

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO**

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA



# Eficiência Energética e a Queima de Combustíveis Limpos

André Ribeiro da Fonseca

Junho 2009

Orientador: Maria Luísa Andrade de Caldas Nogueira Gomes



POLITÉCNICO  
DO PORTO



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO**

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

RAMO OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA QUÍMICA

**isep**



# Eficiência Energética e a Queima de Combustíveis Limpos

André Ribeiro da Fonseca

Junho 2009

Orientador: Maria Luísa Andrade de Caldas Nogueira Gomes



## **AGRADECIMENTOS**

Concluído este trabalho, que na sua essência constituiu todo um processo de valorização pessoal e profissional, agradeço a todos aqueles que directa ou indirectamente das mais diversas formas me ajudaram para que o mesmo fosse realizado.

Agradeço à minha orientadora Dr.<sup>a</sup> Luísa Gomes por toda a energia, atitude e motivação partilhada ao longo destes meses. Pelo conhecimento e disponibilidade transmitido na realização deste trabalho particularmente no rigor e atenção que dedicou a cada fase deste trabalho, o incentivo constante e amizade.

À Refinaria do Porto Galp Energia pela sua disponibilidade, apoio e cooperação que permitiram o encaminhamento deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos por terem estado sempre presentes e por me terem transmitido os valores que se reflectem na pessoa que sou.

À Sandra companheira e amiga das pequenas e grandes coisas da minha vida.



*“Those charged with planning the future of European energy have a duty to fully implement the already existing tools that could help secure the future security and stability of the European Union, its citizens and its industries.”*

*(in SET-Plan)*



## RESUMO

Um dos mais críticos problemas que é enfrentado actualmente pelas refinarias é o aumento de pressão na legislação relativa à redução de emissões, especialmente SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e partículas. Para além do protocolo de Quioto que também continuará a evoluir, no qual o CO<sub>2</sub> será a maior preocupação para todas as indústrias especialmente as petrolíferas.

A refinaria do Porto, GALP ENERGIA, apresenta uma quantidade substancial de fuel gás resultante da produção de hidrogénio para a obtenção de combustíveis com teores reduzidos de enxofre.

O objectivo desta tese foi a aplicação de um modelo de processo para avaliar o impacto da implementação de um sistema de cogeração na rede da refinaria. Visa o aumento da produção de energia eléctrica com consequente produção de energia calorífica, reduzindo simultaneamente as emissões provenientes da queima de fuel óleo nas caldeiras da refinaria.

O processo desenhado no software de simulação Aspen Plus permite avaliar diferentes condições de funcionamento do sistema de cogeração queimando diferentes tipos de gases. Foi também realizada uma análise económica ao sistema.

As simulações efectuadas apresentam uma variação de produção de energia eléctrica entre 28,6-31,5MWe e 11,9-15,4MWe para um consumo de fuel gás de 6,7t/h e 2,8t/h respectivamente. Ambas as simulações foram realizadas mediante a necessidade energética da fábrica e da quantidade de vapor na refinaria, tendo em conta o consumo global de fuel óleo. Foram também realizadas simulações queimando gás natural.

Os resultados da simulação quando combinados com uma avaliação económica demonstram que a integração de um sistema de cogeração com turbina a gás, para ambos os combustíveis como gás de queima, é uma aplicação rentável.

Estes resultados permitem uma maior geração de energia eléctrica e consequente redução de emissões de SO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

### Palavras-chave:

Integração de Processos, Cogeração, Hidrogénio, Fuel Gás, Aspen, Avaliação Económica.



## **ABSTRACT**

One of the most critical problems faced by refineries nowadays is the continuous increasing of legislation urging emissions reductions specifically SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and particles. In addition to the Kyoto Protocol which also continue to evolve, in which CO<sub>2</sub> is the biggest concern for all industries especially petrochemical. Therefore there is a substantial need for refineries to burn fuel gas instead of fuel oil and avoiding, if possible, the use of imported natural gas.

The Portuguese Refinery, GALP ENERGIA, presents a substantial excess of fuel gas resulting from the production of hydrogen to obtain clean fuels with low sulphurs.

The purpose of this master thesis project was to construct a process model and to evaluate the impact of integrating a fuel gas plant with a co-generation plant for heat and electric power production.

The simulation program Aspen Plus was used to construct the process model and simulations were performed to investigate different conditions for an integrated plant. An economic analysis was done as well.

The cogeneration system was modelled by Aspen and the results obtained for the simulation were considered optimistic

Several simulations were performed varying the total power output for the gas turbine plant between 28,6-31,5MWe and 11,9-15,4MWe burning 6,7t/h and 2,8t/h of fuel gas respectively. Both simulations were conducted regarding plant capacity, energy and steam demands in the refinery, considering fuel oil consumptions. A simulation using natural gas was performed as well.

The results from the simulations, along with an economic evaluation, indicate that integrating a combine heat and power plant, using both gases, is profitable for both cases.

These results allow a higher electrical power output and a consequent reduction in the SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>.emissions.

### **Keywords:**

Process Integration, Combined Heat and Power Production, Hydrogen, Fuel Gas, Aspen, Economic Evaluation.



# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS .....	xix
1 ESTADO DE ARTE .....	1
1.2 Objectivo e Metodologia da Tese.....	2
1.3 Prefácio .....	3
2 INTRODUÇÃO .....	5
2.1 Métodos de produção de energia .....	6
2.2 Ciclo de Vapor numa central de cogeração .....	8
2.2.1 Caldeiras de Recuperação.....	8
2.2.2 Turbina a Vapor .....	9
2.2.3 Geradores.....	10
2.3 Sistemas de Turbina a Gás .....	10
2.3.1 Queima suplementar.....	12
2.4 Wobbe Index .....	13
2.5 Combustão de gases.....	13
2.6 Estratégias de Descarbonização .....	14
3 CASO DE ESTUDO .....	17
3.1 Tratamento de dados.....	20
3.1.1 Cálculo de Excesso de Ar.....	21
3.2 Programa de Simulação .....	22
3.2.1 ASPEN e Turbina a Gás .....	23
3.3 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo.....	24
3.3.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR .....	24
4 MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – SITUAÇÃO ACTUAL.....	27
4.1 <i>Caso Base</i> .....	27
4.2 Simulação Inicial.....	28
4.2.1 Correntes e componentes.....	29
4.2.2 Condições de Operação .....	30
4.3 Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – <i>Caso Base</i> .....	32
5 MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – CONSUMO EQUIVALENTE .....	33

5.1 Arrefecimento da Temperatura do sistema com excesso de ar – <i>Caso 1a</i> .....	33
5.2 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – <i>Caso 1b</i> .....	33
5.3 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – <i>Caso 2a</i> .....	35
5.4 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – <i>Caso 2b</i> .....	35
5.5 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – Consumo <i>Equivalente</i> .....	36
6 MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA.....	39
6.1 Arrefecimento da Temperatura do Sistema com Excesso de Ar – <i>Caso 3a</i> .....	39
6.2 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – <i>Caso 3b</i> .....	40
6.3 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – <i>Caso 4a</i> .....	40
6.4 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – <i>Caso 4b</i> .....	41
6.5 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – Equivalência Energética .....	42
6.6 Resumo dos resultados .....	42
7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	43
7.1 Caso Base.....	43
7.2 Caso 1a.....	43
7.3 Caso 1b.....	44
7.4 Caso 2a.....	45
7.5 Caso 2b.....	46
7.6 Caso 3a.....	46
7.7 Caso 3b.....	47
7.8 Caso 4a.....	48
7.9 Caso 4b.....	48
8 ANÁLISE ECONÓMICA .....	51
9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO.....	55
10 BIBLIOGRAFIA .....	57

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo ideal de uma turbina a vapor. ....	6
Figura 2.2 Sistema de cogeração com turbina a gás.....	7
Figura 2.3 Ciclo combinado gás-vapor. ....	7
Figura 2.4 Caldeira pirotubular. ....	9
Figura 2.5 Esquema de uma caldeira projectada no software de simulação Aspen.....	9
Figura 2.6 Funcionamento típico de um sistema de turbina a gás . ....	11
Figura 2.7 Impacto da razão de pressão e temperatura de queima na temperatura de exaustão da turbina . ....	12
Figura 2.8 Esquema de princípio de um sistema de pré-combustão.....	15
Figura 3.1 Distribuição de vapor na Refinaria do Porto Galp Energia ( <i>Caso Base</i> ). ....	18
Figura 3.2 Turbo Grupo 4002 da Refinaria do Porto Galp Energia. ....	19
Figura 3.3 Tabela representativa da distribuição das <i>Fontes</i> para as <i>Consumidoras</i> . ....	24
Figura 4.1 Produção de vapor nas caldeiras da refinaria.....	27
Figura 4.2 Simulação da queima de fuel gás numa caldeira.....	28
Figura 4.3 Diagrama do processo de simulação do sistema de cogeração. ....	29
Figura 4.4 Grupo de simulações efectuado. ....	31
Figura 5.1 Diagrama do processo de simulação do sistema de cogeração do <i>Caso 1b</i> . ....	34



# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Excesso de ar nos gases de combustão.....	14
Tabela 3.1 Balanço energético ao Turbo Grupo 4002. ....	17
Tabela 3.2 Análise do fuel gás da refinaria do Porto e respectivo índice Wobbe.....	20
Tabela 3.3 Composição do tail gás da PSA e respectivo índice Wobbe para 28,6% e 31%. 21	
Tabela 3.4 Análise do <i>tail gás</i> da unidade PSA. ....	21
Tabela 3.5 Composição do ar atmosférico. ....	21
Tabela 3.6 Quantidade estequiométrica de oxigénio para queima. ....	22
Tabela 4.1 Consumos da refinaria.....	27
Tabela 4.2 Descrição das correntes de entrada do sistema. ....	29
Tabela 4.3 Descrição das unidades de operação do sistema.....	30
Tabela 4.4 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso Base</i> .....	30
Tabela 5.1 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 1a</i> .....	33
Tabela 5.2 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 1b</i> .....	34
Tabela 5.3 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 2a</i> .....	35
Tabela 5.4 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 2b</i> .....	36
Tabela 5.5 Consumo de fuel gás e fuel óleo nas fornalhas da refinaria.....	36
Tabela 6.1 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 3a</i> .....	39
Tabela 6.2 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 3b</i> .....	40
Tabela 6.3 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 4a</i> .....	41
Tabela 6.4 Caracterização das correntes resultantes da simulação do <i>Caso 4b</i> .....	41
Tabela 6.5 Consumo de fuel gás e fuel óleo nas fornalhas da refinaria.....	42

Tabela 6.6 Resumo dos resultados obtidos dos casos apresentados.....	42
Tabela 7.1 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso Base</i> . .....	43
Tabela 7.2 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 1a</i> .	43
Tabela 7.3 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 1b</i> .	44
Tabela 7.4 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 2a</i> .	45
Tabela 7.5 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 2b</i> .	46
Tabela 7.6 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 3a</i> .	47
Tabela 7.7 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 3b</i> .	47
Tabela 7.8 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 4a</i> .	48
Tabela 7.9 Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do <i>Caso 4b</i> .	48
Tabela 8.1 Valores de custos unitários de um sistema de cogeração a turbina a gás com recuperação de calor (2009).....	51
Tabela 8.2 Factores de cálculo para o balanço económico. ....	52
Tabela 8.3 Comparação da análise económica dos casos apresentados (1, 2). ....	52
Tabela 8.4 Comparação da análise económica dos casos apresentados (3, 4). ....	53

## ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

AES	Aspen Engineering Suite
CEMS	Monitorização Contínua de Emissões
EE	Energia Eléctrica
EG	Energia do Fuel Gás
EO	Energia do Fuel Óleo
FCC	<i>Fluid Catalytic Cracking</i>
FG	Fuel Gás
FO	Fuel Óleo
GN	Gás Natural
GPL	Gás Petróleo Liquefeito
H <sub>L</sub>	Entalpia da água no Estado Líquido
H <sub>V</sub>	Entalpia da água no Estado Vapor
IW	Índice Wobbe
NTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
O	Função Objectivo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PSA	Pressure Swing Adsorption
SCR	Redução Catalítica Selectiva
SO <sub>2</sub> FG	Dióxido de Enxofre Emitido pela Queima de Fuel Gás
SO <sub>2</sub> FO	Dióxido de Enxofre Emitido pela Queima de Fuel Óleo



### 1.1 Preâmbulo

A fim de diminuir os efeitos do aquecimento global, a pressão para reduzir o impacto ambiental na produção de energia e calor tem vindo a aumentar. A redução da quantidade de CO<sub>2</sub> emitida durante a geração de calor e energia é vista como a chave para a redução dos impactos ambientais.

No entanto prevê-se [1] que a necessidade energética irá aumentar dramaticamente nos próximos 10 a 20 anos devido à contínua expansão económica de países como a China e a Índia.

Apesar da aplicação de tecnologias existentes permitirem a emissão de níveis muito baixos de CO<sub>2</sub> ou recorrerem a fontes de energia alternativas, por vezes a sua instalação e operação são do ponto de vista económico pouco atractivas. O desafio surge numa aproximação pragmática que use a tecnologia existente de forma mais eficaz.

#### **Plano Tecnológico Estratégico Europeu para a Energia (SET-Plan)**

Actualmente a União Europeia importa 50% da sua energia e estima-se um aumento até 70% nas próximas duas décadas se nenhuma acção for tomada. A estabilidade e prosperidade da economia europeia irão depender assim das estratégias económicas e políticas dos seus fornecedores e serão vulneráveis a ambas.

A coligação das principais associações europeias do sector de eficiência energética é de opinião que, qualquer tentativa de reduzir a dependência da importação de energia que não a redução da procura energética actual, é insustentável, *“a eficiência energética não é uma alternativa à segurança energética, mas sim uma componente vital na sua consecução”* [2].

A cogeração é considerada pela Comissão Europeia como parte da solução para aumentar a eficiência energética e melhorar a segurança do aprovisionamento no mercado interno da energia.

As centrais de cogeração são uma forma económica de reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> durante a produção de energia eléctrica e calorífica. A sua instalação próxima do ponto de utilização reduz perdas de transmissão eléctrica e fornece uma fonte de calor para a produção de vapor, água quente ou arrefecimento.

O impacto económico e ambiental da cogeração pode ser reforçado pela utilização de gases residuais, como o fuel gás. Também é interessante realçar que a aplicação da cogeração de gases residuais pode, em algumas regiões, beneficiar de créditos de carbono.

## **1.2 Objectivo e Metodologia da Tese**

Este projecto foi realizado com base num trabalho anterior com a utilização da Integração de Processos. Em colaboração com a Refinaria do Porto, GALP ENERGIA, estudou-se a rede de distribuição de Hidrogénio, e a partir da utilização da metodologia do ponto de estrangulamento [3, 4] chegou-se à conclusão que poderiam ser feitas alterações importantes no processo e ainda assim permanecia um excesso de hidrogénio [5].

Assim, verificou-se que a Refinaria do Porto, GALP ENERGIA apresentava um excesso de fuel gás resultante da produção de hidrogénio para a obtenção de combustíveis com teores reduzidos de enxofre. A empresa mostrou interesse em aproveitar esse excesso numa turbina a gás com recuperação de calor.

Esse trabalho foi realizado através de um estágio financiado pelo GNIP/IEA (Grupo Nacional de Integração de Processos/ Agência Internacional de Energia), e os resultados foram apresentados sob a forma de relatório, e de um artigo submetido à revista *Energy Conversion and Management* e que se encontra em revisão.

Na sequência dos resultados obtidos sentiu-se a necessidade de aprofundar o trabalho realizado com a utilização de outro software, aumentar a capacidade da turbina, actualizar a análise económica, entre outros factores.

O principal objectivo desta tese visa a produção de energia eléctrica e consequente produção de energia calorífica, utilizando o excesso de fuel gás num sistema de cogeração com recuperação, reduzindo simultaneamente as emissões provenientes da queima de fuel nas fornalhas da refinaria.

Para o presente trabalho foi usado o software de simulação ASPEN em estado estacionário para o desenvolvimento do processo de cogeração. A construção de um modelo de simulação no Aspen Plus prevê indicações de funcionamento optimizado e resultados de confiança para a produção de energia eléctrica e calorífica.

Os dados de entrada para o fuel gás foram obtidos de análises realizadas na refinaria. A turbina a gás foi implementada de modo a substituir o Turbo Grupo 2, para uma produção de energia eléctrica de pelo menos 12MWe e consequente produção de energia calorífica. Foram realizadas várias simulações, produção de vapor nas caldeiras, um modelo exemplificativo de uma turbina a vapor e dois sistemas de cogeração com turbina a gás.

### **1.3 Prefácio**

A tese começa com uma apresentação de vários processos de produção de energia, Capítulo 2, e apresenta vários modelos de simulação exemplificativos dos ciclos de *Rankine* e *Brayton*. Como referido anteriormente o programa de simulação Aspen Plus foi usado para construir o modelo de cogeração com turbina a gás e é apresentado no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresenta uma visão global do processo de simulação construído. Os resultados obtidos das simulações realizadas são apresentados no Capítulo 5 e 6 e discutidos no Capítulo 7. No Capítulo 8 é apresentada uma análise económica dos casos apresentados e as conclusões do estudo são fornecidas no Capítulo 9.



# 2

## INTRODUÇÃO

Cada vez mais a sociedade moderna está dependente deste bem tão importante e escasso que é a Energia. Contudo, a satisfação das nossas necessidades energéticas é feita à custa de energias convencionais.

A produção de energia eléctrica pela queima de combustíveis como o gás natural, fuel óleo, propano, carvão, madeira e biomassa pode ser obtida a partir de centrais convencionais de energia ou centrais de cogeração. No método convencional a eficiência é baixa, 35-40% [6] e energia térmica associada é rejeitada para os rios, oceanos ou atmosfera.

Contudo, embora abundantes, estas fontes de energia não são renováveis à escala humana, trazendo portanto consequências negativas para o meio ambiente.

A cogeração surge como uma tecnologia interessante ao garantir economias de energia e competitividade acrescida às empresas.

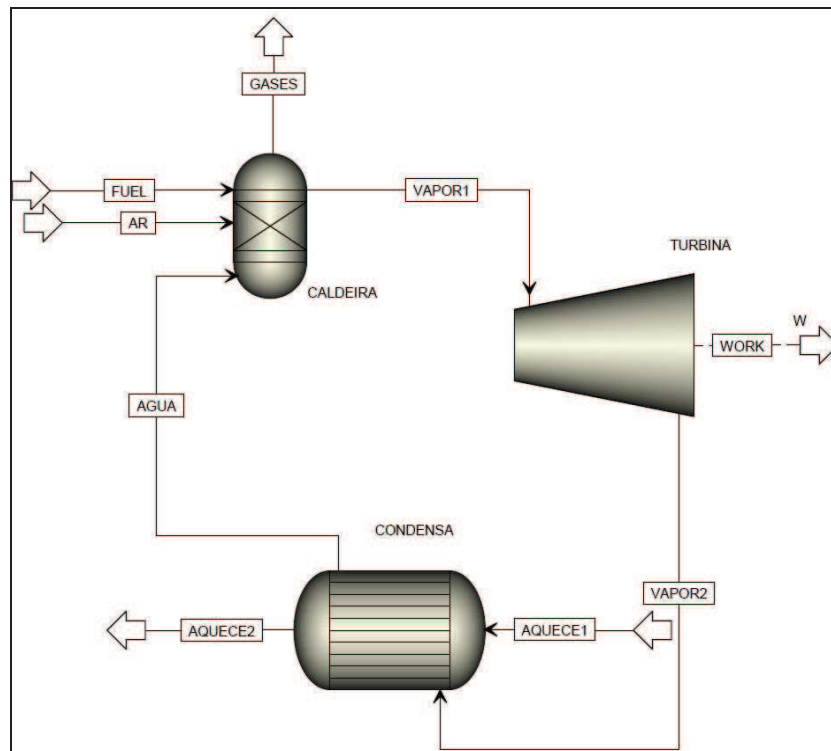
A cogeração consiste na produção de energia térmica e mecânica. Esta pode ser usada num gerador para a produção de energia eléctrica ou num equipamento rotativo como um motor ou compressor. A energia térmica pode ser usada directamente em aplicações do processo ou indirectamente para a produção de vapor, água quente ou ar quente num secador. Destinando-se ambas ao consumo da própria empresa ou de terceiros, evitando ou atenuando a utilização de equipamentos próprios de produção de calor e aquisição de energia eléctrica à rede. Através da utilização da energia térmica, a eficiência numa central de cogeração pode atingir cerca de 70-90% [6].

A cogeração é um processo de produção de energia muito eficiente, possibilitando uma série de benefícios. A nível local, pode reduzir significativamente a factura energética do utilizador, enquanto que a um nível global reduz o consumo das reservas de combustíveis fósseis, conduzindo a uma redução significativa do impacto ambiental do uso destes mesmos combustíveis.

Com a crescente procura de melhoria da eficiência energética, tanto com relação ao desempenho na geração como também ao aproveitamento de disponibilidades energéticas residuais, a cogeração tem crescentemente sido apontada como uma alternativa eficiente de racionalização energética e económica.

## 2.1 Métodos de produção de energia

Uma turbina a vapor (ciclo de *Rankine*), uma turbina a gás (ciclo de *Brayton*) ou um ciclo combinado podem ser usados num sistema de cogeração [7]. O ciclo de *Rankine*, *Figura 2.1*, é a tecnologia mais comum para a produção de energia eléctrica através da queima de combustíveis. A queima evapora a água e o vapor segue para uma turbina onde é expandido. A turbina está ligada a um gerador que produz electricidade, e o vapor expandido é usado para aquecimento.



**Figura 2.1** Ciclo ideal de uma turbina a vapor.

No ciclo de *Brayton*, *Figura 2.2*, a turbina é impulsionada pela expansão do gás durante a combustão e a pressão do ar para combustão é obtida por meio de um compressor. Em comparação ao caso da turbina a vapor os gases de escape podem ser usados para aquecimento.

A combinação de um ciclo de turbina a gás e um de turbina a vapor (ciclo combinado) tem uma maior eficiência térmica do que qualquer um dos ciclos executados individualmente. Um exemplo de um ciclo combinado gás vapor é apresentado *Figura 2.3*. O ciclo combinado utiliza gás como combustível e, após expansão deste na turbina, a alta temperatura dos gases é utilizada para produção de vapor. Numa central de ciclo combinado, existem dois geradores para produção de energia eléctrica.

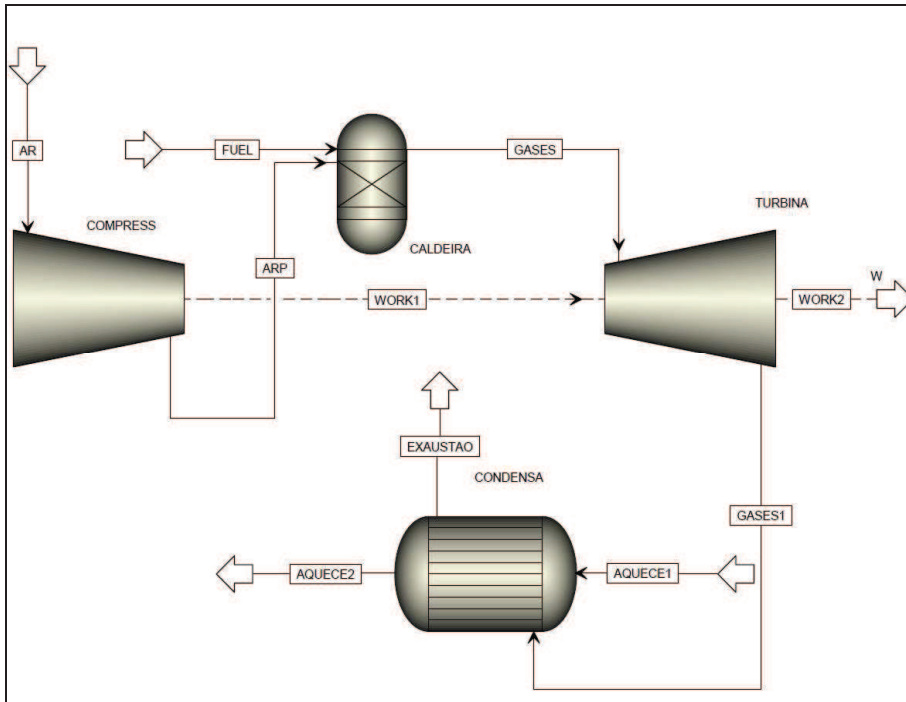


Figura 2.2 Sistema de cogeração com turbina a gás.

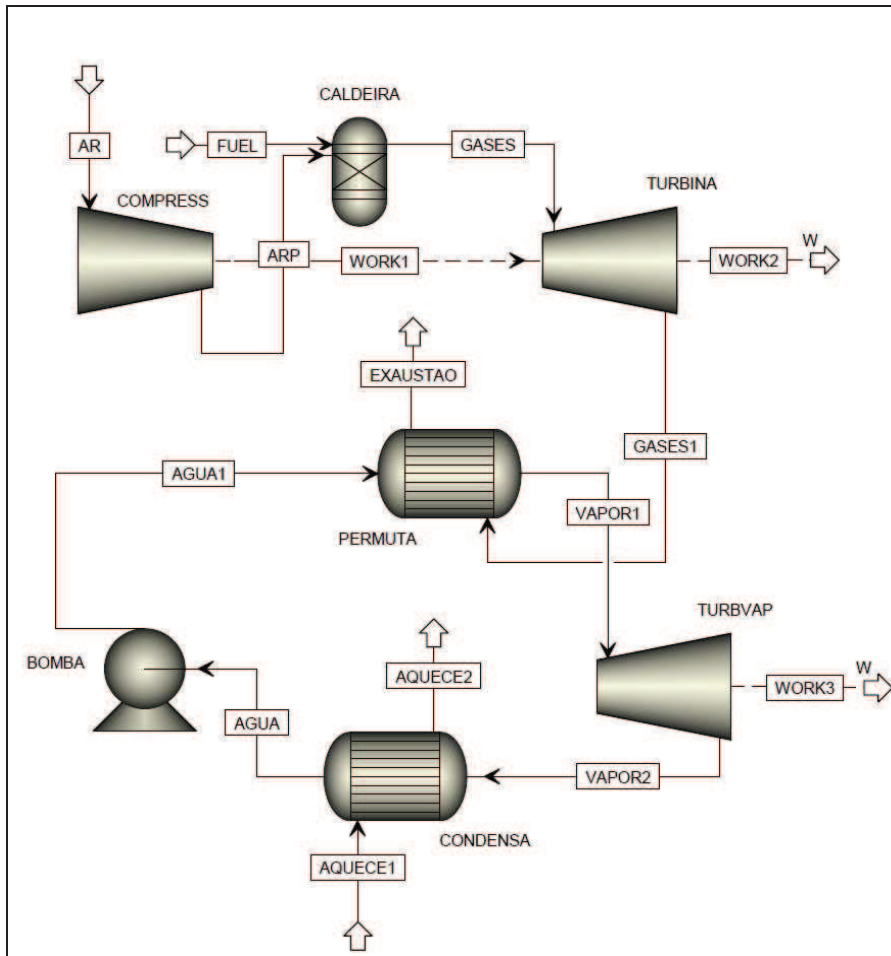


Figura 2.3 Ciclo combinado gás-vapor.

Os compressores alternativos podem também ser utilizados na cogeração nos mesmos princípios de funcionamento que os de diesel e gasolina. O sistema pouco difere do funcionamento das turbinas a gás, no entanto a eficiência eléctrica é maior, mas por outro lado é mais difícil o aproveitamento da energia térmica pois esta fica parcialmente dispersa nos gases de escape e sistemas de refrigeração.

## **2.2 Ciclo de Vapor numa central de cogeração**

Os principais componentes de uma instalação de cogeração são a caldeira e turbina a vapor ligada a um gerador. O vapor é produzido na caldeira a alta pressão e segue para a turbina onde é expandido originando a produção de energia eléctrica. Após expansão quer a temperatura quer a pressão de vapor diminuem, seguindo para um condensador. No condensador ainda é possível aquecer a água disponível desde 30-60°C até cerca de 70-120°C, dependendo da pressão à saída da turbina [7]. O vapor após esta etapa condensa e é recirculado para a caldeira como água de alimentação.

### **2.2.1 Caldeiras de Recuperação**

A água e o vapor são normalmente usados como transportadores de calor em sistemas de aquecimento. A água ferve e evapora a 100 °C, sob pressão atmosférica, quanto maior for a pressão maior a temperatura de evaporação. Durante o processo de evaporação, a pressão e temperatura são constantes, mas é necessário fornecer uma quantidade substancial de energia (calor latente) ao processo, obtendo vapor saturado. Nestas condições o vapor contém toda essa energia que pode assim ser utilizada de forma eficaz nos processos que requerem calor. Quando o vapor é fornecido ao consumidor é condensado, sendo devolvido à caldeira como água de alimentação.

Uma caldeira a vapor pode ser descrita como um recipiente parcialmente cheio de água, ao qual é fornecido uma quantidade de calor suficiente para evaporar a água. O controle de pressão no interior da caldeira pode ser regulado pela quantidade de vapor formado, ou seja, pela quantidade de calor fornecido. Se a saída de vapor igualar a quantidade produzida, a pressão no recipiente é constante. Se a quantidade de saída de vapor for menor que a produzida a pressão aumenta e se for maior a pressão diminui.

A tarefa da caldeira num processo de evaporação é transformar a água de alimentação em vapor nas condições necessárias de utilização para um determinado processo.

Na *Figura 2.4* encontra-se esquematizada um exemplo de uma caldeira piro-tubular, e na *Figura 2.5* apresenta-se o esquema de uma caldeira tipo projectada no simulador Aspen, com aquecedor de ar, economizador, evaporador e super aquecedor.

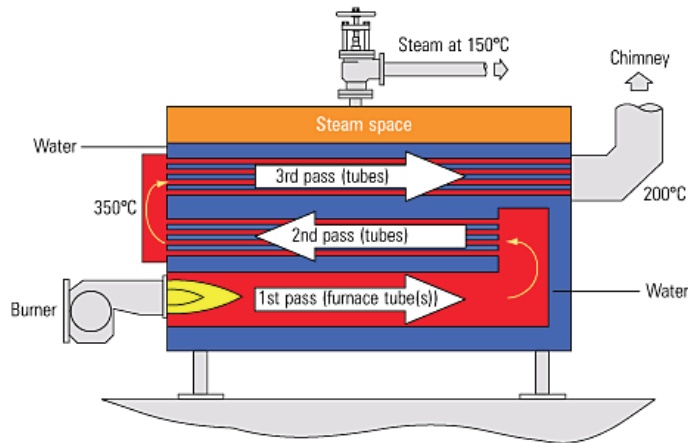


Figura 2.4 Caldeira pirrotubular (adaptado de referência) [8].

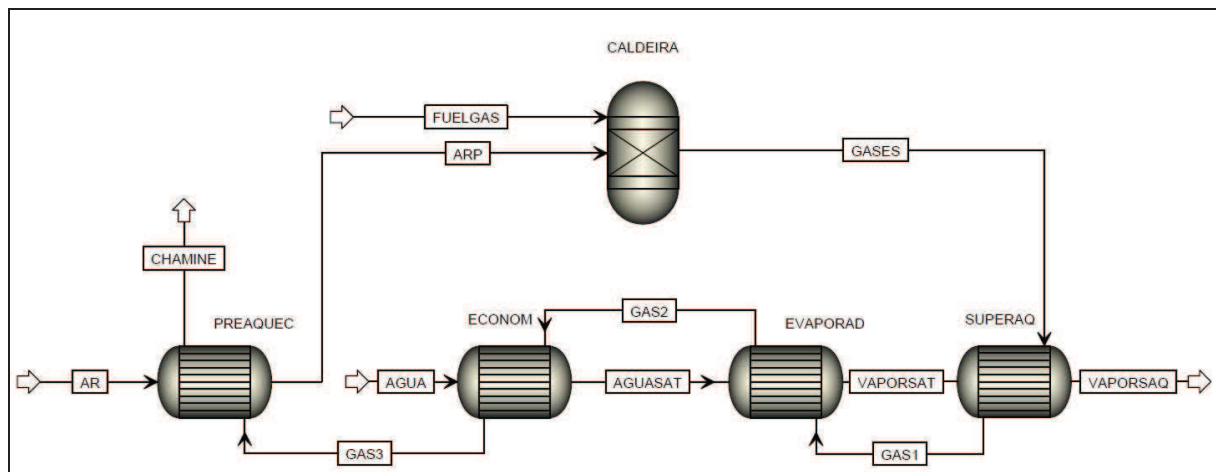


Figura 2.5 Esquema de uma caldeira projectada no software de simulação Aspen.

### 2.2.2 Turbina a Vapor

O vapor a alta pressão é expandido dentro da turbina produzindo energia mecânica que pode ser usada num gerador para produzir electricidade. A energia produzida depende da quantidade de pressão de vapor passível de redução na turbina antes de se obter as condições necessárias de utilização num processo. As condições de vapor típicas de entrada numa turbina para a obtenção de uma quantidade viável de energia eléctrica são 42 bar/400 °C ou 63 bar/480 °C [9]. Quanto maior a pressão de admissão na turbina, maior o *output* de energia, no entanto maior será o custo capital da caldeira e de funcionamento.

As turbinas a vapor dividem-se em dois grupos [7], de acordo com a pressão de saída: turbinas de contra-pressão, onde a pressão à saída é maior do que a pressão atmosférica, e as turbinas de condensação, no qual a pressão à saída é inferior à atmosférica, sendo necessário um condensador, o qual recebe o vapor com uma qualidade de cerca de 90%.

A instalação mais simples é a de contra-pressão, onde todo o vapor que passa pela turbina deixa esta a uma pressão relativamente baixa mas adequada para ser usada no processo. Quando for necessário mais calor no processo, pode-se recorrer a uma extracção de parte do vapor, à pressão apropriada, ao longo da turbina. Esta extracção acarreta uma penalização em termos de redução da produção eléctrica.

As turbinas de condensação maximizam o *output* eléctrico através da expansão de todo o vapor até ao vácuo. Este tipo de expansão origina um gradiente de transferência de calor muito baixo pelo qual não são utilizadas em sistemas de cogeração, como regra geral, no entanto também podem recorrer a uma extracção parcial do vapor tal como as de contra-pressão.

As principais vantagens de um sistema de turbina a vapor são: a sua elevada eficiência global, se o calor produzido for utilizado para aquecimento, indústria, etc., a sua flexibilidade de funcionamento, qualquer tipo de combustível pode ser usado, a variada gama de tamanhos disponíveis e o tempo de vida útil, no qual incentiva os elevados custos de investimento.

### **2.2.3 Geradores**

Num gerador, a energia mecânica da turbina é convertida em electricidade. Existem dois tipos de geradores, os síncronos e os assíncronos ou de indução [7]. Os síncronos são geralmente usados em unidades de cogeração apesar de serem mais caros que os assíncronos.

## **2.3 Sistemas de Turbina a Gás**

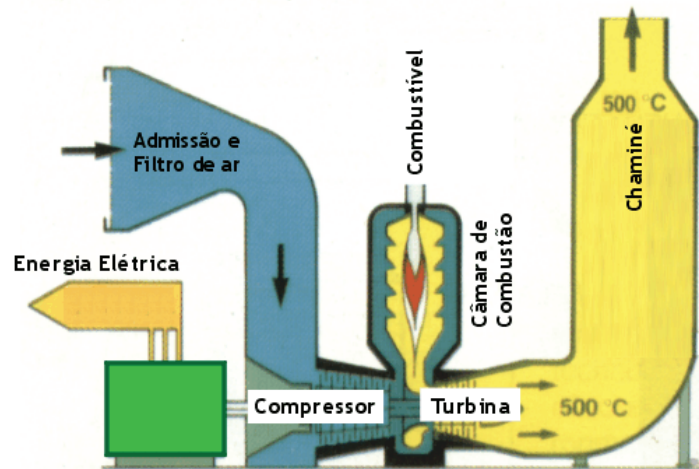
A turbina a gás consiste num motor térmico onde é produzido trabalho a partir de um fluxo contínuo de gases quentes, provenientes da queima contínua de um combustível.

Tornou-se no motor mais utilizado na cogeração de grande escala nos últimos anos, produzindo normalmente 1-100MWe [10]. Um sistema de turbina a gás é mais fácil de instalar num processo existente do que uma caldeira de alta pressão e turbina a vapor. Em muitas indústrias o espaço disponível é um factor na escolha do equipamento a adquirir, o que pesa fortemente a favor das turbinas a gás. Isto juntamente com o reduzido custo de capital e fiabilidade fazem da turbina a gás a melhor escolha num processo de decisão.

O sistema de turbina a gás, tal como se pode verificar na *Figura 2.6*, é constituído pelos seguintes elementos:

- Sistema de admissão de ar;
- Dispositivo de compressão de ar;
- Câmara de combustão;

- Turbina de expansão;
- Sistema de exaustão.



**Figura 2.6** Funcionamento típico de um sistema de turbina a gás (adaptado de referência) [11].

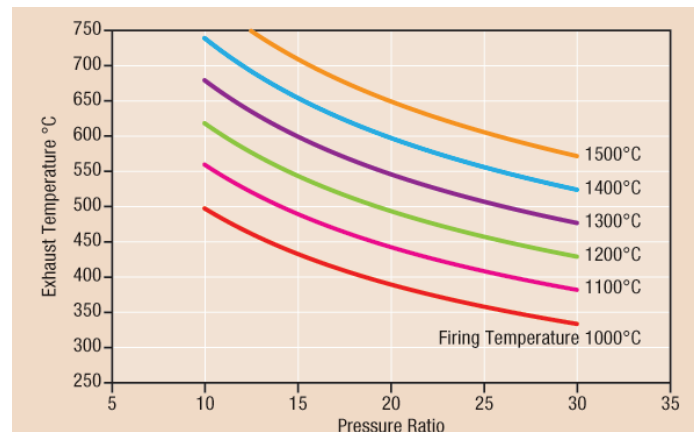
O combustível é queimado numa câmara de combustão pressurizada utilizando ar pressurizado por um compressor, integrado na turbina a gás. Os gases pressurizados resultantes da queima (900°C – 1200°C) atravessam uma série de anéis laminados, sofrendo uma expansão, produzindo energia mecânica (actualmente as turbinas não suportam temperaturas superiores a 1500°C) [12]. A energia residual dos gases após expansão, na forma de calor, pode ainda ser utilizada para reunir total ou parcialmente a necessidade térmica do processo.

O facto de se trabalhar com temperaturas elevadas e altas pressões implica o uso de materiais mais sofisticados e a implementação de sistemas mais complexos, de modo a maximizar a performance/rendimento do sistema.

Uma turbina a gás opera sob rigorosas condições de alta velocidade e alta temperatura, pelo qual os gases de admissão devem ser limpos (livre de partículas que possam corroer os anéis laminados) e conter o mínimo possível de contaminantes. Por esta razão são usados combustíveis mais refinados, como o gás natural. Destilados de petróleo como os gases de petróleo (fuel gás) também podem ser utilizados e, normalmente a instalação proporciona a utilização de ambos os gases para tirar partido de tarifas mais baratas e ininterruptão de serviço. O gás petróleo liquefeito (GPL), a nafta e o biogás também podem ser usados, dependendo do seu poder calorífico, ou mais concretamente o seu índice Wobbe (*Wobbe Index*), se for relativamente constante e a sua composição consistente, assegurando que o gás à saída da câmara de combustão é mantido à temperatura requerida.

A temperatura dos gases à saída da turbina depende das condições de queima e da razão de pressão do compressor, podendo estes ser utilizados para abastecimento de calor.

A *Figura 2.7* apresenta variações típicas de temperatura em função dos parâmetros apresentados [13].



**Figura 2.7** Impacto da razão de pressão e temperatura de queima na temperatura de exaustão da turbina (adaptado de referência) [11].

A obtenção de elevadas *performances* neste tipo de sistema traz problemas mecânicos acrescidos, e a necessidade da realização de um estudo apurado da constituição dos componentes do sistema [11]. Este facto explica-se, uma vez que a performance é directamente proporcional à temperatura de trabalho e à razão de pressão.

Tal como todos os sistemas, o uso da turbina a gás tem vantagens e desvantagens, das quais se destacam as seguintes:

Vantagens:

- Fácil manutenção implicando menores tempos de paragem;
- Elevada fiabilidade;
- Baixa poluição ambiental;
- Não necessita de vigilância constante;
- Disponibiliza energia térmica a temperaturas elevadas;
- Unidades compactas e de pequeno peso;
- Arranque relativamente rápido;
- Baixo nível de vibrações.

Desvantagens:

- Limitação do tipo de combustível consumido;
- Tempo de vida útil curto;
- Ineficaz em processos com poucas necessidades térmicas.

### 2.3.1 Queima suplementar

Uma instalação pode consumir mais ar do que o requerido de forma a garantir uma combustão completa. No entanto podem ocorrer consumos de quantidades três ou quatro vezes superiores. Esta quantidade de ar é usada, para proporcionar o correcto

arrefecimento dos gases ao longo da turbina ou quando é necessário uma temperatura elevada dos gases, recorrendo a uma queima suplementar (*boost firing*), aumentando a temperatura de exaustão dos gases, obtendo um aumento na eficiência global do sistema de aproximadamente 10% [14].

## 2.4 Wobbe Index

O índice de Wobbe representa o calor fornecido pela queima de gases combustíveis através de um orifício submetido a pressões constantes, a montante e a jusante desse orifício [15]. A pressão do gás a montante do orifício é aquela fornecida ao queimador, e a pressão a jusante é a da câmara de combustão, normalmente a pressão atmosférica ou valores próximos dela, positivos ou negativos.

Os gases combustíveis podem ser classificados em três Famílias [15], de acordo com o valor do índice de Wobbe. O índice de Wobbe é definido pelo quociente entre o poder calorífico e a raiz quadrada da sua densidade. Pode ser obtido com base no poder calorífico superior ou inferior.

1ª Família – gases manufacturados  $22,4\text{MJ/m}^3 \leq IW \leq 24,8\text{MJ/m}^3$  (grupo A)

2ª Família – gases naturais  $39,1\text{MJ/m}^3 \leq IW \leq 54,7\text{MJ/m}^3$  (grupo H, L e E)

3ª Família – gases de petróleo liquefeito (GPL)  $72,9\text{MJm}^3 \leq IW \leq 87,3\text{MJ/m}^3$  (grupo B/P)

Dois gases que apresentem composições distintas, mas com o mesmo índice de Wobbe disponibilizarão a mesma quantidade de energia através de um orifício injector, à mesma pressão.

## 2.5 Combustão de gases

Para que os produtos resultantes da combustão não sejam tóxicos para o Homem, é necessário garantir que a queima se dá com oxigénio suficiente para o gás presente.

A *Tabela 2.1* [16] indica a gama de valores de excesso de ar, que é normalmente empregue para diferentes combustíveis.

**Tabela 2.1** Excesso de ar nos gases de combustão.

Fuels		Excess Air, %
<b>Solid Fuels</b>	Coal	10-40
	Coke	20-40
	Wood	25-50
	Bagasse	25-45
<b>Liquid Fuels</b>	Oil	8-15
<b>Gaseous Fuels</b>	Natural Gas	5-10
	Refinery Gas	8-18
	Blast-furnace Gas	15-25
	Coke-oven Gas	5-10

A insuficiência de oxigénio na queima origina a formação de monóxido de carbono, o que obriga à instalação de aparelhos de queima em locais bem ventilados e com a exaustão adequada.

## 2.6 Estratégias de Descarbonização

Existem estudos para o desenvolvimento de três estratégias tecnológicas distintas para a descarbonização de combustíveis fósseis [17]:

- Pré-combustão – consiste na reformação do combustível ou gaseificação do mesmo num *syngas* posteriormente processado para obter uma mistura de  $H_2$  e  $CO_2$  em que este é capturado para posterior sequestro. Nesta tecnologia o hidrogénio resultante é utilizado como combustível livre de carbono, *Figura 2.8*.
- Pós-combustão após a combustão é efectuada a captura de  $CO_2$  intervindo-se nos gases de exaustão da combustão. Esta tecnologia tem actualmente aplicações num nicho de mercado.
- Combustão *oxyfuel* – consiste na queima do combustível com oxigénio em vez de ar, de modo a que os gases de combustão sejam constituídos essencialmente por vapor de água e  $CO_2$ . Esta estratégia facilita a separação do  $CO_2$  já que bastará a condensação da água para que a fase gasosa seja constituída fundamentalmente por este gás.

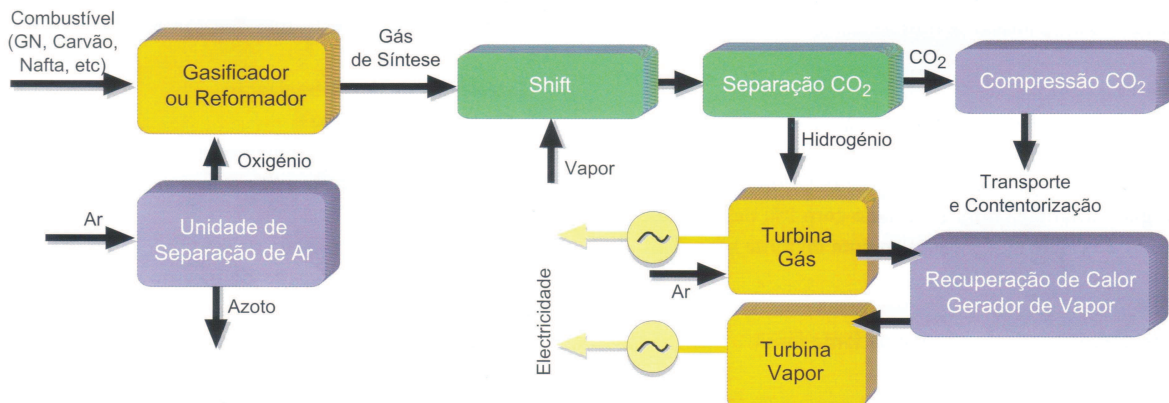
Em todas as estas opções é ainda necessário sequestrar o  $CO_2$  pressurizando-o ou liquefazendo-o de modo a que possa ser transportado e guardado no destino final: formações geológicas, aquíferos.

Diversas barreiras se colocam à utilização maciça desta estratégia. A primeira é que se trata de um processo consumidor intensivo de energia, já que as várias tarefas adicionais relativamente à combustão tradicional são intrinsecamente consumidoras (captura, compressão, liquefacção, transporte e injeção). Prevê-se um incremento da utilização de combustíveis entre os 11 e os 40% e uma aumento de 21 a 91% do custo da energia

proveniente de uma instalação com captura de e sequestro de carbono (CSC). Existem estimativas que indicam que implicaria uma taxa entre os 70 a 200€ por tonelada para viabilizar este tipo de tecnologias [17].

Além dos consumos extra de combustível e respectivo custo, estas tecnologias enfrentam outras barreiras, nomeadamente: estudos adicionais sobre os riscos ecológicos a longo prazo, compreensão mais exaustiva das opções de sequestro e aplicação nas instalações de menor dimensão.

Realisticamente não se espera praticar estas tecnologias em mais do que 20 a 40% das emissões até meados do século XXI [17].



**Figura 2.8** Esquema de princípio de um sistema de pré-combustão.

Resultados experimentais para a captura de CO<sub>2</sub> num sistema por pré-combustão demonstram uma taxa de captura de cerca de 90% do CO<sub>2</sub> total [18].



# 3

## CASO DE ESTUDO

A implementação de um sistema de cogeração com turbina a gás implica o estudo da rede de distribuição de vapor da refinaria, uma vez que a obtenção de energia eléctrica depende do vapor produzido, que por sua vez é obtido pela queima de fuel gás e fuel óleo nas caldeiras.

A *Figura 3.1*, cedida pela Galp Energia, apresenta o circuito de vapor na refinaria (linha de alta, média e baixa pressão). Nela estão representados os turbo grupos (turbinas a vapor) existentes. Parte do vapor produzido é enviado para os turbo grupos com vista à produção de energia eléctrica e vapor de média ou baixa pressão quando necessário. No caso da necessidade eléctrica ser elevada o vapor é expandido completamente seguindo para um condensador e enviado para um tanque de condensados. A água é então reenviada às caldeiras e o ciclo repete-se. O vapor é obtido através da queima de fuel gás e fuel óleo nas caldeiras.

O turbo grupo (TG-4002) apresentado em pormenor na *Figura 3.2* produz cerca de 12MWe para uma alimentação de cerca de 50MW o que traduz uma eficiência de aproximadamente 30%. Na *Tabela 3.1* apresenta-se o balanço energético deste turbo grupo. Assim, pretende-se implementar uma turbina a gás num sistema de cogeração com o objectivo de substituir este turbo grupo, podendo este ser mantido em operação para fins de flexibilidade da rede.

**Tabela 3.1** Balanço energético ao Turbo Grupo 4002.

Turbo Grupo 4002			
<b>Alimentação</b>			<b>MW</b>
<b>Vapor</b>			
54,33	t/h	$H_v$ (kJ/kg)	
63,01	kg/cm <sup>2</sup>	3293,2	49,7
447,57	°C		
<b>Produção</b>			
<b>E.E.</b>			12
<b>Água Quente</b>			
		$H_L$ (kJ/kg)	
46,09	t/h	230,2	2,95
54,98	°C		

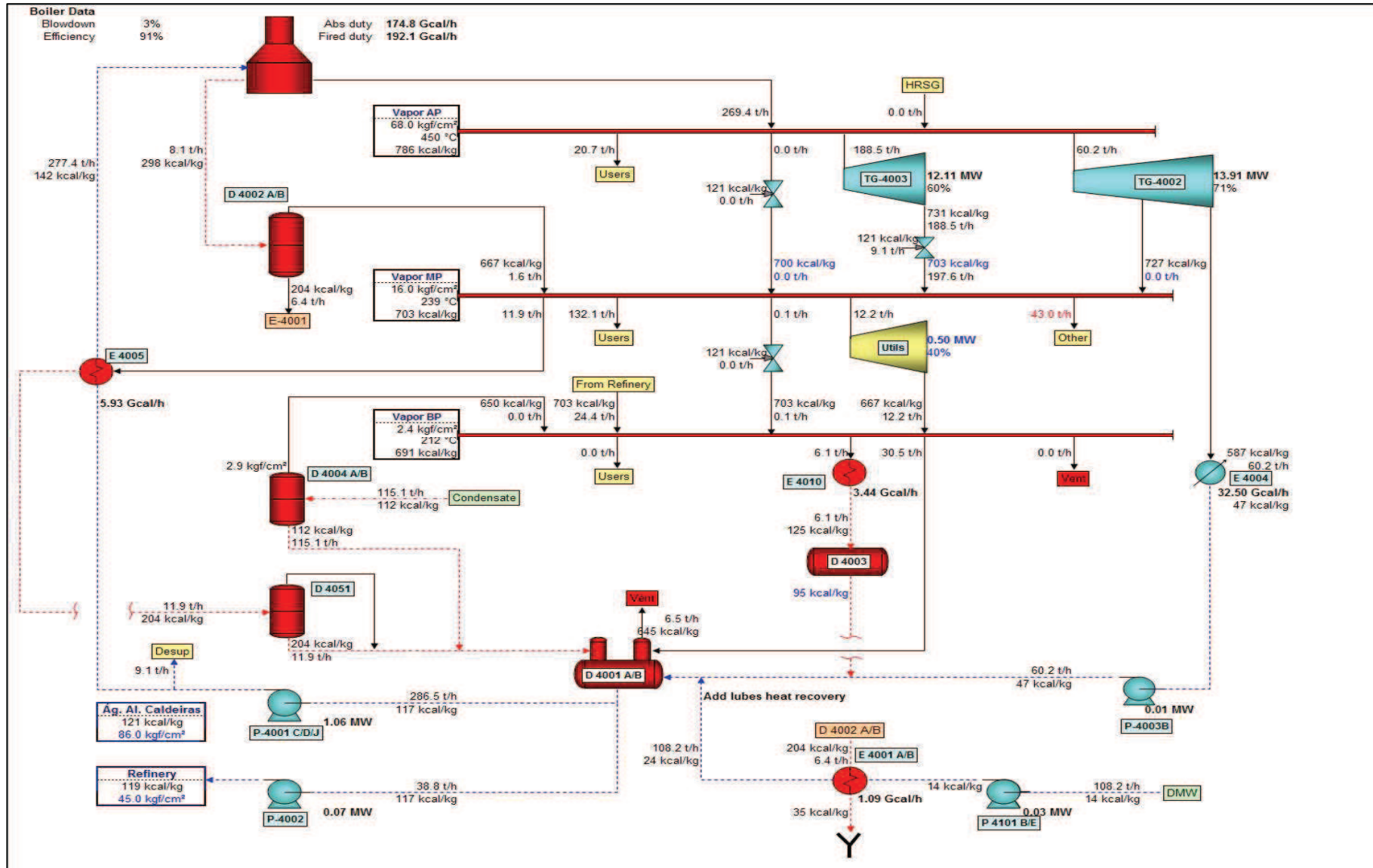


Figura 3.1 Distribuição de vapor na Refinaria do Porto Galp Energia (Caso Base).

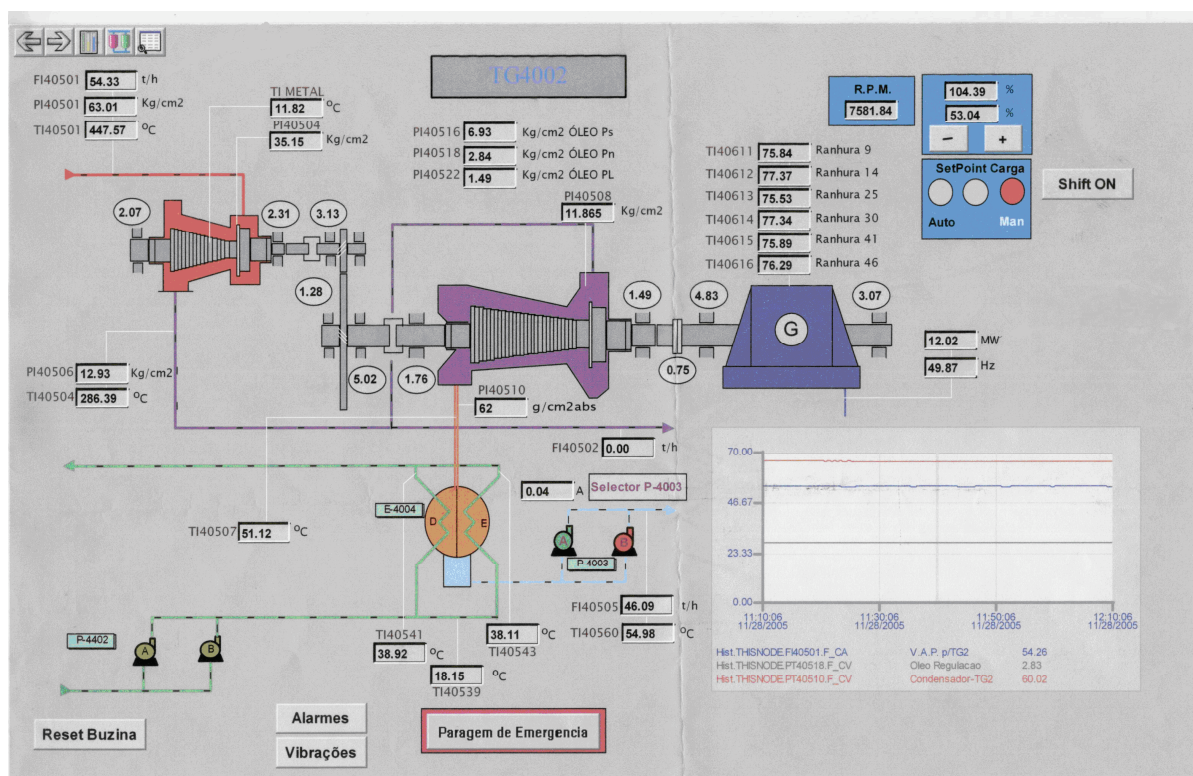


Figura 3.2 Turbo Grupo 4002 da Refinaria do Porto Galp Energia.

O fuel gás disponível na refinaria resulta da mistura de todas as purgas existentes na rede, incluindo *by-pass* directos dos *platformings* (unidades de *reforming* onde é obtido gás com alto nível de hidrogénio).

O fuel gás é uma fonte de energia primária. É obtido como subproduto das unidades processuais da refinaria. É proveniente dos hidrocarbonetos leves contidos no crude e do craqueamento (*cracking*) de hidrocarbonetos mais pesados dos processos de refinação, principalmente do *reforming* da gasolina, *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) e do hidrocraqueamento.

O fuel gás é usado nas caldeiras e fornalhas da refinaria, perfazendo um total de 4 caldeiras e 25 fornalhas. O fuel gás não pode ser armazenado, logo a taxa de produção iguala a taxa de consumo, caso seja detectado um excesso de produção, este é enviado directamente, pelo sistema de segurança da refinaria, para queima na *flare* (chaminé). A quantidade de fuel gás queimado na *flare* é completamente desperdiçada pela refinaria, o que deve ser evitado [19].

O balanço ao fuel gás na refinaria demonstra um excesso de produção (necessário) derivado dos factores apresentados, sendo por isso necessário uma optimização a nível da distribuição do fuel gás na refinaria.

A implementação de uma turbina a gás resulta na redução da quantidade de fuel gás disponível na refinaria o que pode reflectir variações nos consumos de fuel óleo, podendo levar ao aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

### 3.1 Tratamento de dados

A análise de fuel gás apresentada na *Tabela 3.2* permite calcular o poder calorífico deste e respectivo índice Wobbe, de modo a realçar a importância deste gás em termos energéticos. O poder calorífico representa a quantidade de energia por unidade de massa (ou de volume no caso dos gases) libertada na oxidação de um determinado combustível.

Uma vez que as condições de temperatura e pressão variam de local para local, foram estabelecidas as condições NTP (temperatura 20°C, pressão 1atm).

**Tabela 3.2** Análise do fuel gás da refinaria do Porto e respectivo índice Wobbe.

Componente	% (v/v)	PCI		MJ/Nm <sup>3</sup>
		kJ/kg	kJ/Nm <sup>3</sup>	
H <sub>2</sub>	53,0%	119474,1	10752,9	41,9
C <sub>1</sub>	7,9%	49982,1	35856,9	
C <sub>2</sub>	17,7%	47488,4	64015,2	
C <sub>3</sub>	15,5%	46358,7	93094,0	
C <sub>4</sub>	4,4%	45605,6	123009,6	
C <sub>5</sub>	1,3%	44894,3	141866,1	
C <sub>6+</sub>	0,2%	44672,6	165288,5	

Índice Wobbe (MJ/Nm <sup>3</sup> )	
Inferior	Superior
50,85	57,42

Como qualquer processo industrial a variação da pureza do fuel gás à saída de cada unidade não é constante o que afecta consideravelmente a sua pureza em hidrogénio na linha da rede [20]. Essa variação reflecte-se no valor do índice Wobbe, levando à alteração das condições de queima devido à configuração do queimador da turbina. Assim, a alimentação de fuel gás à turbina terá de ser de uma fonte na qual a sua composição seja o mais constante possível, sem prejudicar o desempenho da turbina.

Na *Tabela 3.3* está representada a composição do *tail gás* da unidade purificadora da PSA (*Pressure Swing Adsorption*) no qual a composição de hidrogénio varia entre 28% e 31%, sendo esta a fonte de fuel gás a alimentar a turbina.

**Tabela 3.3** Composição do tail gás da PSA e respectivo índice Wobbe para 28,6% e 31%.

Índice Wobbe (MJ/Nm <sup>3</sup> )		Índice Wobbe (MJ/Nm <sup>3</sup> )	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
55,80	62,03	52,62	58,77
H <sub>2</sub> %(v/v)	28,6	H <sub>2</sub> %(v/v)	31,3
C <sub>1</sub> %(v/v)	23,4	C <sub>1</sub> %(v/v)	29,7
C <sub>2</sub> %(v/v)	22,1	C <sub>2</sub> %(v/v)	18,3
C <sub>3</sub> %(v/v)	13,6	C <sub>3</sub> %(v/v)	14,1
C <sub>4</sub> %(v/v)	6,1	C <sub>4</sub> %(v/v)	4,9
C <sub>5</sub> %(v/v)	4,1	C <sub>5</sub> %(v/v)	1,2
C <sub>6+</sub> %(v/v)	2,1	C <sub>6+</sub> %(v/v)	0,5
	100		100

De acordo com o trabalho realizado anteriormente [21], a optimização da rede de hidrogénio obtida apresenta um caudal de fuel gás de 7600Nm<sup>3</sup>/h a 31,33% de hidrogénio como *tail gás* da PSA. O valor energético desta corrente, assumindo a análise apresentada para a composição do *tail gás* da PSA, é de 100,1 MW (*Tabela 3.4*).

**Tabela 3.4** Análise do *tail gás* da unidade PSA.

Componente	% (v/v)	PCI		MJ/Nm <sup>3</sup>
		kJ/kg	kJ/Nm <sup>3</sup>	
H <sub>2</sub>	31,30%	119474,1	10752,9	47,4
C <sub>1</sub>	29,70%	49982,1	35856,9	
C <sub>2</sub>	18,30%	47488,4	64015,2	
C <sub>3</sub>	14,10%	46358,7	93094,0	
C <sub>4</sub>	4,90%	45605,6	123009,6	
C <sub>5</sub>	1,20%	44894,3	141866,1	
C <sub>6+</sub>	0,50%	44672,6	165288,5	

### 3.1.1 Cálculo de Excesso de Ar

O ar atmosférico é constituído maioritariamente por oxigénio, azoto e árgon, podendo a sua composição ser expressa pelos valores apresentados na *Tabela 3.5*:

**Tabela 3.5** Composição do ar atmosférico.

AR	%
N <sub>2</sub>	78,1
O <sub>2</sub>	20,96
Ar	0,94
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Peso Molecular (g/mol)</b>	<b>28,96</b>

Como referido anteriormente (CAPITULO 2) a gama de percentagem de excesso de ar para a queima de gases de refinaria é de 8-18% [16]. Considerou-se 18% de excesso de ar para a queima do combustível apresentado.

A quantidade de ar teórica, necessária para que ocorra uma combustão completa num motor alimentado com uma mistura de ar e combustível pode ser obtida a partir das reacções químicas de combustão [21]:

- $H_2 + 0,5O_2 \rightarrow H_2O$
- $CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$
- $C_2H_6 + 3,5O_2 \rightarrow 3H_2O + 2CO_2$
- $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 4H_2O + 3CO_2$
- $C_4H_{10} + 6,5O_2 \rightarrow 5H_2O + 4CO_2$
- $C_5H_{12} + 8O_2 \rightarrow 6H_2O + 5CO_2$
- $C_6H_{14} + 9,5O_2 \rightarrow 7H_2O + 6CO_2$

Assumindo a disponibilidade de 7600 Nm<sup>3</sup>/h (6764 kg/h, 31%H<sub>2</sub>), a quantidade estequiométrica necessária de oxigénio pode então ser calculada (Tabela 3.6).

**Tabela 3.6** Quantidade estequiométrica de oxigénio para queima.

Componente	kmol/h	O <sub>2</sub> (kmol/h)
H <sub>2</sub>	99,6	49,8
C <sub>1</sub>	94,5	189,0
C <sub>2</sub>	58,2	203,8
C <sub>3</sub>	44,9	224,3
C <sub>4</sub>	15,6	101,3
C <sub>5</sub>	3,8	30,5
C <sub>6+</sub>	1,6	15,1
<b>TOTAL</b>	<b>318,1</b>	<b>813,8</b>

A quantidade de excesso de ar necessária para a queima do combustível apresentado é:

O <sub>2</sub> (kmol/h)	813,8
+18% excesso	960,3
<b>Ar Total (kmol/h)</b>	<b>4581,6</b>

### 3.2 Programa de Simulação

A utilização de um software de simulação no apoio à decisão tem sido cada vez mais importante na implementação de sistemas e sua optimização na indústria.

A obtenção de resultados viáveis e fidedignos na simulação de processos industriais (permutas de calor, reacções químicas, etc.) implica a utilização de um software de simulação credível e reconhecido pela indústria química.

O software comercial ASPEN PLUS da ASPENTECH proporciona a realização de estudos de processo através de simulação computacional em estado estacionário

A ASPEN ENGINEERING SUITE (AES) é um ambiente integrado de engenharia que oferece um valor empresarial através da criação, gestão e implementação do conhecimento de processos de engenharia [22].

A componente ASPEN PLUS permite ao utilizador realizar simulações em estado estacionário, sendo assim possível modelar uma variedade de processos industriais, incluindo: química, petroquímica e refinação.

O programa inclui uma biblioteca de unidades padrão de operação (bombas, permutadores de calor, reactores, compressores, separadores, etc.) que representam equipamento utilizado na indústria química.

A simulação de um processo de instalação é realizada mediante a especificação de configuração de operações unitárias, de fluxos de matéria, de calor e trabalho. Inclui também uma extensa base de dados contendo as propriedades físicas de inúmeros de componentes puros.

As simulações são realizadas pela convergência de algoritmos, suficientes para resolver balanços de matéria e energéticos, bem como equações de equilíbrio.

Para poder construir um modelo de processo no programa é necessário contemplar os seguintes passos:

- Definição do *flowsheet*: todas as correntes de entrada do processo têm de estar completamente definidas, assim como as unidades de operação e a sua interligação;
- Componentes químicos: todos os componentes químicos do processo, desde reagentes, intermediários e produtos devem ser especificados;
- Condições de operação: as condições de operação, tais como temperatura, pressão, etc., têm de ser especificadas para cada unidade de operação.

### **3.2.1 ASPEN e Turbina a Gás**

Não dispondo o software apresentado de um modelo pré-definido para uma turbina a gás, foi necessário criar um através dos modelos existentes. Helen Magnusson [7] apresenta um sistema de cogeração recorrendo ao uso de um compressor, uma turbina e uma câmara de combustão (reactor Gibbs, multifase, RGibbs).

A adaptação ao caso de estudo implica alterações ao esquema base. A representação da turbina a gás será assim composta por:

- Compressor Multi-estágio;
- Câmara de combustão (RGibbs);
- Compressor Multi-estágio (turbina)

O número de estágios estabelecido para o compressor multi-estágio (10 estágios) e para a turbina (3 estágios) provem de dados bibliográficos de turbinas a gás que reflectem uma produção de energia eléctrica de 17-27MWe [23].

O modelo computacional utilizado no software para o desenvolvimento do processo em questão, será o Peng-Robinson, pois permite obter em larga escala resultados fiáveis e válidos para processos que incluam gases, os quais são compostos por hidrocarbonetos e gases leves tais como, hidrogénio.

### 3.3 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo

O consumo de fuel gás e fuel óleo na refinaria é efectuado mediante as necessidades térmicas dos processos existentes. No entanto a queima de ambos os combustíveis está dependente das emissões destes. A legislação actual impõe um limite máximo de 1700ppm de SO<sub>2</sub> presente nos gases rejeitados para a atmosfera. Limite actualmente cumprido pela refinaria.

Assim, após o consumo de gás no sistema de cogeração, é necessário otimizar a distribuição do fuel gás e fuel óleo remanescente na rede de forma a cumprir a legislação existente.

#### 3.3.1 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Recorre-se à programação linear para otimizar problemas onde a função objectivo e as suas restrições são lineares. É uma ferramenta importante no campo da optimização por diversas razões, estudos de desenvolvimento, distribuição de caudais numa rede, planeamento, design, etc. [20].

A aplicação da programação linear no caso de estudo resulta na tabela apresentada na *Figura 3.3*, onde demonstra a distribuição das *fontes*, fuel óleo e fuel gás, para as *consumidoras*, fornalhas da Refinaria [5].

Todo o fuel gás e fuel óleo disponível são considerados *Fontes* do sistema, pois são correntes capazes de fornecer energia ao sistema. Todas as unidades que retiram energia do sistema (fornalhas) são denominadas de *Consumidoras*.

	<b>Fontes</b>		
<b>Consumidoras</b>	Fuel Gás	Fuel Oleo	Energia
<b>Fornalhas</b>	←	↓	

**Figura 3.3** Tabela representativa da distribuição das *Fontes* para as *Consumidoras*.

#### Restrições das Consumidoras

A soma do valor da energia correspondente ao fornecido pelo fuel óleo e fuel gás tem de ser igual ou maior à energia necessária resultante da queima no processo (fornalha).

$$F_G \times E_G + F_O \times E_O \geq \text{Energia} \quad 3.1$$

O SO<sub>2</sub> mínimo (1700 ppm) tem de ser maior ou igual ao SO<sub>2</sub> emitido pela queima dos combustíveis.

$$SO_{2,\text{mínimo}} \geq \sum_i^n SO_{2,FG_i} + \sum_i^n SO_{2,FO_i} \quad 3.2$$

### Restrições das Fontes

A quantidade de fuel gás existente tem de ser superior ou igual ao fuel gás consumido nas fornalhas. O mesmo se aplica ao fuel óleo.

$$F_G \geq \sum_i^n F_{G_i} \quad 3.3$$

$$F_O \geq \sum_i^n F_{O_i} \quad 3.4$$

### Função Objectivo

Dependendo do resultado final desejado pode-se enumerar várias funções objectivo, no entanto a minimização do SO<sub>2</sub> emitido, irá por sua vez minimizar o consumo de fuel óleo, pois a queima deste emite uma quantidade superior de SO<sub>2</sub>, aproveitando todo o fuel gás disponível.

### Minimização do total de SO<sub>2</sub> emitido:

$$O = \min \sum_i^n SO_{2,\text{emitido } F_i} \quad 3.5$$

O sistema de unidades apresentado neste trabalho vai de encontro ao utilizado na refinaria. Não é apresentado um sistema único de unidades, mas sim aquele o qual pode ser comparativo aos resultados recolhidos da refinaria.



## MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – SITUAÇÃO ACTUAL

### 4.1 Caso Base

O *Caso Base* representa a situação actual de operação da refinaria. Serve de método comparativo às simulações que irão ser efectuadas. A refinaria queima 24,1t/h de fuel óleo e 16,4t/h de fuel gás (53% $H_2$ ) nas caldeiras e fornalhas. Os consumos de queima de fuel gás e fuel óleo nas caldeiras estão exemplificados na *Figura 4.1*.

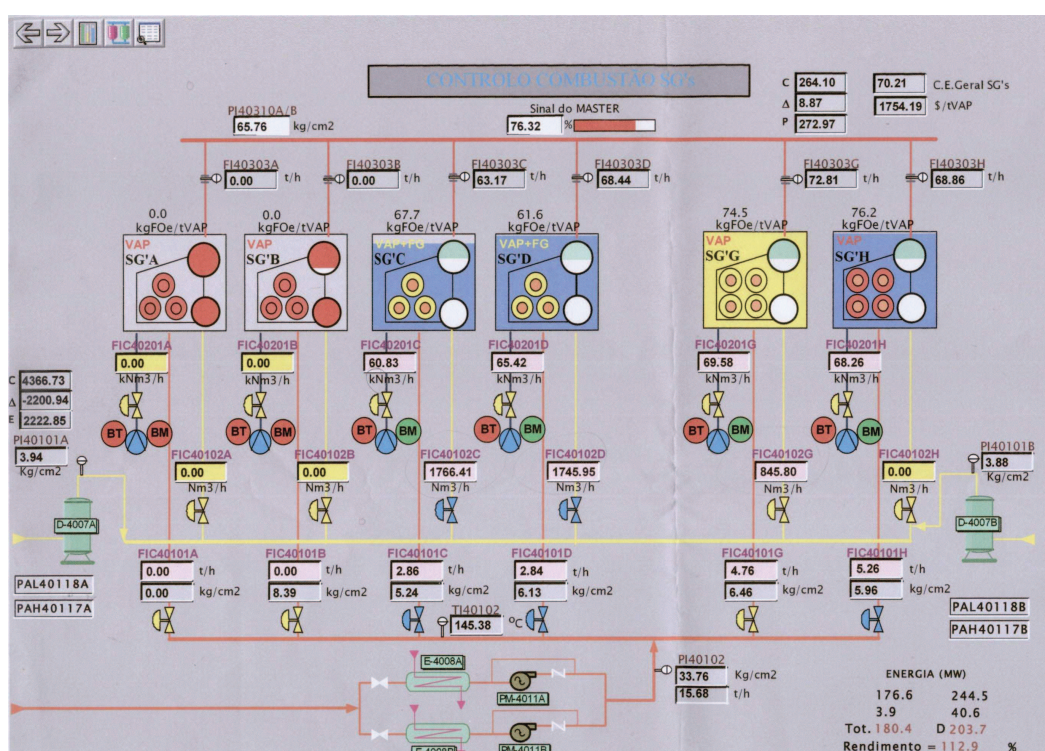


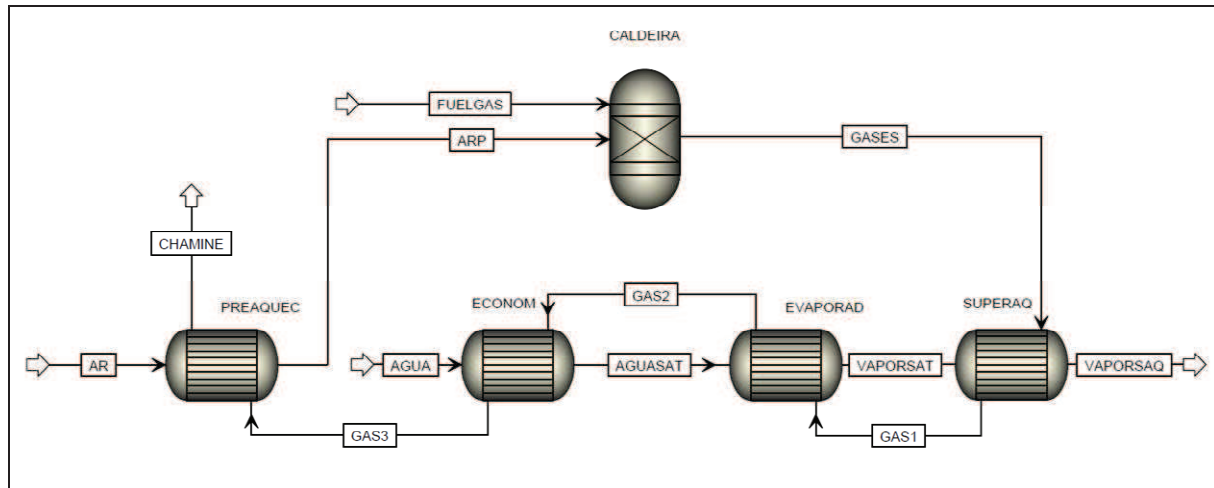
Figura 4.1 Produção de vapor nas caldeiras da refinaria.

Na *Tabela 4.1* estão resumidos os consumos de fuel gás, fuel óleo e vapor da refinaria.

Tabela 4.1 Consumos da refinaria.

<b>Fuel Gás (t/h)</b>		
	Turbina a Gás	0,0
	Caldeiras	3,3
	Processo	13,1
<b>Fuel Óleo (t/h)</b>		
	Caldeiras	15,7
	Processo	8,4
<b>Vapor (t/h)</b>		
	TG-4002	60,2
	Processo	209,8

Uma vez que a composição de fuel óleo é desconhecida, foi realizada uma simulação (*Figura 4.2*) de uma caldeira a queimar fuel gás, para prever a quantidade de vapor produzida vs fuel gás consumido e estabelecer uma relação entre o vapor produzido vs fuel óleo consumido.



**Figura 4.2** Simulação da queima de fuel gás numa caldeira.

Na simulação apresentada (Anexo 1) a queima de 3,3t/h de fuel gás origina a produção de 45t/h de vapor (nas condições de vapor de alta pressão da refinaria, 66,7bar a 450°C), o que leva a concluir que a queima de 15,7t/h de fuel óleo produz 225t/h de vapor perfazendo um total de 270t/h.

No que respeita à produção de energia eléctrica, foi também realizada uma simulação de uma turbina a vapor nas condições apresentadas na *Figura 3.1*, obtendo-se 13,3MWe, de forma a determinar o comportamento do TG-4002 no simulador (Anexo 2).

## 4.2 Simulação Inicial

Na *Figura 4.3* está representado o diagrama do processo de simulação. A turbina a gás é composta pelo *Mcompres*, a *Câmara de Combustão* e a *MTurbina*, sendo o sistema de recuperação de calor composto pelos restantes blocos de equipamento.

O bloco *Permuta* apesar da sua representação, é uma simplificação de um conjunto de permutadores, mais especificamente, composto por: economizador, evaporador e sobre aquecedor, tal como exemplificado na *Figura 4.2*. A bomba é também uma simplificação do conjunto de, uma bomba para elevar a pressão da água à saída do TG-4002 até ao tanque de condensados (pressão atmosférica), tanque de condensados, e uma outra bomba para elevar a pressão da água do tanque de condensados até a pressão desejada, que neste caso de estudo é de 86kgf/cm<sup>2</sup>.

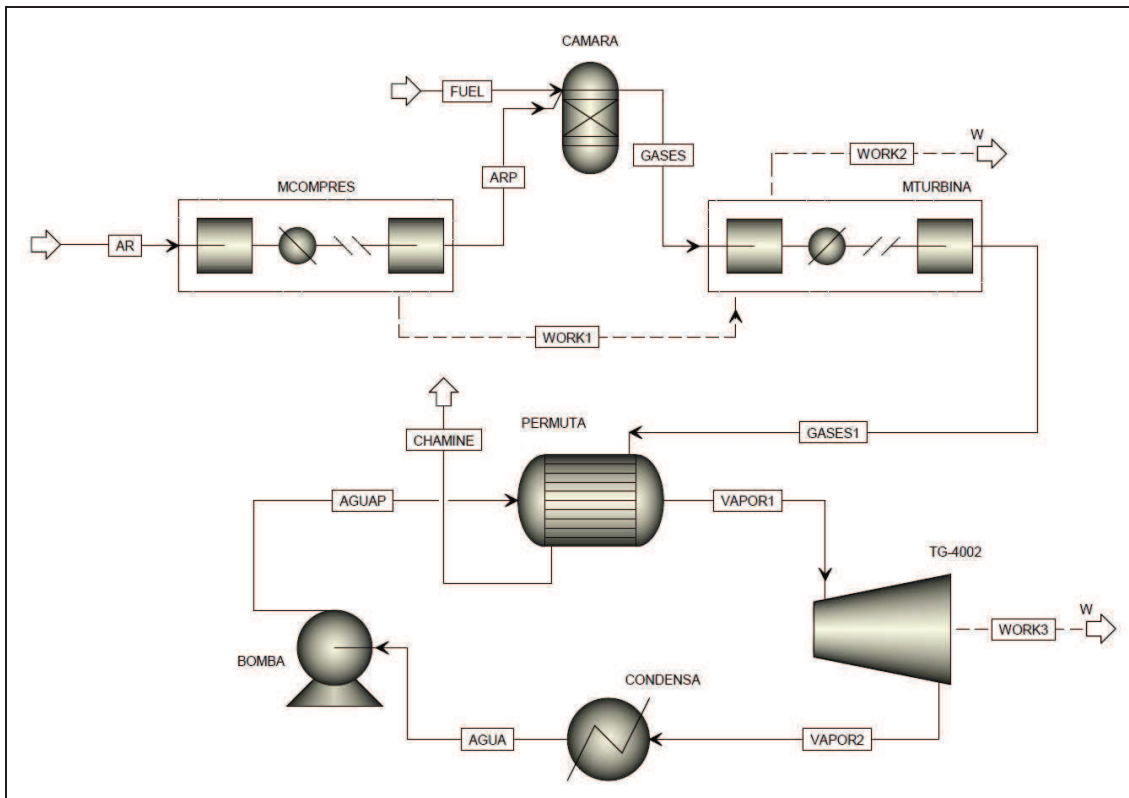


Figura 4.3 Diagrama do processo de simulação do sistema de cogeração.

#### 4.2.1 Correntes e componentes

No processo de simulação do Aspen Plus é necessário definir todas as correntes de entrada, as correntes de saída e as intermediárias são calculadas automaticamente pelo programa. No flowsheet apresentado existem três correntes de entrada no sistema, e as suas especificações são apresentadas na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 Descrição das correntes de entrada do sistema.

Nome do Modelo	Descrição	Especificações
AR	Alimentação de ar ao multicompressor para queima.	Pressão: 1bar Temperatura: 20°C Caudal: 36,9kg/s
FUEL	Alimentação de gás combustível para a câmara de combustão.	Pressão: 12bar Temperatura: 30°C Caudal: 6,8t/h
ÁGUA	Para produção de vapor.	Pressão: 0,5bar Temperatura: 25°C Caudal: 55t/h

#### 4.2.2 Condições de Operação

As especificações necessárias para todas as unidades de operação estão descritas na *Tabela 4.3*:

**Tabela 4.3** Descrição das unidades de operação do sistema.

Nome do Modelo	Descrição	Especificações
MCOMPRESS	Compressor multi estágio	Número de Estágios: 10 Pressão de Descarga: 12bar
CAMARA	Câmara de combustão onde é queimado o fuel gás	Pressão: 11,5bar <i>Heavy Duty</i> : 0 MW
MTURBINA	Gera trabalho para impulsionar o <i>Mcompress</i> Produção de Energia Eléctrica	Numero de Estágios: 3
PERMUTA	Evaporador / Sobreaquecedor	Temperatura de saída da Corrente fria: 450°C
TG-4002	Turbina a Vapor	Pressão de Descarga: 0,5bar
CONDENSA	Condensador, produção de calor para aquecimento local	Pressão: 0,5bar Temperatura: 25°C
BOMBA	Bomba de água	Pressão de Descarga: 66,69bar

Na *Tabela 4.4* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração.

**Tabela 4.4** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso Base*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>										
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	3,2	99,6	3,2	3,2	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	94,5	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	58,2	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	44,9	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	15,6	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	3,8	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	1,6	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	3108,5	3108,5	---	---	751,5	---	751,5	751,5	3108,5	3108,5
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	426,3	---	426,3	426,3	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	0,04	---	0,04	0,04	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	961,4	961,4	139,0	---	139,0	139,0	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	3582,3	3582,3	3567,1	---	3567,1	3567,1	---	---
AR	---	---	43,1	43,1	43,1	---	43,1	43,1	---	---
NO	---	---	---	---	30,4	---	30,4	30,4	---	---
CO	---	---	---	---	10,2	---	10,2	10,2	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	3108,5	3108,5	4586,9	4586,9	4970,8	318,1	4970,8	4970,8	3108,5	3108,5
<b>Total Flow (t/h)</b>	56,0	56,0	132,8	132,8	139,6	6,8	139,6	139,6	56,0	56,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	26,1	20,0	347,3	160,4	30,0	2053,0	1206,4	450,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	84,3	1,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	68,0	0,5

Na simulação apresentada queima-se 6,8t/h de fuel gás (100,1MW) e obtém-se uma produção de 30,2MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 56t/h, com um valor energético de 51,2MW, obtendo um rendimento de 81,3%.

A quantidade vapor produzida foi estimada de acordo com a temperatura de saída dos gases do sistema de recuperação de calor, aproximadamente 150°C, de acordo com dados bibliográficos [24].

No entanto e como referido anteriormente, actualmente as turbinas não suportam temperaturas muito elevadas (inferiores a 1500°C).

A temperatura da câmara de combustão obtida, 2053°C, ultrapassa as condições de operação normais das turbinas actuais pelo que torna esta simulação fisicamente impossível de se realizar (limite metalúrgico da turbina).

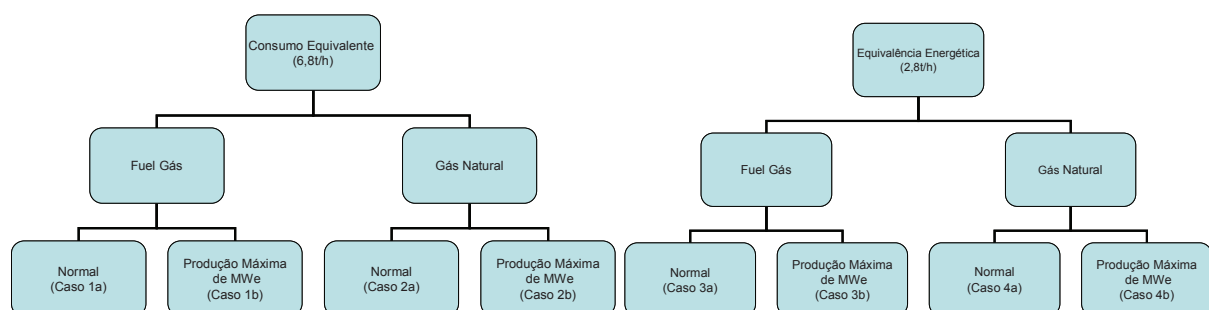
Os resultados pormenorizados do funcionamento dos equipamentos apresentados podem ser consultados no Anexo 3.

Como referido anteriormente, o excesso de ar utilizado na combustão (razão de 3 ou 4), não providencia apenas melhores condições de queima mas também o correcto arrefecimento dos gases ao longo da turbina. Assim será estimada a quantidade de ar a usar na simulação para a obtenção de uma temperatura de operação que permita o correcto funcionamento da turbina a gás.

Foram realizadas dois grupos de simulações:

- Consumo equivalente ao total de *tail gas* disponível – Consumo Equivalente;
- Consumo equivalente à produção actual de energia eléctrica – Equivalência Energética

Para cada grupo de simulação são utilizados dois tipos de combustíveis: fuel gás e gás natural e para cada um deles é simulada a produção máxima de energia eléctrica na turbina a gás. Perfazendo um total de oito simulações. Na *Figura 4.4* está esquematizado o grupo de simulações efectuado.



**Figura 4.4** Grupo de simulações efectuado.

### **4.3 Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – Caso Base**

A recolha de informação dos consumos das fornalhas da refinaria indica um consumo de 273,18Gcal/h resultante da queima de combustível de 13,10t/h de fuel gás e 10,34t/h de fuel óleo. No Anexo 4 pode ser consultada a distribuição de fuel gás e fuel óleo do caso base.

# 5

## MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – CONSUMO EQUIVALENTE

### 5.1 Arrefecimento da Temperatura do sistema com excesso de ar – Caso 1a

Para a obtenção de uma temperatura dos gases à entrada da turbina dentro dos limites de operação, a quantidade de ar estabelecida, a usar na combustão, é de 90kg/s.

Na *Tabela 5.1* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 1a*.

**Tabela 5.1** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 1a*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>										
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	94,3	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	89,5	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	55,2	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	42,5	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	14,8	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	3,6	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	2553,4	2553,4	---	---	714,9	---	714,9	714,9	2553,4	2553,4
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	413,5	---	413,5	413,5	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	0,1	---	0,1	0,1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	2344,9	2344,9	1570,0	---	1570,0	1570,0	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	8737,4	8737,4	8733,6	---	8733,6	8733,6	---	---
AR	---	---	105,2	105,2	105,2	---	105,2	105,2	---	---
NO	---	---	---	---	7,5	---	7,5	7,5	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	2553,4	2553,4	11187,5	11187,5	11544,9	301,4	11544,9	11544,9	2553,4	2553,4
<b>Total Flow (t/h)</b>	46,0	46,0	324,0	324,0	330,4	6,4	330,4	330,4	46,0	46,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	26,2	20,0	347,3	150,6	30,0	1134,4	564,0	450,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	84,3	1,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	66,7	0,5

Na simulação do *Caso 1a* obtém-se uma produção de 26,8MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 46t/h, com um valor energético de 42,1MW, resultante da queima de 6,4t/h de fuel gás (94,8MW).

No Anexo 5 podem ser consultados os resultados do funcionamento dos equipamentos do sistema de simulação do *Caso 1a*.

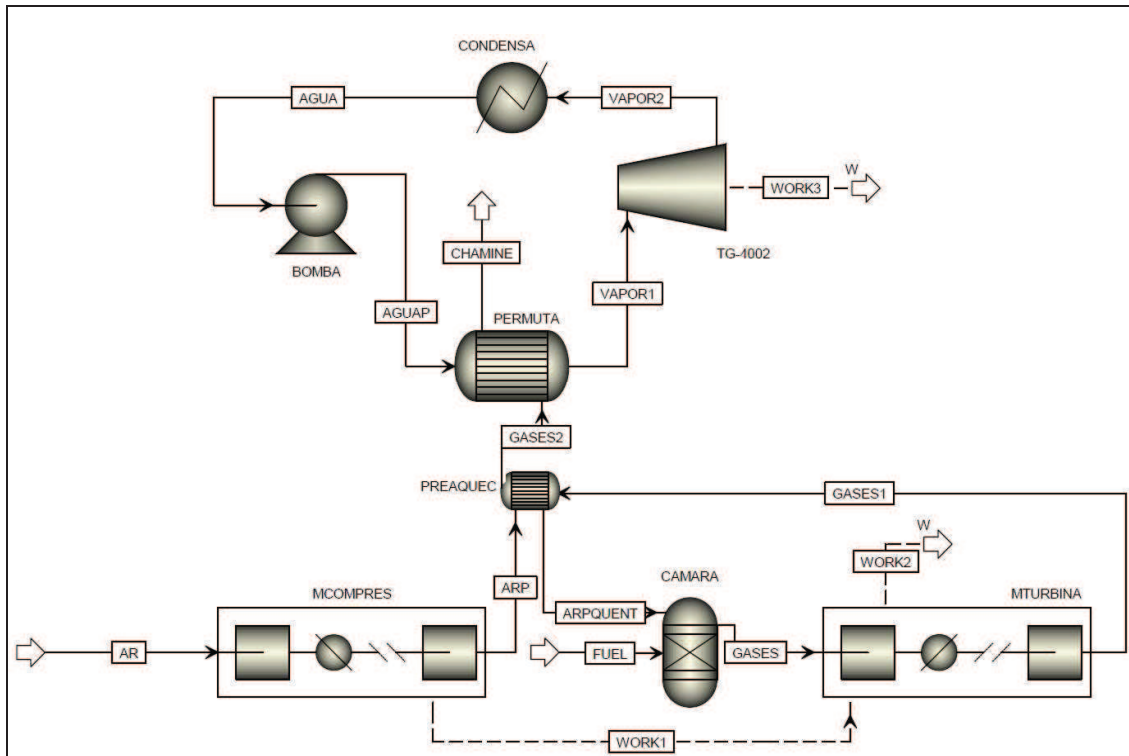
### 5.2 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – Caso 1b

No caso da necessidade eléctrica da refinaria aumentar, existem processos de optimização apresentados por vários autores [25], que permitem o aumento de produção na turbina a gás (atendendo às características da turbina).

Através do arrefecimento do ar durante a compressão e posterior aquecimento do ar à entrada da câmara de combustão, é possível aumentar a produção de energia eléctrica,

resultando num menor trabalho necessário na compressão do ar, sacrificando no entanto a produção de vapor, pois o ar é aquecido com os gases de saída da turbina.

Na *Figura 5.1* está representado o diagrama do processo para a produção máxima de energia eléctrica na turbina a gás. Após a compressão o ar é aquecido com os gases de saída da turbina num pré-aquecedor (*Preaquec*) antes de entrar na câmara de combustão.



**Figura 5.1** Diagrama do processo de simulação do sistema de cogeração do *Caso 1b*.

Na *Tabela 5.2* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 1b*.

**Tabela 5.2** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 1b*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	ARPQUENT	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	GASES2	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PREAQUEC	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	PREAQUEC	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>												
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	94,3	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	---	89,5	---	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	---	55,2	---	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	---	42,5	---	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	14,8	---	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	3,6	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	1332,2	1332,2	---	---	---	714,9	---	714,9	714,9	714,9	1332,2	1332,2
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	413,5	---	413,5	413,5	413,5	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	0,1	---	0,1	0,1	0,1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	2344,9	2344,9	2344,9	1570,0	---	1570,0	1570,0	1570,0	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	8737,4	8737,4	8737,4	8733,6	---	8733,6	8733,6	8733,6	---	---
AR	---	---	105,2	105,2	105,2	105,2	---	105,2	105,2	105,2	---	---
NO	---	---	---	---	---	7,5	---	7,5	7,5	7,5	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	1332,2	1332,2	11187,5	11187,5	11187,5	11544,9	301,4	11544,9	11544,9	11544,9	1332,2	1332,2
<b>Total Flow (t/h)</b>	24,0	24,0	324,0	324,0	324,0	330,4	6,4	330,4	330,4	330,4	24,0	24,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	25,4	20,0	108,4	347,3	151,7	30,0	1134,4	564,0	348,4	239,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	19,6	1,0	12,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	1,1	15,7	0,5

Na simulação do *Caso 1b* obtém-se uma produção de 33,6MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 24t/h nas condições de média pressão da refinaria (15,7bar, 239°C).

Os resultados pormenorizados do funcionamento dos equipamentos apresentados podem ser consultados no Anexo 6.

### 5.3 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – *Caso 2a*

O uso de gás natural (GN), 6,4t/h (88,2MW) no sistema de cogeração permite uma redução no consumo de fuel óleo na refinaria, no entanto terá o custo adicional da sua importação. O objectivo desta simulação é a redução das emissões resultantes da queima de fuel óleo, uma vez que o fuel gás disponível para queima aumenta.

Na *Tabela 5.3* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 2a*.

**Tabela 5.3** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 2a*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>										
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	314.2	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	28.5	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	7.2	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	1.5	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	2553.4	2553.4	---	---	761.9	---	761.9	761.9	2553.4	2553.4
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	409.3	0.9	409.3	409.3	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	0.1	---	0.1	0.1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	2344.9	2344.9	1551.7	---	1551.7	1551.7	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	8737.4	8737.4	8754.0	20.3	8754.0	8754.0	---	---
AR	---	---	105.2	105.2	105.2	---	105.2	105.2	---	---
NO	---	---	---	---	7.3	---	7.3	7.3	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
He	---	---	---	---	0.8	0.8	0.8	0.8	---	---
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	0.3	---	---	---	---
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	1.1	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	2553.4	2553.4	11187.5	11187.5	11589.5	372.6	11589.5	11589.5	2553.4	2553.4
<b>Total Flow (t/h)</b>	46.0	46.0	324.0	324.0	331.0	7.1	331.0	331.0	46.0	46.0
<b>Temperature °C</b>	25.0	26.2	20.0	347.3	150.7	30.0	1131.6	562.5	450.0	83.6
<b>Pressure (bar)</b>	0.5	84.3	1.0	12.0	1.0	12.0	11.5	1.1	66.7	0.5

Na simulação do *Caso 2a* obtém-se uma produção de 26,9MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 46t/h, com um valor energético de 42,1MW.

No Anexo 7 podem ser consultados os resultados do funcionamento dos equipamentos do sistema de simulação do *Caso 2a*.

### 5.4 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – *Caso 2b*

Na

Tabela 5.4 estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 2b*.

**Tabela 5.4** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 2b*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	ARPQUEU	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	GASES2	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PREAQUEC	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	PREAQUEC	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>												
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	---	316,4	---	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	---	28,7	---	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	---	7,3	---	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	1,5	---	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	1,51	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	0,34	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	1332,2	1332,2	---	---	---	767,3	0,30	767,3	767,3	767,3	1332,2	1332,2
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	412,2	---	412,2	412,2	412,2	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	0,1	0,87	0,1	0,1	0,1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	2344,9	2344,9	2344,9	1546,1	---	1546,1	1546,1	1546,1	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	8737,4	8737,4	8737,4	8754,0	20,42	8754,0	8754,0	8754,0	---	---
AR	---	---	105,2	105,2	105,2	105,2	---	105,2	105,2	105,2	---	---
NO	---	---	---	---	---	7,5	---	7,5	7,5	7,5	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
He	---	---	---	---	---	0,756	0,756	0,756	0,756	0,756	---	---
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	0,302	---	---	---	---	---
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	1,134	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	1332,2	1332,2	11187,5	11187,5	11187,5	11593,1	377,4	11593,1	11593,1	11593,1	1332,2	1332,2
<b>Total Flow (t/h)</b>	24,0	24,0	324,0	324,0	324,0	331,1	7,1	331,1	331,1	331,1	24,0	24,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	25,4	20,0	108,4	347,3	155,6	30,0	1136,5	565,8	351,3	239,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	19,6	1,0	12,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	1,1	15,7	0,5

Na simulação do *Caso 2b* obtém-se uma produção de 33,7MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 24t/h nas condições de média pressão da refinaria (15,7bar, 239°C).

Os resultados pormenorizados do funcionamento dos equipamentos apresentados podem ser consultados no Anexo 8.

## 5.5 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – Consumo Equivalente

Após as simulações realizadas e conhecendo a quantidade de vapor produzida em cada caso, é possível determinar a quantidade de fuel óleo necessário nas caldeiras para produzir o vapor remanescente necessário na refinaria. Assim determina-se a quantidade disponível de fuel óleo para a distribuição nas fornalhas.

Na *Tabela 5.5* está representado o resumo dos resultados obtidos para os casos apresentados anteriormente.

**Tabela 5.5** Consumo de fuel gás e fuel óleo nas fornalhas da refinaria.

<b>Caso Base</b>			
	<b>FG (t/h)</b>	13,10	172,9 (Gcal/h)
	<b>FO (t/h)</b>	10,34	100,3 (Gcal/h)
<b>Caso 1a</b>			
	<b>FG (t/h)</b>	10,98	144,9 (Gcal/h)
	<b>FO (t/h)</b>	13,22	128,3 (Gcal/h)
<b>Caso 1b</b>			
	<b>FG (t/h)</b>	---	---
	<b>FO (t/h)</b>	---	---
<b>Caso 2a</b>			
	<b>FG (t/h)</b>	16,45	217,1 (Gcal/h)

	<b>FO</b> (t/h)	5,78	56,1 (Gcal/h)
<b>Caso 2b</b>			
	<b>FG</b> (t/h)	16,45	217,1 (Gcal/h)
	<b>FO</b> (t/h)	5,78	56,1 (Gcal/h)

A distribuição individual de combustível pelas fornalhas está apresentada no Anexo 9, respeitando os limites impostos pela legislação.



# 6

## MODELAÇÃO DO PROCESSO DE COGERAÇÃO COM TURBINA A GÁS – EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA

As simulações apresentadas anteriormente retratam o consumo total do *tail gás* da unidade purificadora PSA na turbina a gás, obtendo uma produção de energia eléctrica elevada, o que irá reflectir num elevado investimento no sistema de cogeração. Assim, o dimensionamento do sistema de cogeração pode ser efectuado mediante as necessidades eléctricas actuais da refinaria.

Projectando um sistema de cogeração com turbina a gás para a produção de 13MWe (produção actual do TG-4002), diminuirá os custos associados à sua instalação bem como o consumo de *tail gás* desta, reflectindo no entanto, uma diminuição na produção de vapor. Este capítulo apresenta as simulações efectuadas, os balanços de fuel gás e fuel óleo e a produção de vapor, para a obtenção de energia eléctrica na turbina a gás na ordem de grandeza da produção actual do TG-4002.

Nas simulações apresentadas de seguida, as alterações efectuadas correspondem apenas ao valor do *tail gás* consumido, 2,8t/h (41,4MW), e a quantidade de ar de combustão, 37kg/s. A quantidade de gás natural a importar será de 2,8t/h (38,5MW).

### 6.1 Arrefecimento da Temperatura do Sistema com Excesso de Ar – Caso 3a

Na *Tabela 6.1* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 3a*.

**Tabela 6.1** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 3a*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>										
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	41,2	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	39,1	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	24,1	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	18,6	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	6,5	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	1,6	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	0,7	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	1110,2	1110,2	---	---	312,4	---	312,4	312,4	1110,2	1110,2
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	180,7	---	180,7	180,7	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	0,1	---	0,1	0,1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	964,0	964,0	625,2	---	625,2	625,2	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	3592,0	3592,0	3590,1	---	3590,1	3590,1	---	---
AR	---	---	43,2	43,2	43,2	---	43,2	43,2	---	---
NO	---	---	---	---	3,8	---	3,8	3,8	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	1110,2	1110,2	4599,3	4599,3	4755,5	131,7	4755,5	4755,5	1110,2	1110,2
<b>Total Flow (t/h)</b>	20,0	20,0	133,2	133,2	136,0	2,8	136,0	136,0	20,0	20,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	26,8	20,0	347,3	159,7	30,0	1177,5	593,1	450,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	84,3	1,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	66,7	0,5

Na simulação do Caso 3a obtém-se uma produção de 11,9MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 20t/h, com um valor energético de 18,3MW.

No Anexo 10 podem ser consultados os resultados do funcionamento dos equipamentos do sistema de simulação do Caso 3a.

## 6.2 Optimização para produção máxima de energia eléctrica – Caso 3b

Na Tabela 6.2 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o Caso 3b

**Tabela 6.2** Caracterização das correntes resultantes da simulação do Caso 3b.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	ARPQUENT	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	GASES2	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PREAQUEC	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	PREAQUEC	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>												
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	41,2	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	---	39,1	---	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	---	24,1	---	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	---	18,6	---	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	6,5	---	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	1,6	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	0,7	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	666,1	666,1	---	---	---	312,4	---	312,4	312,4	312,4	666,1	666,1
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	180,7	---	180,7	180,7	180,7	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	0,1	---	0,1	0,1	0,1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	964,0	964,0	964,0	625,2	---	625,2	625,2	625,2	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	3592,0	3592,0	3592,0	3590,1	---	3590,1	3590,1	3590,1	---	---
AR	---	---	43,2	43,2	43,2	43,2	---	43,2	43,2	43,2	---	---
NO	---	---	---	---	---	3,8	---	3,8	3,8	3,8	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	666,1	666,1	4599,3	4599,3	4599,3	4755,5	131,7	4755,5	4755,5	4755,5	666,1	666,1
<b>Total Flow (t/h)</b>	12,0	12,0	133,2	133,2	133,2	136,0	2,8	136,0	136,0	136,0	12,0	12,0
<b>Temperature °C</b>	25,0	25,5	20,0	107,3	347,3	141,0	30,0	1177,5	593,1	378,8	239,0	83,6
<b>Pressure (bar)</b>	0,5	19,6	1,0	12,0	12,0	1,0	12,0	11,5	1,1	1,1	15,7	0,5

Na simulação do Caso 3b obtém-se uma produção de 14,8MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 12t/h, com um valor energético de 9,6MW. Devido ao arrefecimento na compressão o sistema não consegue produzir vapor de alta pressão, sendo o vapor obtido distribuído na linha de média pressão (16kgf/cm<sup>2</sup>, 239°C).

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 1,6MWe adicionais e 7,9MW para aquecimento local.

Os resultados pormenorizados do funcionamento dos equipamentos apresentados podem ser consultados no Anexo 11.

## 6.3 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – Caso 4a

Na Tabela 6.3 estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o Caso 4a.

**Tabela 6.3** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 4a*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>										
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	138.2	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	12.5	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	3.2	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	0.7	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	1110.2	1110.2	---	---	335.0	---	335.0	335.0	1110.2	1110.2
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	180.0	0.4	180.0	180.0	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	0.1	---	0.1	0.1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	964.0	964.0	615.0	---	615.0	615.0	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	3592.0	3592.0	3599.0	8.9	3599.0	3599.0	---	---
AR	---	---	43.2	43.2	43.2	---	43.2	43.2	---	---
NO	---	---	---	---	3.8	---	3.8	3.8	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
He	---	---	---	---	0.3	0.3	0.3	0.3	---	---
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	0.1	---	---	---	---
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	0.5	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	1110.2	1110.2	4599.3	4599.3	4776.1	163.8	4776.1	4776.1	1110.2	1110.2
<b>Total Flow (t/h)</b>	20.0	20.0	133.2	133.2	136.3	3.1	136.3	136.3	20.0	20.0
<b>Temperature °C</b>	25.0	26.8	20.0	347.3	163.4	30.0	1178.9	594.4	450.0	83.6
<b>Pressure (bar)</b>	0.5	84.3	1.0	12.0	1.0	12.0	11.5	1.1	66.7	0.5

Na simulação do *Caso 4a* obtém-se uma produção de 11,9MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 20t/h, com um valor energético de 18,3MW.

No Anexo 12 podem ser consultados os resultados do funcionamento dos equipamentos do sistema de simulação do *Caso 4a*.

#### 6.4 Uso de Gás Natural no Sistema de Cogeração com Turbina a Gás – *Caso 4b*

Na *Tabela 6.4* estão apresentados os resultados obtidos da simulação do sistema de cogeração para o *Caso 4b*.

**Tabela 6.4** Caracterização das correntes resultantes da simulação do *Caso 4b*.

Corrente	AGUA	AGUAP	AR	ARP	ARPQUENT	CHAMINE	FUEL	GASES	GASES1	GASES2	VAPOR1	VAPOR2
De	CONDENSA	BOMBA		MCOMPRES	PREAQUEC	PERMUTA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002
Para	BOMBA	PERMUTA	MCOMPRES	PREAQUEC	CAMARA		CAMARA	MTURBINA	PREAQUEC	PERMUTA	TG-4002	CONDENSA
<b>Mole Flow (kmol/h)</b>												
H <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CH <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	---	138.2	---	---	---	---	---
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	---	---	---	---	---	---	12.5	---	---	---	---	---
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	---	---	---	---	---	---	3.2	---	---	---	---	---
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	0.7	---	---	---	---	---
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	0.66	---	---	---	---	---
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	---	---	---	---	---	---	0.15	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O	666.1	666.1	---	---	---	335.0	0.13	335.0	335.0	335.0	666.1	666.1
CO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	180.0	---	180.0	180.0	180.0	---	---
NO <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	0.1	0.38	0.1	0.1	0.1	---	---
O <sub>2</sub>	---	---	964.0	964.0	964.0	615.0	---	615.0	615.0	615.0	---	---
N <sub>2</sub>	---	---	3592.0	3592.0	3592.0	3599.0	8.91	3599.0	3599.0	3599.0	---	---
AR	---	---	43.2	43.2	43.2	43.2	---	43.2	43.2	43.2	---	---
NO	---	---	---	---	---	3.8	---	3.8	3.8	3.8	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
He	---	---	---	---	---	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	---	---
iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	---	---	---	---	---	---	0.132	---	---	---	---	---
iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	---	---	---	---	---	---	0.495	---	---	---	---	---
<b>Total Flow (kmol/h)</b>	666.1	666.1	4599.3	4599.3	4599.3	4776.4	164.8	4776.4	4776.4	4776.4	666.1	666.1
<b>Total Flow (t/h)</b>	12.0	12.0	133.2	133.2	133.2	136.3	3.1	136.3	136.3	136.3	12.0	12.0
<b>Temperature °C</b>	25.0	25.5	20.0	107.3	347.3	144.8	30.0	1178.9	594.4	381.2	239.0	83.6
<b>Pressure (bar)</b>	0.5	19.6	1.0	12.0	12.0	1.0	12.0	11.5	1.1	1.1	15.7	0.5

Na simulação do *Caso 4b* obtém-se uma produção de 11,9MWe na turbina a gás e um caudal de vapor de 20t/h, com um valor energético de 18,3MW.

No Anexo 13 podem ser consultados os resultados do funcionamento dos equipamentos do sistema de simulação do *Caso 4b*.

## 6.5 Optimização da Distribuição de Fuel Gás e Fuel Óleo – Equivalência Energética

Na *Tabela 6.5* apresenta-se o resumo dos resultados obtidos para os casos apresentados referentes ao capítulo de *Equivalência Energética*.

**Tabela 6.5** Consumo de fuel gás e fuel óleo nas fornalhas da refinaria.

<b>Caso Base</b>			
FG (t/h)	13,10	172,9	(Gcal/h)
FO (t/h)	10,34	100,3	(Gcal/h)
<b>Caso 3a</b>			
FG (t/h)	14,06	185,6	(Gcal/h)
FO (t/h)	9,03	87,6	(Gcal/h)
<b>Caso 3b</b>			
FG (t/h)	14,06	185,6	(Gcal/h)
FO (t/h)	9,03	87,6	(Gcal/h)
<b>Caso 4a</b>			
FG (t/h)	16,45	217,1	(Gcal/h)
FO (t/h)	5,78	56,1	(Gcal/h)
<b>Caso 4b</b>			
FG (t/h)	16,45	217,1	(Gcal/h)
FO (t/h)	5,78	56,1	(Gcal/h)

A distribuição individual de combustível pelas fornalhas está apresentada no Anexo 14, respeitando os limites impostos pela legislação.

## 6.6 Resumo dos resultados

Na *Tabela 6.6* apresentam-se resumidamente os resultados obtidos nas simulações realizadas.

**Tabela 6.6** Resumo dos resultados obtidos dos casos apresentados.

	Caso 1a	Caso 1b	Caso 2a	Caso 2b	Caso 3a	Caso 3b	Caso 4a	Caso 4b
<b>Sistema de Cogeração</b>								
Turbina a Gás (MWe)	26.8	33.6	27.1	34.0	11.9	14.8	12.0	14.9
Vapor (t/h)	46	24 MP	46	24 MP	20	12 MP	20	12 MP
TG-4002 (MWe)	10.3	3.3	10.3	3.3	4.5	1.6	4.5	1.6
Condensador (MW)	30.7	15.8	30.7	15.8	13.3	7.9	13.3	7.9
<b>Processo</b>								
Fuel Gás (t/h)	10.98	---	16.45	16.45	14.06	14.06	16.45	16.45
Fuel Óleo (t/h)	13.22	---	5.78	5.78	9.03	9.03	5.78	5.78
Fuel Óleo Caldeiras (t/h)	12.79	---	12.79	16	14.6	16	14.6	16
Fuel Óleo Poupança (t/h)	0.05	---	7.49	4.28	2.43	1.03	5.68	4.28

É de realçar que a produção de energia eléctrica apresentada para o TG-4002 corresponde ao consumo de vapor total produzido no sistema de cogeração, ou seja, à quantidade de vapor apresentada na tabela, assim como a energia térmica apresentada para o Condensador.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 7.1 Caso Base

Na *Tabela 7.1* apresenta-se o consumo de combustível e a produção de vapor e energia eléctrica na refinaria, retratando a situação actual. A energia eléctrica apresentada no processo representa a produção obtida no TG-4003.

**Tabela 7.1** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso Base*.

Fuel Gás		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
	Turbina a Gás	---	---	---
53% $H_2$	Caldeiras	3,31	45	---
53% $H_2$	Processo	13,10	---	---
Fuel Óleo				
	Caldeiras	15,72	225,0	---
	Processo	10,34	---	---
Vapor				
	TG-4002	60,2	---	13,3
	Processo	209,8	---	12,1

O balanço global demonstra um consumo de fuel óleo de 26,06t/h e uma produção de 270t/h de vapor e 25,4MWe.

A presente distribuição e consumo de fuel óleo na refinaria originam uma emissão de 83,39t/h de  $CO_2$  e 1,04t/h de  $SO_2$ .

### 7.2 Caso 1a

O sistema de cogeração apresentado queima 7200  $Nm^3/h$  (6408kg/h, 31% $H_2$ ) de fuel gás com um valor energético de 94,8MW. Consegue produzir 26,8MWe na turbina a gás e 46t/h de vapor sobreaquecido a uma pressão e temperatura de 66,7bar e 450°C, correspondendo a 42,1MW, obtendo um rendimento de 72,7%.

Na *Tabela 7.2* apresenta-se o consumo de combustível e a produção de vapor e energia eléctrica obtido para a simulação do *Caso 1a*.

**Tabela 7.2** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 1a*.

Fuel Gás		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
31% $H_2$	Turbina a Gás	6,41	46	26,8
	Caldeiras	---	---	---
53% $H_2$	Processo	10,98	---	---
Fuel Óleo				
	Caldeiras	12,79	183,0	---
	Processo	13,22	---	---
Vapor				
	TG-4002	19,0	---	4,2
	Processo	210,0	---	12,1

O consumo de 19t/h de vapor no TG-4002 proporciona uma produção de 4,2Mwe. O funcionamento do TG-4002 permite oferecer uma maior flexibilidade na rede de distribuição de vapor, podendo a qualquer momento receber uma quantidade superior de vapor para compensar a falha de produção de energia eléctrica na turbina a gás, por motivos de paragem devido a manutenção entre outros.

A necessidade de produzir apenas 183t/h de vapor nas caldeiras demonstra uma redução na produção de vapor de 87t/h o que indica a possibilidade de encerramento de uma das caldeiras.

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 10,3MWe adicionais e 30,7MW para aquecimento local, resultantes da condensação do vapor à saída do TG-4002.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 0,2% quando comparado ao *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 0,16t/h de CO<sub>2</sub> e 0,002t/h de SO<sub>2</sub>.

### 7.3 Caso 1b

Através da optimização do funcionamento da turbina a gás, com arrefecimento na compressão e aquecimento do ar à entrada da câmara de combustão, é possível obter 33,6MWe, resultando uma produção de vapor de média pressão no sistema de cogeração de 24t/h, *Tabela 7.3*, obtendo um rendimento de 68%.

**Tabela 7.3** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 1b*.

<b>Fuel Gás</b>	Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
31%H <sub>2</sub> Turbina a Gás	6,41	---	33,6
Caldeiras	---	---	---
53%H <sub>2</sub> Processo	10,98	---	---
<b>Fuel Óleo</b>			
Caldeiras	16,00	229,0	---
Processo	10,06	---	---
<b>Vapor</b>			
TG-4002	19,0	---	4,2
Processo	210,0	---	12,1

Quanto mais se arrefece na compressão, menor é a temperatura do ar à entrada da câmara de combustão, logo maior vai ser o calor necessário para elevar o ar à temperatura desejada, comprometendo a produção de vapor devido ao arrefecimento dos gases de combustão.

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 3,3MWe adicionais e 15,8MW para aquecimento local, resultantes da condensação do vapor à saída do TG-4002.

O objectivo desta simulação permite conhecer a produção máxima de energia eléctrica na turbina, no entanto não é possível produzir vapor de alta pressão, tendo este de ser produzido nas caldeiras.

A quantidade de fuel óleo resultante disponível para o processo é de apenas 10,06t/h (97,58Gcal/h) não sendo esta suficiente para satisfazer as necessidades energéticas da refinaria quando combinado com o fuel gás remanescente, 10,98t/h (144,94Gcal/h), resultando num défice de 30,68Gcal/h.

#### 7.4 Caso 2a

A queima de gás natural (7100kg/h, 87,7MW) no sistema de cogeração resulta na produção de 27,1MWe e 46t/h de vapor com um potencial energético de 42,1MW, obtendo um rendimento de 78,9%.

A simulação ocorre nas mesmas condições que o *Caso 1a*, de igual modo o vapor poderá ser redireccionado ao TG-4002 de modo a aumentar produção de energia eléctrica dependendo das necessidades da refinaria, *Tabela 7.4*.

**Tabela 7.4** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 2a*.

<b>Gás Natural</b>		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
	Turbina a Gás	7.10	46	27.1
<b>Fuel Gás</b>				
	Caldeiras	---	---	---
	53% $H_2$ Processo	16.45	---	---
<b>Fuel Óleo</b>				
	Caldeiras	12.79	183.0	---
	Processo	5.78	---	---
<b>Vapor</b>				
	TG-4002	19.0	---	4.2
	Processo	210.0	---	12.1

Tal como no *caso 1a* a redução da produção de vapor nas caldeiras poderá permitir o encerramento de uma unidade produtora de vapor.

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 10,3MWe adicionais e 30,7MW para aquecimento local, resultantes da condensação do vapor à saída do TG-4002.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 31% quando comparado ao *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 23,97t/h de  $CO_2$  e 0,30t/h de  $SO_2$ .

No entanto a queima adicional de GN resulta numa emissão de 17,78t/h de  $CO_2$  sendo a redução efectiva de  $CO_2$  de 6,19t/h.

## 7.5 Caso 2b

Tal como no *Caso 1b*, através da optimização do funcionamento da turbina a gás, com arrefecimento na compressão e aquecimento do ar à entrada da câmara de combustão, é possível obter 34MWe, resultando uma produção de vapor de média pressão no sistema de cogeração de 24t/h, *Tabela 7.5*, obtendo um rendimento de 61,4%

**Tabela 7.5** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 2b*.

<b>Gás Natural</b>		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
	Turbina a Gás	7.10	---	34.0
<b>Fuel Gás</b>				
	Caldeiras	---	---	---
	53% $H_2$ Processo	16.45	---	---
<b>Fuel Óleo</b>				
	Caldeiras	16.00	229.0	---
	Processo	5.78	---	---
<b>Vapor</b>				
	TG-4002	19.0	---	4.2
	Processo	210.0	---	12.1

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 3,3MWe adicionais e 15,8MW para aquecimento local, resultantes da condensação do vapor à saída do TG-4002.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 17,8% quando comparado ao *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 13,70t/h de  $CO_2$  e 0,17t/h de  $SO_2$ . No entanto a queima adicional de GN resulta numa emissão de 17,78t/h de  $CO_2$  o que reflecte um aumento na emissão de  $CO_2$  de 4,08t/h.

## 7.6 Caso 3a

O sistema de cogeração apresentado queima 3146  $Nm^3/h$  (2800kg/h, 31% $H_2$ ) de fuel gás com um valor energético de 41,4MW. Consegue produzir 11,9MWe na turbina a gás e 20t/h de vapor sobreaquecido a uma pressão e temperatura de 66,7bar e 450°C, correspondendo a 18,3MW, obtendo um rendimento de 72,9%.

Na *Tabela 7.6* está apresentado o consumo de combustível e a produção de vapor e energia eléctrica obtido para a simulação do *Caso 3a*.

**Tabela 7.6** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso3a*.

<b>Fuel Gás</b>	Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
31% $H_2$ Turbina a Gás	2,80	20	11,9
Caldeiras	---	---	---
53% $H_2$ Processo	14,06	---	---
<b>Fuel Óleo</b>			
Caldeiras	14,60	209,0	---
Processo	9,03	---	---
<b>Vapor</b>			
TG-4002	19,0	---	4,2
Processo	210,0	---	12,1

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 4,5MWe adicionais e 13,3MW para aquecimento local.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 10% quando comparado ao *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 7,78t/h de  $CO_2$  e 0,1t/h de  $SO_2$ .

### 7.7 Caso 3b

Tal como no *Caso 1b*, através da optimização do funcionamento da turbina a gás, com arrefecimento na compressão e aquecimento do ar à entrada da câmara de combustão, é possível obter 14,8MWe, resultando uma produção de vapor de média pressão no sistema de cogeração de 12t/h, *Tabela 7.7*, obtendo um rendimento de 57 %

**Tabela 7.7** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 3b*.

<b>Fuel Gás</b>	Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
31% $H_2$ Turbina a Gás	2,80	---	14,8
Caldeiras	---	---	---
53% $H_2$ Processo	14,06	---	---
<b>Fuel Óleo</b>			
Caldeiras	16,00	229,0	---
Processo	9,03	---	---
<b>Vapor</b>			
TG-4002	19,0	---	4,2
Processo	210,0	---	12,1

No caso de todo o vapor produzido, média pressão, for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 1,6MWe adicionais e 7,9MW para aquecimento local.

Ao contrário do *Caso 1b*, apesar do consumo de fuel óleo nas caldeiras ser idêntico é possível satisfazer as necessidades energéticas das fornalhas da refinaria pois a disponibilidade de fuel gás na linha é superior. Verifica-se ainda uma redução no consumo de fuel óleo quando comparado ao *Caso Base* de 4,3t/h reflectindo uma redução de  $CO_2$  e  $SO_2$  emitido de 3,30t/h e 0,04t/h respectivamente.

## 7.8 Caso 4a

A simulação efectuada queima gás natural (3100kg/h, 38,3MW) no sistema de cogeração e origina uma produção de 12MWe e 20t/h de vapor com um potencial energético de 18,3MW, obtendo um rendimento de 79,1%, *Tabela 7.8*. A simulação ocorre nas mesmas condições que o *Caso 2a*, de igual modo o vapor poderá ser redireccionado ao TG-4002 de modo a aumentar produção de energia eléctrica dependendo das necessidades da refinaria.

**Tabela 7.8** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso4a*.

<b>Gás Natural</b>		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
	Turbina a Gás	3.10	20	12
<b>Fuel Gás</b>				
	Caldeiras	---	---	---
	53% $H_2$ Processo	16.45	---	---
<b>Fuel Óleo</b>				
	Caldeiras	14.60	209.0	---
	Processo	5.78	---	---
<b>Vapor</b>				
	TG-4002	19.0	---	4.2
	Processo	210.0	---	12.1

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 4,5MWe adicionais e 13,3MW para aquecimento local.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 23,6% quando comparado com o *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 18,18t/h de  $CO_2$  e 0,23t/h de  $SO_2$ .

No entanto a queima adicional de GN resulta numa emissão de 7,77t/h de  $CO_2$  sendo a redução efectiva de  $CO_2$  de 10,41t/h.

## 7.9 Caso 4b

Tal como no *Caso 2b*, através da optimização do funcionamento da turbina a gás, com arrefecimento na compressão e aquecimento do ar à entrada da câmara de combustão, é possível obter 14,9MWe, resultando uma produção de vapor de média pressão no sistema de cogeração de 12t/h, *Tabela 7.9*, obtendo um rendimento de 64,1%.

**Tabela 7.9** Consumo de combustível e produção de vapor e energia eléctrica do *Caso 4b*.

<b>Gás Natural</b>		Consumo (t/h)	Vapor (t/h)	MWe
	Turbina a Gás	3.10	---	14.9
<b>Fuel Gás</b>				
	Caldeiras	---	---	---
	53% $H_2$ Processo	16.45	---	---
<b>Fuel Óleo</b>				
	Caldeiras	16.00	229.0	---
	Processo	5.78	---	---
<b>Vapor</b>				
	TG-4002	19.0	---	4.2
	Processo	210.0	---	12.1

No caso de todo o vapor produzido for redireccionado ao TG-4002, é possível obter 1,6MWe adicionais e 7,9MW para aquecimento local.

A simulação apresenta uma redução do consumo de fuel óleo de 17,8% quando comparado ao *Caso Base*, originando uma redução nas emissões de 13,70t/h de CO<sub>2</sub> e 0,17t/h de SO<sub>2</sub>.

No entanto a queima adicional de GN resulta numa emissão de 7,77t/h de CO<sub>2</sub> sendo a redução efectiva de CO<sub>2</sub> de 5,93t/h.

Foram também realizadas simulações com mistura de ambos os gases, tendo-se obtido resultados semelhantes. A única variação será a de consumo de fuel óleo que dependerá sempre do fuel gás disponível.



## ANÁLISE ECONÓMICA

Um sistema de cogeração com turbina a gás é um processo complexo com muitos subsistemas inter-relacionados. O equipamento base de um sistema de turbina a gás engloba normalmente a turbina a gás, geradores eléctricos, condutas de admissão e escape, filtro do ar de admissão, sistemas de lubrificação e refrigeração.

Usualmente não está incluído o compressor de fuel gás, sistema de recuperação de calor e tratamento de água, sistema de controlo de emissões tais como redução catalítica selectiva (SCR) ou monitorização contínua de emissões (CEMS).

Nem todos estes sistemas serão necessários em cada instalação, sendo a sua aquisição reflectida pelas necessidades da fábrica. A *Tabela 8.1* apresenta preços do conjunto de turbina a gás com sistema de recuperação de calor em função da capacidade nominal da turbina [26]. Os valores apresentados são meramente comparativos podendo não representar a realidade.

**Tabela 8.1** Valores de custos unitários de um sistema de cogeração a turbina a gás com recuperação de calor (2009).

Capacidade Nominal da Turbina (MWe)	15	25	30
	(Milhares de Euros)		
<b>Instalação Base</b>			
Turbina a gás	7.938	12.168	19.135
Equipamento Eléctrico	746	993	1333
Sistema de Injecção de Fuel	199	240	308
Sistema de Tratamento de Água	304	353	382
Sistema de Recuperação de Calor	823	983	1117
Construção	3.208	4.721	7.137
Projecto de Construção	829	1.221	1.845
Transporte	205	303	456
Taxas	1.001	1.474	2.227
Projecto de Contingência	345	508	767
Projecto de Financiamento	998	1.470	2.221
<b>Instalação Completa</b>			
Custos Adicionais	1.934	2.842	4.307
Edifício	447	550	666
Compressor de Gás	1.141	1.168	1.533
SCR / CEMS	1.057	1.288	1.538
Factor Multiplicativo	185%	185%	185%
<b>Investimento</b>			
Base	16.598	24.431	36.929
Completo	23.425	32.835	48.151

Os *custos adicionais* representam construção e engenharia adicional, retratando características específicas, tais como: restrições do local, condições especiais do consumidor entre outros factores. O *factor multiplicativo* reflecte o *ratio* de design, engenharia, transporte e custos de contingência relativo ao equipamento adicional.

Na *Tabela 8.2* estão apresentados factores de cálculo inerentes à análise económica efectuada, fornecidos pela refinaria, à excepção do kWh, resultante da média do custo da tarifa bi-horária consultado à *edp*.

**Tabela 8.2** Factores de cálculo para o balanço económico.

FO (€/t)	168
CO <sub>2</sub> Emitido (€/t)	15
SO <sub>2</sub> Emitido (€/t)	100
GN (€/t)	200
kWh	0,10

A análise económica apresentada na *Tabela 8.3* retrata os custos associados para as simulações de *Consumo Equivalente (Caso 1 e 2)*, comparando ambos os investimentos (*Base e Completo*).

**Tabela 8.3** Comparação da análise económica dos casos apresentados (1, 2).

Sistema	30 Mwe	
	Caso 1	Caso 2
GN (t/h)	---	7.1
FO <sub>Poupança</sub> (t/h)	0.05	7.5
CO <sub>2</sub> Não emitido FO (t/h)	0.2	23.9
SO <sub>2</sub> Não emitido FO (t/h)	0.002	0.3
MWe (adicional)	17.7	18.0
CO <sub>2</sub> extra emitido GN (t/h)	---	18.0
<b>Balanço</b>		
GN (€/ano)	---	- 12,439,200 €
FO (€/ano)	73,584 €	11,022,883 €
CO <sub>2</sub> FO(€/ano)	21,024 €	3,149,395 €
SO <sub>2</sub> FO(€/ano)	1,752 €	262,450 €
MWe (adicional)(€/ano)	15,505,200 €	15,768,000 €
CO <sub>2</sub> extra emitido GN (€/ano)	---	- 2,366,936 €
<b>Total Poupança(€/ano)</b>	<b>15,601,560 €</b>	<b>15,396,592 €</b>
<b>Investimento</b>		
Base	36,929,000 €	36,929,000 €
Completo	48,151,000 €	48,151,000 €
<b>Retorno Simples (anos)</b>		
Base	2.4	2.4
Completo	3.1	3.1

Na *Tabela 8.4* está apresentada a análise económica para as simulações de *Equivalência Energética* (Caso 3 e 4), comparando ambos os investimentos.

**Tabela 8.4** Comparação da análise económica dos casos apresentados (3, 4).

Sistema	15 Mwe	
	Caso 3	Caso 4
GN (t/h)	---	3.10
FO <sub>Poupança</sub> (t/h)	2.4	5.7
CO <sub>2</sub> Não emitido FO (t/h)	7.8	18.2
SO <sub>2</sub> Não emitido FO (t/h)	0.1	0.2
MWe (adicional)	2.8	2.9
CO <sub>2</sub> extra emitido GN (t/h)	---	7.9
<b>Balanço</b>		
GN (€/ano)	---	5,431,200 €
FO (€/ano)	3,576,182 €	8,359,142 €
CO <sub>2</sub> FO(€/ano)	1,021,766 €	2,388,326 €
SO <sub>2</sub> FO(€/ano)	85,147 €	199,027 €
MWe (adicional)(€/ano)	2,452,800 €	2,540,400 €
CO <sub>2</sub> extra emitido GN (€/ano)	---	1,040,920 €
<b>Total Poupança(€/ano)</b>	<b>7,135,896 €</b>	<b>7,014,776 €</b>
<b>Investimento</b>		
Base	16,598,000 €	16,598,000 €
Completo	23,425,000 €	23,425,000 €
<b>Retorno Simples (anos)</b>		
Base	2.3	2.4
Completo	3.3	3.3

No caso de um sistema com mistura de ambos os gases, a variação reflecte-se no retorno simples, o qual estará dentro dos limites apresentados de cada caso.



## CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

O objectivo principal desta tese foi a construção de um modelo de processo capaz de avaliar o impacto da integração de um sistema de cogeração com turbina a gás na refinaria do Porto. O modelo permite avaliar o desempenho da instalação para diferentes condições de operação tais como: diferentes caudais de gás bem como diferentes tipos de gases, pressões e temperaturas de funcionamento.

Com a implementação de um sistema de cogeração com turbina a gás, é possível aumentar a produção de energia eléctrica na refinaria aumentando também a produção de vapor.

Apesar do aumento da produção de vapor nos casos apresentados apenas é possível a paragem de uma caldeira quando se consome o tail gás por completo no sistema de cogeração com turbina a gás.

As simulações apresentadas demonstram que a refinaria tem gás suficiente para queima num sistema de cogeração com turbina a gás sem comprometer o consumo de fuel óleo, reflectindo ainda numa redução das emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

Dependendo das necessidades energéticas da refinaria, maior quantidade de vapor pode ser redireccionada ao TG-4002 com o objectivo de produzir uma quantidade superior de energia eléctrica. O aumento do consumo do TG-4002 leva à diminuição de vapor disponível nos processos da refinaria, o que origina um aumento de consumo de fuel óleo nas caldeiras. O consumo máximo de vapor no TG-4002 deverá ser aquele que reflecte um consumo global de fuel óleo idêntico à situação actual ou disponível pela refinaria.

O funcionamento do TG-4002 permite oferecer uma maior flexibilidade na rede de distribuição de vapor, podendo a qualquer momento receber uma quantidade superior de vapor para compensar a falha de produção de energia eléctrica na turbina a gás, por motivos de paragem devido a manutenção entre outros.

Os resultados da simulação quando combinados com uma avaliação económica demonstram que a integração de um sistema de cogeração com turbina a gás, para ambos os combustíveis como gás de queima, é uma aplicação rentável.

A possibilidade de implementação de um sistema de oxidação parcial de gás natural pode representar uma estratégia efectiva para a captura de CO<sub>2</sub> proveniente de combustíveis fósseis, pelo qual deve ser investigado.

A realização de uma queima suplementar poderá aumentar a produção de energia eléctrica na turbina a gás e produção de vapor devido ao aumento da temperatura dos gases de

exaustão. Aconselha-se um estudo aprofundado apoiado de uma simulação para estimar o consumo de gás bem como uma análise económica ao sistema obtido.

A injeção de vapor aquando a combustão prevê a redução das emissões de  $\text{NO}_x$  nos gases de exaustão. Deverá ser estimado o consumo de vapor no sistema e as reduções efectivas das emissões, sem que este comprometa as necessidades da refinaria.

- [1] McMillan, R, Marriott, D, Su, RH – Fuel-flexible gas-turbine cogeneration (descarregado em 9 de Janeiro de 2009).
- [2] Strategic Energy Technologies, 2008. Energy Efficiency Industrial Forum Position Paper: energy efficiency – a vital component of energy security (descarregado em 8 de Abril de 2009).
- [3] Hallale, N, Liu, F, 2001. Refinery hydrogen management for clean fuels production. *Advances in Environmental Research*, 6: 81-98.
- [4] Linnhoff, B, Townsend, DW, Boland, D, Hewitt, GF, Thomas, BEA, Guy, AR, et al, 1982. A user guide on process integration of the efficient use of energy. Rugby: IChemE.
- [5] Fonseca, A, Sá, V, Bento, H, Tavares, MLC, Pinto, G, Gomes, LACN 2007. Hydrogen distribution network optimization: a refinery case study. *JCLEPRO* 16 (16): 1755-1763.
- [6] Eskiltsuna, 2002. El och kraftvärme från kol, naturgas och biobränsle, En faktarapport inom IVA-projektet Energiframsyn Sverige i Europa, Utgivare: Kungliga vetenskapsakademien, IVA, Tryck: Multitryck (descarregado em 21 de Fevereiro de 2009).
- [7] Magnusson, H, 2001. *Process simulation in Aspen Plus of an integrated ethanol and CHP plant*. Master Thesis in Energy Engineering UMEÅ Universitet. 47pp
- [8] Spirax Sarco, 2007. Steam and Condensation Loop. UK, 1464pp.
- [9] The European Association for the Promotion of Cogeneration, 2001. A Guide to Cogeneration. Brussels, Belgium (descarregado em 14 de Janeiro de 2009).
- [10] Irish CHP Association. “Combined heat and power applications”. [http://www.ichpa.com/CHP\\_in\\_Ireland/CHP\\_Applications.php](http://www.ichpa.com/CHP_in_Ireland/CHP_Applications.php) (acedido em 24 de Abril de 2009)
- [11] Brandão, Sérgio. 2004. “Cogeração: Produção e Planeamento de Energia Eléctrica” Universidade de Coimbra (descarregado em 11 de Maio de 2009).

[12] Pilavachi, PA, 2000. Power generation with gas turbine systems and combined heat and power. Applied Thermal Engineering 20 1421-1429.

[13] Ian Amos. "EGSA Special Section: gas turbine configurations for efficient on-site power production". [http://pepei.pennnet.com/display\\_article/303710/6/ARTCL/none/none/1](http://pepei.pennnet.com/display_article/303710/6/ARTCL/none/none/1) (acedido em 12 de Janeiro de 2009)

[14] Goodall, PM, 1980. The Efficient Use of Steam. Guildford: Westbury House, 469pp.

[15] Mesquita, Luís. 2005. "Capítulo 2 – Gases Combustíveis". Bragança. Instituto Politécnico de Bragança (descarregado em 8 de Janeiro de 2009)

[16] de Lorenzi, O, 1949. Combustion Engineering: a reference book on fuel burning and steam generation. New York.

[17] Torres, FM, 2009. Sector energético: Tecnologias de carbono neutro. Info, Magazine de informação da Ordem dos Engenheiros REGIÃO NORTE, (18): 18-23.

[18] Lozza, G, Chiesa, P, 2002. Natural gas decarbonization to reduce CO<sub>2</sub> emission from combined cycles – Part I: Partial Oxidation. Milan, Italy: ASME DOI: 10.1115/1.1395581. (descarregado em 6 de Janeiro de 2009).

[19] Frangopoulos, CA, Lygeros, AI, Markou, CT, Kaloritis, P, 1996. Thermo-economic operation optimization of the Hellenic Aspropyrgos Refinery combined-cycle cogeneration system. Pergamon: 949-958.

[20] Fonseca, A, Sá, V, Bento, H, Tavares, M, Gomes, L, 2005. Study and optimization of a hydrogen distribution network: refinery case study. Chempor 2005: IP034.

[21] Fonseca, A, Bento, H, Sá, V, 2005. *Optimização da rede de distribuição de hidrogénio numa refinaria de petróleo para a produção de combustíveis mais limpos*. Projecto de licenciatura em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 128pp

[22] Aspen Tech 2008. Aspen Plus – Process modeling tool for conceptual design, optimization, and performance monitoring of chemical processes. (descarregado em 13 de Abril de 2009).

[23] Siemens, 2008. Industrial Gas Turbine – The comprehensive product range from 4-47 megawatts. Germany. 4251 4504 J WS 0208 6. (descarregado em 28 de Janeiro de 2009).

[24] Kreith, F, 2000. The CRC Handbook of Thermal Engineering. Boca Raton: CRC Press.

[25] Zheng, L, Furimsky, E, 2002. ASPEN simulation of cogeneration plants. *Energy Conversion & Management* 44 (2003): 1845-1851.

[26] Energy and Environmental Analysis. 2008. Technology characterization: gas turbines. (descarregado em 21 de Abril de 2009).



# **ANEXOS**

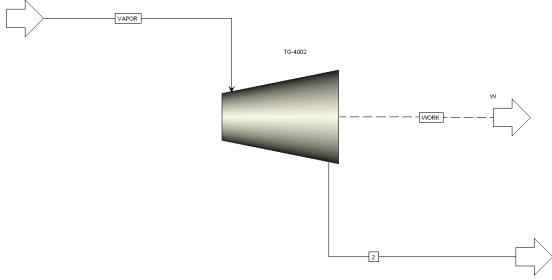


ANEXO 1 – Resumo dos resultados da simulação da caldeira.

Evaporador	Economizador																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inlet</th> <th>Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td>GAS1</td> <td>GAS2</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>1371,88358 C</td> <td>1345,49247 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1 bar</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td>AGUASAT</td> <td>VAPORSAT</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>330 C</td> <td>283,133911 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719 bar</td> <td>68 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>1,03609305 MW</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet	Outlet	Hot stream:	GAS1	GAS2	Temperature:	1371,88358 C	1345,49247 C	Pressure:	1 bar	1 bar	Vapor fraction:	1	1	Cold stream:	AGUASAT	VAPORSAT	Temperature:	330 C	283,133911 C	Pressure:	84,33719 bar	68 bar	Vapor fraction:	1	1	Heat duty:	1,03609305 MW		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inlet</th> <th>Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td>GAS2</td> <td>GAS3</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>1345,49247 C</td> <td>433,661856 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1 bar</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td>AGUA</td> <td>AGUASAT</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>80 C</td> <td>330 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719 bar</td> <td>84,33719 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>33,6565101 MW</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet	Outlet	Hot stream:	GAS2	GAS3	Temperature:	1345,49247 C	433,661856 C	Pressure:	1 bar	1 bar	Vapor fraction:	1	1	Cold stream:	AGUA	AGUASAT	Temperature:	80 C	330 C	Pressure:	84,33719 bar	84,33719 bar	Vapor fraction:	0	1	Heat duty:	33,6565101 MW	
	Inlet	Outlet																																																											
Hot stream:	GAS1	GAS2																																																											
Temperature:	1371,88358 C	1345,49247 C																																																											
Pressure:	1 bar	1 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Cold stream:	AGUASAT	VAPORSAT																																																											
Temperature:	330 C	283,133911 C																																																											
Pressure:	84,33719 bar	68 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Heat duty:	1,03609305 MW																																																												
	Inlet	Outlet																																																											
Hot stream:	GAS2	GAS3																																																											
Temperature:	1345,49247 C	433,661856 C																																																											
Pressure:	1 bar	1 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Cold stream:	AGUA	AGUASAT																																																											
Temperature:	80 C	330 C																																																											
Pressure:	84,33719 bar	84,33719 bar																																																											
Vapor fraction:	0	1																																																											
Heat duty:	33,6565101 MW																																																												
Superaquecedor	Preaquecedor																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inlet</th> <th>Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td>GASES</td> <td>GAS1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>1504,83322 C</td> <td>1371,88358 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1 bar</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td>VAPORSAT</td> <td>VAPORSAQ</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>283,133911 C</td> <td>450 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>68 bar</td> <td>68 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>5,2532732 MW</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet	Outlet	Hot stream:	GASES	GAS1	Temperature:	1504,83322 C	1371,88358 C	Pressure:	1 bar	1 bar	Vapor fraction:	1	1	Cold stream:	VAPORSAT	VAPORSAQ	Temperature:	283,133911 C	450 C	Pressure:	68 bar	68 bar	Vapor fraction:	1	1	Heat duty:	5,2532732 MW		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inlet</th> <th>Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td>GAS3</td> <td>CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>433,661856 C</td> <td>232,259945 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1 bar</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td>AR</td> <td>ARP</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>20 C</td> <td>250 C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1 bar</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>6,63951506 MW</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet	Outlet	Hot stream:	GAS3	CHAMINE	Temperature:	433,661856 C	232,259945 C	Pressure:	1 bar	1 bar	Vapor fraction:	1	1	Cold stream:	AR	ARP	Temperature:	20 C	250 C	Pressure:	1 bar	1 bar	Vapor fraction:	1	1	Heat duty:	6,63951506 MW	
	Inlet	Outlet																																																											
Hot stream:	GASES	GAS1																																																											
Temperature:	1504,83322 C	1371,88358 C																																																											
Pressure:	1 bar	1 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Cold stream:	VAPORSAT	VAPORSAQ																																																											
Temperature:	283,133911 C	450 C																																																											
Pressure:	68 bar	68 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Heat duty:	5,2532732 MW																																																												
	Inlet	Outlet																																																											
Hot stream:	GAS3	CHAMINE																																																											
Temperature:	433,661856 C	232,259945 C																																																											
Pressure:	1 bar	1 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Cold stream:	AR	ARP																																																											
Temperature:	20 C	250 C																																																											
Pressure:	1 bar	1 bar																																																											
Vapor fraction:	1	1																																																											
Heat duty:	6,63951506 MW																																																												
Câmara de Combustão																																																													
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>1504,83322 C</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>1 bar</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>0 Watt</td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td>0 Watt</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Outlet temperature:	1504,83322 C	Outlet pressure:	1 bar	Heat duty:	0 Watt	Net heat duty:	0 Watt	Vapor fraction:	1	Number of fluid phases:	1	Maximum number of pure solids:	0																																															
Outlet temperature:	1504,83322 C																																																												
Outlet pressure:	1 bar																																																												
Heat duty:	0 Watt																																																												
Net heat duty:	0 Watt																																																												
Vapor fraction:	1																																																												
Number of fluid phases:	1																																																												
Maximum number of pure solids:	0																																																												



ANEXO 2 – Resumo dos resultados da simulação do TG-4002.

TG-4002																																											
	<table border="1"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-13,231392</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-12,040567</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-12,040567</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>1,19082532</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,89824816</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-13,231392	MW	Brake horsepower:	-12,040567	MW	Net work required:	-12,040567	MW	Power loss:	1,19082532	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,89824816		Displacement:			Volumetric efficiency:		
	Compressor model:	Isentropic Turbine																																									
	Phase calculations:	Two phase calculation																																									
	Indicated horsepower:	-13,231392	MW																																								
	Brake horsepower:	-12,040567	MW																																								
	Net work required:	-12,040567	MW																																								
	Power loss:	1,19082532	MW																																								
	Efficiency:	0,91																																									
	Mechanical efficiency:	0,91																																									
	Outlet pressure:	0,5	bar																																								
	Outlet temperature:	83,5947701	C																																								
	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																								
	Vapor fraction:	0,89824816																																									
	Displacement:																																										
Volumetric efficiency:																																											



ANEXO 3 – Resumo dos resultados do Caso Base.

Mcompress	Condensa																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>13,3078082</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>13,3078082</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	Total work:	13,3078082	MW	Total cooling duty:	0	MW	Net work required:	13,3078082	MW	Net cooling duty:	0	MW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-36,640098</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-36,640098</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	Outlet pressure:	0,5	bar	Vapor fraction:	0		Heat duty:	-36,640098	MW	Net duty:	-36,640098	MW	1st liquid / Total liquid:	1		Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																															
Outlet pressure:	12	bar																																																																																																																	
Total work:	13,3078082	MW																																																																																																																	
Total cooling duty:	0	MW																																																																																																																	
Net work required:	13,3078082	MW																																																																																																																	
Net cooling duty:	0	MW																																																																																																																	
Outlet temperature:	25	C																																																																																																																	
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																																	
Vapor fraction:	0																																																																																																																		
Heat duty:	-36,640098	MW																																																																																																																	
Net duty:	-36,640098	MW																																																																																																																	
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																		
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																		
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th>Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th></th> <th>C</th> <th>bar</th> <th></th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058326</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>0,85950006</td><td>0,92419361</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>0,92763373</td><td>0,99745563</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>1,0010836</td><td>1,07643398</td></tr> <tr><td>4</td><td>124,105055</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>1,08021188</td><td>1,16151815</td></tr> <tr><td>5</td><td>155,233063</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>1,165383</td><td>1,25309999</td></tr> <tr><td>6</td><td>188,639341</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>1,25698913</td><td>1,35160121</td></tr> <tr><td>7</td><td>224,437013</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>1,35538112</td><td>1,45739906</td></tr> <tr><td>8</td><td>262,735227</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>1,46093908</td><td>1,57090223</td></tr> <tr><td>9</td><td>303,639738</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>1,57404723</td><td>1,69252391</td></tr> <tr><td>10</td><td>347,254196</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>1,69509278</td><td>1,82268042</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower		C	bar		MW	MW	1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,85950006	0,92419361	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,92763373	0,99745563	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,0010836	1,07643398	4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08021188	1,16151815	5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,165383	1,25309999	6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,25698913	1,35160121	7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35538112	1,45739906	8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46093908	1,57090223	9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57404723	1,69252391	10	347,254196	12	1,28208885	1,69509278	1,82268042	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-13,570087</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-12,34878</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-12,34878</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>1,22130787</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,89187344</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-13,570087	MW	Brake horsepower:	-12,34878	MW	Net work required:	-12,34878	MW	Power loss:	1,22130787	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,89187344		Displacement:			Volumetric efficiency:		
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																														
	C	bar		MW	MW																																																																																																														
1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,85950006	0,92419361																																																																																																														
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,92763373	0,99745563																																																																																																														
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,0010836	1,07643398																																																																																																														
4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08021188	1,16151815																																																																																																														
5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,165383	1,25309999																																																																																																														
6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,25698913	1,35160121																																																																																																														
7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35538112	1,45739906																																																																																																														
8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46093908	1,57090223																																																																																																														
9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57404723	1,69252391																																																																																																														
10	347,254196	12	1,28208885	1,69509278	1,82268042																																																																																																														
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																		
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																		
Indicated horsepower:	-13,570087	MW																																																																																																																	
Brake horsepower:	-12,34878	MW																																																																																																																	
Net work required:	-12,34878	MW																																																																																																																	
Power loss:	1,22130787	MW																																																																																																																	
Efficiency:	0,91																																																																																																																		
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																		
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																																	
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																	
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																	
Vapor fraction:	0,89187344																																																																																																																		
Displacement:																																																																																																																			
Volumetric efficiency:																																																																																																																			
Bomba	Permuta																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>128,863318</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>200,894237</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>200,894237</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>55,3343857</td> <td>cum/hr</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>83,83719</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>860,098997</td> <td>meter</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,64144855</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>200,894237</td> <td>kW</td> </tr> </table>	Fluid power:	128,863318	kW	Brake power:	200,894237	kW	Electricity:	200,894237	kW	Volumetric flow rate:	55,3343857	cum/hr	Pressure change:	83,83719	bar	NPSH available:	4,86383745	meter	NPSH required:			Head developed:	860,098997	meter	Pump efficiency used:	0,64144855		Net work required:	200,894237	kW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>1206,40257</td> <td>C</td> <td>181,384177</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>26,1523187</td> <td>C</td> <td>450</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719</td> <td>bar</td> <td>68</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>50,0092908</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		CHAMINE		Temperature:	1206,40257	C	181,384177	C	Pressure:	1,1	bar	1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	26,1523187	C	450	C	Pressure:	84,33719	bar	68	bar	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	50,0092908	MW																																				
Fluid power:	128,863318	kW																																																																																																																	
Brake power:	200,894237	kW																																																																																																																	
Electricity:	200,894237	kW																																																																																																																	
Volumetric flow rate:	55,3343857	cum/hr																																																																																																																	
Pressure change:	83,83719	bar																																																																																																																	
NPSH available:	4,86383745	meter																																																																																																																	
NPSH required:																																																																																																																			
Head developed:	860,098997	meter																																																																																																																	
Pump efficiency used:	0,64144855																																																																																																																		
Net work required:	200,894237	kW																																																																																																																	
	Inlet		Outlet																																																																																																																
Hot stream:	GASES1		CHAMINE																																																																																																																
Temperature:	1206,40257	C	181,384177	C																																																																																																															
Pressure:	1,1	bar	1	bar																																																																																																															
Vapor fraction:	1		1																																																																																																																
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																																
Temperature:	26,1523187	C	450	C																																																																																																															
Pressure:	84,33719	bar	68	bar																																																																																																															
Vapor fraction:	0		1																																																																																																																
Heat duty:	50,0092908	MW																																																																																																																	

Mturбина			Perfil da Mturбина					
Outlet pressure:	1,1	bar						
Total work:	-43,467848	MW						
Total cooling duty:	0	MW						
Net work required:	-30,16004	MW						
Net cooling duty:	0	MW						
			Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower
				C	bar		MW	MW
			1	1733,15561	5,2593183	0,45733203	-17,976899	-16,718516
			2	1452,62965	2,40525469	0,45733203	-15,476371	-14,393025
			3	1206,40264	1,1	0,45733203	-13,286351	-12,356307
Câmara de Combustão								
Outlet temperature:	2053,03717	C						
Outlet pressure:	11,5	bar						
Heat duty:	0	MW						
Net heat duty:	0	MW						
Vapor fraction:	1							
Number of fluid phases:	1							
Maximum number of pure solids:	0							

ANEXO 4 – Distribuição do consumo de Fuel Óleo e Fuel Gás Actual.

<b>Fornalha</b>	<b>FG (t/h)</b>	<b>FO (t/h)</b>	<b>Energia (Gcal/h)</b>
H-101	0,22	1,04	12,99
H-301	1,40	0,00	18,53
H-302	0,09	0,42	5,30
H-303	0,03	0,00	0,38
H-401	0,16	0,76	9,48
H-402	0,11	0,51	6,31
H-471	1,63	0,00	21,57
H-472	0,07	0,36	4,44
H-1201	0,43	0,00	5,70
H-1301	1,46	0,00	19,21
H-1302	0,80	0,00	10,60
H-1401	0,25	0,00	3,35
H-1402	0,25	0,00	3,23
H-1651	1,06	0,00	13,99
H-3001	1,43	3,45	52,37
H-3301	0,47	2,25	28,13
H-3302	0,25	0,00	3,36
H-3701	0,85	0,00	11,21
H-2001	0,25	1,18	14,71
H-2002	0,61	0,00	7,99
H-2101	0,20	0,00	2,66
H-2201	0,58	0,00	7,67
H-2202	0,14	0,00	1,84
H-2301	0,08	0,37	4,57
H-2401	0,27	0,00	3,59
<b>Total</b>	<b>13,10</b>	<b>10,34</b>	<b>273,18</b>



ANEXO 5 – Resumo dos resultados do Caso 1a.

Mcompress	Condensa																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>32,4580687</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>32,4580687</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	▼	Total work:	32,4580687	MW	▼	Total cooling duty:	0	MW	▼	Net work required:	32,4580687	MW	▼	Net cooling duty:	0	MW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-30,6932</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-30,6932</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	▼	Outlet pressure:	0,5	bar	▼	Vapor fraction:	0			Heat duty:	-30,6932	MW	▼	Net duty:	-30,6932	MW	▼	1st liquid / Total liquid:	1			Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																		
Outlet pressure:	12	bar	▼																																																																																																														
Total work:	32,4580687	MW	▼																																																																																																														
Total cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																														
Net work required:	32,4580687	MW	▼																																																																																																														
Net cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																														
Outlet temperature:	25	C	▼																																																																																																														
Outlet pressure:	0,5	bar	▼																																																																																																														
Vapor fraction:	0																																																																																																																
Heat duty:	-30,6932	MW	▼																																																																																																														
Net duty:	-30,6932	MW	▼																																																																																																														
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058303</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>2,09634161</td><td>2,25413076</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>2,2625213</td><td>2,4328186</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>2,44166732</td><td>2,62544872</td></tr> <tr><td>4</td><td>124,105055</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>2,63466312</td><td>2,83297109</td></tr> <tr><td>5</td><td>155,233063</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>2,84239755</td><td>3,05634145</td></tr> <tr><td>6</td><td>188,639341</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>3,06582716</td><td>3,29658834</td></tr> <tr><td>7</td><td>224,437013</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>3,30580763</td><td>3,55463186</td></tr> <tr><td>8</td><td>262,735227</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>3,56326605</td><td>3,83146887</td></tr> <tr><td>9</td><td>303,639738</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>3,8391396</td><td>4,12810711</td></tr> <tr><td>10</td><td>347,254196</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>4,13437265</td><td>4,44556198</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872	4	124,105055	2,70192008	1,28208885	2,63466312	2,83297109	5	155,233063	3,46410162	1,28208885	2,84239755	3,05634145	6	188,639341	4,44128607	1,28208885	3,06582716	3,29658834	7	224,437013	5,69412337	1,28208885	3,30580763	3,55463186	8	262,735227	7,3003721	1,28208885	3,56326605	3,83146887	9	303,639738	9,3597257	1,28208885	3,8391396	4,12810711	10	347,254196	12	1,28208885	4,13437265	4,44556198	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-11,327511</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-10,308035</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-10,308035</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>1,01947603</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,89346917</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-11,327511	MW	Brake horsepower:	-10,308035	MW	Net work required:	-10,308035	MW	Power loss:	1,01947603	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,89346917		Displacement:			Volumetric efficiency:		
Stage		Temperature	Pressure		Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																										
	C	bar	MW	MW																																																																																																													
1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076																																																																																																												
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186																																																																																																												
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872																																																																																																												
4	124,105055	2,70192008	1,28208885	2,63466312	2,83297109																																																																																																												
5	155,233063	3,46410162	1,28208885	2,84239755	3,05634145																																																																																																												
6	188,639341	4,44128607	1,28208885	3,06582716	3,29658834																																																																																																												
7	224,437013	5,69412337	1,28208885	3,30580763	3,55463186																																																																																																												
8	262,735227	7,3003721	1,28208885	3,56326605	3,83146887																																																																																																												
9	303,639738	9,3597257	1,28208885	3,8391396	4,12810711																																																																																																												
10	347,254196	12	1,28208885	4,13437265	4,44556198																																																																																																												
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																
Indicated horsepower:	-11,327511	MW																																																																																																															
Brake horsepower:	-10,308035	MW																																																																																																															
Net work required:	-10,308035	MW																																																																																																															
Power loss:	1,01947603	MW																																																																																																															
Efficiency:	0,91																																																																																																																
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																															
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Vapor fraction:	0,89346917																																																																																																																
Displacement:																																																																																																																	
Volumetric efficiency:																																																																																																																	
Bomba	Permuta																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>107,776593</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>173,356612</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>173,356612</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>46,279668</td> <td>cum/hr</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>83,83719</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>860,098997</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,62170454</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>173,356612</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Fluid power:	107,776593	kW	▼	Brake power:	173,356612	kW	▼	Electricity:	173,356612	kW	▼	Volumetric flow rate:	46,279668	cum/hr	▼	Pressure change:	83,83719	bar	▼	NPSH available:	4,86383745	meter	▼	NPSH required:			▼	Head developed:	860,098997	meter	▼	Pump efficiency used:	0,62170454			Net work required:	173,356612	kW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>564,011018</td> <td>C</td> <td>150,589707</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>26,244823</td> <td>C</td> <td>450,033596</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719</td> <td>bar</td> <td>66,68522</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>41,8473539</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		CHAMINE		Temperature:	564,011018	C	150,589707	C	Pressure:	1,1	bar	1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	26,244823	C	450,033596	C	Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	41,8473539	MW																								
Fluid power:	107,776593	kW	▼																																																																																																														
Brake power:	173,356612	kW	▼																																																																																																														
Electricity:	173,356612	kW	▼																																																																																																														
Volumetric flow rate:	46,279668	cum/hr	▼																																																																																																														
Pressure change:	83,83719	bar	▼																																																																																																														
NPSH available:	4,86383745	meter	▼																																																																																																														
NPSH required:			▼																																																																																																														
Head developed:	860,098997	meter	▼																																																																																																														
Pump efficiency used:	0,62170454																																																																																																																
Net work required:	173,356612	kW	▼																																																																																																														
	Inlet		Outlet																																																																																																														
Hot stream:	GASES1		CHAMINE																																																																																																														
Temperature:	564,011018	C	150,589707	C																																																																																																													
Pressure:	1,1	bar	1	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	1		1																																																																																																														
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																														
Temperature:	26,244823	C	450,033596	C																																																																																																													
Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	0		1																																																																																																														
Heat duty:	41,8473539	MW																																																																																																															

Mturбина			Perfil da Mturбина					
Outlet pressure:	1,1	bar						
Total work:	-59,300276	MW						
Total cooling duty:	0	MW						
Net work required:	-26,842207	MW						
Net cooling duty:	0	MW						
			Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower
				C	bar		MW	MW
			1	916,679212	5,2593183	0,45733203	-25,017333	-23,266119
			2	727,691254	2,40525469	0,45733203	-21,076805	-19,601428
			3	564,01102	1,1	0,45733203	-17,6696	-16,432728
Câmara de Combustão								
Outlet temperature:	1134,4022	C						
Outlet pressure:	11,5	bar						
Heat duty:	0	MW						
Net heat duty:	0	MW						
Vapor fraction:	1							
Number of fluid phases:	1							
Maximum number of pure solids:	0							

ANEXO 6 – Resumo dos resultados do Caso 1b.

Mcompress	Condensa																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>25,6675922</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>-16</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>25,6675922</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>-16</td> <td>MW</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	Total work:	25,6675922	MW	Total cooling duty:	-16	MW	Net work required:	25,6675922	MW	Net cooling duty:	-16	MW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-15,820609</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-15,820609</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	Outlet pressure:	0,5	bar	Vapor fraction:	0		Heat duty:	-15,820609	MW	Net duty:	-15,820609	MW	1st liquid / Total liquid:	1		Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																														
Outlet pressure:	12	bar																																																																																																																
Total work:	25,6675922	MW																																																																																																																
Total cooling duty:	-16	MW																																																																																																																
Net work required:	25,6675922	MW																																																																																																																
Net cooling duty:	-16	MW																																																																																																																
Outlet temperature:	25	C																																																																																																																
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																																
Vapor fraction:	0																																																																																																																	
Heat duty:	-15,820609	MW																																																																																																																
Net duty:	-15,820609	MW																																																																																																																
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																	
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																	
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th>Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th></th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058303</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>2,09634161</td><td>2,25413076</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>2,2625213</td><td>2,4328186</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>2,44166732</td><td>2,62544872</td></tr> <tr><td>4</td><td>76,7876305</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>2,31914547</td><td>2,49370481</td></tr> <tr><td>5</td><td>104,377271</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>2,50302618</td><td>2,69142601</td></tr> <tr><td>6</td><td>86,8603098</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>2,3857713</td><td>2,56534549</td></tr> <tr><td>7</td><td>68,0356129</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>2,25916666</td><td>2,42921146</td></tr> <tr><td>8</td><td>94,9942062</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>2,43955489</td><td>2,6231773</td></tr> <tr><td>9</td><td>124,001154</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>2,63436617</td><td>2,83265179</td></tr> <tr><td>10</td><td>108,400061</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>2,52929983</td><td>2,71967724</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar		MW	MW	1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872	4	76,7876305	2,70192008	1,28208885	2,31914547	2,49370481	5	104,377271	3,46410162	1,28208885	2,50302618	2,69142601	6	86,8603098	4,44128607	1,28208885	2,3857713	2,56534549	7	68,0356129	5,69412337	1,28208885	2,25916666	2,42921146	8	94,9942062	7,3003721	1,28208885	2,43955489	2,6231773	9	124,001154	9,3597257	1,28208885	2,63436617	2,83265179	10	108,400061	12	1,28208885	2,52929983	2,71967724	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-3,6258689</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-3,2995407</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-3,2995407</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>0,3263282</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,88134694</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-3,6258689	MW	Brake horsepower:	-3,2995407	MW	Net work required:	-3,2995407	MW	Power loss:	0,3263282	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,88134694		Displacement:			Volumetric efficiency:		
Stage		Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																												
	C	bar		MW	MW																																																																																																													
1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076																																																																																																													
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186																																																																																																													
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872																																																																																																													
4	76,7876305	2,70192008	1,28208885	2,31914547	2,49370481																																																																																																													
5	104,377271	3,46410162	1,28208885	2,50302618	2,69142601																																																																																																													
6	86,8603098	4,44128607	1,28208885	2,3857713	2,56534549																																																																																																													
7	68,0356129	5,69412337	1,28208885	2,25916666	2,42921146																																																																																																													
8	94,9942062	7,3003721	1,28208885	2,43955489	2,6231773																																																																																																													
9	124,001154	9,3597257	1,28208885	2,63436617	2,83265179																																																																																																													
10	108,400061	12	1,28208885	2,52929983	2,71967724																																																																																																													
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																	
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																	
Indicated horsepower:	-3,6258689	MW																																																																																																																
Brake horsepower:	-3,2995407	MW																																																																																																																
Net work required:	-3,2995407	MW																																																																																																																
Power loss:	0,3263282	MW																																																																																																																
Efficiency:	0,91																																																																																																																	
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																	
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																																
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																
Vapor fraction:	0,88134694																																																																																																																	
Displacement:																																																																																																																		
Volumetric efficiency:																																																																																																																		
Bomba	Permuta																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>12,8196694</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>23,5936904</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>23,5936904</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>24,1459138</td> <td>cum/hr</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>19,1133</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>196,086369</td> <td>meter</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,5433516</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>23,5936904</td> <td>kW</td> </tr> </table>	Fluid power:	12,8196694	kW	Brake power:	23,5936904	kW	Electricity:	23,5936904	kW	Volumetric flow rate:	24,1459138	cum/hr	Pressure change:	19,1133	bar	NPSH available:	4,86383745	meter	NPSH required:			Head developed:	196,086369	meter	Pump efficiency used:	0,5433516		Net work required:	23,5936904	kW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES2</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>348,4199</td> <td>C</td> <td>151,700267</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>25,3823688</td> <td>C</td> <td>239</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>19,6133</td> <td>bar</td> <td>15,69064</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>19,4228844</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES2		CHAMINE		Temperature:	348,4199	C	151,700267	C	Pressure:	1,1	bar	1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	25,3823688	C	239	C	Pressure:	19,6133	bar	15,69064	bar	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	19,4228844	MW																																			
Fluid power:	12,8196694	kW																																																																																																																
Brake power:	23,5936904	kW																																																																																																																
Electricity:	23,5936904	kW																																																																																																																
Volumetric flow rate:	24,1459138	cum/hr																																																																																																																
Pressure change:	19,1133	bar																																																																																																																
NPSH available:	4,86383745	meter																																																																																																																
NPSH required:																																																																																																																		
Head developed:	196,086369	meter																																																																																																																
Pump efficiency used:	0,5433516																																																																																																																	
Net work required:	23,5936904	kW																																																																																																																
	Inlet		Outlet																																																																																																															
Hot stream:	GASES2		CHAMINE																																																																																																															
Temperature:	348,4199	C	151,700267	C																																																																																																														
Pressure:	1,1	bar	1	bar																																																																																																														
Vapor fraction:	1		1																																																																																																															
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																															
Temperature:	25,3823688	C	239	C																																																																																																														
Pressure:	19,6133	bar	15,69064	bar																																																																																																														
Vapor fraction:	0		1																																																																																																															
Heat duty:	19,4228844	MW																																																																																																																

Mturbina	Perfil da Mturbina																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 20%;">1,1</td> <td style="width: 10%;">bar</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>-59,30191</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-33,634317</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1,1	bar				Total work:	-59,30191	MW				Total cooling duty:	0	MW				Net work required:	-33,634317	MW				Net cooling duty:	0	MW				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>916,711559</td> <td>5,2593183</td> <td>0,45733203</td> <td>-25,018003</td> <td>-23,266743</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>727,719313</td> <td>2,40525469</td> <td>0,45733203</td> <td>-21,077387</td> <td>-19,601969</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>564,035274</td> <td>1,1</td> <td>0,45733203</td> <td>-17,670104</td> <td>-16,433197</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	916,711559	5,2593183	0,45733203	-25,018003	-23,266743	2	727,719313	2,40525469	0,45733203	-21,077387	-19,601969	3	564,035274	1,1	0,45733203	-17,670104	-16,433197																																		
Outlet pressure:	1,1	bar																																																																																											
Total work:	-59,30191	MW																																																																																											
Total cooling duty:	0	MW																																																																																											
Net work required:	-33,634317	MW																																																																																											
Net cooling duty:	0	MW																																																																																											
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																								
	C	bar		MW	MW																																																																																								
1	916,711559	5,2593183	0,45733203	-25,018003	-23,266743																																																																																								
2	727,719313	2,40525469	0,45733203	-21,077387	-19,601969																																																																																								
3	564,035274	1,1	0,45733203	-17,670104	-16,433197																																																																																								
Câmara de Combustão	PreAquecedor																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 20%;">1134,43946</td> <td style="width: 10%;">C</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>11,5</td> <td>bar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1134,43946	C				Outlet pressure:	11,5	bar				Heat duty:	0	MW				Net heat duty:	0	MW				Vapor fraction:	1					Number of fluid phases:	1					Maximum number of pure solids:	0					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">GASES2</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>564,035272</td> <td>C</td> <td>348,4199</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">ARP</td> <td colspan="2">ARPQUENT</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>108,400065</td> <td>C</td> <td>347,3</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>12</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>22,3195109</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		GASES2		Temperature:	564,035272	C	348,4199	C	Pressure:	1,1	bar	1,1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	ARP		ARPQUENT		Temperature:	108,400065	C	347,3	C	Pressure:	12	bar	12	bar	Vapor fraction:	1		1		Heat duty:	22,3195109	MW		
Outlet temperature:	1134,43946	C																																																																																											
Outlet pressure:	11,5	bar																																																																																											
Heat duty:	0	MW																																																																																											
Net heat duty:	0	MW																																																																																											
Vapor fraction:	1																																																																																												
Number of fluid phases:	1																																																																																												
Maximum number of pure solids:	0																																																																																												
	Inlet		Outlet																																																																																										
Hot stream:	GASES1		GASES2																																																																																										
Temperature:	564,035272	C	348,4199	C																																																																																									
Pressure:	1,1	bar	1,1	bar																																																																																									
Vapor fraction:	1		1																																																																																										
Cold stream:	ARP		ARPQUENT																																																																																										
Temperature:	108,400065	C	347,3	C																																																																																									
Pressure:	12	bar	12	bar																																																																																									
Vapor fraction:	1		1																																																																																										
Heat duty:	22,3195109	MW																																																																																											

ANEXO 7 – Resumo dos resultados do Caso 2a.

Mcompress				Condensa			
Outlet pressure:	12	bar	▼	Outlet temperature:	25	C	▼
Total work:	32,4580687	MW	▼	Outlet pressure:	0,5	bar	▼
Total cooling duty:	0	MW	▼	Vapor fraction:	0		
Net work required:	32,4580687	MW	▼	Heat duty:	-30,6932	MW	▼
Net cooling duty:	0	MW	▼	Net duty:	-30,6932	MW	▼
				1st liquid / Total liquid:	1		
				Pressure-drop correlation parameter:	0		

Perfil do Mcompress						TG-4002	
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower		
	C	bar		MW	MW		
1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076	Compressor model: Isentropic Turbine	
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186	Phase calculations: Two phase calculation	
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872	Indicated horsepower:	-11,327511 MW
4	124,105055	2,70192008	1,28208885	2,63466312	2,83297109	Brake horsepower:	-10,308035 MW
5	155,233063	3,46410162	1,28208885	2,84239755	3,05634145	Net work required:	-10,308035 MW
6	188,639341	4,44128607	1,28208885	3,06582716	3,29658834	Power loss:	1,01947603 MW
7	224,437013	5,69412337	1,28208885	3,30580763	3,55463186	Efficiency:	0,91
8	262,735227	7,3003721	1,28208885	3,56326605	3,83146887	Mechanical efficiency:	0,91
9	303,639738	9,3597257	1,28208885	3,8391396	4,12810711	Outlet pressure:	0,5 bar
10	347,254196	12	1,28208885	4,13437265	4,44556198	Outlet temperature:	83,5947701 C
						Isentropic outlet temperature:	83,5947701 C
						Vapor fraction:	0,89346917
						Displacement:	
						Volumetric efficiency:	

Bomba			Permuta		
Fluid power:	107,776593	kW			
Brake power:	173,356612	kW			
Electricity:	173,356612	kW			
Volumetric flow rate:	46,279668	cum/hr			
Pressure change:	83,83719	bar			
NPSH available:	4,86383745	meter			
NPSH required:					
Head developed:	860,098997	meter			
Pump efficiency used:	0,62170454				
Net work required:	173,356612	kW			

		Inlet		Outlet	
Hot stream:	GASES1	CHAMINE			
Temperature:	565,727161 C	154,504769 C			
Pressure:	1,1 bar	1 bar			
Vapor fraction:	1	1			
Cold stream:	AGUAP	VAPOR1			
Temperature:	26,244823 C	450,033596 C			
Pressure:	84,33719 bar	66,68522 bar			
Vapor fraction:	0	1			
Heat duty:	41,8473539	MW			

Mturбина	Perfil da Mturбина																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 20%;">1.1</td> <td style="width: 50%;">bar</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>-59.652231</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-27.194162</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1.1	bar	Total work:	-59.652231	MW	Total cooling duty:	0	MW	Net work required:	-27.194162	MW	Net cooling duty:	0	MW	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>918.674622</td> <td>5.2593183</td> <td>0.45733203</td> <td>-25.161499</td> <td>-23.400194</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>729.560799</td> <td>2.40525469</td> <td>0.45733203</td> <td>-21.202442</td> <td>-19.718271</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>565.727164</td> <td>1.1</td> <td>0.45733203</td> <td>-17.778243</td> <td>-16.533766</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	918.674622	5.2593183	0.45733203	-25.161499	-23.400194	2	729.560799	2.40525469	0.45733203	-21.202442	-19.718271	3	565.727164	1.1	0.45733203	-17.778243	-16.533766
Outlet pressure:	1.1	bar																																										
Total work:	-59.652231	MW																																										
Total cooling duty:	0	MW																																										
Net work required:	-27.194162	MW																																										
Net cooling duty:	0	MW																																										
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																							
	C	bar		MW	MW																																							
1	918.674622	5.2593183	0.45733203	-25.161499	-23.400194																																							
2	729.560799	2.40525469	0.45733203	-21.202442	-19.718271																																							
3	565.727164	1.1	0.45733203	-17.778243	-16.533766																																							
Câmara de Combustão																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 20%;">1136.47731</td> <td style="width: 50%;">C</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>11.5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>0</td> <td>Gcal/hr</td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td>0</td> <td>Gcal/hr</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1136.47731	C	Outlet pressure:	11.5	bar	Heat duty:	0	Gcal/hr	Net heat duty:	0	Gcal/hr	Vapor fraction:	1		Number of fluid phases:	1		Maximum number of pure solids:	0																								
Outlet temperature:	1136.47731	C																																										
Outlet pressure:	11.5	bar																																										
Heat duty:	0	Gcal/hr																																										
Net heat duty:	0	Gcal/hr																																										
Vapor fraction:	1																																											
Number of fluid phases:	1																																											
Maximum number of pure solids:	0																																											

ANEXO 8 – Resumo dos resultados do Caso 2b.

Mcompress				Condensa			
Outlet pressure:	12	bar		Outlet temperature:	25	C	
Total work:	25,6675922	MW		Outlet pressure:	0,5	bar	
Total cooling duty:	-16	MW		Vapor fraction:	0		
Net work required:	25,6675922	MW		Heat duty:	-15,820609	MW	
Net cooling duty:	-16	MW		Net duty:	-15,820609	MW	
				1st liquid / Total liquid:	1		
				Pressure-drop correlation parameter:	0		

Perfil do Mcompress						TG-4002	
	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	
		C	bar		MW	MW	
1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	2,09634161	2,25413076		Compressor model: Isentropic Turbine
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	2,2625213	2,4328186		Phase calculations: Two phase calculation
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	2,44166732	2,62544872		Indicated horsepower: -3,6258689 MW
4	76,7876305	2,70192008	1,28208885	2,31914547	2,49370481		Brake horsepower: -11,2585 MMBtu/hr
5	104,377271	3,46410162	1,28208885	2,50302618	2,69142601		Net work required: -3,2995407 MW
6	86,8603098	4,44128607	1,28208885	2,3857713	2,56534549		Power loss: 0,3263282 MW
7	68,0356129	5,69412337	1,28208885	2,25916666	2,42921146		Efficiency: 0,91
8	94,9942062	7,3003721	1,28208885	2,43955489	2,6231773		Mechanical efficiency: 0,91
9	124,001154	9,3597257	1,28208885	2,63436617	2,83265179		Outlet pressure: 0,5 bar
10	108,400061	12	1,28208885	2,52929983	2,71967724		Outlet temperature: 83,5947701 C
							Isentropic outlet temperature: 83,5947701 C
							Vapor fraction: 0,88134694
							Displacement:
							Volumetric efficiency:

Bomba			Permuta		
Fluid power:	12,8196694	kW			
Brake power:	23,5936904	kW		Inlet	Outlet
Electricity:	23,5936904	kW		Hot stream: GASES2	CHAMINE
Volumetric flow rate:	24,1459138	cum/hr		Temperature: 351,269477 C	155,609287 C
Pressure change:	19,1133	bar		Pressure: 1,1 bar	1 bar
NPSH available:	4,86383745	meter		Vapor fraction: 1	1
NPSH required:				Cold stream: AGUAP	VAPOR1
Head developed:	196,086369	meter		Temperature: 25,3823688 C	239 C
Pump efficiency used:	0,5433516			Pressure: 19,6133 bar	15,69064 bar
Net work required:	23,5936904	kW		Vapor fraction: 0	1
				Heat duty: 19,4228844 MW	

Mturбина	Perfil da Mturбина																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 20%;">1.1</td> <td style="width: 20%;">bar</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>-59.653855</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-33.986263</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1.1	bar		Total work:	-59.653855	MW		Total cooling duty:	0	MW		Net work required:	-33.986263	MW		Net cooling duty:	0	MW		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>918.706566</td> <td>5.2593183</td> <td>0.45733203</td> <td>-25.162165</td> <td>-23.400814</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>729.588576</td> <td>2.40525469</td> <td>0.45733203</td> <td>-21.203021</td> <td>-19.718809</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>565.751179</td> <td>1.1</td> <td>0.45733203</td> <td>-17.778744</td> <td>-16.534232</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	918.706566	5.2593183	0.45733203	-25.162165	-23.400814	2	729.588576	2.40525469	0.45733203	-21.203021	-19.718809	3	565.751179	1.1	0.45733203	-17.778744	-16.534232																														
Outlet pressure:	1.1	bar																																																																													
Total work:	-59.653855	MW																																																																													
Total cooling duty:	0	MW																																																																													
Net work required:	-33.986263	MW																																																																													
Net cooling duty:	0	MW																																																																													
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																										
	C	bar		MW	MW																																																																										
1	918.706566	5.2593183	0.45733203	-25.162165	-23.400814																																																																										
2	729.588576	2.40525469	0.45733203	-21.203021	-19.718809																																																																										
3	565.751179	1.1	0.45733203	-17.778744	-16.534232																																																																										
Câmara de Combustão	PreAquecedor																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 20%;">1136.51418</td> <td style="width: 20%;">C</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>11.5</td> <td>bar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1136.51418	C		Outlet pressure:	11.5	bar		Heat duty:	0	MW		Net heat duty:	0	MW		Vapor fraction:	1			Number of fluid phases:	1			Maximum number of pure solids:	0			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Inlet</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">GASES1</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">GASES2</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>565.751177</td> <td>C</td> <td>351.269477</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1.1</td> <td>bar</td> <td>1.1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ARP</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">ARPQUENT</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>108.400065</td> <td>C</td> <td>347.3</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>12</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>22.3195109</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		GASES2		Temperature:	565.751177	C	351.269477	C	Pressure:	1.1	bar	1.1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	ARP		ARPQUENT		Temperature:	108.400065	C	347.3	C	Pressure:	12	bar	12	bar	Vapor fraction:	1		1		Heat duty:	22.3195109	MW		
Outlet temperature:	1136.51418	C																																																																													
Outlet pressure:	11.5	bar																																																																													
Heat duty:	0	MW																																																																													
Net heat duty:	0	MW																																																																													
Vapor fraction:	1																																																																														
Number of fluid phases:	1																																																																														
Maximum number of pure solids:	0																																																																														
	Inlet		Outlet																																																																												
Hot stream:	GASES1		GASES2																																																																												
Temperature:	565.751177	C	351.269477	C																																																																											
Pressure:	1.1	bar	1.1	bar																																																																											
Vapor fraction:	1		1																																																																												
Cold stream:	ARP		ARPQUENT																																																																												
Temperature:	108.400065	C	347.3	C																																																																											
Pressure:	12	bar	12	bar																																																																											
Vapor fraction:	1		1																																																																												
Heat duty:	22.3195109	MW																																																																													

ANEXO 9 – Distribuição do consumo de Fuel Óleo e Fuel Gás – Consumo Equivalente.

Caso 1

Fornalha	FG (t/h)	FO (t/h)	Energia (Gcal/h)
H-101	0,22	1,04	12,99
H-301	0,31	1,48	18,53
H-302	0,35	0,07	5,30
H-303	0,03	0,00	0,38
H-401	0,16	0,76	9,48
H-402	0,11	0,51	6,31
H-471	0,36	1,73	21,57
H-472	0,34	0,00	4,44
H-1201	0,43	0,00	5,70
H-1301	1,46	0,00	19,21
H-1302	0,80	0,00	10,60
H-1401	0,25	0,00	3,35
H-1402	0,25	0,00	3,23
H-1651	1,06	0,00	13,99
H-3001	0,88	4,20	52,37
H-3301	0,47	2,25	28,13
H-3302	0,25	0,00	3,36
H-3701	0,85	0,00	11,21
H-2001	0,25	1,18	14,71
H-2002	0,61	0,00	7,99
H-2101	0,20	0,00	2,66
H-2201	0,58	0,00	7,67
H-2202	0,14	0,00	1,84
H-2301	0,35	0,00	4,57
H-2401	0,27	0,00	3,59
<b>Consumido</b>	<b>10,98</b>	<b>13,22</b>	<b>273,18</b>
<b>Disponível</b>	<b>10,98</b>	<b>13,27</b>	<b>273,66</b>

Caso 2

Fornalha	FG (t/h)	FO (t/h)	Energia (Gcal/h)
H-101	0,98	0,00	12,99
H-301	1,40	0,00	18,53
H-302	0,40	0,00	5,30
H-303	0,03	0,00	0,38
H-401	0,72	0,00	9,48
H-402	0,48	0,00	6,31
H-471	1,63	0,00	21,57
H-472	0,34	0,00	4,44
H-1201	0,43	0,00	5,70
H-1301	1,46	0,00	19,21
H-1302	0,80	0,00	10,60
H-1401	0,25	0,00	3,35
H-1402	0,25	0,00	3,23
H-1651	1,06	0,00	13,99
H-3001	0,88	4,20	52,37
H-3301	0,97	1,58	28,13
H-3302	0,25	0,00	3,36
H-3701	0,85	0,00	11,21
H-2001	1,11	0,00	14,71
H-2002	0,61	0,00	7,99
H-2101	0,20	0,00	2,66
H-2201	0,58	0,00	7,67
H-2202	0,14	0,00	1,84
H-2301	0,35	0,00	4,57
H-2401	0,27	0,00	3,59
<b>Consumido</b>	<b>16,45</b>	<b>5,78</b>	<b>273,18</b>
<b>Disponível</b>	<b>16,45</b>	<b>10,06</b>	<b>314,72</b>



ANEXO 10 – Resumo dos resultados do Caso 3a.

Mcompress	Condensa																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>13,3438727</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>13,3438727</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	▼	Total work:	13,3438727	MW	▼	Total cooling duty:	0	MW	▼	Net work required:	13,3438727	MW	▼	Net cooling duty:	0	MW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-13,344869</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-13,344869</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	▼	Outlet pressure:	0,5	bar	▼	Vapor fraction:	0			Heat duty:	-13,344869	MW	▼	Net duty:	-13,344869	MW	▼	1st liquid / Total liquid:	1			Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																		
Outlet pressure:	12	bar	▼																																																																																																														
Total work:	13,3438727	MW	▼																																																																																																														
Total cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																														
Net work required:	13,3438727	MW	▼																																																																																																														
Net cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																														
Outlet temperature:	25	C	▼																																																																																																														
Outlet pressure:	0,5	bar	▼																																																																																																														
Vapor fraction:	0																																																																																																																
Heat duty:	-13,344869	MW	▼																																																																																																														
Net duty:	-13,344869	MW	▼																																																																																																														
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MMBtu/h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058326</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>0,86182933</td><td>3,16202543</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>0,93014764</td><td>3,41268324</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>1,00379656</td><td>3,68289886</td></tr> <tr><td>4</td><td>124,105055</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>1,08313928</td><td>3,97400488</td></tr> <tr><td>5</td><td>155,233063</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>1,16854122</td><td>4,28734195</td></tr> <tr><td>6</td><td>188,639341</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>1,26039561</td><td>4,62435291</td></tr> <tr><td>7</td><td>224,437013</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>1,35905424</td><td>4,98632842</td></tr> <tr><td>8</td><td>262,735227</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>1,46489827</td><td>5,3746669</td></tr> <tr><td>9</td><td>303,639738</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>1,57831294</td><td>5,79078191</td></tr> <tr><td>10</td><td>347,254196</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>1,69968653</td><td>6,23609786</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MMBtu/h	1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,86182933	3,16202543	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	3,41268324	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	3,68289886	4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08313928	3,97400488	5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,16854122	4,28734195	6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,26039561	4,62435291	7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35905424	4,98632842	8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46489827	5,3746669	9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57831294	5,79078191	10	347,254196	12	1,28208885	1,69968653	6,23609786	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-4,925005</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-4,4817545</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-4,4817545</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>0,44325045</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,89346917</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-4,925005	MW	Brake horsepower:	-4,4817545	MW	Net work required:	-4,4817545	MW	Power loss:	0,44325045	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,89346917		Displacement:			Volumetric efficiency:		
Stage		Temperature	Pressure		Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																										
	C	bar	MW	MMBtu/h																																																																																																													
1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,86182933	3,16202543																																																																																																												
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	3,41268324																																																																																																												
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	3,68289886																																																																																																												
4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08313928	3,97400488																																																																																																												
5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,16854122	4,28734195																																																																																																												
6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,26039561	4,62435291																																																																																																												
7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35905424	4,98632842																																																																																																												
8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46489827	5,3746669																																																																																																												
9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57831294	5,79078191																																																																																																												
10	347,254196	12	1,28208885	1,69968653	6,23609786																																																																																																												
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																
Indicated horsepower:	-4,925005	MW																																																																																																															
Brake horsepower:	-4,4817545	MW																																																																																																															
Net work required:	-4,4817545	MW																																																																																																															
Power loss:	0,44325045	MW																																																																																																															
Efficiency:	0,91																																																																																																																
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																															
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Vapor fraction:	0,89346917																																																																																																																
Displacement:																																																																																																																	
Volumetric efficiency:																																																																																																																	
Bomba	Permuta																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>46,8593883</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>20,1215948</td> <td>cum/hr</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>83,83719</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>860,098997</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,51957326</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Fluid power:	46,8593883	kW	▼	Brake power:	90,1882212	kW	▼	Electricity:	90,1882212	kW	▼	Volumetric flow rate:	20,1215948	cum/hr	▼	Pressure change:	83,83719	bar	▼	NPSH available:	4,86383745	meter	▼	NPSH required:			▼	Head developed:	860,098997	meter	▼	Pump efficiency used:	0,51957326			Net work required:	90,1882212	kW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>593,085801</td> <td>C</td> <td>159,69575</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>26,8355837</td> <td>C</td> <td>450,033599</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719</td> <td>bar</td> <td>66,68522</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>18,179686</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		CHAMINE		Temperature:	593,085801	C	159,69575	C	Pressure:	1,1	bar	1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	26,8355837	C	450,033599	C	Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	18,179686	MW																								
Fluid power:	46,8593883	kW	▼																																																																																																														
Brake power:	90,1882212	kW	▼																																																																																																														
Electricity:	90,1882212	kW	▼																																																																																																														
Volumetric flow rate:	20,1215948	cum/hr	▼																																																																																																														
Pressure change:	83,83719	bar	▼																																																																																																														
NPSH available:	4,86383745	meter	▼																																																																																																														
NPSH required:			▼																																																																																																														
Head developed:	860,098997	meter	▼																																																																																																														
Pump efficiency used:	0,51957326																																																																																																																
Net work required:	90,1882212	kW	▼																																																																																																														
	Inlet		Outlet																																																																																																														
Hot stream:	GASES1		CHAMINE																																																																																																														
Temperature:	593,085801	C	159,69575	C																																																																																																													
Pressure:	1,1	bar	1	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	1		1																																																																																																														
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																														
Temperature:	26,8355837	C	450,033599	C																																																																																																													
Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	0		1																																																																																																														
Heat duty:	18,179686	MW																																																																																																															

Mturбина	Perfil da Mturбина																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 20%; border: 1px solid black;">1,1</td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black;">bar ▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td style="border: 1px solid black;">-25,218684</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td style="border: 1px solid black;">-11,874812</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1,1	bar ▼	Total work:	-25,218684	MW ▼	Total cooling duty:	0	MW ▼	Net work required:	-11,874812	MW ▼	Net cooling duty:	0	MW ▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C ▼</th> <th>bar ▼</th> <th>MW ▼</th> <th>MW ▼</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>954,584764</td> <td>5,2593183</td> <td>0,45733203</td> <td>-10,6266</td> <td>-9,8827375</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>760,958069</td> <td>2,40525469</td> <td>0,45733203</td> <td>-8,9644112</td> <td>-8,3369024</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>593,085787</td> <td>1,1</td> <td>0,45733203</td> <td>7,5258543</td> <td>6,9990445</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C ▼	bar ▼	MW ▼	MW ▼	1	954,584764	5,2593183	0,45733203	-10,6266	-9,8827375	2	760,958069	2,40525469	0,45733203	-8,9644112	-8,3369024	3	593,085787	1,1	0,45733203	7,5258543	6,9990445
Outlet pressure:	1,1	bar ▼																																										
Total work:	-25,218684	MW ▼																																										
Total cooling duty:	0	MW ▼																																										
Net work required:	-11,874812	MW ▼																																										
Net cooling duty:	0	MW ▼																																										
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																							
	C ▼	bar ▼		MW ▼	MW ▼																																							
1	954,584764	5,2593183	0,45733203	-10,6266	-9,8827375																																							
2	760,958069	2,40525469	0,45733203	-8,9644112	-8,3369024																																							
3	593,085787	1,1	0,45733203	7,5258543	6,9990445																																							
Câmara de Combustão																																												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 20%; border: 1px solid black;">1177,5019</td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black;">C ▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td style="border: 1px solid black;">11,5</td> <td style="border: 1px solid black;">bar ▼</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW ▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1177,5019	C ▼	Outlet pressure:	11,5	bar ▼	Heat duty:	0	MW ▼	Net heat duty:	0	MW ▼	Vapor fraction:	1		Number of fluid phases:	1		Maximum number of pure solids:	0																								
Outlet temperature:	1177,5019	C ▼																																										
Outlet pressure:	11,5	bar ▼																																										
Heat duty:	0	MW ▼																																										
Net heat duty:	0	MW ▼																																										
Vapor fraction:	1																																											
Number of fluid phases:	1																																											
Maximum number of pure solids:	0																																											

ANEXO 11 – Resumo dos resultados do Caso 3b.

Mcompress	Condensa																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>11,6563822</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>-4</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>11,6563822</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>-4</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	▼	Total work:	11,6563822	MW	▼	Total cooling duty:	-4	MW	▼	Net work required:	11,6563822	MW	▼	Net cooling duty:	-4	MW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-8,6740099</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-8,6740099</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	▼	Outlet pressure:	0,5	bar	▼	Vapor fraction:	0			Heat duty:	-8,6740099	MW	▼	Net duty:	-8,6740099	MW	▼	1st liquid / Total liquid:	1			Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																		
Outlet pressure:	12	bar	▼																																																																																																														
Total work:	11,6563822	MW	▼																																																																																																														
Total cooling duty:	-4	MW	▼																																																																																																														
Net work required:	11,6563822	MW	▼																																																																																																														
Net cooling duty:	-4	MW	▼																																																																																																														
Outlet temperature:	25	C	▼																																																																																																														
Outlet pressure:	0,5	bar	▼																																																																																																														
Vapor fraction:	0																																																																																																																
Heat duty:	-8,6740099	MW	▼																																																																																																														
Net duty:	-8,6740099	MW	▼																																																																																																														
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058303</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>0,86182933</td><td>0,9266982</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>0,93014764</td><td>1,00015876</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>1,00379656</td><td>1,07935114</td></tr> <tr><td>4</td><td>95,3546828</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>1,00433335</td><td>1,07992833</td></tr> <tr><td>5</td><td>124,344523</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>1,08380895</td><td>1,16538598</td></tr> <tr><td>6</td><td>126,892992</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>1,09082879</td><td>1,17293419</td></tr> <tr><td>7</td><td>129,676508</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>1,09852633</td><td>1,18121112</td></tr> <tr><td>8</td><td>161,239551</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>1,18555245</td><td>1,27478758</td></tr> <tr><td>9</td><td>195,105857</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>1,27926884</td><td>1,37555789</td></tr> <tr><td>10</td><td>203,234818</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>1,30234317</td><td>1,400369</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	0,86182933	0,9266982	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	1,00015876	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	1,07935114	4	95,3546828	2,70192008	1,28208885	1,00433335	1,07992833	5	124,344523	3,46410162	1,28208885	1,08380895	1,16538598	6	126,892992	4,44128607	1,28208885	1,09082879	1,17293419	7	129,676508	5,69412337	1,28208885	1,09852633	1,18121112	8	161,239551	7,3003721	1,28208885	1,18555245	1,27478758	9	195,105857	9,3597257	1,28208885	1,27926884	1,37555789	10	203,234818	12	1,28208885	1,30234317	1,400369	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="2">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="2">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-3,2011204</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-2,9130196</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-2,9130196</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>0,28810084</td> <td>MW</td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="2">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0,89345119</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine		Phase calculations:	Two phase calculation		Indicated horsepower:	-3,2011204	MW	Brake horsepower:	-2,9130196	MW	Net work required:	-2,9130196	MW	Power loss:	0,28810084	MW	Efficiency:	0,91		Mechanical efficiency:	0,91		Outlet pressure:	0,5	bar	Outlet temperature:	83,5947701	C	Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C	Vapor fraction:	0,89345119		Displacement:			Volumetric efficiency:		
Stage		Temperature	Pressure		Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																										
	C	bar	MW	MW																																																																																																													
1	43,2058303	1,28208885	1,28208885	0,86182933	0,9266982																																																																																																												
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	1,00015876																																																																																																												
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	1,07935114																																																																																																												
4	95,3546828	2,70192008	1,28208885	1,00433335	1,07992833																																																																																																												
5	124,344523	3,46410162	1,28208885	1,08380895	1,16538598																																																																																																												
6	126,892992	4,44128607	1,28208885	1,09082879	1,17293419																																																																																																												
7	129,676508	5,69412337	1,28208885	1,09852633	1,18121112																																																																																																												
8	161,239551	7,3003721	1,28208885	1,18555245	1,27478758																																																																																																												
9	195,105857	9,3597257	1,28208885	1,27926884	1,37555789																																																																																																												
10	203,234818	12	1,28208885	1,30234317	1,400369																																																																																																												
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																
Indicated horsepower:	-3,2011204	MW																																																																																																															
Brake horsepower:	-2,9130196	MW																																																																																																															
Net work required:	-2,9130196	MW																																																																																																															
Power loss:	0,28810084	MW																																																																																																															
Efficiency:	0,91																																																																																																																
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																															
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																															
Vapor fraction:	0,89345119																																																																																																																
Displacement:																																																																																																																	
Volumetric efficiency:																																																																																																																	
Bomba	Permuta																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>30,4586024</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>66,1820943</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>66,1820943</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>13,0790366</td> <td>cum/hr</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>83,83719</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>860,098997</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,46022422</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>66,1820943</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Fluid power:	30,4586024	kW	▼	Brake power:	66,1820943	kW	▼	Electricity:	66,1820943	kW	▼	Volumetric flow rate:	13,0790366	cum/hr	▼	Pressure change:	83,83719	bar	▼	NPSH available:	4,86383745	meter	▼	NPSH required:			▼	Head developed:	860,098997	meter	▼	Pump efficiency used:	0,46022422			Net work required:	66,1820943	kW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>592,170824</td> <td>C</td> <td>182,68811</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>26,8835109</td> <td>C</td> <td>450,033599</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719</td> <td>bar</td> <td>66,68522</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>17,2695598</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		CHAMINE		Temperature:	592,170824	C	182,68811	C	Pressure:	1,1	bar	1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	26,8835109	C	450,033599	C	Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	17,2695598	MW																								
Fluid power:	30,4586024	kW	▼																																																																																																														
Brake power:	66,1820943	kW	▼																																																																																																														
Electricity:	66,1820943	kW	▼																																																																																																														
Volumetric flow rate:	13,0790366	cum/hr	▼																																																																																																														
Pressure change:	83,83719	bar	▼																																																																																																														
NPSH available:	4,86383745	meter	▼																																																																																																														
NPSH required:			▼																																																																																																														
Head developed:	860,098997	meter	▼																																																																																																														
Pump efficiency used:	0,46022422																																																																																																																
Net work required:	66,1820943	kW	▼																																																																																																														
	Inlet		Outlet																																																																																																														
Hot stream:	GASES1		CHAMINE																																																																																																														
Temperature:	592,170824	C	182,68811	C																																																																																																													
Pressure:	1,1	bar	1	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	1		1																																																																																																														
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																														
Temperature:	26,8835109	C	450,033599	C																																																																																																													
Pressure:	84,33719	bar	66,68522	bar																																																																																																													
Vapor fraction:	0		1																																																																																																														
Heat duty:	17,2695598	MW																																																																																																															

Mturбина	Perfil da Mturбина																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 20%;">1,1</td> <td style="width: 20%;">bar</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>-25,219351</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-13,562969</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1,1	bar		Total work:	-25,219351	MW		Total cooling duty:	0	MW		Net work required:	-13,562969	MW		Net cooling duty:	0	MW		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th>Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th></th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>954,616797</td> <td>5,2593183</td> <td>0,45733203</td> <td>-10,626873</td> <td>-9,8829919</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>760,985882</td> <td>2,40525469</td> <td>0,45733203</td> <td>-8,9646487</td> <td>-8,3371233</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>593,10986</td> <td>1,1</td> <td>0,45733203</td> <td>-7,5260601</td> <td>-6,9992359</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar		MW	MW	1	954,616797	5,2593183	0,45733203	-10,626873	-9,8829919	2	760,985882	2,40525469	0,45733203	-8,9646487	-8,3371233	3	593,10986	1,1	0,45733203	-7,5260601	-6,9992359																													
Outlet pressure:	1,1	bar																																																																													
Total work:	-25,219351	MW																																																																													
Total cooling duty:	0	MW																																																																													
Net work required:	-13,562969	MW																																																																													
Net cooling duty:	0	MW																																																																													
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																										
	C	bar		MW	MW																																																																										
1	954,616797	5,2593183	0,45733203	-10,626873	-9,8829919																																																																										
2	760,985882	2,40525469	0,45733203	-8,9646487	-8,3371233																																																																										
3	593,10986	1,1	0,45733203	-7,5260601	-6,9992359																																																																										
Câmara de Combustão	PreAquecedor																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 20%;">1177,53879</td> <td style="width: 20%;">C</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>11,5</td> <td>bar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1177,53879	C		Outlet pressure:	11,5	bar		Heat duty:	0	MW		Net heat duty:	0	MW		Vapor fraction:	1			Number of fluid phases:	1			Maximum number of pure solids:	0			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Inlet</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">GASES2</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>593,109873</td> <td>C</td> <td>464,864409</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> <td>1,1</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">ARP</td> <td colspan="2">ARPQUENT</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>203,234801</td> <td>C</td> <td>347,3</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>12</td> <td>bar</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>5,57116185</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		GASES2		Temperature:	593,109873	C	464,864409	C	Pressure:	1,1	bar	1,1	bar	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	ARP		ARPQUENT		Temperature:	203,234801	C	347,3	C	Pressure:	12	bar	12	bar	Vapor fraction:	1		1		Heat duty:	5,57116185	MW		
Outlet temperature:	1177,53879	C																																																																													
Outlet pressure:	11,5	bar																																																																													
Heat duty:	0	MW																																																																													
Net heat duty:	0	MW																																																																													
Vapor fraction:	1																																																																														
Number of fluid phases:	1																																																																														
Maximum number of pure solids:	0																																																																														
	Inlet		Outlet																																																																												
Hot stream:	GASES1		GASES2																																																																												
Temperature:	593,109873	C	464,864409	C																																																																											
Pressure:	1,1	bar	1,1	bar																																																																											
Vapor fraction:	1		1																																																																												
Cold stream:	ARP		ARPQUENT																																																																												
Temperature:	203,234801	C	347,3	C																																																																											
Pressure:	12	bar	12	bar																																																																											
Vapor fraction:	1		1																																																																												
Heat duty:	5,57116185	MW																																																																													

ANEXO 12 – Resumo dos resultados do Caso 4a.

Mcompress	Condensa																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>12</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td>13,3438727</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>13,3438727</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td>0</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	12	bar	▼	Total work:	13,3438727	MW	▼	Total cooling duty:	0	MW	▼	Net work required:	13,3438727	MW	▼	Net cooling duty:	0	MW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>25</td> <td>C</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>-13,344869</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Net duty:</td> <td>-13,344869</td> <td>MW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>1st liquid / Total liquid:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pressure-drop correlation parameter:</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	25	C	▼	Outlet pressure:	0,5	bar	▼	Vapor fraction:	0			Heat duty:	-13,344869	MW	▼	Net duty:	-13,344869	MW	▼	1st liquid / Total liquid:	1			Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																
Outlet pressure:	12	bar	▼																																																																																																																												
Total work:	13,3438727	MW	▼																																																																																																																												
Total cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																																												
Net work required:	13,3438727	MW	▼																																																																																																																												
Net cooling duty:	0	MW	▼																																																																																																																												
Outlet temperature:	25	C	▼																																																																																																																												
Outlet pressure:	0,5	bar	▼																																																																																																																												
Vapor fraction:	0																																																																																																																														
Heat duty:	-13,344869	MW	▼																																																																																																																												
Net duty:	-13,344869	MW	▼																																																																																																																												
1st liquid / Total liquid:	1																																																																																																																														
Pressure-drop correlation parameter:	0																																																																																																																														
Perfil do Mcompress	TG-4002																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C ▼</th> <th>bar ▼</th> <th>MW ▼</th> <th>MW ▼</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>43,2058326</td><td>1,28208885</td><td>1,28208885</td><td>0,86182933</td><td>0,9266982</td></tr> <tr><td>2</td><td>68,2116995</td><td>1,64375183</td><td>1,28208885</td><td>0,93014764</td><td>1,00015876</td></tr> <tr><td>3</td><td>95,1378181</td><td>2,1074359</td><td>1,28208885</td><td>1,00379656</td><td>1,07935114</td></tr> <tr><td>4</td><td>124,105055</td><td>2,70192008</td><td>1,28208885</td><td>1,08313928</td><td>1,1646659</td></tr> <tr><td>5</td><td>155,233063</td><td>3,46410162</td><td>1,28208885</td><td>1,16854122</td><td>1,25649593</td></tr> <tr><td>6</td><td>188,639341</td><td>4,44128607</td><td>1,28208885</td><td>1,26039561</td><td>1,35526409</td></tr> <tr><td>7</td><td>224,437013</td><td>5,69412337</td><td>1,28208885</td><td>1,35905424</td><td>1,46134865</td></tr> <tr><td>8</td><td>262,735227</td><td>7,3003721</td><td>1,28208885</td><td>1,46489827</td><td>1,57515942</td></tr> <tr><td>9</td><td>303,639738</td><td>9,3597257</td><td>1,28208885</td><td>1,57831294</td><td>1,69711107</td></tr> <tr><td>10</td><td>347,254196</td><td>12</td><td>1,28208885</td><td>1,69968653</td><td>1,82761993</td></tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C ▼	bar ▼	MW ▼	MW ▼	1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,86182933	0,9266982	2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	1,00015876	3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	1,07935114	4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08313928	1,1646659	5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,16854122	1,25649593	6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,26039561	1,35526409	7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35905424	1,46134865	8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46489827	1,57515942	9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57831294	1,69711107	10	347,254196	12	1,28208885	1,69968653	1,82761993	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Compressor model:</td> <td colspan="3">Isentropic Turbine</td> </tr> <tr> <td>Phase calculations:</td> <td colspan="3">Two phase calculation</td> </tr> <tr> <td>Indicated horsepower:</td> <td>-4,925005</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Brake horsepower:</td> <td>-4,4817545</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>-4,4817545</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Power loss:</td> <td>0,44325045</td> <td>MW</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Efficiency:</td> <td colspan="3">0,91</td> </tr> <tr> <td>Mechanical efficiency:</td> <td colspan="3">0,91</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td>0,5</td> <td>bar</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Isentropic outlet temperature:</td> <td>83,5947701</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="3">0,89346917</td> </tr> <tr> <td>Displacement:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumetric efficiency:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Compressor model:	Isentropic Turbine			Phase calculations:	Two phase calculation			Indicated horsepower:	-4,925005	MW		Brake horsepower:	-4,4817545	MW		Net work required:	-4,4817545	MW		Power loss:	0,44325045	MW		Efficiency:	0,91			Mechanical efficiency:	0,91			Outlet pressure:	0,5	bar		Outlet temperature:	83,5947701	C		Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C		Vapor fraction:	0,89346917			Displacement:				Volumetric efficiency:			
Stage		Temperature	Pressure		Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																																																																																																								
	C ▼	bar ▼	MW ▼	MW ▼																																																																																																																											
1	43,2058326	1,28208885	1,28208885	0,86182933	0,9266982																																																																																																																										
2	68,2116995	1,64375183	1,28208885	0,93014764	1,00015876																																																																																																																										
3	95,1378181	2,1074359	1,28208885	1,00379656	1,07935114																																																																																																																										
4	124,105055	2,70192008	1,28208885	1,08313928	1,1646659																																																																																																																										
5	155,233063	3,46410162	1,28208885	1,16854122	1,25649593																																																																																																																										
6	188,639341	4,44128607	1,28208885	1,26039561	1,35526409																																																																																																																										
7	224,437013	5,69412337	1,28208885	1,35905424	1,46134865																																																																																																																										
8	262,735227	7,3003721	1,28208885	1,46489827	1,57515942																																																																																																																										
9	303,639738	9,3597257	1,28208885	1,57831294	1,69711107																																																																																																																										
10	347,254196	12	1,28208885	1,69968653	1,82761993																																																																																																																										
Compressor model:	Isentropic Turbine																																																																																																																														
Phase calculations:	Two phase calculation																																																																																																																														
Indicated horsepower:	-4,925005	MW																																																																																																																													
Brake horsepower:	-4,4817545	MW																																																																																																																													
Net work required:	-4,4817545	MW																																																																																																																													
Power loss:	0,44325045	MW																																																																																																																													
Efficiency:	0,91																																																																																																																														
Mechanical efficiency:	0,91																																																																																																																														
Outlet pressure:	0,5	bar																																																																																																																													
Outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																													
Isentropic outlet temperature:	83,5947701	C																																																																																																																													
Vapor fraction:	0,89346917																																																																																																																														
Displacement:																																																																																																																															
Volumetric efficiency:																																																																																																																															
Bomba	Permuta																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fluid power:</td> <td>46,8593883</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Brake power:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Electricity:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Volumetric flow rate:</td> <td>20,1215948</td> <td>cum/hr</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure change:</td> <td>83,83719</td> <td>bar</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH available:</td> <td>4,86383745</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>NPSH required:</td> <td></td> <td></td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Head developed:</td> <td>860,098997</td> <td>meter</td> <td>▼</td> </tr> <tr> <td>Pump efficiency used:</td> <td>0,51957326</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td>90,1882212</td> <td>kW</td> <td>▼</td> </tr> </table>	Fluid power:	46,8593883	kW	▼	Brake power:	90,1882212	kW	▼	Electricity:	90,1882212	kW	▼	Volumetric flow rate:	20,1215948	cum/hr	▼	Pressure change:	83,83719	bar	▼	NPSH available:	4,86383745	meter	▼	NPSH required:			▼	Head developed:	860,098997	meter	▼	Pump efficiency used:	0,51957326			Net work required:	90,1882212	kW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Inlet</th> <th colspan="2">Outlet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hot stream:</td> <td colspan="2">GASES1</td> <td colspan="2">CHAMINE</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>594,391366</td> <td>C ▼</td> <td>163,37843</td> <td>C ▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>1,1</td> <td>bar ▼</td> <td>1</td> <td>bar ▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">1</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Cold stream:</td> <td colspan="2">AGUAP</td> <td colspan="2">VAPOR1</td> </tr> <tr> <td>Temperature:</td> <td>26,8355837</td> <td>C ▼</td> <td>450,033599</td> <td>C ▼</td> </tr> <tr> <td>Pressure:</td> <td>84,33719</td> <td>bar ▼</td> <td>66,68522</td> <td>bar ▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td colspan="2">0</td> <td colspan="2">1</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td>18,179686</td> <td>MW</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Inlet		Outlet		Hot stream:	GASES1		CHAMINE		Temperature:	594,391366	C ▼	163,37843	C ▼	Pressure:	1,1	bar ▼	1	bar ▼	Vapor fraction:	1		1		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1		Temperature:	26,8355837	C ▼	450,033599	C ▼	Pressure:	84,33719	bar ▼	66,68522	bar ▼	Vapor fraction:	0		1		Heat duty:	18,179686	MW																																						
Fluid power:	46,8593883	kW	▼																																																																																																																												
Brake power:	90,1882212	kW	▼																																																																																																																												
Electricity:	90,1882212	kW	▼																																																																																																																												
Volumetric flow rate:	20,1215948	cum/hr	▼																																																																																																																												
Pressure change:	83,83719	bar	▼																																																																																																																												
NPSH available:	4,86383745	meter	▼																																																																																																																												
NPSH required:			▼																																																																																																																												
Head developed:	860,098997	meter	▼																																																																																																																												
Pump efficiency used:	0,51957326																																																																																																																														
Net work required:	90,1882212	kW	▼																																																																																																																												
	Inlet		Outlet																																																																																																																												
Hot stream:	GASES1		CHAMINE																																																																																																																												
Temperature:	594,391366	C ▼	163,37843	C ▼																																																																																																																											
Pressure:	1,1	bar ▼	1	bar ▼																																																																																																																											
Vapor fraction:	1		1																																																																																																																												
Cold stream:	AGUAP		VAPOR1																																																																																																																												
Temperature:	26,8355837	C ▼	450,033599	C ▼																																																																																																																											
Pressure:	84,33719	bar ▼	66,68522	bar ▼																																																																																																																											
Vapor fraction:	0		1																																																																																																																												
Heat duty:	18,179686	MW																																																																																																																													

Mturбина	Perfil da Mturбина																																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Outlet pressure:</td> <td style="width: 25%; border: 1px solid black;">1.1</td> <td style="width: 25%; border: 1px solid black;">bar</td> <td style="width: 25%; text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Total work:</td> <td style="border: 1px solid black;">-25.360829</td> <td style="border: 1px solid black;">MW</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Total cooling duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MMPcu/hr</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Net work required:</td> <td style="border: 1px solid black;">-12.016957</td> <td style="border: 1px solid black;">MW</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Net cooling duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> </table>	Outlet pressure:	1.1	bar	▼	Total work:	-25.360829	MW	▼	Total cooling duty:	0	MMPcu/hr	▼	Net work required:	-12.016957	MW	▼	Net cooling duty:	0	MW	▼	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Stage</th> <th>Temperature</th> <th>Pressure</th> <th rowspan="2">Pressure ratio</th> <th>Indicated power</th> <th>Brake horsepower</th> </tr> <tr> <th>C</th> <th>bar</th> <th>MW</th> <th>MW</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>956.008321</td> <td>5.2593183</td> <td>0.45733203</td> <td>-10.684764</td> <td>-9.9368306</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>762.343072</td> <td>2.40525469</td> <td>0.45733203</td> <td>-9.0151666</td> <td>-8.3841049</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>594.391353</td> <td>1.1</td> <td>0.45733203</td> <td>-7.5697783</td> <td>-7.0398938</td> </tr> </tbody> </table>	Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower	C	bar	MW	MW	1	956.008321	5.2593183	0.45733203	-10.684764	-9.9368306	2	762.343072	2.40525469	0.45733203	-9.0151666	-8.3841049	3	594.391353	1.1	0.45733203	-7.5697783	-7.0398938
Outlet pressure:	1.1	bar	▼																																														
Total work:	-25.360829	MW	▼																																														
Total cooling duty:	0	MMPcu/hr	▼																																														
Net work required:	-12.016957	MW	▼																																														
Net cooling duty:	0	MW	▼																																														
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower																																												
	C	bar		MW	MW																																												
1	956.008321	5.2593183	0.45733203	-10.684764	-9.9368306																																												
2	762.343072	2.40525469	0.45733203	-9.0151666	-8.3841049																																												
3	594.391353	1.1	0.45733203	-7.5697783	-7.0398938																																												
Câmara de Combustão																																																	
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Outlet temperature:</td> <td style="width: 25%; border: 1px solid black;">1178.90073</td> <td style="width: 25%; border: 1px solid black;">C</td> <td style="width: 25%; text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Outlet pressure:</td> <td style="border: 1px solid black;">11.5</td> <td style="border: 1px solid black;">bar</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Heat duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Net heat duty:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td style="border: 1px solid black;">MW</td> <td style="text-align: right;">▼</td> </tr> <tr> <td>Vapor fraction:</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of fluid phases:</td> <td style="border: 1px solid black;">1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maximum number of pure solids:</td> <td style="border: 1px solid black;">0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Outlet temperature:	1178.90073	C	▼	Outlet pressure:	11.5	bar	▼	Heat duty:	0	MW	▼	Net heat duty:	0	MW	▼	Vapor fraction:	1			Number of fluid phases:	1			Maximum number of pure solids:	0																							
Outlet temperature:	1178.90073	C	▼																																														
Outlet pressure:	11.5	bar	▼																																														
Heat duty:	0	MW	▼																																														
Net heat duty:	0	MW	▼																																														
Vapor fraction:	1																																																
Number of fluid phases:	1																																																
Maximum number of pure solids:	0																																																

ANEXO 13 – Resumo dos resultados do Caso 4b.

Mcompress				Condensa			
Outlet pressure:	12	bar		Outlet temperature:	25	C	
Total work:	10.4227797	MW		Outlet pressure:	0.5	bar	
Total cooling duty:	-6.4999999	MW		Vapor fraction:	0		
Net work required:	10.4227797	MW		Heat duty:	-7.9103047	MW	
Net cooling duty:	-6.4999999	MW		Net duty:	-7.9103047	MW	
				1st liquid / Total liquid:	1		
				Pressure-drop correlation parameter:	0		
Perfil do Mcompress				TG-4002			
				Compressor model:	Isentropic Turbine		
				Phase calculations:	Two phase calculation		
Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower		
	C	bar		MW	MW		
1	43.2058303	1.28208885	1.28208885	0.86182933	0.9266982		
2	68.2116395	1.64375183	1.28208885	0.93014764	1.00015876		
3	95.1378181	2.1074359	1.28208885	1.00379656	1.07935114		
4	66.5331271	2.70192008	1.28208885	0.92530439	0.99495096		
5	93.343821	3.46410162	1.28208885	0.99874071	1.07391474		
6	79.1094502	4.44128607	1.28208885	0.95950274	1.03172338		
7	63.829184	5.69412337	1.28208885	0.91716554	0.9861995		
8	90.4681124	7.3003721	1.28208885	0.99043158	1.06498019		
9	119.136012	9.3597257	1.28208885	1.0695674	1.15007247		
10	107.27509	12	1.28208885	1.03669928	1.1147304		
				Indicated horsepower:	-1.8129344	MW	
				Brake horsepower:	-1.6497703	MW	
				Net work required:	-1.6497703	MW	
				Power loss:	0.1631641	MW	
				Efficiency:	0.91		
				Mechanical efficiency:	0.91		
				Outlet pressure:	0.5	bar	
				Outlet temperature:	83.5947701	C	
				Isentropic outlet temperature:	83.5947701	C	
				Vapor fraction:	0.88134694		
				Displacement:			
				Volumetric efficiency:			
Bomba				Permuta			
Fluid power:	6.40983468	kW		Inlet                      Outlet			
Brake power:	14.2851384	kW		Hot stream:	GASES2		CHAMINE
Electricity:	14.2851384	kW		Temperature:	381.246326	C	144.787068
Volumetric flow rate:	12.0729569	cum/hr		Pressure:	1.1	bar	1
Pressure change:	19.1133	bar		Vapor fraction:	1		1
NPSH available:	4.86383745	meter		Cold stream:	AGUAP		VAPOR1
NPSH required:				Temperature:	25.5474555	C	239
Head developed:	196.086369	meter		Pressure:	19.6133	bar	15.69064
Pump efficiency used:	0.44870652			Vapor fraction:	0		1
Net work required:	14.2851384	kW		Heat duty:	9.70895389	MW	

Mturбина			Perfil da Mturбина					
Outlet pressure:	1.1	bar						
Total work:	-25.361489	MW						
Total cooling duty:	0	MW						
Net work required:	-14.93871	MW						
Net cooling duty:	0	MW						
			Stage	Temperature	Pressure	Pressure ratio	Indicated power	Brake horsepower
				C	bar		MW	MW
			1	956.039912	5.2593183	0.45733203	-10.685035	-9.9370824
			2	762.370455	2.40525469	0.45733203	-9.0154016	-8.3843235
			3	594.415056	1.1	0.45733203	-7.5699821	-7.0400834
Câmara de Combustão			PreAquecedor					
Outlet temperature:	1178.93703	C						
Outlet pressure:	11.5	bar						
Heat duty:	0	MW						
Net heat duty:	0	MW						
Vapor fraction:	1							
Number of fluid phases:	1							
Maximum number of pure solids:	0							
			Inlet			Outlet		
			Hot stream: GASES1			GASES2		
			Temperature:	594.41507	C	381.246326	C	
			Pressure:	1.1	bar	1.1	bar	
			Vapor fraction:	1		1		
			Cold stream: ARP			ARPQUENT		
			Temperature:	107.275091	C	347.3	C	
			Pressure:	12	bar	12	bar	
			Vapor fraction:	1		1		
			Heat duty:	9.21841201	MW			

ANEXO 14 – Distribuição do consumo de Fuel Óleo e Fuel Gás – Equivalência Energética.

Caso 3

Fornalha	FG (t/h)	FO (t/h)	Energia (Gcal/h)
H-101	0,98	0,00	12,99
H-301	0,78	0,85	18,53
H-302	0,40	0,00	5,30
H-303	0,03	0,00	0,38
H-401	0,72	0,00	9,48
H-402	0,48	0,00	6,31
H-471	0,36	1,73	21,57
H-472	0,34	0,00	4,44
H-1201	0,43	0,00	5,70
H-1301	1,46	0,00	19,21
H-1302	0,80	0,00	10,60
H-1401	0,25	0,00	3,35
H-1402	0,25	0,00	3,23
H-1651	1,06	0,00	13,99
H-3001	0,88	4,20	52,37
H-3301	0,47	2,25	28,13
H-3302	0,25	0,00	3,36
H-3701	0,85	0,00	11,21
H-2001	1,11	0,00	14,71
H-2002	0,61	0,00	7,99
H-2101	0,20	0,00	2,66
H-2201	0,58	0,00	7,67
H-2202	0,14	0,00	1,84
H-2301	0,35	0,00	4,57
H-2401	0,27	0,00	3,59
<b>Consumido</b>	<b>14,06</b>	<b>9,03</b>	<b>273,18</b>
<b>Disponível</b>	<b>14,06</b>	<b>15,09</b>	<b>331,97</b>

Caso 4

Fornalha	FG (t/h)	FO (t/h)	Energia (Gcal/h)
H-101	0,98	0,00	12,99
H-301	1,40	0,00	18,53
H-302	0,40	0,00	5,30
H-303	0,03	0,00	0,38
H-401	0,72	0,00	9,48
H-402	0,48	0,00	6,31
H-471	1,63	0,00	21,57
H-472	0,34	0,00	4,44
H-1201	0,43	0,00	5,70
H-1301	1,46	0,00	19,21
H-1302	0,80	0,00	10,60
H-1401	0,25	0,00	3,35
H-1402	0,25	0,00	3,23
H-1651	1,06	0,00	13,99
H-3001	0,88	4,20	52,37
H-3301	0,97	1,58	28,13
H-3302	0,25	0,00	3,36
H-3701	0,85	0,00	11,21
H-2001	1,11	0,00	14,71
H-2002	0,61	0,00	7,99
H-2101	0,20	0,00	2,66
H-2201	0,58	0,00	7,67
H-2202	0,14	0,00	1,84
H-2301	0,35	0,00	4,57
H-2401	0,27	0,00	3,59
<b>Consumido</b>	<b>16,45</b>	<b>5,78</b>	<b>273,18</b>
<b>Disponível</b>	<b>16,45</b>	<b>10,06</b>	<b>314,72</b>