apresentado na tabela A.2 no anexo A.

Assim sendo:

$$P_{CO} = \left(\frac{54 \times 0,00025 \times (1 - 0,1 \times 0)}{0,00025 + 10,28} \right) \times 0,50 + \left(\frac{35,5 \times 0,00025 \times (1 - 0,1 \times (0))}{0,00025 + 10,28} \right) \times 0,50 = 0,001\%$$

As perdas associadas a inqueimados são muito pequenas, apresentando um valor de 0,001%, não sendo contabilizadas por este motivo para a determinação do rendimento da caldeira.

- Perdas por radiação e convecção

As perdas por radiação e convecção foram obtidas da tabela B.8, sabendo que a caldeira 1 é do tipo aquatubular e com uma potência nominal de 21,4 MW (informação apresentada na tabela A.1 do anexo A).

As perdas por radiação e convecção na caldeira 1 correspondem a 1,4%.

- Calor perdido nas purgas

$$P_p = \left(\frac{(T_p - T_{ag}) \times (p) \times (100 - E_p)}{(T_p - T_{ag}) \times (p) + (100 - (p)) \times (600 - T_{ag})} \right) \times 0,50 \\ + \left(\frac{(T_p - T_{ag}) \times (p) \times (100 - E_p)}{(T_p - T_{ag}) \times (p) + (100 - (p)) \times (600 - T_{ag})} \right) \times 0,50$$

O valor de p foi determinado através do balanço ao teor de sólidos dissolvidos na água da caldeira. Os valores relativos à composição da água à entrada e à saída da caldeira encontram-se apresentados na tabela A.3 no anexo A. Estes valores foram convertidos para ppm.

Assim sendo:

$$m_{ag} \times 3,52 = m_{vapor} \times 0 + m_{purgas} \times 275$$

A percentagem de purgas em relação ao total de água alimentada à caldeira apresenta um valor igual a:

$$P = \frac{3,52}{275,45} \times 100 = 1,28\%$$

Na tabela seguinte encontram-se apresentadas as propriedades do vapor produzido na caldeira 1.

Tabela B.10. Propriedades do vapor na caldeira 1

Propriedades do vapor	
Pressão (bar)	24,4
Temperatura saturação (°C)	222,67
Entalpia do Vapor	2801,8
Entalpia do Líquido	956,09

O calor perdido nas purgas corresponde:

$$P_p = \frac{(222,67 - 130) \times (0,91) \times (100 - 11,3)}{(222,67 - 130) \times (0,91) + (100 - (0,91)) \times (600 - 130)} = 0,22\%$$

O rendimento da caldeira 1 é igual a:

$$\eta_{\text{caldeira 1}} = 100 - 7,88 - 2,02 - 1,4 - 0,22 = 88,48\%$$

O rendimento da caldeira 3 foi determinado do mesmo modo que o rendimento da caldeira 1 obtendo-se para esta caldeira um rendimento de 88,62%.

O rendimento global obtido para as três caldeiras foi de 86,41%

B.4 Determinação da relação massa de vapor/massa de combustível

Esta relação é obtida a partir da razão entre a energia contida no vapor e a energia total do combustível:

$$\eta_{\text{caldeira}} = \frac{m_{\text{vapor}} \times (h_v - h_l)}{m_{\text{combustível}} \times \text{PCI}}$$

Tabela B.11. Propriedades do vapor produzido nas três caldeiras

Propriedades do vapor nas caldeiras	
Pressão (bar)	24
Temperatura (°C)	380
Entalpia Vapor (kJ/kg)	3 196,9

A entalpia utilizada para o líquido foi de 554,93 kJ/kg, considerando uma temperatura média da água de entrada nas caldeiras de 132°C. O PCI utilizado para o combustível foi de 40 200 kJ/kg.

Assim sendo:

$$\frac{\text{massa vapor}}{\text{massa combustível}} = \frac{0,8641 \times 40\,200}{3\,196,9 - 554,93} = 13,14 \text{ kg vapor/kg combustível}$$

B.5 Determinação do consumo específico de vapor na turbina KKK

O consumo específico de vapor na turbina KKK foi determinado através da queda da entalpia do vapor na turbina após a forte expansão que este sofre.

O rendimento da turbina é de 75%. As propriedades do vapor a utilizar para os cálculos encontram-se apresentadas na tabela B.12.

Tabela B.12. Propriedades do vapor à entrada e à saída da turbina KKK

Propriedades do vapor			
Entrada da Turbina		Saída da Turbina	
Pressão (bar)	24	Pressão (bar)	1
Temperatura (°C)	380	Temperatura (°C)	125
Entalpia (kJ/kg)	3 196,9	Entalpia (kJ/kg)	2 726,7

Assim sendo:

$$\begin{aligned} \text{Queda entálpica} &= \eta_{\text{turbina}} \times (h_{v_e} - h_{v_s}) = 0,75 \times (3\,196,9 - 2\,726,7) = 352,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 352,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,097 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo específico de vapor} = \frac{1}{0,097} = 10,30 \text{ kg vapor/kWh}$$

O consumo específico de vapor na turbina KKK é de 10,30 kg vapor/kWh.

B.7 Determinação da relação que permite calcular a massa de vapor não turbinado (1,22 kg vapor saída turbina/kg vapor entrada turbina)

A estimativa 1,22 foi determinada através de um balanço de massa e de energia realizado ao ponto de mistura do vapor a seguir à válvula *bypass*. No ponto de mistura são adicionados condensados a 90°C. As propriedades do vapor a utilizar para os cálculos encontram-se apresentadas na tabela B.12. A entalpia dos condensados a 90°C é de 376,97 kJ/kg. Para efeitos de cálculo considerou-se a massa de vapor a 24 bar de 1 kg (massa de vapor à entrada da turbina).

Do balanço de massa efetuado ao ponto de mistura resulta:

$$m_{\text{vapor 24 bar}} + m_{\text{condensados}} = m_{\text{vapor 1 bar}}$$

Rearranjando este balanço obtém-se:

$$m_{\text{condensados}} = m_{\text{vapor 1 bar}} - m_{\text{vapor 24 bar}}$$

O balanço de energia foi efetuado através da equação seguinte:

$$m_{\text{vapor}} \times h_{\text{vapor 24 bar}} + m_{\text{condensados}} \times h_{90^{\circ}\text{C}} = m_{\text{vapor}} \times h_{\text{vapor 1 bar}}$$

Substituindo a massa de condensados e as respectivas entalpias no balanço obtém-se:

$$m_{\text{vapor 24 bar}} \times 3169,9 + (m_{\text{vapor 1 bar}} - m_{\text{vapor 24 bar}}) \times 376,97 = m_{\text{vapor 1 bar}} \times 2726,7$$

$$\Leftrightarrow m_{\text{vapor 1 bar}} = \frac{2793,7}{2350,5} \times m_{\text{vapor 24 bar}} \Leftrightarrow \frac{m_{\text{vapor 1 bar}}}{m_{\text{vapor 24 bar}}} = 1,20$$

O valor obtido para esta estimativa foi de 1,20.

B.8 Determinação da relação para determinação do vapor consumido no desgaseificador

Para o cálculo da relação que permite determinar a quantidade de vapor consumida no desgaseificador é necessário conhecer as propriedades das correntes de entrada e saída do desgaseificador. Este utiliza vapor a uma temperatura média de 132,7°C para aquecer a água de alimentação das caldeiras de 50°C até 116°C (dados apresentados no anexo A, na tabela A.4).

As propriedades da água e do vapor encontram-se apresentadas na tabela seguinte.

Tabela B.13. Propriedades do vapor e do líquido

Propriedades	Vapor	Água fria	Água quente
Temperatura (°C)	132,7	50	116
Pressão (bar)	0,95	--	--
Entalpia (kJ/kg)	2 742,6	209,34	486,80

Do balanço de massa e de energia realizados ao desgaseificador resulta:

- Balanço de massa

$$m_{\text{água}} + m_{\text{vapor}} = m_{\text{total}}$$

Em que:

$$m_{\text{total}} = m_{\text{água produzida}} + m_{\text{vapor produzido}}$$

- Balanço de energia

$$m_{\text{água}} \times h_{L_{50^{\circ}\text{C}}} + m_{\text{vapor}} \times h_{V_{132.7^{\circ}\text{C}}} = m_{\text{total}} \times h_{L_{116^{\circ}\text{C}}}$$

Para efeitos de cálculo considerou-se a massa de água de 1 kg.

Assim sendo, o caudal de vapor consumido nos desgaseificador é obtido através de:

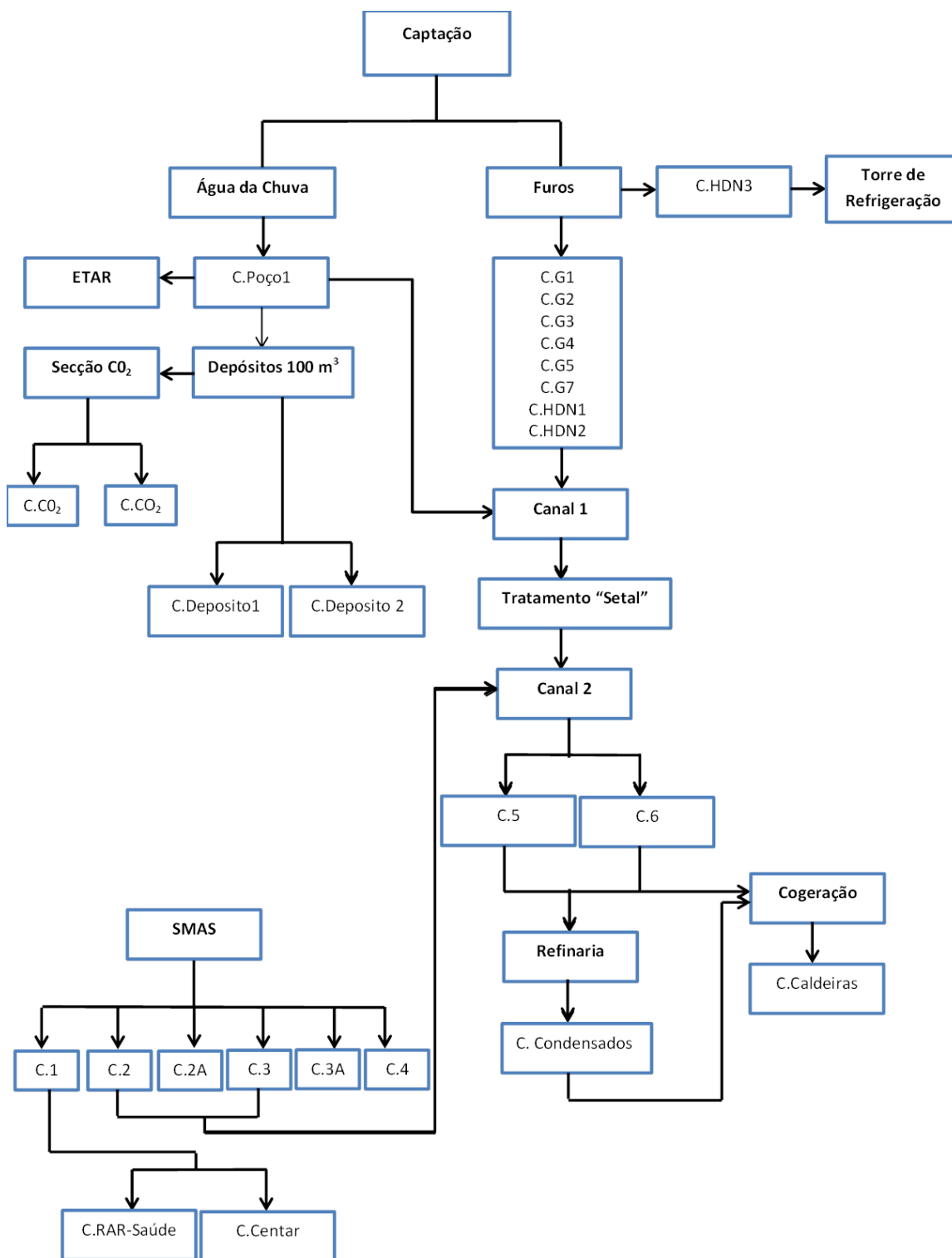
$$m_{\text{vapor}} = m_{\text{água}} \times \frac{(h_{L_{116^{\circ}\text{C}}} - h_{L_{50^{\circ}\text{C}}})}{(h_{V_{132.7^{\circ}\text{C}}} - h_{L_{116^{\circ}\text{C}}})} = \frac{(486,80 - 209,32)}{(2\,723,8 - 486,80)} = 0,124 \frac{\text{kg vapor}}{1 \text{ kg água}}$$

O resultado obtido para esta estimativa foi de 0,124 kg vapor/1 kg água.

Anexo C

C. Flow-sheet da Água

No diagrama seguinte encontra-se apresentada a flow-sheet criada para a água.



Legenda: C. → Contador de Água