



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Centrais Termoelétricas de Ciclo Combinado, Construção, Gestão e Manutenção

WALDIK BOLIVAR SAMPAIO DE FIGUEIREDO
(Licenciado)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil

Orientador:

Doutor Paulo Jorge Henrique Mendes

Júri:

Presidente: Doutor Paulo José de Matos Martins

Vogais:

Doutora Paula Raquel Pires da Cunha Lamego

Doutor Paulo Jorge Henrique Mendes

Outubro de 2019

Dedicatória

Às meus pais, por tudo o que fizeram...
À minha família, por tudo o que representam...

Agradecimentos

A todos os professores com os quais durante toda a minha vida academica pude interagir;

Especial agradecimento ao meu Orientador neste trabalho, Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes, pelas horas dispendidas, mesmo a distancia conseguimos estar em sintonia;

A Griner, pela oportunidade que me deu, de poder acompanhar esta grande obra da Central de Ciclo Combinado do Soyo.

O Engenheiro do futuro, deve estar preparado para os "3As":

- *Adaptar-se: deverá fácil e rapidamente adaptar-se a conjuntura, não se limitando em fazer apenas aquilo que aprendeu na faculdade, mas também experimentar um pouco do desconhecido, o que lhe vai dar mais segurança;*
- *Adoptar: deverá respeitar e adoptar as melhores práticas e conselhos, não deve sentir-se inseguro ou inferior, por pedir conselhos – pelo contrário, isto o tornará maior;*
- *Aceitar: deverá aceitar as críticas (construtivas) e tentar melhorar-se a cada dia; deverá também, e não menos importante, aceitar e contornar as dificuldades... elas o tornarão mais forte...*

Waldik Figueiredo

Resumo

No presente trabalho abordam-se alguns dos processos e métodos utilizados durante a construção da Central de Ciclo Combinado do Soyo, em Angola, por forma a salvaguardar a qualidade e o máximo de rendimento deste empreendimento. Sendo o primeiro empreendimento desta natureza em Angola, e existir pouca informação sobre este tema, procura-se com a realização deste trabalho, conseguir coligir um conjunto de práticas que conduzam ao mínimo de perdas de tempo associadas a reparações de índole de qualidade de construção, o que poderá ser bastante útil em futuras construções desta natureza.

No entanto, antes de se abordarem os processos e métodos, anteriormente referidos, houve a necessidade de discutir um conjunto de conceitos, os quais constituem valências importantes para os engenheiros civis e não só que irão interagir com engenheiros e entidades de outras especialidades envolvidos na montagem de instalações e/ou componentes de elevada importância para o bom funcionamento de Centrais Termoelétricas. No essencial esses conceitos encontram-se relacionados com aspectos associados à Energia, suas formas de ocorrência na natureza e às suas fontes. De igual modo, também são abordados alguns aspetos técnicos e económicos associados ao funcionamento de Centrais desta natureza. No final, apresenta-se uma reflexão sobre a gestão e manutenção deste tipo de empreendimentos, por forma a manterem-se os padrões de exigência e funcionalidade.

Abstract

The present work approaches some of the processes and methods used during the construction of the Soyo Combined Cycle Plant in Angola, in order to safeguard the quality and maximize the yield of this enterprise. Being the first of its kind in Angola, and with little information on this topic, this work seeks to gather a set of practices that lead to the minimum of wasted time associated with building quality repairs, which can be very useful in future constructions of this nature. However, before addressing the processes and methods mentioned above, there was a need to discuss a set of concepts, which are important valences for civil engineers and not only who will interact with engineers and entities from other specialties involved in the assembly of installations and / or components of high importance for the proper functioning of Thermoelectric Plants. Essentially these concepts are related to aspects associated with Energy, its forms of occurrence in nature and its sources. Similarly, some technical and economic aspects associated with the operation of Centrals of this nature are also addressed. At the end, it is shown a reflection on the management and maintenance of this type of enterprises, in order to maintain the standards of demand and functionality.

Palavras-Chave / Keywords

Centrais Termoelétricas de Ciclo Combinado / Combined Cycle Power Stations

Ciclo Combinado do Soyo / Combined Cycle in Soyo

Construção, Gestão e Manutenção da CCC Soyo / Construction, Management
and Maintenance of CCP in Soyo

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 <i>Enquadramento</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Objetivos.....</i>	<i>2</i>
1.3 <i>Organização do trabalho.....</i>	<i>4</i>
2 A ENERGIA NA NATUREZA	7
2.1 <i>Considerações iniciais.....</i>	<i>7</i>
2.2 <i>Conceitos básicos de Energia</i>	<i>7</i>
2.2.1 <i>A Energia, suas propriedades e formas na Natureza.....</i>	<i>7</i>
2.2.2 <i>Fontes de Energia na Natureza.....</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Fontes de Energia Renováveis.....</i>	<i>12</i>
2.2.4 <i>Fontes de Energia Não-Renováveis</i>	<i>16</i>
2.3 <i>Considerações Finais</i>	<i>17</i>
3 EMPREENDIMENTOS DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS.....	21
3.1 <i>Considerações iniciais.....</i>	<i>21</i>
3.2 <i>Aspectos técnicos e económicos de Centrais Termoelétricas</i>	<i>21</i>
3.2.1 <i>Caracterização e Classificação de Centrais Termoelétricas</i>	<i>21</i>
3.2.2 <i>Fases de Projeto e Exploração de Centrais Termoelétricas.....</i>	<i>28</i>
3.3 <i>Considerações Finais</i>	<i>39</i>
4 CENTRAL DE CICLO COMBINADO DO SOYO	41
4.1 <i>Considerações iniciais.....</i>	<i>41</i>
4.2 <i>Enquadramento da Obra.....</i>	<i>41</i>
4.3 <i>Construção dos tanques reservatórios de diesel e bacia de retenção.....</i>	<i>43</i>
4.3.1 <i>Fase 1 – Implantação Topográfica</i>	<i>44</i>
4.3.2 <i>Fase 2 – Escavação e compactação do terreno</i>	<i>45</i>
4.3.3 <i>Fase 3 – Aterro e compactação de solos selecionados à cota desejada</i>	<i>46</i>
4.3.4 <i>Fase 4 – Colocação de betão de limpeza.....</i>	<i>46</i>

4.3.5	Fase 5 – Armação e Cofragem do anel de fundação	47
4.3.6	Fase 6 – Betonagem e cura do anel de fundação	47
4.3.7	Fase 7 – Impermeabilização, aterro e compactação	49
4.3.8	Fase 1 - Escavação do terreno para construção das paredes de contenção .	50
4.3.9	Fase 2 – Colocação do betão de limpeza para as paredes de contenção	50
4.3.10	Fase 3 – Armação e cofragem para as paredes de contenção	50
4.3.11	Fase 4 – Betonagem e cura do troço de parede de contenção	51
4.3.12	Fase 5 – Impermeabilização, aterro e compactação	52
4.4	<i>Construção dos reservatórios de água</i>	<i>53</i>
4.4.1	Fase 1 – Implantação Topográfica	54
4.4.2	Fase 2 – Escavação do terreno e compactação	57
4.4.3	Fase 3 – Colocação do betão de limpeza	57
4.4.4	Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo e paredes dos tanques ...	58
4.4.5	Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo	59
4.4.6	Fase 6 – Betonagem e cura das paredes dos tanques e pilares-guia	59
4.4.7	Fase 7 – Cofragem e armação da laje de topo	60
4.4.8	Fase 8 – Betonagem da laje de topo e cura	60
4.4.9	Fase 9 – Impermeabilização, aterro e compactação	60
4.5	<i>Construção das Torres de Arrefecimento</i>	<i>61</i>
4.5.1	Fase 1 – Implantação Topográfica	64
4.5.2	Fase 2 – Escavação do terreno e compactação	64
4.5.3	Fase 3 – Colocação do betão de limpeza	65
4.5.4	Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo, paredes e pilares	65
4.5.5	Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo, pilares e paredes	66
4.5.6	Fase 6 – Armação e cofragem para as vigas do nível seguinte	67
4.5.7	Fase 7 – Betonagem e cura das vigas do nível em questão	67
4.5.8	Fase 8 – Armação e cofragem das paredes e pilares do nível em questão...	67
4.5.9	Fase 9 – Betonagem e cura das paredes e pilares do nível em questão	68

4.5.10	Fase 10 – Repetição das fases 6 à 9 até atingir-se o último nível.....	69
4.5.11	Fase 11 – Cofragem e armação para laje do topo e vigas circulares.....	69
4.5.12	Fase 12 – Betonagem e cura da laje do topo e vigas circulares.....	70
4.5.13	Fase 13 – Impermeabilização, aterro e compactação	70
4.6	<i>Construção da Culvert.....</i>	<i>71</i>
4.6.1	Fase 1 – Implantação Topográfica	74
4.6.2	Fase 2 – Escavação do terreno e compactação	74
4.6.3	Fase 3 – Colocação do betão de limpeza	75
4.6.4	Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo e paredes.....	75
4.6.5	Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo e paredes.....	75
4.6.6	Fase 6 – Armação e cofragem para os pilares-guia	76
4.6.7	Fase 7 – Betonagem e cura dos pilares-guia.....	76
4.6.8	Fase 8 – Cofragem e armação para as vigas e laje do topo.....	77
4.6.9	Fase 9 – Betonagem e cura das vigas e laje do topo.....	77
4.6.10	Fase 10 – Impermeabilização, aterro e compactação	78
4.7	<i>Construção dos elementos secundários.....</i>	<i>79</i>
4.7.1	Escadas em betão armado de acesso ao nível 11,80 m.....	79
4.7.2	Maciços de suporte para os motores e eixos das hélices.....	80
4.7.3	Pilares e vigas das comportas.....	81
4.7.4	Bases para os Carris da grua móvel	82
4.8	<i>Reboco exterior das Torres de Arrefecimento</i>	<i>83</i>
4.8.1	Fase 1 – Colocação do andaime.....	83
4.8.2	Fase 2 – Preparação da superfície	83
4.8.3	Fase 3 – Aplicação da primeira camada de 12 mm.....	84
4.8.4	Fase 4 – Aplicação da segunda camada de 8 mm	85
4.9	<i>Impermeabilização Interior das Torres de Arrefecimento e Culvert.....</i>	<i>85</i>
4.9.1	Fase 1 – Limpeza e reparação da superfície a aplicar	85
4.9.2	Fase 2 – Impermeabilização de pavimentos e paredes	86

4.9.3 Fase 3 – Impermeabilização de vigas, pilares e tetos	88
4.10 <i>Pintura exterior das Torres de Arrefecimento</i>	89
4.11 <i>Considerações Finais</i>	90
5 GESTÃO E MANUTENÇÃO DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS.....	92
5.1 <i>Considerações iniciais</i>	92
5.2 <i>Gestão de Centrais Termoelétricas</i>	92
5.2.1 <i>Análise dos Riscos</i>	96
5.2.2 <i>Auditorias aos Sistemas de Gestão</i>	98
5.3 <i>Manutenção de Centrais Termoelétricas</i>	99
5.3.1 <i>Manutenção preventiva da CCC do Soyo</i>	100
5.3.2 <i>Manutenção curativa da CCC do Soyo</i>	100
5.4 <i>Considerações Finais</i>	101
6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	104
6.1 <i>Principais conclusões</i>	104
6.2 <i>Perspetivas futuras</i>	106

Simbologia

Latinas maiúsculas

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
CI	Custos de Investimento
CO	Custos de Operação
E	Energia
EE	Energia Elétrica
EF	Encargos Financeiros
E_C	Energia Cinética
E_i	Energia Inicial
E_f	Energia Final
E_M	Energia Mecânica
E_P	Energia Potencial
E_{PE}	Energia Potencial Elástica
E_{PG}	Energia Potencial Gravitacional
P	Pressão
Q	Calor
S	Entropia
T	Temperatura
V	Volume
W	Trabalho

Latinas minúsculas

g	Constante de aceleração
h	altura
k	Coefficiente de elasticidade
m	massa
v	velocidade
x	deslocamento

Gregas maiúsculas

Δ	Variação
----------	----------

Gregas minúsculas

η	Rendimento
--------	------------

Abreviaturas (siglas)

ALARP	<i>As Low as Reasonably Possible</i>
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CCC	Central de Ciclo Combinado do Soyo
CMEC	China Machinery Engineering Cooperation
CT	Central Termoelétrica
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPC	Engenharia, Produção e Compra
GAMEK	Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza
GNL	Gás Natural Liquefeito
IAE	International Agency of Energy
ISO	International Organization for Standardization
MINEA	Ministério de Energia e Águas de Angola
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
NP EN	Norma Portuguesa Euro-Norma
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SGQ	Sistema de Gestão da Qualidade
SGSST	Sistema de Gestão de Saúde e Segurança no Trabalho
SHST	Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho
SIG	Sistema Integrado de Gestão

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Cada vez mais, as sociedades necessitam de gerar energia de forma sustentada por forma a balancear as suas necessidades de crescimento/desenvolvimento.

A economia dos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento, depende em larga escala dos investimentos concebidos ao nível dos empreendimentos energéticos, quer estes sejam centrais hídricas, energias renováveis, centrais a vapor, a gás ou produção combinada de calor e eletricidade – as centrais termoeletricas de Ciclo Combinado (MINEA, 2016).

Revestindo-se a questão energética de capital importância, decidiu-se abordar no presente trabalho, a componente da qualidade da construção e de seus processos construtivos, métodos de manutenção eficazes, em Centrais Termoeletricas de Ciclo Combinado, por forma a garantir-se empreendimentos capazes de durarem por longos anos sem necessidades de interrupção (ou reduzir ao mínimo possível, as interrupções) nos seus funcionamentos de maneira que trabalhem de acordo à sua conceção, durante o seu tempo de vida útil concebido.

É sabido que empreendimentos desta natureza, canalizam avultados recursos de um País, o que por si só justifica a importância e necessidade de um rigoroso e eficaz controlo dos processos de construção e manutenção, daí surgir a motivação para o desenvolvimento deste trabalho (MINEA, 2016).

No presente trabalho, abordar-se-ão com exemplos práticos, essencialmente com recurso à obra da Central de Ciclo Combinado do Soyo - Angola (ver Figura 1.1), as melhores práticas a serem tomadas para uma construção de qualidade. Sendo a primeira obra deste tipo de empreendimento energético em Angola, decidiu-se reunir um conjunto de sugestões/recomendações, capazes de funcionarem como guia de boas práticas para futuras construções deste tipo de empreendimento e desta forma, evitarem-se recorrências de possíveis defeitos, salvaguardando-se deste modo, a qualidade e segurança dos empreendimentos energéticos.

A Gestão e Manutenção destes avultados empreendimentos, assumem um papel fundamental na longevidade e funcionalidade que se pretendem para estes investimentos, o que nos remete para a aplicação das melhores práticas na fase pós-construção (Matos, 2015). Para exemplificar o acima referido, imagine-se uma central capaz de gerar energia para uma cidade de alguns milhares de habitantes, mas que por falta de manutenção

adequada, encontra-se mais tempo parada, a receber trabalhos de reparação do que propriamente a produzir energia.



Figura 1.1 – Vista aérea da Central de Ciclo Combinado do Soyo durante a fase de construção, foto tirada à 21.04.2018.

1.2 OBJETIVOS

Atendendo ao exposto anteriormente, estabeleceu-se como principal objetivo, para a realização deste trabalho, enumerar-se e discutir-se um conjunto de boas práticas a serem utilizadas tanto na fase de construção como na fase pós-construção, para que maior rentabilidade seja retirada do empreendimento de geração de energia.

Contudo, para atingir esse objetivo principal foi necessário concretizar um conjunto de objetivos intermédios, os quais se enunciam a seguir:

- Revisão dos conceitos de Energia e Tipos de Empreendimentos geradores de Energia;
- Perceção do grau de importância do Empreendimento Energético, associado ao enquadramento das necessidades estimadas de consumo e valor de investimento financeiro;

- Abordagem das várias etapas do processo construtivo de uma Central de Ciclo Combinado, recorrendo ao exemplo prático da Central de Ciclo Combinado do Soyo (ver Figura 1.2);
- Capacidade de prever eventuais situações que possam surgir por soluções adotadas pouco recomendáveis, garantindo a Qualidade na Construção.



Figura 1.2 – Vista aérea da Central de Ciclo Combinado do Soyo durante a fase de construção, foto tirada à 28.08.2017

Ao longo dos seguintes 4 capítulos, debater-se-á esta temática face ao acompanhamento feito à obra de Ciclo Combinado do Soyo, e por comparação com outros empreendimentos do mesmo tipo (ver Figura 1.3).



Figura 1.3 – Foto da Central Termoeletrica do Ribatejo

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho final de mestrado está organizado em 6 capítulos, apresentando-se, de seguida, um breve resumo de cada um deles.

- **Capítulo 1 - Introdução**

Neste capítulo é feita uma introdução ao tema das Centrais de Ciclo Combinado, seu funcionamento e principais características, um enquadramento do tema face às necessidades e motivações, são definidos os objetivos do trabalho final de mestrado e definida a estrutura do trabalho.

- **Capítulo 2 – A Energia na Natureza**

Neste capítulo é feita uma abordagem aos conceitos básicos da Energia, as suas diferentes formas na Natureza e as possíveis fontes assim como os diferentes tipos de Energia associados a cada uma das fontes. É feita uma abordagem as Energias Renováveis e Não-Renováveis, algumas vantagens e desvantagens.

- **Capítulo 3 – Empreendimentos de centrais termoeletricas**

No capítulo 3, abordar-se-á, de um ponto de vista mais técnico e económico, os empreendimentos de produção de energia elétrica, falando-se das suas características e principais diferenças entre eles, condicionalismos, funcionamento, vantagens, nível de investimento, retorno estimado associado às necessidades.

Neste capítulo, apresentar-se-ão alguns conceitos usados neste domínio, tomando exemplos práticos de Centrais Termoeletricas à volta do globo.

- **Capítulo 4 – Central de Ciclo Combinado do Soyo**

No capítulo 4, abordar-se-á como exemplo prático a Central de Ciclo Combinado do Soyo, em Angola, onde se discutirá as etapas do processo de construção da mesma. Vai apresentar-se um conjunto de soluções técnicas que poderão servir como referência para futuras construções da mesma índole.

○ **Capítulo 5 – Gestão e Manutenção de Centrais Termoelétricas**

No capítulo 5, é feita uma análise aos procedimentos de Gestão e Manutenção de Empreendimentos de Centrais Termoelétricas, para que a Qualidade da Construção seja mantida durante o tempo de vida útil do Empreendimento.

○ **Capítulo 6 – Conclusões e perspectivas futuras**

No capítulo 6, serão apresentadas as conclusões e perspectivas futuras, recolhendo-se um conjunto de boas práticas que servirão de guias para futuras construções ou guias para manutenção dos empreendimentos já existentes, para que não haja constrangimentos de custos e recursos.

2 A ENERGIA NA NATUREZA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Energia assume um papel bastante relevante em vários domínios da Ciência assim como na Economia de Estados, uma vez que anualmente consome e gera avultados valores financeiros.

No presente capítulo será feita uma pequena introdução aos Fundamentos de Energia bem como as suas propriedades e as 4 formas fundamentais que a Energia pode apresentar na Natureza. As 3 leis fundamentais da Termodinâmica serão descritas e servirão de suporte para o funcionamento das Centrais Termoeletricas.

De seguida, abordar-se-á as Fontes de Energia na Natureza, intrinsecamente relacionadas com questões ambientais. A capacidade de se regenerarem por si só ou não, permitirá agrupar as Fontes de Energia em Renováveis e Não-Renováveis, bem como as Energias que estas Fontes são capazes de gerar. Estas Energias geradas poderão ser classificadas em limpas ou não e os diferentes aproveitamentos elétricos que podem ser obtidos mediante o emprego destes recursos terão grande ou pequeno impacto sobre a natureza. Algumas vantagens e desvantagens serão apresentadas para melhor fundamentar a escolha de um ou de outro tipo.

Estes temas servirão de base à compreensão dos conceitos que serão retratados nos capítulos seguintes e com este intuito, serão abordados com o máximo de clareza possível.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE ENERGIA

2.2.1 A Energia, suas propriedades e formas na Natureza

O conceito de Energia nasceu por volta do séc. XIX e pode ser definido como a capacidade de um corpo em gerar trabalho, ou seja, a capacidade de se gerar força num determinado corpo, substância ou sistema físico. A sua unidade no Sistema Internacional de Unidades (S.I.) é o Joule (Wikipedia, 2019).

Da célebre frase da Física: ‘‘ A Energia não pode criar-se nem destruir-se, unicamente se transforma de um tipo para outro e se transfere de um corpo para outro ’’, retiram-se então as propriedades que esta grandeza pode apresentar:

- A Energia não ocupa espaço, por isso não apresenta massa ou volume: é Adimensional;

- É possível sentir a Energia mas não tocá-la: é Sensitiva;
- A quantidade de Energia no Universo permanece constante, portanto, a Energia não se extingue ou se cria é Conservativa, tal como se mostra através da equação (2.1):

$$E(i) = E(f) \quad (2.1)$$

- O tipo de Energia pode ser alterado para outro, mas nunca com o rendimento total: é Transformativa, conforme se mostra na equação (2.2):

$$\frac{100 \Delta E}{E_i} \neq 100 \quad (2.2)$$

- É possível transferir a Energia de um corpo para outro, mas nunca na totalidade do seu valor inicial: é Transferível (Wikipedia, 2019) .

Pode-se agrupar as formas em que a Energia se pode apresentar na Natureza, em 4 tipos (Sousa & Pena, 2019):

2.2.1.1 Energia Mecânica

Associada às propriedades da matéria sob análise do movimento e repouso (Energia Cinética e Energia Potencial, respetivamente), os seus deslocamentos sob a ação das forças e os seus efeitos sobre o seu ambiente.

Desta forma, é possível obter a equação (2.3) para a Energia Mecânica:

$$E_M = E_C + E_P \quad (2.3)$$

Onde: E_C – Energia Cinética

E_P – Energia Potencial

$$E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.4)$$

Por sua vez, a Energia Potencial Mecânica, poder-se-á apresentar de 2 formas: Energia Potencial Gravitacional, equação (2.5) ou Energia Potencial Elástica, equação (2.6), comumente usada na Dinâmica de Estruturas.

$$E_{PG} = m \cdot g \cdot h \quad (2.5)$$

$$E_{PE} = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad (2.6)$$

2.2.1.2 Energia Térmica

Associada às propriedades da matéria sob circunstâncias de calor e altas temperaturas, este tipo de Energia é estudada na Termodinâmica.

Um Sistema Termodinâmico pode trocar Energia com o seu meio externo, quer por transferência de calor, quer pelo trabalho mecânico realizado. Quando um Sistema com pressão P se expande de um volume V_1 até um volume V_2 , o Sistema realiza um trabalho W (ver Figura 2.1), que é expresso matematicamente pela expressão (2.7):

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dv \quad (2.7)$$

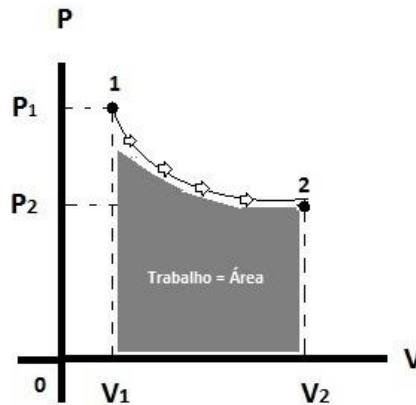


Figura 2.1 – Gráfico Pressão Vs. Volume.

Se a pressão P permanecer constante, então $W = P (V_2 - V_1)$;

Se W tiver um valor negativo, significa que o trabalho é realizado sobre o Sistema.

Apresentam-se de seguida, as 3 Leis fundamentais da Termodinâmica (Savi & Colucci, 2010).

1ª Lei da Termodinâmica (Princípio da Conservação da Energia)

Uma variação na Energia Interna de um Sistema pode ser acompanhada por uma troca de calor, uma realização de trabalho, ou uma combinação de ambos processos. Por outras palavras, pode dizer-se que, o calor adicionado à um sistema, poderá aparecer na forma de variação na Energia Interna e/ou poderá ser usado para realizar um trabalho.

Matematicamente, pode assim escrever-se a expressão (2.8):

$$Q = \Delta E + W \tag{2.8}$$

Q – Quantidade de calor adicionado ao Sistema

ΔE – Variação da Energia Interna de um Sistema

W - Trabalho realizado pelo Sistema

2ª Lei da Termodinâmica

Não é possível que um dispositivo operando em ciclo termodinâmico, converta na totalidade, calor em trabalho. Por outras palavras, a 2ª Lei da Termodinâmica, estabelece limites nos processos de conversão de calor em trabalho. No entanto, não existe qualquer objeção em converter qualquer quantidade de trabalho em calor.

$$\eta = \frac{\text{TrabalhoRealizado}}{\text{CalorAbsorvido}} \tag{2.9}$$

Onde, $\eta < 1$.

Note-se que um Ciclo Termodinâmico é constituído por qualquer série de Processos Termodinâmicos, de maneira que transcorridos todos eles, o Sistema retorne ao seu estado natural.

Os Processos Termodinâmicos são caracterizados pela mudança de uma ou mais variáveis de estado (pressão, temperatura e volume) do sistema. Estes Processos podem ser de 5 tipos:

- Processo Adiabático: quando não há troca de calor do Sistema com o meio, ou seja $Q=0$; então pela equação da 1ª Lei da Termodinâmica, $\Delta E = W$.

- Processo Isotérmico: quando a temperatura do Sistema permanece constante, $\Delta T = 0$;

- Processo Isobárico: quando a pressão do Sistema permanece constante, $\Delta P = 0$;
 - Processo Isocórico: quando o volume do Sistema permanece constante, $\Delta V = 0$;
- sendo assim, pela expressão do Trabalho, tem-se que $W=0$ e por isso, $Q = \Delta E$;
- Processo Isentrópico: quando a entropia S do Sistema permanece constante, $\Delta S=0$.

Associado aos conceitos básicos da Termodinâmica, encontram-se as Máquinas Térmicas, que podem ser definidas como sendo qualquer dispositivo que, trabalhando em ciclos termodinâmicos, absorva calor, converta parte dele em trabalho e rejeite o restante.

Por sua vez, um Reservatório Térmico, é um corpo com temperatura uniforme cuja capacidade térmica ou massa é suficientemente grande para que a sua temperatura permaneça inalterada quando acontecer uma absorção ou liberação de calor.

3ª Lei da Termodinâmica

Quando um Sistema se aproxima da temperatura do zero absoluto, todos os processos cessam, e a entropia tem um valor mínimo.

$$\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0 \quad (2.10)$$

A variação de entropia dS resultante de uma transferência reversível de calor dQ a uma temperatura T é dada pela equação (2.11):

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.11)$$

2.2.1.3 Energia Elétrica

Baseia-se no movimento das cargas elétricas, estando por isso, intrinsecamente ligada ao estado dos átomos de um material considerado. O material considerado, estará no estado neutro quando existir uma igualdade de cargas positivas e negativas no seu interior; estará carregado positivamente, quando houver mais cargas positivas que negativas; e estará carregado negativamente quando os elétrons se encontrarem em excesso (Castro & Sousa, 2014).

É um tipo de energia que dá lugar a múltiplos fenómenos, tais como, caloríficos, mecânicos, luminosos.

2.2.1.4 Energia Quimica

É um tipo de Energia Potencial armazenada nas ligações químicas entre os átomos da matéria, que é liberta quando se dá o rompimento dessas ligações. Esta libertação de Energia pode ser percebida, por exemplo, numa combustão ou explosão.

2.2.2 Fontes de Energia na Natureza

As Fontes de Energia definem-se como recursos naturais ou artificiais, a partir dos quais se obtêm, mediante transformações sucessivas (ver Figura 2.2), as diferentes formas de energia (já enumeradas acima).



Figura 2.2 – Exemplos de Fontes de Energia (adaptado de(Sousa & Pena, 2019)).

As Fontes de Energia estão intimamente ligadas as questões ambientais, uma vez que, em função das formas de utilização dos recursos energéticos, poder-se-ão sentir graves impactos sobre a Natureza (Sousa & Pena, 2019).

Em função da capacidade natural de reposição de seus recursos, as Fontes de Energia podem ser classificadas em renováveis ou não renováveis.

2.2.3 Fontes de Energia Renováveis

As Fontes de Energia Renováveis têm a particularidade de regenerarem naturalmente os seus recursos a curto prazo. No entanto, não significa que os mesmos

não se esgotem, é o exemplo da água, que requer uso consciente por parte do Homem por formas a evitar o seu desperdício e conseqüente possível desaparecimento.

Salienta-se também que, o facto de ser uma Fonte de Energia Renovável, não significa que a Energia gerada seja ‘‘limpa’’, por outras palavras, que esteja livre da emissão de poluentes ou de impactos ambientais em larga escala.

De seguida, apresentam-se os recursos e Energias geradas para as Fontes de Energias Renováveis, ou simplesmente, Energias Renováveis (Stuchi, Taconelli, & Langhi, 2015).

2.2.3.1 Vento → Energia Eólica

A energia eólica é uma energia limpa, abundante, renovável e com bom custo-benefício; gerada através de aerogeradores que convertem a energia cinética da ação do vento em energia elétrica. Como desvantagem, pode apontar-se o facto de a instalação destes aerogeradores prejudicarem as rotas de migração das aves (Sousa & Pena, 2019), conforme ilustra a Figura 2.3.

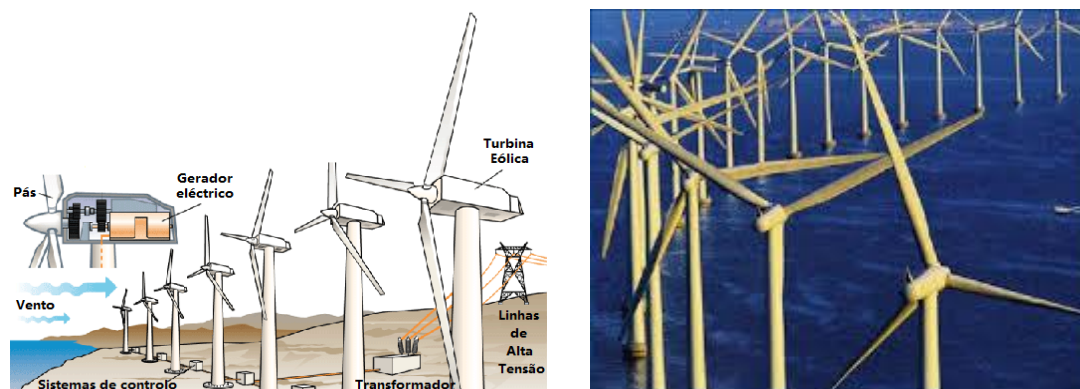


Figura 2.3 – Energia Eólica (adaptado de (Évora & Morais, 2011)).

2.2.3.2 Sol → Energia Solar

A energia solar é uma energia limpa, abundante, renovável e com bom custo-benefício; gerada através de células fotovoltaicas ou Centrais Solares. Como desvantagem, pode apontar-se o facto de requerer o uso de tecnologias que economicamente poderão ser onerosas (Sousa & Pena, 2019), ilustrado na Figura 2.4.

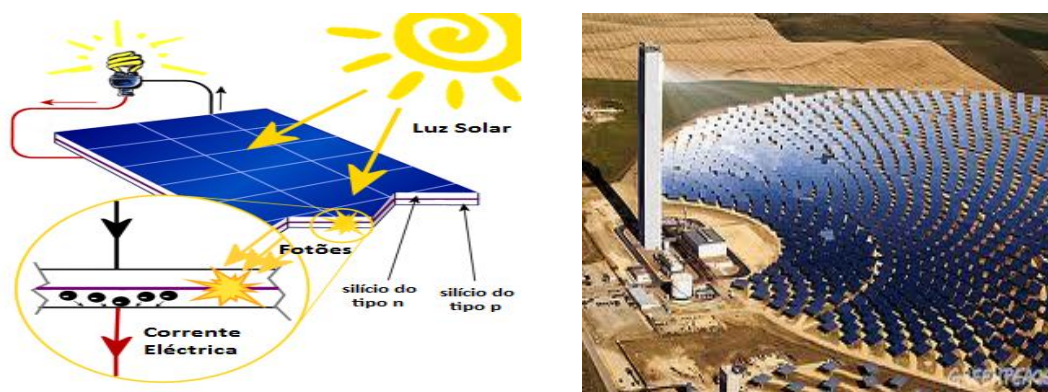


Figura 2.4 – Energia Solar (adaptado de (Évora & Morais, 2011)).

2.2.3.3 Água dos rios e dos mares → Energia Hidráulica e Maremotriz

A energia hidráulica e Maremotriz é uma energia limpa, abundante e renovável; gerada pela conversão da energia cinética da ação dos rios e mares em energia elétrica (ver Figura 2.5). Como desvantagens, para o caso da Energia Hidráulica, poderá provocar danos ambientais, impactando deste modo, a biodiversidade e a população residente na área de construção das barragens; para o caso da Energia Maremotriz, os elevados custos para construção e manutenção (Sousa & Pena, 2019).



Figura 2.5 – (a) Energia Hidráulica (adaptado de(Sousa & Pena, 2019)); (b) Maremotriz (adaptado de(Ambiental, 2013)).

2.2.3.4 Calor no interior do Planeta → Energia Geotérmica

A energia proveniente do interior do Planeta é uma energia limpa e renovável, gerada pela conversão do calor armazenado no interior da Crosta Terrestre (ver Figura 2.6). Como desvantagens, pode salientar-se o ruído (poluição sonora), libertação de gases como H₂S, existe a possibilidade de ocorrerem aluimentos de terra entre 30 a 40 cm por

ano (previne-se esta situacao, (re) injetando-se o fluido onde for extraido), (Sousa & Pena, 2019).

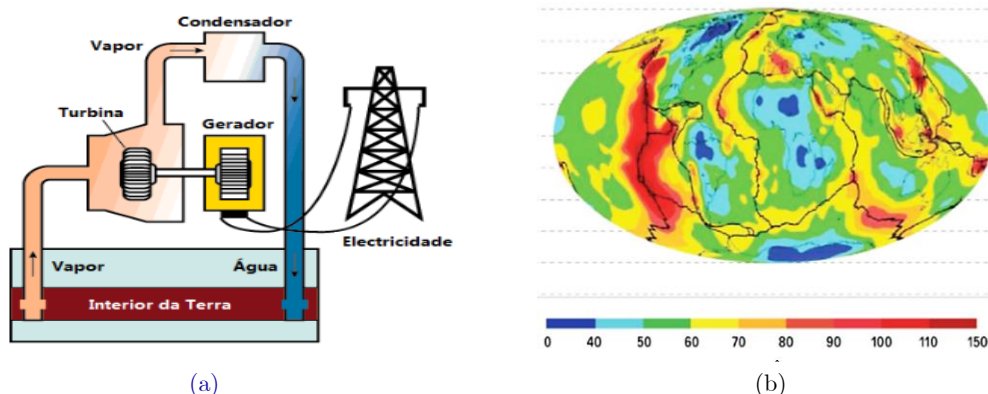


Figura 2.6 – (a) Funcionamento de uma Central Geotérmica (adaptado de(Évora & Morais, 2011)); (b) Zonas Térmicas Mundiais (adaptado de(Espacios, 2017)).

2.2.3.5 Matéria Orgânica → Bioenergia

A energia gerada pelo processo de Bioenergia é uma energia limpa e renovável, a produção deste tipo de energia é feita mediante a combustão de material orgânico produzido e acumulado num ecossistema. Esta queima provoca a libertação de dióxido de carbono para a atmosfera; no entanto, este dióxido de carbono libertado, já havia sido absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, tornando deste modo, o balanço de emissões de CO₂ nulo (ou virtualmente nulo).

Entende-se como biomassa, a quantidade total de matéria viva existente num ecossistema (numa população animal ou vegetal). Esta matéria viva (orgânica) apresenta reservas de energia potencial, com base na fotossíntese (Sousa & Pena, 2019).

Nas centrais de biomassa, produz-se eletricidade através da queima de matéria orgânica, de modo a obter-se energia calorífica que ferve a água, originando fumo a altas pressões que é usado para mover turbinas e acionar geradores elétricos (ver Figura 2.7).

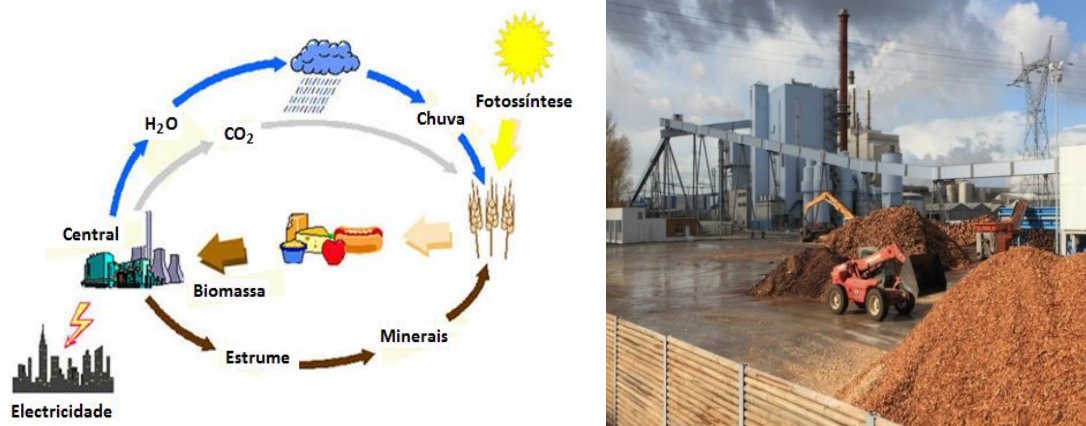


Figura 2.7 – Funcionamento de uma Central de Biomassa (adaptado de(Évora & Morais, 2011)).

2.2.4 Fontes de Energia Não-Renováveis

As Fontes de Energia Não-Renováveis são aquelas que podem extinguir-se num horizonte temporal relativamente curto. De forma geral, chegam a gerar uma Energia mais poluidora que a gerada por Fontes Renováveis, sendo a principal fonte do agravamento do chamado “efeito estufa” no globo terrestre (Stuchi et al., 2015).

De seguida, apresentam-se os recursos e Energias geradas para as Energias Não-Renováveis:

2.2.4.1 Materiais Radioativos (urânio-235) → Energia Nuclear ou Atómica

A produção de Energia Elétrica a partir destes recursos é feita mediante o uso de Centrais Nucleares, onde por intermédio do aquecimento da água, transforma-se em vapor (calor) e faz trabalhar os geradores (ver Figura 2.8). O método utilizado para obter energia elétrica neste tipo de Centrais é denominado por Fissão Nuclear e consiste na rotura de átomos de grande dimensão em átomos de menor dimensão. Apesar deste tipo de Centrais serem menos poluentes que as Termoelétricas, o derrame de detritos nucleares produzidos e a probabilidade de ocorrência de acidentes podem originar graves impactos ambientais e causar inúmeras mortes (Sousa & Pena, 2019).

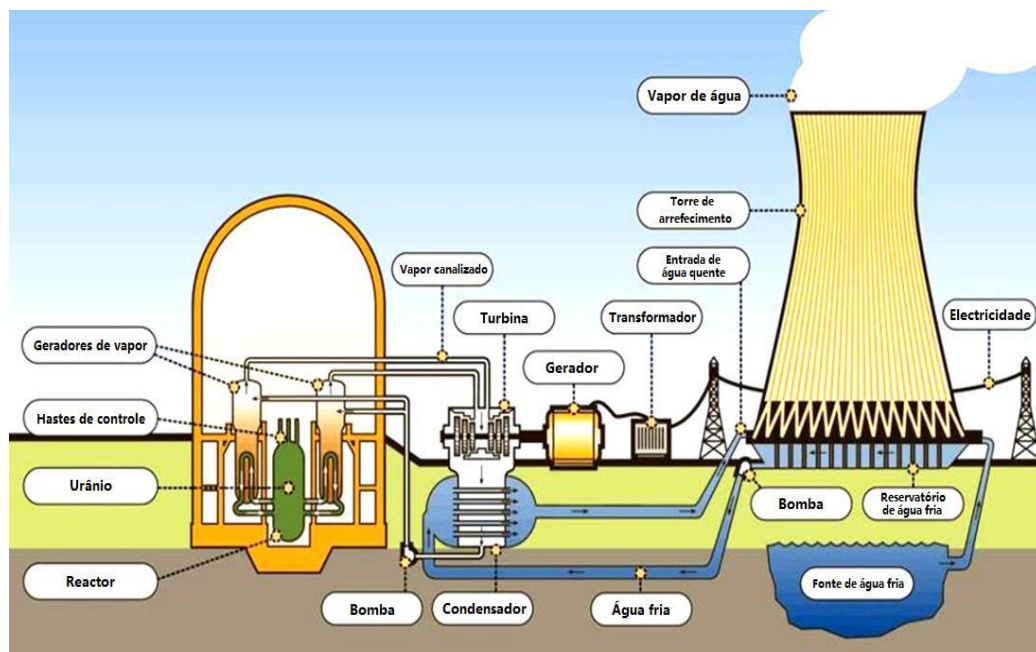


Figura 2.8 – Funcionamento de uma Central Nuclear (adaptado de(Évora & Morais, 2011)).

2.2.4.2 Combustíveis Fósseis (petróleo, carvão, gás natural, nafta, xisto betuminoso) → Energia Elétrica

A produção de Energia Elétrica a partir destes recursos é feita mediante o uso de Centrais Termoelétricas (ver Figura 2.9), as quais serão estudadas mais pormenorizadamente, mais adiante.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IAE), cerca de 81,63% de toda a matriz energética global advém dos 3 principais combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural), (Sousa & Pena, 2019).

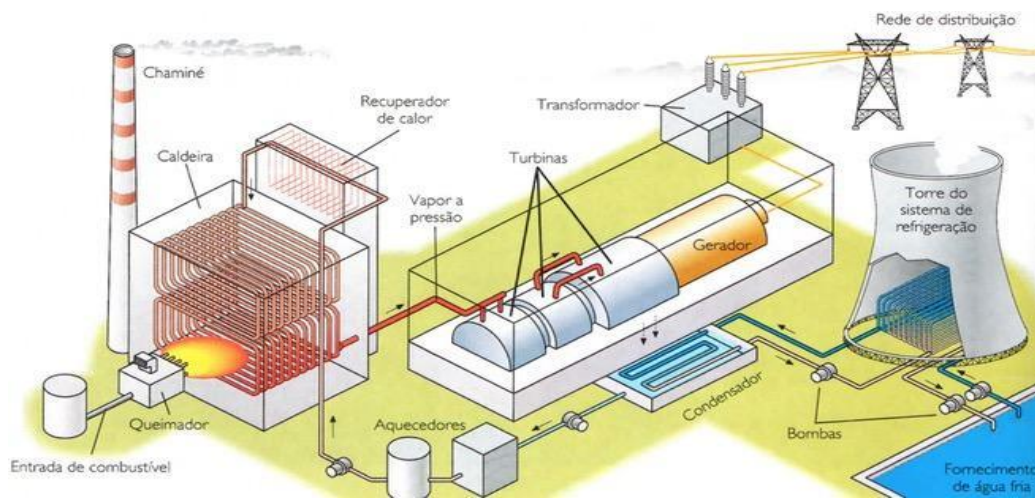


Figura 2.9 – Funcionamento de uma Central Termoelétrica (adaptado de(Évora & Morais, 2011)).

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, tratou-se de expor os conceitos básicos relacionados com a grandeza Física - Energia. Estes conceitos, são de elevada importância para melhor interpretação do tema fulcral do presente trabalho – As Centrais Termoelétricas de Ciclo Combinado.

Foram apresentadas propriedades e os 4 tipos fundamentais em que a Energia pode aparecer na Natureza (Energia Térmica, Energia Mecânica, Energia Elétrica e Energia Química). Alguns conceitos de Termodinâmica foram também introduzidos, nomeadamente as 3 Leis Fundamentais da Termodinâmica, por forma a sustentar o funcionamento dos diferentes tipos de Centrais de Produção de Energia.




De seguida, abordou-se o tema das Fontes de Energia, como sendo, os recursos naturais ou artificiais responsáveis pela geração das diferentes formas de Energia, estando por isso, intrinsecamente ligados às questões ambientais.

Foram apresentadas tambem algumas vantagens e desvantagens para cada tipo de Energia criada e respetivo Tipo de Central de Energia.

Apresenta-se abaixo, um mapa-resumo para as diferentes fontes de energia:

Tabela 2.1 - Mapa-Resumo sobre as Fontes de Energia.

Fontes de Energia	Renovavel	Nao-Renovavel	Energia Limpa	Energia Poluente	Convencional	Nao-Convencional	
Hidraulica	Sim		Sim		Sim		Red
Eolica	Sim		Sim			Sim	Green
Solar	Sim		Sim			Sim	Green
Geotermica	Sim		Sim		Sim		Green
Biomassa	Sim		Sim			Sim	Yellow
Oceânica	Sim		Sim			Sim	Green
Carvão		Sim		Sim	Sim		Red
Petróleo		Sim		Sim	Sim		Red
Gás Natural		Sim		Sim	Sim		Yellow
Nuclear		Sim		Sim	Sim		Red

	Provoca Impacto Ambiental
	Não Provoca Impacto Ambiental
	Impacto Ambiental moderado

Apresenta-se na Figura 2.10, um mapa resumo sobre o gerenciamento de Energia.

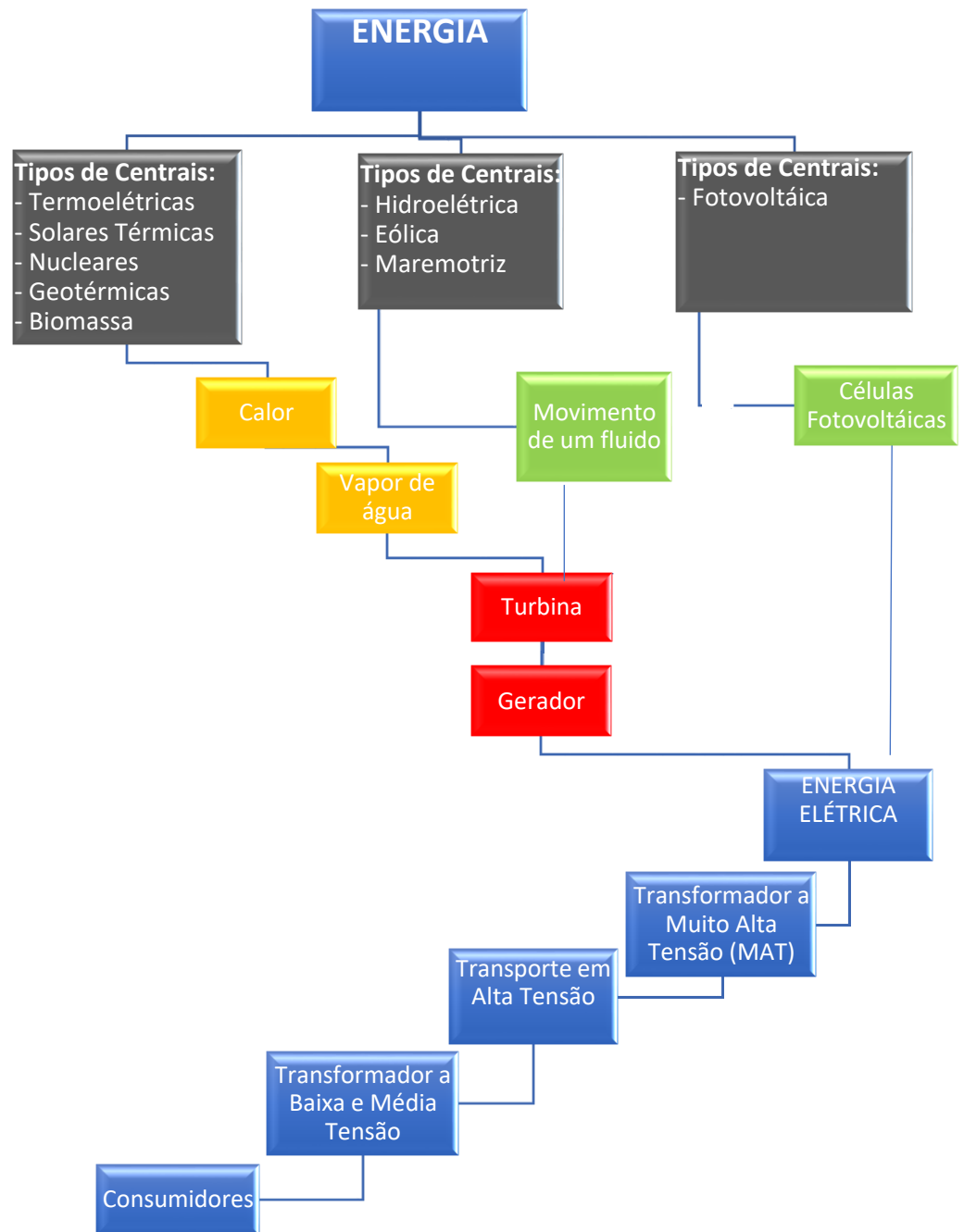


Figura 2.10 – Diagrama-Resumo sobre os Tipos de Centrais Elétricas.

3 EMPREENDIMENTOS DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As Centrais Termoeletricas têm vindo a assumir-se de grande importância nas Sociedades modernas no que se refere à geração de energia elétrica. Por este facto, surge a motivação para que se conheçam mais pormenores sobre o seu funcionamento e elementos constituintes, ao mesmo tempo que se entenda os tipos de custos que estão diretamente relacionados com a sua construção e montagem.

No presente capítulo será feita uma abordagem sobre o funcionamento básico das Centrais Termoeletricas. Serão analisadas algumas características comuns a este tipo de empreendimentos, como o seu arranjo físico, os seus principais componentes e componentes auxiliares. Baseada na informação acima descrita, serão apresentadas as diferentes classificações que poderão tomar este tipo de Centrais e apresentar-se-ão as vantagens e desvantagens do emprego de Centrais Termoeletricas.

Na sequência, será feita uma Análise Económico-Financeira para uma Central Termoeletrica a vapor, e pormenorizadamente abordar-se-ão as Fases de Projeto e Exploração para uma Central Termoeletrica.

3.2 ASPETOS TÉCNICOS E ECONÓMICOS DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS

3.2.1 Caracterização e Classificação de Centrais Termoeletricas

A expressão ‘‘Termoeletrica’’ significa gerar energia elétrica a partir da expansão dos gases quentes (na ordem dos 1.000-1.300 °C) ou do vapor de água (na ordem dos 500-550 °C), obtidos a partir da queima controlada de combustíveis (petróleo, carvão, gás natural, nafta, xisto betuminoso).

O funcionamento de uma Central Termoeletrica, basicamente obedece a seguinte sequência de etapas (Martins, 2018):

1. O combustível fóssil usado é queimado, produzindo-se calor, o qual é usado para aquecer a água em caldeiras para o efeito;
2. Esta água transforma-se em vapor, o qual é aquecido à ordem dos 500-550 °C e direcionado para as pás das turbinas. O impacto do vapor contra as pás das turbinas origina a rotação do eixo da turbina;

3. Acoplado ao eixo da turbina, é colocado um gerador, responsável por produzir eletricidade à medida que a turbina gira;
4. Por sua vez, ao gerador, é ligado um transformador, responsável por padronizar as características desta corrente elétrica gerada aos valores ideais para sua distribuição com um mínimo de perdas possível.

Da expressão 2.9 do capítulo 2, viu-se que o rendimento de uma máquina sujeita a um ciclo termodinâmico nunca atinge os 100%, ou seja, não é possível converter na totalidade o calor absorvido do aquecimento da água em trabalho de rotação das pás das turbinas; no caso das Centrais Termoeletricas, este rendimento situa-se entre os 30 a 50%, o que significa que até metade da energia calorífica gerada pode ser perdida para o ambiente. Em função do aumento das quantidades de CO₂ emitidas para a atmosfera, engenheiros e cientistas trabalham afincadamente, com o intuito de se encontrarem novos processos operacionais capazes de gerarem energia com maior eficiência e menos poluição (Stuchi et al., 2015).

Um desses processos é o denominado por «dupla geração», o qual consiste em aproveitar simultaneamente a energia armazenada nos combustíveis para duas finalidades distintas (Martins, 2018):

- Por um lado, o combustível é usado para gerar energia elétrica através de um alternador, ou gerador comum;
- Por outro lado, o calor residual, proveniente tanto da operação deste gerador quanto da queima do combustível, pode ser utilizado para ativar um circuito de aquecimento, ou mesmo para aquecer a água de um segundo circuito, até convertê-la em vapor que acione um segundo alternador.

Do ponto de vista de arranjo físico, é possível identificar as seguintes áreas de construção/montagem em Centrais Termoeletricas (Solutions, 2019):

- Edifício Administrativo: onde devem estar as entidades responsáveis pela gestão do empreendimento.
- Estação de Descarga/Entrada do combustível: em função do tipo de combustível que a Central vai operar, esta Estação terá uma área de descarga, armazenamento e/ou tratamento do mesmo, com dimensões adequadas ao seu consumo e facilidade no manuseamento; elevados controles de segurança devem ser implementados por forma a salvaguardar a utilização em segurança do combustível em questão.
- Campo de Reservatórios de combustível/Diesel: em algumas Centrais, utilizam-se estes reservatórios para armazenar o Diesel que servirá de alternativa ao combustível

principal (carvao, petroleo ou gas natural). Tratando-se de um local com o risco iminente de combustao, especial atencao a sua seguranca deve ser dada.

- Depositos de Agua (bruta, de incendio e reutilizada): uma estacao de incendio e fundamental para a seguranca da Central, por isso, deve ser prevista a construcao de um deposito de agua para o efeito, independentemente do tipo de Central Termoeletrica; o uso de agua bruta e reutilizada, depende do tipo de Central a construir, sendo necessario o seu emprego no caso de se tratar de uma Central de Ciclo Combinado (conforme se vera no capitulo 4).

- Zona de Oficina Mecanica: por forma a minimizar grandes paragens em caso de avaria de algum componente ou equipamento, deve-se prever esta zona durante a construcao de uma Central Termoeletrica.

- Area de Armazenamento de material: normalmente, para os componentes de pecas e alguns materiais de frequente desgaste ou substituicao, deve-se contar com um «stock» de reposicao imediata, o que minimizará os tempos de paragens para a sua substituicao/reparacao.

- Zona de arrefecimento de agua: necessaria especialmente para se maximizar a eficiencia da Central e deste modo minimizar a poluicao termica.

- Casa de Forca e Cabine de Controlo: Secao onde estão localizados os principais componentes das Centrais.

- Area dos transformadores: Secao responsavel por levar a energia eletrica gerada a Rede Nacional de Transporte de Energia, minimizando as perdas.

Na Figura 3.1, ilustra-se um exemplo de uma planta para uma Central Termoeletrica onde e possivel identificar as varias areas de construcao/montagem acima descritas.



Figura 3.1 – Planta Genérica de uma Central Termoeletrica (adaptado de(Solutions, 2019)).

Em termos dos principais componentes das Centrais Termoelétricas, é possível identificar (Bonito, 2019):

- Caldeiras: mediante a queima de um determinado tipo de combustível, aquecem a água que produz o vapor para fazer girar as turbinas. São fabricadas com materiais resistentes a altas pressões e temperaturas e podem ser de 3 tipos: convencionais, de recuperação de calor ou então fornalhas e queimadores (sistemas de combustão).
- Turbinas: mediante a incidência do vapor nas suas pás, vapor este gerado nas caldeiras, origina o movimento do Gerador Elétrico. Estas podem ser de 2 tipos: à vapor ou à gás.
- Gerador Elétrico: responsável por fornecer a energia elétrica gerada ao sistema.

Como componentes auxiliares ao bom funcionamento de uma Central Termoelétrica, há a destacar (Stuchi et al., 2015):

- Permutadores de Calor: podem ser Condensadores (possibilitam a circulação do fluido de resfriamento no interior dos tubos enquanto no seu exterior, circula o vapor saturado proveniente da turbina) ou Aquecedores regenerativos dos ciclos de turbinas a gás e vapor (facilitam o aquecimento da água).
- Desareadores: permitem a remoção de gases (O_2 e CO_2) presentes na água, que podem levar a corrosão das superfícies de alguns equipamentos.
- Sistemas de refrigeração por absorção: funcionam como opção para a diminuição da demanda de energia elétrica.

As Centrais Termoelétricas possuem diferentes classificações, em função dos seguintes critérios (Stuchi et al., 2015):

- Produto final: distingue as centrais térmicas em 2 grupos – aquelas que apenas produzem energia elétrica, chamadas de Centrais Termoelétricas de Geração e as outras que podem gerar simultaneamente calor e energia elétrica, chamadas de Centrais Termoelétricas de Cogeração.
- Potência Total produzida: distingue as Centrais Termoelétricas em 3 grupos – potência gerada <50 MW (chamadas de pequenas Centrais), potência gerada entre 50 a 100 MW (Centrais médias) e potência gerada > 100 MW (Centrais altas).
- Tipo e natureza do combustível queimado: distingue as Centrais Termoelétricas em 4 grupos, em função de fatores técnicos, económicos e ambientais – Centrais de Combustíveis Líquidos, Sólidos, Gasosos ou Mistos.
- Tipo de Caldeira a usar: distingue as Centrais Termoelétricas em 2 grupos com base nos ciclos de vapor, Centrais com Caldeiras de passe único e Centrais com circulação natural.

- Tipo de esforço a que estão sujeitas: distingue as Centrais Termoelétricas em 2 grupos, as que operam em período integral com esforço contínuo (também denominadas por «operação em carga base») e as que operam apenas durante alguns períodos do dia (também denominadas por «operação em carga pico»).

- Tipo de máquinas térmicas: distingue as Centrais Termoelétricas em 4 grupos – Centrais com turbina a gás em ciclo simples, Centrais com turbina a vapor, Centrais com turbina em ciclo combinado e Centrais com motor de combustão interna.

Com base no acima referido para o arranjo físico, principais componentes, componentes auxiliares e classificações de Centrais Termoelétricas, e mediante a elaboração de uma análise Económico-Financeira, torna-se possível aferir o valor do investimento financeiro para um empreendimento em questão (Bonito, 2019). Sendo que para tal,

$$\text{CustoCT} = \text{CI} + \text{CO} \quad (3.1)$$

Onde:

CT – Central Termoelétrica

CI – Custos de Investimento

CO – Custos de Operação

Os custos de Investimento e Operação são fortemente influenciados pela configuração e localização a dar à Central Termoelétrica, assim como o regime de esforço em que a mesma vai operar (se vai operar em esforço contínuo ou alternado) (Bonito, 2019).

Em seguida, apresentam-se alguns gráficos comparativos de análise de custos para uma Central Termoelétrica de ciclo a vapor (ver Figura 3.2, Figura 3.3, Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6).

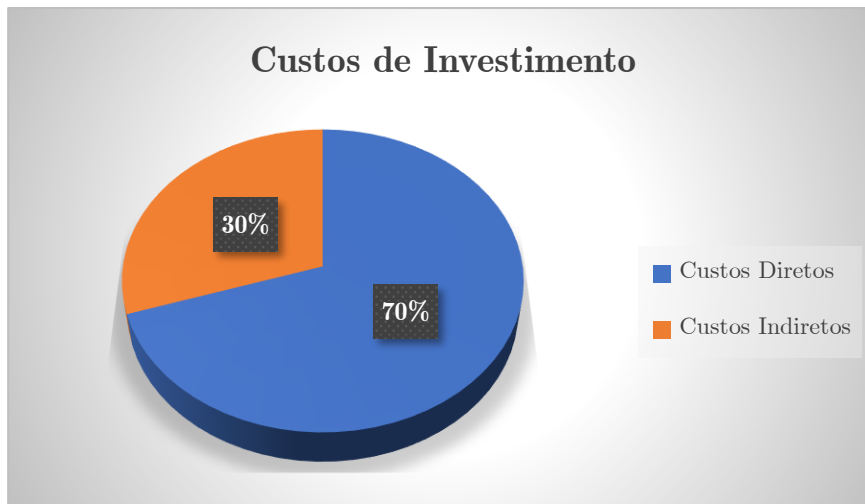


Figura 3.2 – Composição dos Custos de Investimento para uma Central Termoelétrica (adaptado de (Bonito, 2019))

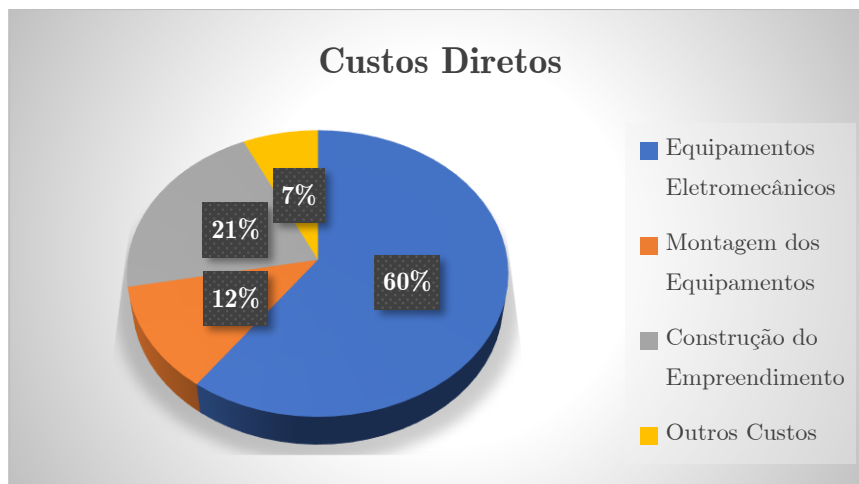


Figura 3.3 – Composição dos Custos Diretos para uma Central Termoelétrica (adaptado de (Bonito, 2019))

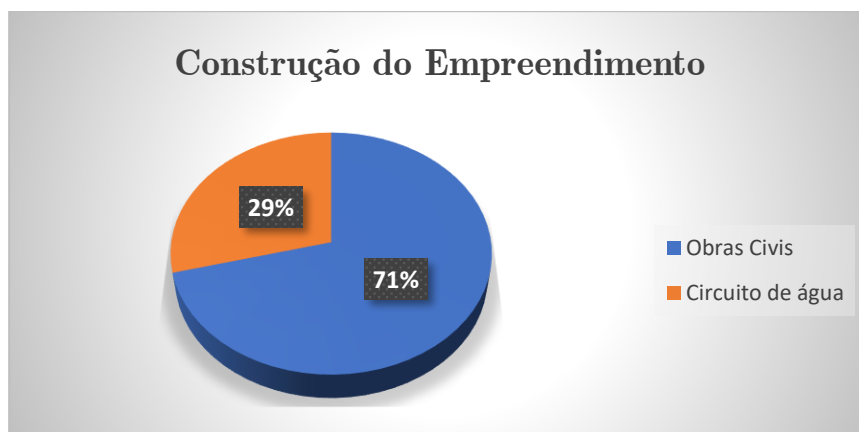


Figura 3.4 – Composição dos Custos associados à Construção do Empreendimento para uma Central Termoelétrica (adaptado de (Bonito, 2019))

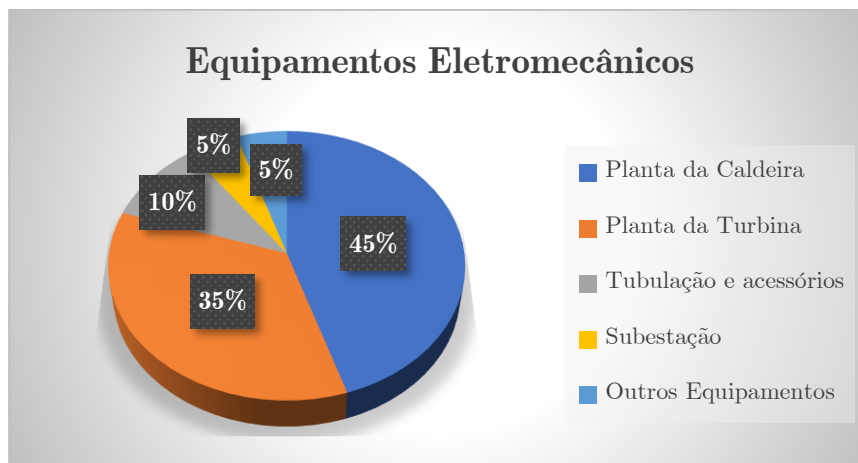


Figura 3.5 – Composição dos Custos associados aos Equipamentos Eletromecânicos para uma Central Termoeletrica (adaptado de (Bonito, 2019))

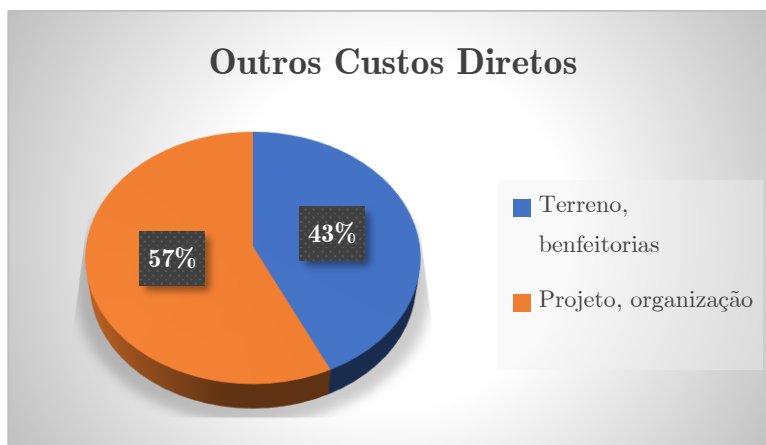


Figura 3.6 – Composição de Outros Custos Diretos para uma Central Termoeletrica (adaptado de (Bonito, 2019))

Apresentam-se de seguida, algumas vantagens da utilizacao de Centrais Termoeletricas (Fragmac, 2015)(Stuchi et al., 2015):

- Em relacao às Centrais Hidroeletricas, o seu processo de construcao é mais rápido, permitindo suprir carencias de energia de forma mais rápida.
- Podem ser instaladas em locais próximos das regioes de consumo, diminuindo-se assim os custos de transporte da energia.
- São alternativas para países que não possuem uma variedade de escolha no que respeita às fontes de energia disponíveis.
- Não dependem da quantidade de precipitacao, nem necessitam de cursos de água, como no caso das centrais hidroeletricas.

Como desvantagens da sua utilização, podem ser enumeradas (Fragmac, 2015):

- O facto de utilizar uma energia de fonte não renovável, como referido no capítulo anterior, torna-se uma das desvantagens, visto que o recurso utilizado para produzir este tipo de energia tende a esgotar-se no futuro.

- As elevadas temperaturas da água utilizada no seu processo de aquecimento, causam a poluição térmica, uma vez que esta é lançada nos rios e ribeiras, ocasionando desta forma a destruição de ecossistemas e interferindo com o equilíbrio dos mesmos.

- Uma vez que são usados combustíveis fósseis para queimar e gerar energia, existe uma grande libertação de poluentes para a atmosfera. Estes poluentes são responsáveis pela criação do efeito estufa e pelo aumento do aquecimento global do nosso planeta, ainda que sejam usadas chaminés muito altas com a finalidade de diminuir a poluição causada. Portanto, este tipo de produção de energia elétrica é altamente prejudicial ao meio ambiente.

- Outra desvantagem é que o custo final deste tipo energia é mais elevado do que a energia gerada em Hidroelétricas, em função do preço dos combustíveis fósseis.

3.2.2 Fases de Projeto e Exploração de Centrais Termoelétricas

As etapas de construção e montagem destes Sistemas Elétricos exigem grandes encomendas de insumos e de partes, quer a montante (Central Termoelétrica) quer a jusante (transporte e distribuição); encomendas estas que abrangem transversalmente diferentes setores da indústria de uma Nação (construção civil, maquinaria pesada, metalurgia, eletromecânica, elétrica e montagens de grande precisão), conforme ilustrado na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Estrutura do Sistema de Energia Elétrica (SEE), gerado por Centrais Térmicas (adaptado de (Castro & Sousa, 2014)).

Como em qualquer outra obra de Engenharia Civil, intervem varios «stakeholders», todos com extrema importancia para que se atinja a qualidade e durabilidade do investimento durante o seu periodo de vida util, como o Dono-de-Obra, Gestor de Projeto, Operador, Empreiteiro, Fornecedores e Subfornecedores (Matos, 2015). De maneira geral, o Operador da Central e a entidade que pretende adquirir e operar a Central, podendo ser igualmente o Dono-de-Obra. O Empreiteiro e a entidade responsavel pelo planejamento, entrega, montagem, e comissionamento da Central. Saliente-se que o Empreiteiro e o Operador partilham do mesmo objetivo: tornar o lucro o mais alto possivel. A interpretacao e de que um lucro significativo para o Empreiteiro resultara em altos investimentos por parte do Operador, podendo criar-se naturais conflitos de interesse. O Gestor de Projeto sera responsavel por gerir o projeto na fase de planejamento e/ou execucao utilizando recursos internos ou mediante servicos de consultoria de gabinetes especializados de engenharia, por forma a suportar a viabilidade do projeto e o acompanhamento integral das diversas atividades. O Gestor de Projeto e o responsavel quer pela prossegucao de obras em curso, lancamento de novas obras (preparacao de especificacoes tecnicas, processos de concurso, adjudicacoes, planificacao e controle), acompanhamento de estudos, projetos, coordenacao da atividade dos Empreiteiros, supervisao e fiscalizacao de obras nas diversas fases de producao, construcao e montagem. O Contratante que pode ser o Dono-de-Obra, o Operador ou ambos, deve obter a aprovacao oficial como requerente, nomeadamente da licenca de construcao e operacao. Deve ainda fornecer documentacao como o estudo de impacto ambiental (EIA), prognostico de emissoes, analise de ruidos, plano oficial do sitio, dados das condicoes do solo, entre outros (Matos, 2015).

A realizacao de uma Central Termoeletrica obedece a diferentes fases, desde a sua concecao, passando pela sua construcao e posterior exploracao, as quais consumiram diferentes quantidades de recursos (tempo, recursos humanos e recursos financeiros) ao longo do tempo (Maia, 2013), conforme se mostra na Figura 3.8:

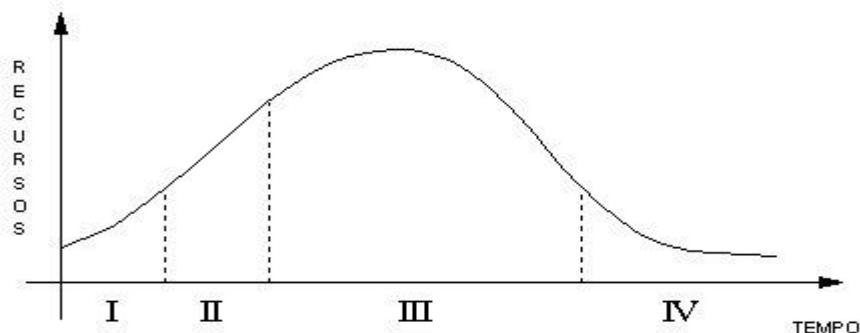


Figura 3.8 – Ciclo de Vida de um Projeto (adaptado de(Maia, 2013)).

Fase I: Conceção

Fase II: Planeamento

Fase III: Execução

Fase IV: Exploração

3.2.2.1 Fase de Projeto: Conceção e Planeamento do Empreendimento

A iniciativa para a criação de qualquer projeto para a construção de uma Central de Produção Elétrica, está normalmente associada à necessidade de se incrementar a capacidade de produção face à demanda elétrica estimada para certa população média a longo prazo (Matos, 2015). Para a realização/concretização deste novo empreendimento serão essenciais uma variada gama de estudos e projetos no sector de engenharia civil e engenharia eletromecânica, passando por estudos de viabilidade técnico-económica e anteprojecto, projetos organizados com a finalidade de servirem para aprovação ou licenciamento pelas estâncias oficiais e projetos de execução. Estima-se que em média o período para a construção de uma nova Central poderá levar entre 3 a 10 anos, e o seu período de exploração varia entre 18 a 75 anos, dependendo do tipo de Central a construir (Matos, 2015).

De acordo com as dimensões do projeto, as Centrais Termoeletricas podem ser distinguidas em pequena, média ou grande escala, influenciando custos de investimento, transporte de componentes, duração do projeto, estrutura organizacional e fornecedores.

Para a projeção de uma nova instalação térmica é feito um exaustivo estudo económico para a escolha das características, onde são avaliados parâmetros internos, como investimentos, consumo de combustível, despesas com o pessoal de exploração, despesas de conservação, assim como parâmetros externos, nomeadamente, taxas de juros, duração de amortização das instalações, a sua utilização, o custo do combustível. Este estudo económico abarca uma complexidade tal, uma vez que deverão ser profundamente analisados todos os dados que compõem complexa equação. A grande maioria dos parâmetros internos, responsáveis pelas características físicas do empreendimento, são de fácil determinação e normalmente são estimados através de dados estatísticos por comparação com instalações de características semelhantes, nacionais ou estrangeiras, como consumos específicos de equipamentos, despesas com conservação, despesas com o pessoal de condução, entre outros. Os parâmetros externos, responsáveis pelo enquadramento das instalações num contexto económico, são de determinação mais sensível, com dificuldade em prever a sua evolução durante o período de vida útil das instalações. Em média, os primeiros dez ou quinze anos de vida das instalações são os de incidência mais delicada em termos económicos, o que se refletirá

numa diminuicao da utilizacao anual destes empreendimentos a partir deste periodo (Matos, 2015).

Atendendo a dimensao do investimento a construir e do impacto desta construcao a localidade onde sera implantada, e fundamental a realizacao de consultas a comunidade publica por forma a obter a sua envolvimento (desta maneira que se possam discutir alguns aspetos tecnicos, sociais, ambientais e economicos com a populacao do local a implantar a Central), obtencao de licencas governamentais, informacao precisa com consideracoes dos fatores de engenharia relevantes ao projeto, planos para futura expansao ou possiveis alteracoes, entre outros. De igual modo, e importante desenvolver um plano e um calendario para implementacao da obra que se adequem a realidade das atividades a desenvolver e nao comprometam os prazos acordados inicialmente, identificar fontes internas e externas necessarias para o desenvolvimento e execucao do projeto, desenvolver especificacoes para o equipamento e subsistema que serao adquiridos (Matos, 2015).

Ainda nesta fase, deve-se ter em consideracao a determinacao de parametros basicos que reflitam as necessidades e/ou oportunidades, analise de tecnologias (turbina a vapor, turbina a gas ou Ciclo Combinado), escolha da localizacao da central (de acordo com o EIA), avaliacao de todos os possiveis condicionantes (disponibilidade de combustiveis a longo prazo, abastecimento de agua de reposicao, novos tipos de equipamento disponiveis, impactos ambientais) e aspetos economicos (avaliacao da procura de eletricidade, tipos e dimensoes das caldeiras). Estes estudos revelar-se-ao de um elevado valor estrategico, uma vez que permitirao prever a rentabilidade de execucao do projeto durante o seu tempo de vida util e tambem poderao servir de base para outros projetos (Matos, 2015).

Porém, a decisao final de prosseguir com a execucao do projeto e tomada em funcao dos resultados de estudos de viabilidade, que tanto podem prever baixa rentabilidade ou rentabilidade favoravel para o empreendimento em questao. No caso de uma previsao desfavoravel (ou seja, baixa rentabilidade), o projeto pode nao ter continuidade, levando ao abandono do mesmo. No entanto, ainda assim e possivel que sejam refeitas algumas etapas e investigacoes a posteriori, por formas a tornar a rentabilidade entao favoravel. Se o resultado do estudo economico for favoravel, o projeto podera vir a ter continuidade, por decisao do Gestor do Projeto e os estudos de viabilidade serviraõ como documentacao basica fundamental durante a fase de pre-investimento e de adjudicacao (Matos, 2015).

A etapa a seguir sera a elaboracao da proposta que no fundo reflite a resposta do fornecedor a consulta do Operador e servira como uma pre-condicao para as negociacoes. Normalmente, os documentos relativos a uma proposta contem normas exatas relativamente ao tipo e objetivos da cotacao a ser submetida, com destaque para

considerações gerais do projeto (descrição do funcionamento, procedimentos, produtos residuais, produtos químicos, agendamento de trabalhos e marcos contratuais, características técnicas de componentes, custos gerais e custos de manutenção).

É fundamental a indicação do âmbito do trabalho a que se propõe quem submete a proposta, devendo especificar se a mesma é para o projeto completo (desde o fornecimento do material, edificação, montagem até ao comissionamento) ou se apenas se foca em subsistemas maiores como a caldeira, turbina, ou simplesmente em componentes individuais e auxiliares. Se o âmbito do projeto for completo, o proponente deverá então apresentar experiência comprovada, instrumentos e seguros de apoio financeiro bem como capacidade de suportar o risco financeiro associado a projetos de grande-escala (Matos, 2015).

Os custos do projeto estão normalmente associados a custos de aquisição de componentes, trabalhos de engenharia civil, horas de engenharia interna e contratada, transporte, montagem, comissionamento, seguros, taxas de licenciamento, taxas alfandegárias, provisões e outras despesas. Com base nestes custos de projeto são então fixadas as margens de lucro.

Recebidas as propostas, procede-se à análise técnica e comercial das mesmas com base em critérios de avaliação específicos, possibilitando determinar uma lista curta de propostas a ponderar. A avaliação de uma proposta inclui normalmente uma revisão do âmbito, facilidade de operação, custos de operação e conservação, serviços, projeto e características de construção, equipamentos, calendarização das tarefas, experiências, termos comerciais e não menos importante, preço. A pré-qualificação da lista que limita o número de fornecedores envolve, uma prova de referências, experiência e liquidez (Matos, 2015).

É necessário que se tenha em conta que a melhor proposta poderá não ser a de menor preço. O contratante, no processo de seleção de uma determinada proposta, terá que fazer decisões conscientes que levem em consideração que um baixo preço de cotação pode ser perdido a longo prazo em resultado de elevados custos de operação, conservação e indisponibilidade das instalações. Para além disso, pode influenciar o Empreiteiro a trabalhar de uma maneira não desejável durante a execução do contrato, numa tentativa de evitar custos num projeto com pouca rentabilidade. Desta maneira procura-se atingir um equilíbrio entre os custos de investimento iniciais e poupanças a longo prazo, dentro dos constrangimentos técnicos e económicos.

A etapa a seguir será a seleção do Empreiteiro, com respetiva adjudicação da ordem de trabalhos; segue-se a discussão de detalhes comerciais e questões técnicas, que depois de ultrapassadas, culmina com a renegociação do preço de compra, data de conclusão e assinatura do contrato de venda (a ser assinado pelo Construtor e pelo

Operador). O contrato de venda é o documento mais importante para a execução de qualquer projeto, cujo conteúdo deve ser profundamente conhecido por ambas as partes; o mesmo inclui todos os dados relevantes do projeto: limites técnicos, legais e comerciais (Matos, 2015).

3.2.2.2 Fase de Projeto: Execução do Empreendimento

Concedida a autorização oficial por parte das autoridades competentes, inicia-se a fase de Execução que engloba a construção da Central até ao seu comissionamento, sendo esta, a fase que incorpora maiores consumos de recursos humanos, tempo e dinheiro. A Fase de Execução abrange as seguintes etapas: a engenharia ao pormenor, processo de compras, montagem, comissionamento e receção do empreendimento (Matos, 2015).

A engenharia ao pormenor assenta em especificações do fórum técnico e comercial, necessárias para a aquisição dos diversos equipamentos. Este processo conduz a criação e constante atualização de uma base de dados com potenciais fornecedores/subfornecedores e posterior seleção dos mesmos à semelhança do que acontece na contratação do Empreiteiro Geral. No decorrer desta etapa da Fase de Execução, são revistos e atualizados os documentos técnicos e comerciais de equipamentos e serviços em conformidade com o contrato final. Esta informação e respetivos documentos são então enviados para pelo menos três fornecedores/subfornecedores, da base de dados então criada, com o intuito de receber propostas e proceder à sua comparação técnica. Elaboram-se a seleção dos concorrentes preferenciais e negociam-se as partes técnicas e comerciais. Por último procede-se à comparação comercial das propostas dos concorrentes preferenciais e é tomada a decisão final do fornecedor a ser contratado (Matos, 2015).

Os fornecedores de equipamento devem concorrer de forma competitiva a uma especificação em particular. Tais especificações são desenvolvidas mediante a avaliação e estabelecimento de questões relacionadas com a viabilidade e possíveis alternativas, fornecendo deste modo a resolução do esquema do sistema e seus equipamentos, bem como a sua disposição e configuração geral do sistema. Estas especificações podem cingir-se desde requisitos funcionais, de desempenho e requisitos específicos do sítio, limitações na disposição, agenda do projeto, incluindo entrega de equipamento, construção, comissionamento, restrições de acesso até aos termos e condições de contratos comerciais. Parte desta informação é essencial para configurar parâmetros do sistema, como a dimensão, capacidade, materiais a utilizar, entre outros. A título de exemplo, para os sistemas de geração de vapor, por se tratarem de sistemas bastante complexos, não será

toleravel uma errada interpretacao durante a fase de producao dos mesmos, uma vez que certamente originara atrasos significativos durante a Fase de Execucao da Central. Deste modo, para sistemas com complexidade media a elevada, exigem-se especificacoes tecnicas bastante precisas e completas, ao mesmo tempo, devem apresentar opcoes multiplas ou solucoes alternativas, em que a solucao final e baseada numa avaliacao do capital inicial disponivel para investimento, em conjunto com diversas variaveis, entre as quais, beneficios a longo prazo em termos de custos de operacao e manutencao, custos associados com falhas e indisponibilidade, capacidade de operar sob condicoes de funcionamento variadas ao longo do seu tempo de vida util (Matos, 2015).

Ultrapassada a sub-etapa de selecao do fornecedor no processo de compras, e feita a adjudicacao do (sub) contrato.

Em seguida, inicia-se a etapa de montagem, onde a tarefa de construcao de instalacoes de producao de vapor e de energia e todos os equipamentos associados apresenta-se bastante complexa e desafiadora. Pela natureza fisica que apresentam alguns equipamentos cujas dimensoes sao razoavelmente pequenas, o que facilita a sua translacao, desde o Pais de origem ou Fabrica para o local da obra, completamente montados, outros por sua vez, como por exemplo caldeiras industriais e sistemas ambientais, sao enviados para o local de trabalho em varios estagios de fabricacao e submontagem. Como exemplo, saliente-se que a caldeira industrial com o seu equipamento de transferencia de calor e componentes podem pesar mais de 12.000 t, cuja montagem em campo obriga ao uso de metodos de edificacao eficientes, bem projetados e bem organizados, dentro de um prazo razoavel e com custo minimo, por formas a nao comprometer a qualidade e seguranca (Matos, 2015).

Terminada a sub-etapa de montagem, procede-se as vistorias, cuja finalidade e a de identificar eventuais defeitos ou nao conformidades, como zonas de dificil acesso, falta de equipamentos, entre outros. Destas visitas resultam listas de defeitos e nao conformidades que precisam ser posteriormente revistas pelo Empreiteiro. Outros defeitos surgira durante a etapa de comissaoamento, onde se elaborara novas listas de defeitos ou nao conformidades para que sejam eliminados. Entende-se como comissaoamento, a aplicacao integrada de um conjunto de tecnicas e procedimentos de engenharia com o intuito de verificar, inspecionar e testar cada componente fisico do empreendimento, desde os individuais, como pecas, instrumentos e equipamentos, ate aos mais complexos, como modulos, subsistemas e sistemas (Matos, 2015).

Os ultimos trabalhos passam por isolamentos finais, pinturas, limpezas, rotulagens, procedendo-se em ultima instancia ao comissaoamento a frio e a quente. O comissaoamento a frio testa e otimiza os componentes mediante a aplicacao de agua e de ar, ao passo que no segundo e feito o teste mediante aplicacao de meios reais (energia,

combustível e fornecimento de calor), demonstrando todos os estados operacionais (inicialização, paragem, variações de carga). O teste de garantia e desempenho pode ter a duração de 24 à 48 horas contínuas de funcionamento, que com o parecer favorável, dará início à receção provisória, isto é, o Operador assume a responsabilidade do empreendimento provisoriamente. Este período de experiência pode durar de quatro a oito semanas de operação contínua. A receção final dá início ao período de garantia e é um dos marcos mais importantes na execução do projeto. Ele indica o fim oficial do período experimental e do projeto do ponto de vista do Empreiteiro – fim oficial da Fase de Execução (exceto para os trabalhos em falta, conforme acordado relativamente a reparação de defeitos e não conformidades, bem como documentação final) (Matos, 2015). A partir desta data, e enquanto vigorar o período de garantia, quaisquer defeitos ou não conformidades que se venham a comprovar da responsabilidade do Empreiteiro, ficarão salvaguardados pela Área de Assistência Pós Venda do Empreiteiro, ou seja, sem custos adicionais para o Operador.

3.2.2.3 Fase de Exploração do Empreendimento

Durante a Fase de Exploração de qualquer empreendimento de Central Termoeletrica, o principal objetivo consiste em efetuar-se a transmissão da energia elétrica à Rede Nacional de Transporte de Energia, nas melhores condições técnico-económicas, garantindo a máxima fiabilidade, disponibilidade e o mínimo de impactos ambientais. Tal objetivo só será alcançado, se o Operador, responsável pela exploração da Central, garantir um acompanhamento permanente sobre os equipamentos da Central (como as caldeiras e instalações auxiliares), acompanhamento este feito tanto em regime térmico como estado mecânico (vibrações, dilatações, excentricidade do veio, empenamento dos cilindros) por formas a assegurar as melhores condições de rendimento e Segurança durante o seu funcionamento (Matos, 2015).

Existe uma relação direta entre a eficiência da Central, o consumo de combustível e os custos associados, por formas que, quanto maior for a eficiência térmica da caldeira (ou seja, menos perdas resultantes dos processos térmicos ou mecânicos), menores serão os custos anuais de combustível, sendo que estas poupanças traduzem-se nos custos de capital associados em equipamento mais eficiente. Deste modo, a determinação da eficiência térmica da Central requer considerações cuidadas entre os custos de capital e os custos de operação. No sentido inverso, baixas eficiências significam mais combustível consumido por unidade de eletricidade gerada, o que se traduz num aumento da poluição atmosférica e de impactos ambientais provenientes do processamento e transporte do combustível (Matos, 2015).

Com base no acima exposto, é possível estimar os custos primários da energia elétrica como o somatório dos custos relativos a bens de produção (caldeira, turbina, edificios e materiais diversos), dos encargos financeiros (taxas de juros, fontes de fundos e considerações fiscais) e custos de combustível, operação e conservação, conforme a expressão abaixo:

$$\text{CustoEE} = C1 + C2 + C3 + EF \quad (3.2)$$

Onde:

EE – Energia Elétrica

EF – Encargos Financeiros

C1 – Custos associados aos bens de produção

C2 – Custos associados ao combustível usado

C3 – Custos associados a atividades de operação e conservação

De seguida, apresentam-se algumas sugestões por forma a tornar o Custo Final da Energia Elétrica mais baixo, mas mantendo a qualidade, disponibilidade e eficiência do sistema alta (Matos, 2015):

- Deve-se procurar utilizar para os bens de produção (caldeira, turbina, edificios e materiais diversos), os materiais com a melhor qualidade possível que se encontram disponíveis no mercado, por formas a assegurar maior disponibilidade às instalações, ou seja, de maneira que as instalações trabalhem durante o maior período de tempo com o mínimo ou nenhuma paragens derivadas de tentativa de economia/poupança sobre a qualidade dos materiais. Na maior parte das vezes, paragens com origem em economia/poupança na qualidade dos materiais, são mais onerosas que a tentativa inicial de economia/poupança.

- Deve-se procurar reduzir ao máximo os encargos financeiros, tal é alcançável se, se construir bem e barato, ou seja, construir bem à primeira, com pragmatismo, eficiência e solidez; na fase de exploração deve-se procurar tirar o máximo de proveito das instalações, ou seja, explorar os equipamentos ao limite das suas possibilidades, consumindo o capital de vida das máquinas.

- Deve-se procurar atingir as condições ótimas de queima dos combustíveis a utilizar, por formas a minimizar os desperdícios provenientes de combustíveis indevidamente queimados, irradiados, o que melhorará o rendimento do sistema visto que desta parcela resultam custos bastante onerosos.

- Deve-se estimar os custos de operação e conservação com base em centrais com equipamentos, características dos combustíveis e de funcionamento semelhantes. Outros

custos de operacao incluem a utilizacao de reagentes para sistemas de controlo de emissoes, sistema de tratamento de aguas residuais, custos de eliminacao de residuos solidos, vacuo insuficiente nas maquinas, perdas do ciclo de vapor, falta de estanqueidade nos circuitos de purgas entre outros. Os custos de conservacao incluem reposicao de componentes, e custos de servicos (limpeza, seguranca, jardinagem). Para concluir, os custos de operacao e conservacao sao fortemente afetados por requisitos relativos a pessoal, devendo-se considerar a disponibilidade de mao-de-obra qualificada, assim como o custo relativo a retencao de pessoal qualificado durante a vida da central. Os custos anuais de operacao da caldeira podem aproximar-se do investimento inicial da unidade. Por conseguinte, custos de combustivel e potencia auxiliar devem ser quantitativamente avaliados.

Para que se atinja a plenitude durante a Fase de Execucao deve-se preparar as operacoes antes de serem instalados os equipamentos, incluindo formacao adequada da mao-de-obra a operar com os equipamentos. Esta formacao devera ser contnua por formas a capacitar as valencias dos recursos humanos nas diferentes areas de funcionamento da Central, como, a area de gestao, salas de controlo de operacoes, quimicos e tecnicos de laboratorio. Desta forma, todos os operadores devem ser formados para que compreendam as responsabilidades a que estao sujeitos e tambem, e nao menos importante, para salvaguardar a seguranca de todos os funcionarios envolvidos nas operacoes e funcionamento da Central. O momento ideal para que um funcionario se familiarize com o equipamento a usar, e durante a fase pre-operacional, ou seja, durante o periodo em que o equipamento esta a ser instalado, o que lhe facilitara ter dominio sobre os seus componentes (o seu desenho, a principal funcao a que se destina, as suas limitacoes e interdependencia com outros componentes) (Matos, 2015).

No inicio de funcionamento da central, existe um periodo relativamente curto em que os operadores e as equipas de manutencao se adequam com o funcionamento do novo sistema e resolucao de problemas de menor complexidade. Este periodo, normalmente e assinalado por altas taxas de interrupcoes forçadas, mas esta situacao vai diminuindo a medida que os procedimentos operacionais vao sendo refinados. A medida que a Central vai acumulando horas contnuas de trabalho (maturacao), a forca de trabalho tambem se vai adaptando ao novo sistema e quaisquer limitacoes sao ultrapassadas ou melhor interpretadas. Nesta fase de gradual maturacao, as interrupcoes forçadas vao permanecendo baixas, a disponibilidade e alta e os custos de manutencao minimos. A Central e operada perto da sua capacidade maxima com altos indices de disponibilidade.

A medida que se vao acumulando mais horas de trabalho, determinados componentes de pressao da caldeira vao atingindo o momento expectavel para a sua substituicao devido ao desgaste natural, corrosao, deformacao e fadiga, aumentando

também as falhas de componentes, reduzindo desta forma a disponibilidade do sistema. Falhas em outros componentes como linhas de vapor e barriletes podem ocasionar interrupções de longa duração, o que conduz à uma redução acentuada da disponibilidade da central. Deste modo, investimentos avultados poderão ser necessários para que sejam substituídos os componentes afetados (Matos, 2015).

A operação e manutenção da caldeira são atividades críticas para assegurar uma longa vida e serviço fiável. No arranque da Fase de Exploração, menos manutenção é requerida para se manter a alta disponibilidade. No entanto, à medida que a unidade amadurece e os componentes vão-se desgastando, a substituição dos mesmos torna-se rotineira, pelo que convém constituir um «*stock*» com alguns desses componentes para a sua imediata substituição.

Face à atual demanda de eletricidade, existe uma clara exigência de alta disponibilidade do sistema para a produção de energia em plena capacidade, durante períodos de pico críticos, como é o caso de dias muito quentes de verão ou muito frios de inverno (para alimentação de sistemas de arrefecimento e aquecimento, respetivamente). No entanto, para altos valores de disponibilidade, exige-se maior manutenção e despesas de capital. Note-se que as unidades normalmente estão em funcionamento de forma ininterrupta por mais de um ano. Em certos casos, as unidades poderão funcionar até quatro anos sem que sejam desligadas. A continuidade de serviço em termos de segurança pode ser afetada por situações de fogo nos equipamentos de queima, perda de estanqueidade progressiva de válvulas, encravamento dos órgãos de segurança, corrosão dos materiais, que podem forçar a interrupções imprevistas das instalações que se podem arrastar por longos dias. A melhor forma para se mitigar tal situação, passa por se implementar e manter uma rotina de verificação do estado do material, leitura de medidas de temperaturas, pressões, caudais, dilatações, isolamentos, vigilância periódica das condições de funcionamento das aparelhagens de segurança, entre outros (Matos, 2015).

No final do período de vida útil da central, esta poderá estar sujeita a avaliação técnica pela Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), a qual emitirá um parecer sobre a desclassificação ou não da central para efeitos de produção de energia elétrica. Caso se venha a confirmar a desclassificação da central, inicia-se então o processo de desativação da mesma: passando pelo descomissionamento, em seguida o seu desmantelamento, demolição e por fim, a requalificação ambiental. Como exemplo, saliente-se que a primeira central térmica a ser integralmente desativada em Portugal foi a Central do Barreiro que operava a fuelóleo. No descomissionamento da mesma, procedeu-se a trabalhos preparatórios como a montagem de estaleiros para apoio aos trabalhos necessários, remoção de fuelóleo e de outros resíduos oleosos presentes nos transformadores, químicos, desconexão das redes elétricas, limpeza dos edifícios,

desmantelamento de estruturas metálicas, demolição de edifícios e no final, requalificação ambiental (Matos, 2015).

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, começou-se por definir o conceito de Central Termoelétrica. De seguida, abordaram-se as 4 etapas básicas para o funcionamento deste tipo de Central e o rendimento associado ao seu funcionamento. Como forma de se melhorar este rendimento, introduziu-se o processo de «dupla geração».

Na sequência, foram tratadas as características básicas deste tipo de empreendimento, como sejam, arranjo físico, principais componentes e componentes auxiliares e, derivado das características anteriores, foi possível estabelecer as diferentes classificações que podem obedecer este tipo de Centrais.

Apresentou-se uma Análise Económico-Financeira, ou seja, os custos comumente associados à construção, montagem e outras etapas de Centrais Termoelétricas a vapor. Em seguida, foram abordadas as vantagens e desvantagens de emprego de Centrais Termoelétricas.

No seguimento, foram explanadas as várias fases de projeto, desde a conceção e planeamento, passando pela execução, culminando com a fase de exploração do empreendimento. Com base nestas abordagens, foi possível estimar o valor de custo para a energia elétrica produzida e fazer algumas sugestões que possibilitem minimizar os custos associados à sua produção. Foi também abordada a última etapa da fase de exploração, como sendo o descomissionamento de uma Central Termoelétrica.

Estes conceitos serão úteis para melhor se compreender os temas que a seguir serão tratados, relacionados com a construção de uma Central Termoelétrica de Ciclo Combinado.

4 CENTRAL DE CICLO COMBINADO DO SOYO

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

À partida, a construção de uma Central de Ciclo Combinado afigura-se como uma tarefa bastante complexa, quase infundável. No entanto, esta tarefa complexa pode ser decomposta em subtarefas mais simples, com prazos mais acessíveis, em que cada uma destas apresenta as suas próprias peculiaridades e interdependências com outras subtarefas. Para o efeito, deve-se procurar interpretar e absorver o projeto de uma maneira mais profunda, conhecer os seus condicionalismos técnicos, financeiros e até mesmo geográficos. Obviamente que tudo isto não se adquire de um momento para outro, nem se consegue isoladamente, mas vai-se construindo ao longo do tempo, rodeado de uma equipa competente, capaz de ajudar nas melhores escolhas e decisões e capacidade em alertar para determinadas situações que devem e podem ser evitadas. Qualquer decisão menos acertada, poderá causar a impressão que a construção deste tipo de empreendimento, é uma tarefa fastidiosa e sem fim à vista com consequências de custos acima do estimado. O inverso, levará ao regozijo da equipe envolvida, a motivação constante e a busca de novos desafios, fazendo o tempo parecer curto para tanto aprendizado. É na linha tênue que separa estas duas decisões (acertada *vs.* menos acertada) que vive o Engenheiro Civil.

Neste capítulo, apresentar-se-ão as subtarefas (denominadas por fases) de cada uma das tarefas (denominadas pelas diferentes áreas adjudicadas para construção).

Para cada uma das áreas adjudicadas para construção (Tanques Reservatórios de Diesel, Bacia de Retenção, Reservatórios de Água, Torres de Arrefecimento e *Culvert*), serão reportados os métodos e fases construtivas utilizadas para a Central de Ciclo Combinado do Soyo, que poderão ser bastante úteis para que se perceba a importância e grau de complexidade deste tipo de empreendimento, assim como servir de orientação para o planeamento de uma obra desta envergadura.

4.2 ENQUADRAMENTO DA OBRA

Localizado na costa Oeste de Angola, o município do Soyo, é um dos 6 municípios que constituem a província do Zaire. Com um elevado potencial petrolífero, fruto do arranjo geológico da bacia do Congo, este município apresenta inúmeros campos à exploração de petróleo e gás, tanto em terra como no mar.

Alinhado com o plano energético 2025 para Angola, a construção da planta de Gás Natural Liquefeito (GNL) na base do Kwanda, neste mesmo município, veio potenciar a oferta de gás ao País e ao exterior. O plano energético 2025, consiste em elevar os níveis de eletrificação para todo o País, o que inclui a construção de Centrais Hídricas ao longo do País e de Ciclo Combinado na província do Zaire, por forma, a aproveitar a queima de gás que é explorado e liquefeito nesta região, ilustrado no mapa da Figura 4.1.

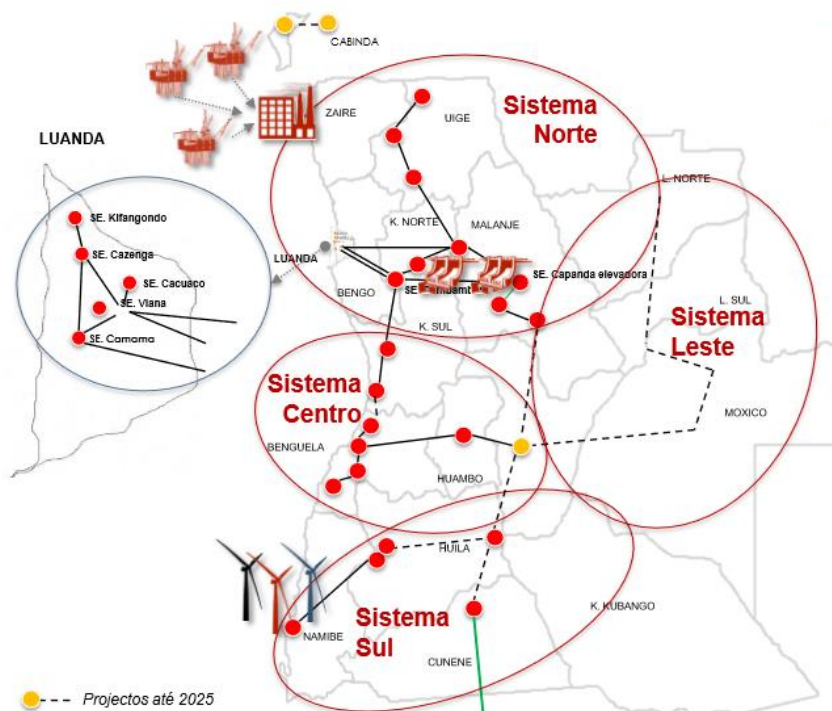


Figura 4.1 – Mapa Energético de Angola (MINEA, 2016).

Para a construção da Central de Ciclo Combinado do Soyo, o Ministério da Energia e Águas (MINEA), representado pelo Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza (GAMEK), celebrou um contrato à preço global, em regime de Engenharia, Compra e Produção (EPC), com a Empresa China Machinery Engineering Corporation (CMEC), com vasta experiência em projetos desta natureza. A consultoria, análise de projeto e fiscalização ficou sob responsabilidade da empresa DAR AL-Handasah.

Este empreendimento é composto por 6 turbinas com 125 MW cada uma, perfazendo um total de 750 MW, em que 4 dessas turbinas podem funcionar em ciclo simples, utilizando o combustível (gás natural ou diesel, como alternativa) e as outras 2 turbinas utilizam o vapor proveniente da recuperação de calor (sem necessidade de utilização de combustível, permitindo aumentar a eficácia do sistema).

Por sua vez, a Empreiteira CMEC, adjudicou a construção e montagem dos diversos componentes da Central à diferentes Empresas, em regime de subempreitadas.

À Empresa GRINER, a qual o autor deste Trabalho Final de Mestrado é empregado, foram adjudicadas a construção dos tanques reservatórios de Diesel, assim como a bacia de retenção, os reservatórios de água (bruta, de incêndio e reutilizada) e zona de arrefecimento de água (Cooling Towers e *Culvert*), conforme se ilustra no arranjo físico desta Central na Figura 4.2, referenciados à vermelho.

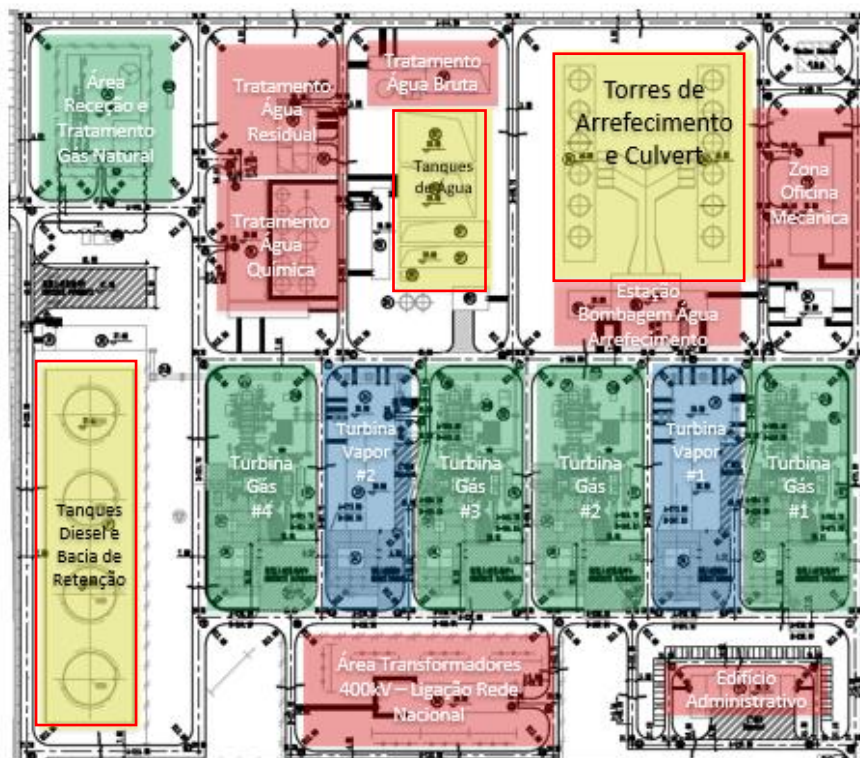


Figura 4.2 – Planta da Central de Ciclo Combinado do Soyo.

Nos capítulos subsequentes, abordar-se-ão então, as zonas marcadas à vermelho, no seu processo de construção.

4.3 CONSTRUÇÃO DOS TANQUES RESERVATÓRIOS DE DIESEL E BACIA DE RETENÇÃO

A empreitada consistia em construir a base de sustentação para 4 tanques reservatórios de Diesel e bacia de retenção. Este Diesel servirá como a 2ª opção de fornecimento de combustível a queimar, caso haja algum problema com o fornecimento do gás liquefeito.

Cada um dos tanques tem um diâmetro interno de 32 m. O anel de fundação tem as seguintes dimensões:

Altura do anel = 2,80 m

Espessura do anel = 0,15 m

Raio de curvatura da face interior do anel: 27,10 m

Raio de curvatura da face exterior do anel: 28,30 m.

Uma vez que o terreno apresentava condições favoráveis, segundo os estudos geotécnicos realizados, a metodologia usada para a construção da base para as fundações dos tanques, foi a de aterro em camadas de altura definidas com solo selecionado («*tout-venant*»), uma vez que foi encontrado solo arenoso nas escavações e havia uma carência de solos de aterro com boas características para fundações naquela localidade.

Na Figura 4.3, ilustra-se a planta para os tanques conforme solicitado em projeto.

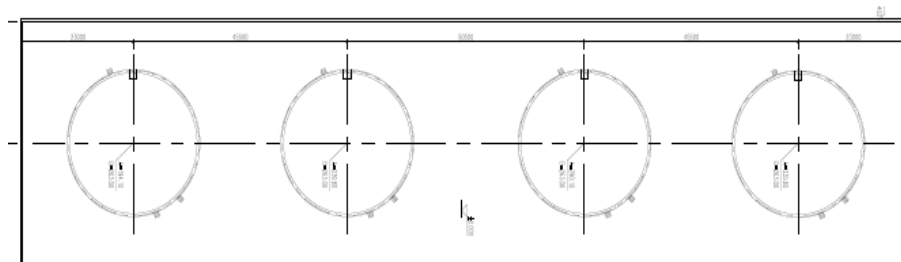


Figura 4.3 – Planta dos tanques de combustível e bacia de retenção da Central de Ciclo Combinado do Soyo.

A seguir descreve-se a sequência de construção dos 4 tanques reservatórios de gasóleo:

4.3.1 Fase 1 – Implantação Topográfica

Nesta fase, são feitos os levantamentos topográficos dos limites exteriores com vista a implantar os depósitos e bacia de retenção no terreno ou área designada para o efeito. Os resultados destes levantamentos são submetidos à Fiscalização para aprovação. Caso estejam conforme o projeto ou solicitação do dono de obra, são então marcados os pontos para escavação dos tanques, conforme solicitado pelo projeto ou dono de obra.

Na Figura 4.4 e Figura 4.5 mostram-se registos topográficos para o efeito.

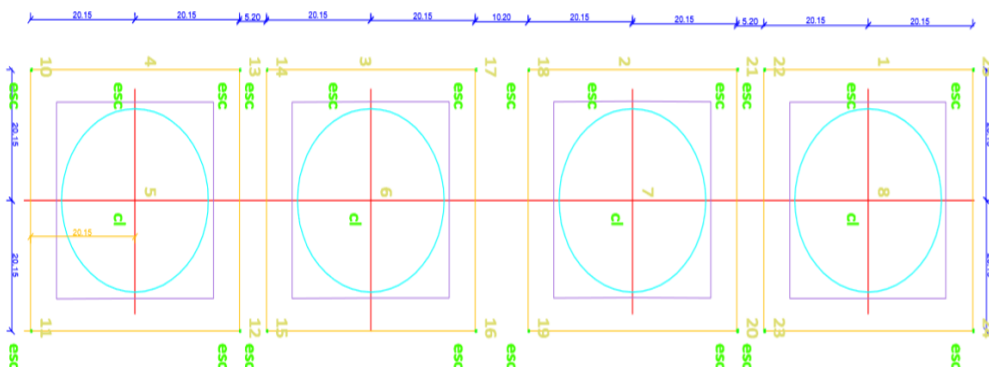


Figura 4.4 – Marcação dos pontos topográficos em planta para os tanques de combustível da CCC do Soyo.

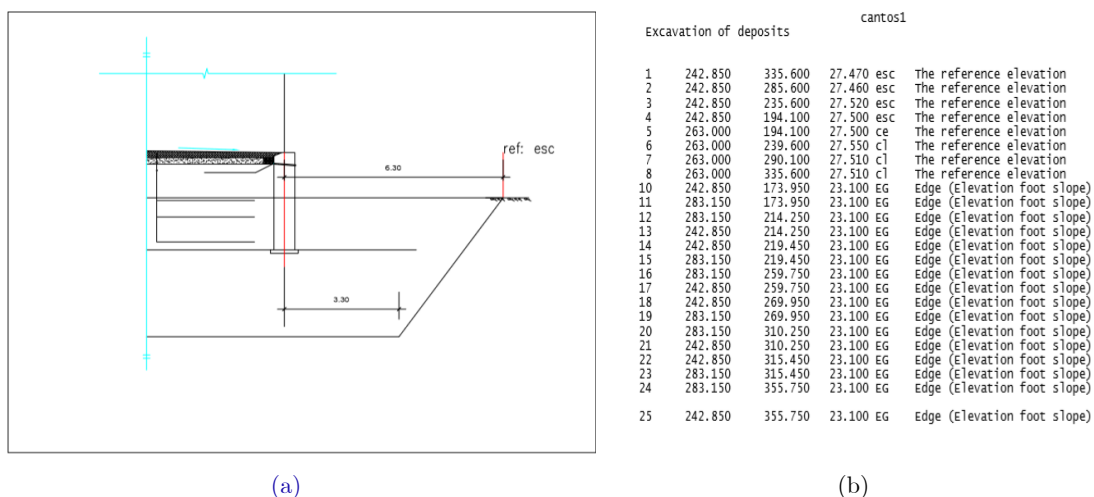


Figura 4.5 – (a) Perfil do terreno a escavar referenciado ao eixo do anel de fundação; (b) Coordenadas topográficas para os pontos marcados.

Em seguida, é feita uma solicitação de inspeção à fiscalização para que sejam aprovados os pontos para escavação dos tanques. Caso estejam conforme solicitação, procede-se a etapa seguinte.

4.3.2 Fase 2 – Escavação e compactação do terreno

A escavação é feita com meios mecânicos apropriados para o tipo de solos a encontrar. O terreno é escavado à uma cota abaixo da cota estipulada pelo projeto/dono de obra para que se processe a compactação de 3 a 4 camadas de terra ao grau de compactação definido (para este trabalho foi considerado o mínimo de 97%). É também construída uma rampa de acesso que irá facilitar a entrada e saída de máquinas para a escavação, remoção de terras e deposição das camadas de material selecionado, conforme ilustram na Figura 4.6.

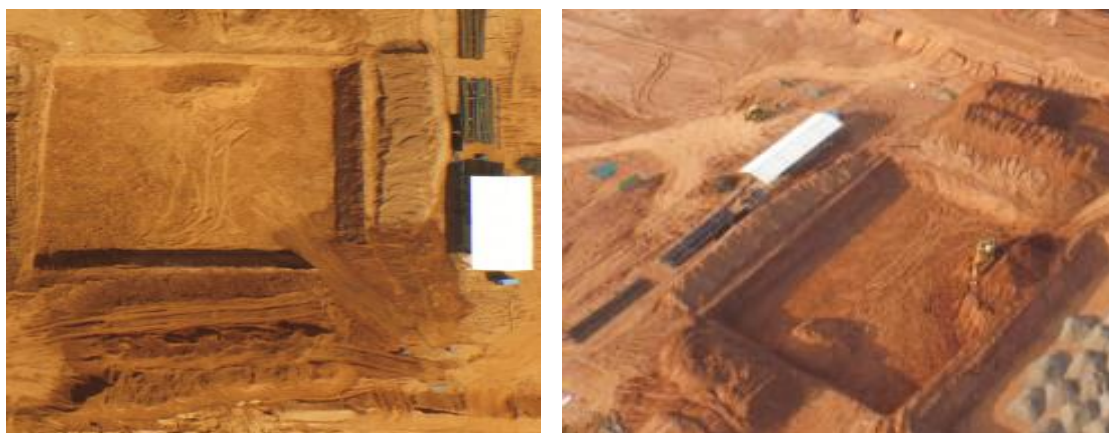


Figura 4.6 – Escavação do terreno para os tanques de combustível da CCC do Soyo.

4.3.3 Fase 3 – Aterro e compactação de solos selecionados à cota desejada

Nesta fase, os solos previamente selecionados são colocados sob a base de terreno já compactada em camadas a combinar com a Fiscalização e serão compactados até atingir-se a cota pretendida. Para esta obra, uma vez que não se encontraram nas proximidades geográficas, solos com as características desejadas para os aterros, acordou-se o uso de «*tout-venant*» até ao topo. Sendo assim, foram sendo aplicadas camadas de até 20 cm bem compactadas. Esta compactação foi sendo feita a cada $\frac{1}{4}$ do círculo por forma a conferir mais qualidade e melhor acompanhamento. A cada camada compactada, a Fiscalização foi chamada para avaliar e validar o trabalho efetuado, conforme se pode verificar na Figura 4.7.



Figura 4.7 – Colocação e compactação de solos selecionados para os tanques de combustível da CCC do Soyo.

4.3.4 Fase 4 – Colocação de betão de limpeza

Em seguida é colocada uma camada de betão de limpeza C15, entre 10 a 15 cm que servirá de base firme para a cofragem do anel de fundação. Sobre esta camada do betão de limpeza, é colocada uma camada de «*tout-venant*» bem espalhada que servirá de ponto de partida para as camadas seguintes até ao topo do anel de fundação. Nesta fase são também colocadas as caixas de drenagem (ver Figura 4.8).



Figura 4.8 – Colocação de betão de limpeza e 1ª camada de «*tout-venant*» em um anel de fundação para a CCC do Soyo.

4.3.5 Fase 5 – Armação e Cofragem do anel de fundação

A armação deste anel obedece às regras de dimensionamento e deve-se consultar o projeto para se saber a armadura a adotar. Em seguida, é chamada a Fiscalização para validar a armação do troço do anel de fundação. Caso seja validada, pode-se proceder a cofragem deste troço.

Ainda antes de se iniciarem as escavações, deve ficar já bem definido o tipo de cofragem a utilizar. Deve ser usada um tipo de cofragem que não consuma muito tempo no processo de desmontagem e remontagem dos painéis, visto que a cofragem e consequente betonagem serão feitas por troços, ou seja, o processo será bastante repetitivo e dinâmico. Para a obra em questão, e uma vez que o raio interno dos tanques é maior que 1,00 m, foi usado o sistema *RundFlex*, muito versátil para este padrão de cofragem (ver Figura 4.9).



Figura 4.9 – Armação e cofragem de um anel de fundação para a CCC do Soyo.

Estando a verificação da armadura e cofragem aprovadas pela Fiscalização, procede-se à etapa seguinte.

4.3.6 Fase 6 – Betonagem e cura do anel de fundação

A etapa seguinte será a betonagem dos troços do anel de fundação cuja armadura e cofragem já passaram pela inspeção e aprovação da Fiscalização. Por formas a garantir a homogeneização do betão para o anel de fundação com o betão de limpeza, adota-se como boa prática, a picagem com martelo elétrico, do betão de limpeza nas zonas em que estejam as armaduras que vão receber o betão para o anel de fundação.

No entanto, no âmbito da betonagem dos anéis de fundação dos depósitos de gasóleo, devido à grande dimensão da viga que constitui o anel do tanque é boa prática

deixar-se dois trocos de 1,00 m da viga para se betonarem posteriormente, em segunda fase, de forma a evitar o aparecimento de fissuras por retracao do betao. Estes trocos serao entao executados em paredes de betao armado que fecham provisoriamente o anel, apoiadas no anel pela sua face interior e exterior, respetivamente.

Para a CCC do Soyo, estas paredes tem 1,30 m de comprimento, 2,40 m de altura e 0,15 m de espessura. A parede interior tem raio de curvatura igual ao raio interior do anel (27,10 m) e a parede exterior tem raio de curvatura igual ao raio exterior do anel (28,30 m). A armadura das paredes foi dimensionada para que as mesmas tenham um comportamento estavel perante o impulso provocado pelo aterro em «*tout-venant*», pela eventual presenca de agua no aterro e pela sobrecarga na superficie do aterro devida a maquinas/equipamentos de obra. Posteriormente, na 2ª fase de betonagem, estas paredes constituirao cofragem perdida. As paredes serao pre-fabricadas e incluem um sistema de dois ganchos que permite o seu transporte/suspensao, que consiste em dois varoes de aco de 20 mm de diametro.

O betao usado foi o mesmo designado para as fundacoes (C15). Por formas a manter-se as caracteristicas higroscopicas do betao, evitando assim a perda prematura de agua face as condicoes atmosfericas (demasiado calor e humidade presentes na atmosfera para aquela regio), deve-se aplicar sobre a superficie recém-betonada, algum produto de cura de betao, para proporcionar uma cura perfeita, protegendo contra a desidratacao descontrolada e conseqente fissuracao do betao. Deve-se tambem cobrir os trocos ja betonados com mantas geotextis e rega-los periodicamente, reduzindo assim a temperatura do betao ainda fresco.

A Figura 4.10 ilustra um troco do anel de fundacao ja betonado e ainda em tempo de cura.



Figura 4.10 – Troco ja betonado e em fase de cura de um anel de fundacao para a CCC do Soyo.

4.3.7 Fase 7 – Impermeabilização, aterro e compactação

Após a cura do anel de fundação, é boa prática pintar-se as paredes interiores e exteriores do mesmo com uma tinta betuminosa com duas camadas cruzadas, por forma a evitar-se a ocorrência de humidades que poderão deteriorar a camada de betão e afetar as armaduras, ocasionar o fenómeno de passividade das armaduras, visto que estarão em contacto com o terreno/níveis freáticos, conforme se ilustra na Figura 4.11. De seguida, pode-se começar a aterrar o interior do anel com camadas de «*tout-venant*», com altura acordada com o dono de obra/Fiscalização, camadas estas que deverão ser bem compactadas, verificadas e aprovadas pela Fiscalização. Para a obra da CCC do Soyo, foram-se aterrando e compactando quartos de círculo, para melhor controlo. As camadas de «*tout-venant*» tinham altura máxima de 25 cm e grau de compactação mínimo entre 95-97%.



Figura 4.11 – Anel de fundação para a CCC do Soyo com pintura impermeabilizante e compactação de *tout-venant* no interior.

Terminado o enchimento dos anéis de fundação com «*tout-venant*» procede-se a montagem dos tanques pré-fabricados de armazenamento de gasóleo. Esta montagem é feita do topo para baixo, conforme se ilustra na Figura 4.12.

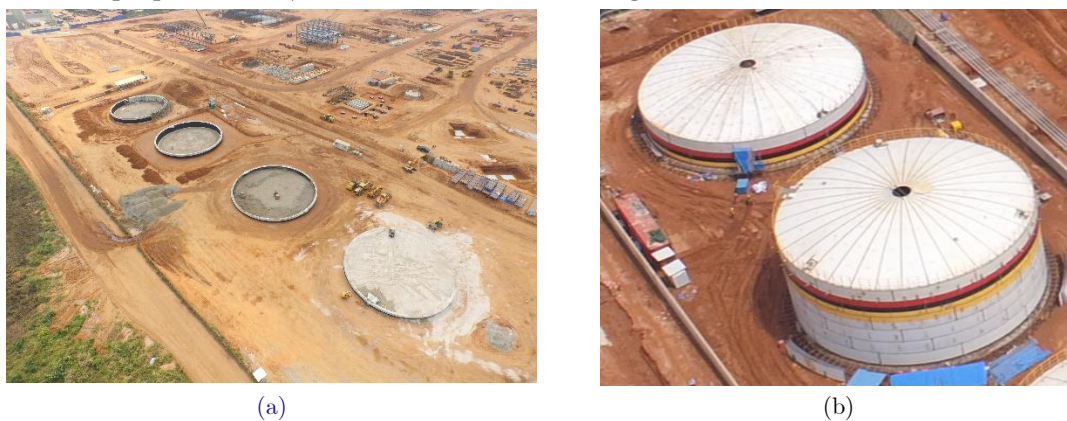


Figura 4.12 – (a) Finalização do enchimento dos anéis de fundação com *tout-venant*; (b) Montagem dos tanques pré-fabricados de depósito de gasóleo.

Em paralelo à montagem dos tanques pré-fabricados, inicia-se a construção da bacia de retenção, composta por paredes de contenção em betão armado (de altura de

3,80 m e uma espessura de 0,50 m) e pavimento betonado sobre rede eletrosoldada (com dimensoes de 47 x 188,5 m), cuja sequencia de construcao e descrita a seguir:

4.3.8 Fase 1 - Escavacao do terreno para construcao das paredes de contencao

Recorde-se que a implantacao topografica ja foi feita aquando do levantamento topografico para os tanques de gasoleo (ver seccao 4.3.1 deste mesmo capitulo). No entanto, podera haver necessidade de confirmacao de alguns pontos.

Deste modo, procede-se a escavacao do terreno demarcado pelo eixo central da parede de contencao. Esta escavacao e feita ate uma cota ligeiramente mais profunda a cota em que vai ficar a parede de contencao, conforme se ilustra na Figura 4.13.

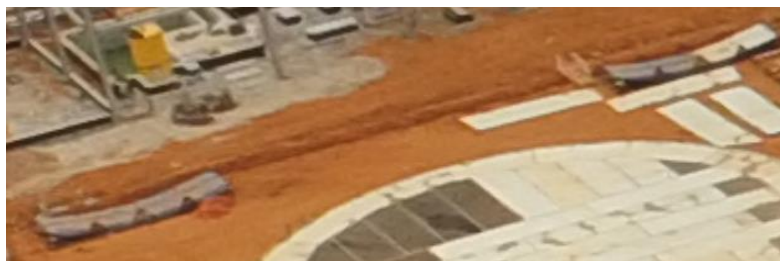


Figura 4.13 – Escavacao do terreno para as paredes de contencao para a CCC do Soyo.

4.3.9 Fase 2 – Colocacao do betao de limpeza para as paredes de contencao

Em seguida, e colocado o betao de limpeza, que servira de base firme para a cofragem da parede de contencao. Utilizou-se um betao do tipo C15 e uma espessura entre 10 a 15 cm (ver Figura 4.14).



Figura 4.14 – Escavacao do terreno para as paredes de contencao para a CCC do Soyo.

4.3.10 Fase 3 – Armacao e cofragem para as paredes de contencao

Estando criada e curada a superficie firme, ja e possivel colocar-se a armadura para a parede de contencao, conforme dita o projeto.

Em seguida, é chamada a Fiscalização para avaliar e validar a armação do troço de paredes a betonar. Caso a armação do troço de paredes de contenção seja aprovada, é colocada a cofragem. Para a obra em análise, foi definida para as paredes, a cofragem do tipo *Trio* da *Peri*, composta por painéis de alumínio, devido a sua versatilidade e facilidade de rotação, conforme ilustrado no esquema de cofragem da Figura 4.15.

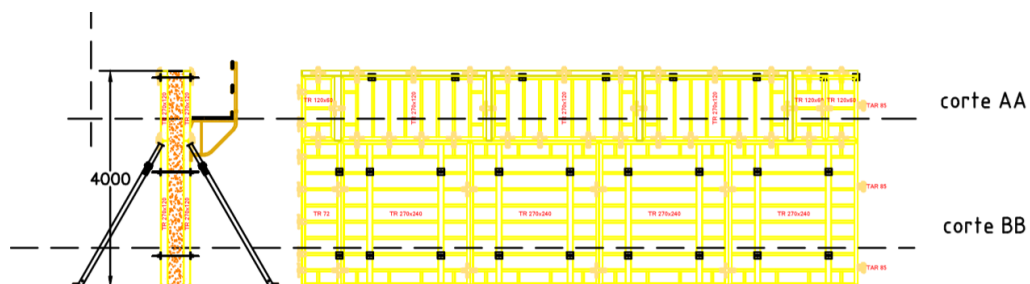


Figura 4.15 – Esquema de cofragem para paredes para a CCC do Soyo.

4.3.11 Fase 4 – Betonagem e cura do troço de parede de contenção

Com as aprovações da Fiscalização para a armadura e cofragem, pode-se avançar então para a betonagem do troço de parede aprovado. Para a obra em análise, foi usado um betão do tipo C30.

Durante o tempo de cura, como boa prática, deve-se usar algum tipo de produto para a cura do betão sujeito a temperaturas altas e também devem ser usadas as mantas geotêxtis por forma a manter a higroscopicidade do betão, regando o betão periodicamente, conforme Figura 4.16.



Figura 4.16 – Troço de paredes de contenção betonados e em cura para a CCC do Soyo.

4.3.12 Fase 5 – Impermeabilização, aterro e compactação

Após a cura da parede de contenção, é boa prática pintar-se os lados exteriores e interiores das paredes que estarão enterrados com uma tinta betuminosa com duas camadas cruzadas, por forma a evitar-se a ocorrência de humidades que poderão deteriorar a camada de betão e afetar as armaduras, ocasionar o fenómeno de passividade das armaduras, visto que estarão em contacto com o terreno/níveis freáticos, conforme se ilustra na Figura 4.17.

Em seguida, procede-se ao aterro e compactação do terreno à cota marcada com a pintura betuminosa, com camadas de altura definidas pelo dono de obra/Fiscalização. Para a obra da CCC do Soyo, foram considerados alturas de 25 cm e grau de compactação mínimo de 95%.



Figura 4.17 – Impermeabilização das paredes e aterro e compactação do terreno.

Construídas as paredes de contenção da bacia de retenção, fica apenas por se construir o pavimento. Para o efeito, será necessário proceder-se primeiramente, a uma boa compactação do terreno para poder receber o pavimento, ou seja, para cada depósito, considera-se uma área envolvente de pavimento a construir, reduzindo deste modo o efeito de retração do pavimento caso ele fosse construído de uma vez só. O grau de compactação exigido para a CCC do Soyo para a construção do pavimento foi de 97%.

Depois de compactado e devidamente aprovado pela Fiscalização, é colocada uma rede eletrosoldada sobre o terreno, segundo a orientação do projeto, por forma a controlar as deformações do pavimento. Depois de verificado e aprovado, o troço de pavimento é betonado, deixando-se a junta de betonagem para a 2ª fase de betonagem (normalmente esta junta encontra-se no eixo central do depósito), conforme se ilustra na Figura 4.18. Para um melhor acabamento da superfície de betão deve-se usar uma talocha mecânica com motor elétrico ou a gasolina.

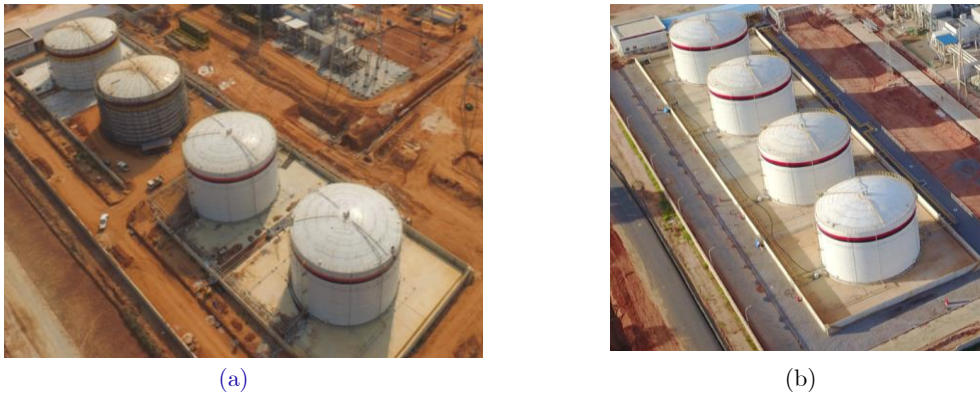


Figura 4.18 – (a) Construcao faseada do pavimento da CCC do Soyo; (b) Aspetto final da bacia de retencao da CCC do Soyo.

4.4 CONSTRUCAO DOS RESERVATORIOS DE AGUA

A empreitada consistia em construir 4 depósitos de água bruta, 4 depósitos de água de incêndio e 1 depósito de água reutilizada, em estrutura de Betão Armado. Os tanques de água para combate a incêndio, têm as seguintes dimensões: 11,4 x 23,4 m. No seu interior existem pilares-guia de secção 0,30 x 0,30 m, afastados entre si 3,80 m (afastamento de eixo a eixo). A altura para estes tanques é de 4,00 m com 0,30 m de espessura de parede e a laje de topo tem 0,20 m de espessura. O afastamento entre cada um dos tanques é de 1,40 m.

O tanque de água reutilizada tem uma dimensão de 9,95 x 5,00 m. No seu interior existem pilares-guia de secção 0,30 x 0,30 m, afastados entre si 3,15 m (afastamento de eixo a eixo). A altura para estes tanques é de 3,50 m com 0,30 m de espessura de parede e a laje de topo tem 0,20 m de espessura. O afastamento em relação aos tanques de combate a incêndio de 2,00 m.

Os tanques de água bruta têm as seguintes dimensões em planta: 11,4 x 23,4 m. No seu interior existem pilares-guia de secção 0,30 x 0,30 m, afastados entre si 3,90 m (afastamento de eixo a eixo). A altura para estes tanques é de 4,00 m com 0,30 m de espessura de parede e a laje de topo tem 0,20 m de espessura. O afastamento entre cada um dos tanques é de 1,40 m.

Na Figura 4.19, ilustra-se a planta para os tanques conforme solicitado em projeto.

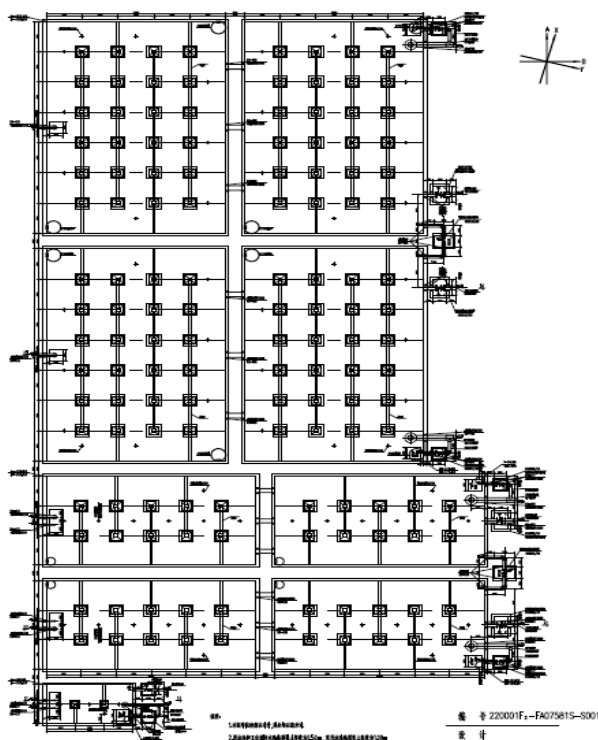


Figura 4.19 – Planta dos tanques de água da CCC do Soyo.

A seguir enumera-se a sequência de construção dos 4 tanques reservatórios:

4.4.1 Fase 1 – Implantação Topográfica

Nesta fase, são feitos os levantamentos topográficos por forma a implantar os reservatórios – são levantados os limites exteriores do tanque a executar; uma vez que cada um dos tanques apresenta pilares-guia, também são levantados os pontos topográficos para estes pilares. Os resultados destes levantamentos são então submetidos à Fiscalização para aprovação. Caso estejam conforme o projeto ou solicitação do dono de obra, são então marcados os pontos para escavação dos tanques, conforme solicitado pelo projeto ou dono de obra.

Na Figura 4.4 mostram-se registos topográficos para os limites exteriores de um dos tanques de água bruta.

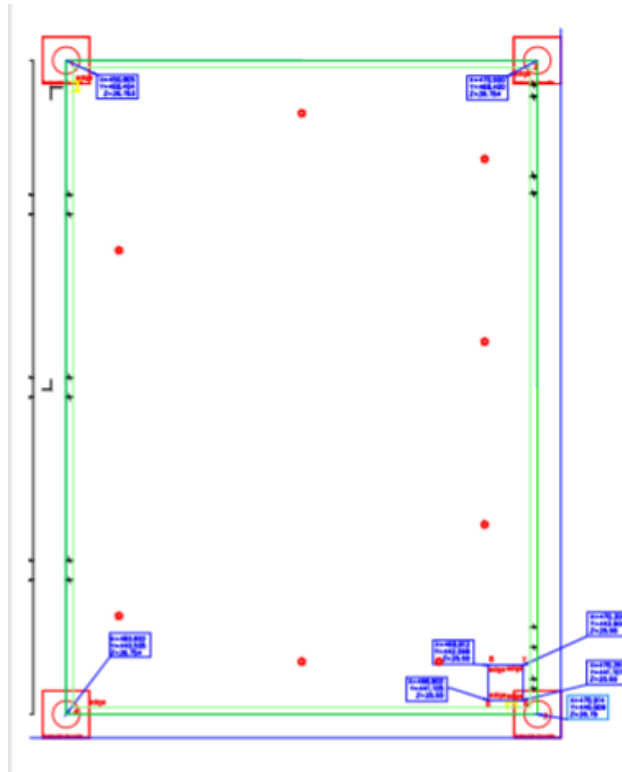


Figura 4.20 – Marcação dos pontos topográficos para os limites exteriores de um dos tanques de água bruta da CCC do Soyo.

Abaixo na Figura 4.21, ilustra-se o levantamento topográfico efetuado para os pilares-guia de um dos tanques de água bruta.

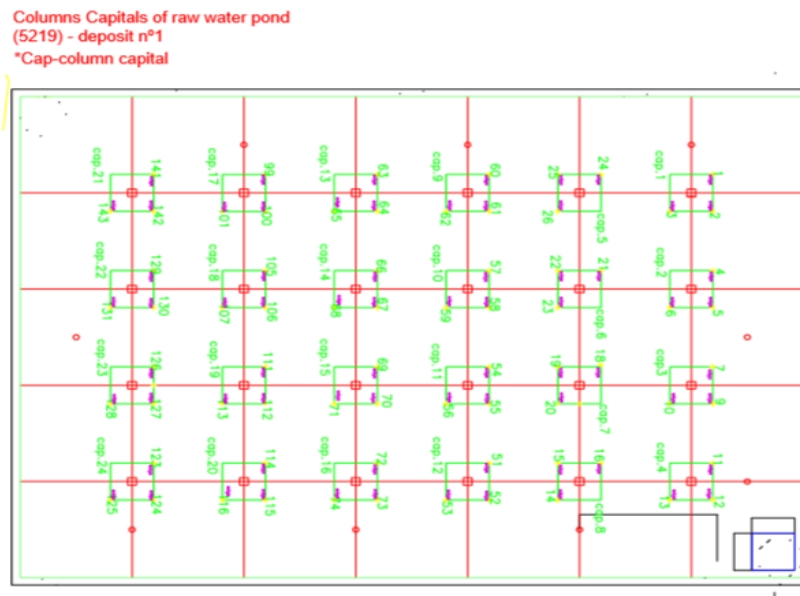


Figura 4.21 – Marcação dos pontos topográficos para os pilares-guia dos tanques de água bruta da CCC do Soyo.

Esta operação repete-se para os restantes tanques de água bruta.

Uma vez aprovados os levantamentos topograficos para os limites exteriores e para os pilares-guia dos 4 reservatorios de agua bruta, e feito um levantamento topografico para os limites para a escavacao destes 4 reservatorios, conforme se pode observar na Figura 4.22.

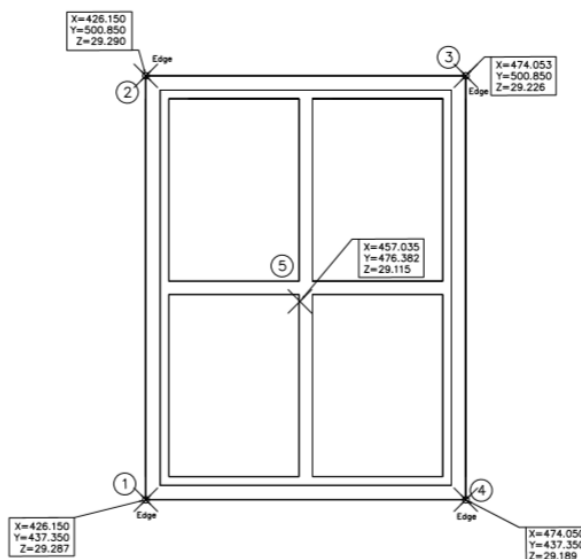


Figura 4.22 – Marcação dos pontos topográficos para início da escavação dos tanques de água bruta da CCC do Soyo.

De igual modo, procede-se a implantação topográfica para os limites exteriores dos tanques de água para combate a incêndio assim como do tanque de água reutilizada, conforme se mostra na Figura 4.23, e submete-se à aprovação da Fiscalização.

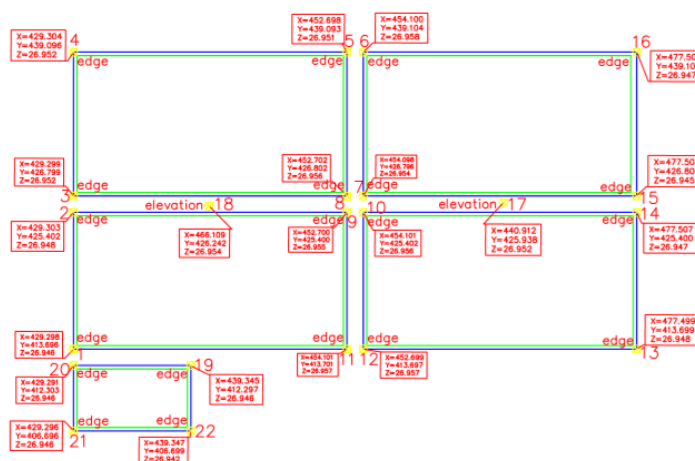


Figura 4.23 – Marcação dos pontos topográficos para os limites exteriores dos tanques de água de combate a incêndio e água reutilizada da CCC do Soyo.

Na sequencia, são marcados os pontos para os pilares-guia para os 4 tanques de água de combate a incendio assim como para o tanque de água reutilizada (ver Figura 4.24 a)). Uma vez aprovados pela Fiscalizacao submete-se o pedido para implantacao topografica para escavacao destes tanques (ver Figura 4.24 b)).

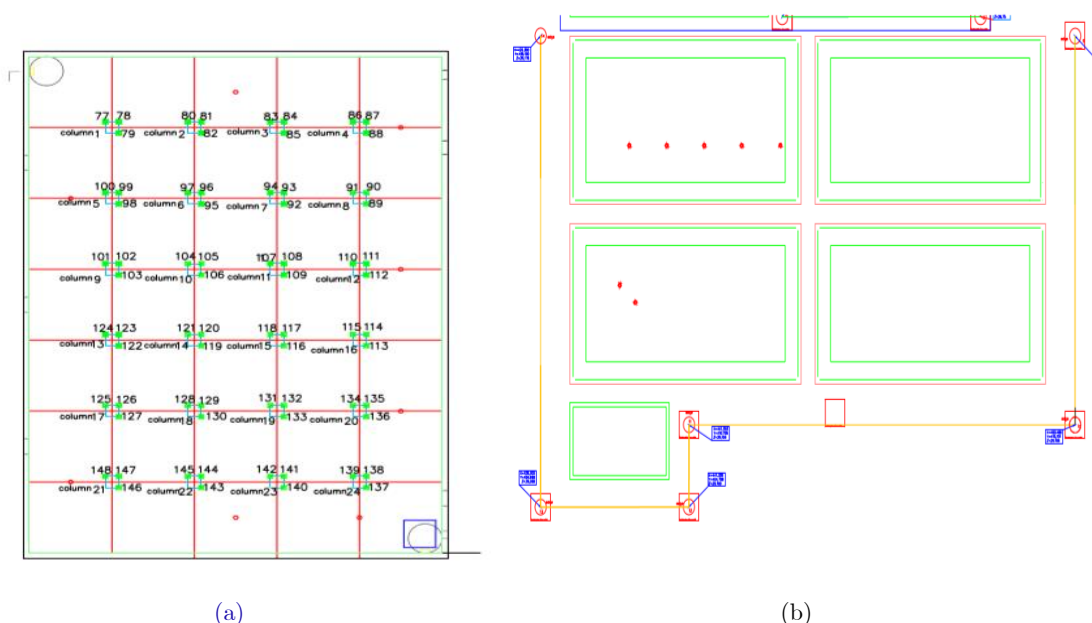


Figura 4.24 – (a) Marcação dos pontos topográficos para os pilares-guia dos tanques de água de combate a incendio e água reutilizada da CCC do Soyo; (b) Marcação dos pontos topográficos para início da escavacao dos tanques de água de combate a incendio e água reutilizada da CCC do Soyo.

4.4.2 Fase 2 – Escavacao do terreno e compactacao

A escavacao é feita com meios mecânicos apropriados para o tipo de solos a encontrar. O terreno é escavado à uma cota abaixo da cota estipulada pelo projeto/dono de obra para que se processe a compactacao de 3 a 4 camadas de terra ao grau de compactacao definido como mínimo, de 97%. É também construída uma rampa de acesso que irá facilitar a entrada e saída de máquinas para a escavacao, remocao de terras e compactacao.

4.4.3 Fase 3 – Colocacao do betao de limpeza

Em seguida, é colocado o betao de limpeza, que servirá de base firme para a cofragem da laje de fundo e paredes dos tanques. Utilizou-se um betao do tipo C15 e uma espessura entre 10 a 15 cm (conforme ilustrado na Figura 4.25).



Figura 4.25 – Betão de limpeza colocado para os tanques de água de combate a incêndio e água reutilizada da CCC do Soyo.

4.4.4 Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo e paredes dos tanques

Colocado e curado que está o betão de limpeza, é possível armar-se a laje de fundo assim como as paredes dos tanques. É feita uma solicitação de vistoria e inspeção da armadura à Fiscalização para que seja dada luz verde para a consequente cofragem. Saliente-se que a cofragem para as paredes dos tanques é do mesmo tipo da usada para a construção das paredes da bacia de retenção (tipo *Trio da Peri*), o que facilita o ritmo da construção, visto que a equipe de cofragem já tem a perícia no manuseamento da mesma e reduz os tempos de atividades, enquanto para os pilares usou-se a do tipo *Lyco*.

Na Figura 4.26, é possível verificar-se a armadura da laje de fundo e paredes para os 4 tanques de água bruta assim como o arranque da armadura para os pilares-guia.



Figura 4.26 – Colocação de armadura para os 4 tanques de água bruta da CCC do Soyo.

4.4.5 Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo

Aprovada a armadura e cofragem, é possível realizar-se a betonagem da laje de fundo para cada um dos tanques, com betão do tipo C30. Deverão ser garantidas boas condições de espalhamento e vibração para este betão por forma a evitar a segregação dos inertes e existência de vazios na laje betonada. A Figura 4.27 ilustra 2 lajes de fundo betonadas para 2 dos 4 tanques de água bruta e o cuidado a ter-se com a cura. Devem ser colocadas as mantas geotêxtis por forma a manter a higroscopicidade do betão, regando o betão periodicamente.

Depois de betonada e curada a laje de fundo, armam-se os pilares conforme solicitado pelo projeto e solicita-se aprovação à Fiscalização. Assim que aprovadas as armaduras, procede-se com a cofragem destes pilares (cofragem do tipo *Lyco*).



Figura 4.27 – Betonagem e cura para os tanques de água da CCC do Soyo.

4.4.6 Fase 6 – Betonagem e cura das paredes dos tanques e pilares-guia

Em seguida, avança-se para a betonagem das paredes e pilares-guia dos tanques num processo idêntico ao já descrito aquando da betonagem das paredes de contenção da bacia de retenção (ver capítulo 4.3, secção 4.3.11). Devem ser mantidas as boas práticas para a higroscopicidade do betão por forma a evitar-se secções de pouca resistência mecânica devido a perda de uniformidade nos seus componentes.

4.4.7 Fase 7 – Cofragem e armação da laje de topo

Com a estrutura praticamente concluída, fica a faltar a laje de topo. É colocada a cofragem e respetiva armadura, conforme solicitado no projeto. Submete-se o pedido de inspeção à Fiscalização e seguida à sua aprovação, avança-se para a etapa seguinte.

4.4.8 Fase 8 – Betonagem da laje de topo e cura

Realiza-se então a betonagem da laje de topo, concluindo assim com a estrutura. Os mesmos cuidados para com o betão ainda fresco, deverão também ser tomados, por forma a obter-se um betão com a resistência pretendida. Na Figura 4.28, ilustra-se a preparação para a betonagem das últimas lajes de topo para os tanques reservatórios de água.



Figura 4.28 – Betonagem e cura para a laje de topo dos tanques de água da CCC do Soyo.

4.4.9 Fase 9 – Impermeabilização, aterro e compactação

Em seguida, é feito um teste de água aos tanques, ou seja, enchem-se os tanques com água e deixa-se assim durante algumas semanas, para que se avalie se existe um abaixamento do nível de água nos mesmos devido a possíveis pontos de fissuras ou roturas, os quais devem ser imediatamente reparados.

Com os tanques inspecionados, e sem pontos de fissuras ou roturas, uma vez que os mesmos estarão enterrados, como boa prática, deve-se pintar as paredes dos tanques com uma tinta betuminosa com duas camadas cruzadas, do lado que estará em contacto com o terreno, conforme ilustrado na Figura 4.29 a).

Finalmente, procede-se ao aterro de camadas de terreno com altura de 0,30 m definidas pelo dono de obra/Fiscalização, para que sejam compactadas com um grau de compactidade mínimo de 95% (conforme ilustra a Figura 4.29 b).



Figura 4.29 – (a) Impermeabilização dos tanques de água CCC do Soyo; (b) Compactação dos tanques de água da CCC do Soyo.

4.5 CONSTRUÇÃO DAS TORRES DE ARREFECIMENTO

A empreitada consistia em construir 2 torres de arrefecimento de água, constituídas por 5 níveis em estrutura de Betão Armado, com um comprimento de 98,85 m e largura de 17 m cada uma. A tipologia geral da estrutura das torres de arrefecimento pode ser considerada como Mista (constituída por pórticos e paredes). Os diferentes níveis em que se encontram os pórticos e paredes são: 0,30 m, 4,80 m, 7,80 m e 11,30 m. À cota -2,30 m está o fundo da torre, onde é armazenada a água que cai já arrefecida. Recorde-se que estas torres de arrefecimento compõem parte do sistema de reaproveitamento da água que foi aquecida nas caldeiras, transformou-se em vapor para fazer girar as pás das turbinas, mas que devido ao rendimento das máquinas termodinâmicas, apenas consegue-se obter entre 30 a 50% de eficiência; ou seja, os restantes 50 a 70% do vapor que não foi aproveitado para fazer girar as pás das turbinas, cai em forma de água arrefecida para o fundo destas torres mediante a rotação de um motor que faz girar umas hélices que se encontram colocadas no interior do topo destas torres, conforme se ilustra na Figura 4.30. Esta água já arrefecida volta então a entrar no sistema de aquecimento, mediante passagem por galerias (também designadas por Culverts), compondo assim a outra parte do sistema de reaproveitamento de água, e bombeada a jusante das mesmas para as caldeiras.



Figura 4.30 – (a) Imagem de um dos motores no exterior de uma das torres de arrefecimento da CCC do Soyo; (b) Imagem do interior de uma das torres de arrefecimento da CCC do Soyo.

Cada uma das torres de arrefecimento é constituída por 3 blocos com iguais dimensões e geometria idêntica, que para melhor identificação denominaram-se por A, B e C (para a torre 1) e D, E e F (para a torre 2), conforme se pode verificar na Figura 4.31. Cada bloco apresenta 2 vigas circulares no topo, também designados por ‘‘redondos’’ onde são colocadas as hélices que vão arrefecer a água.

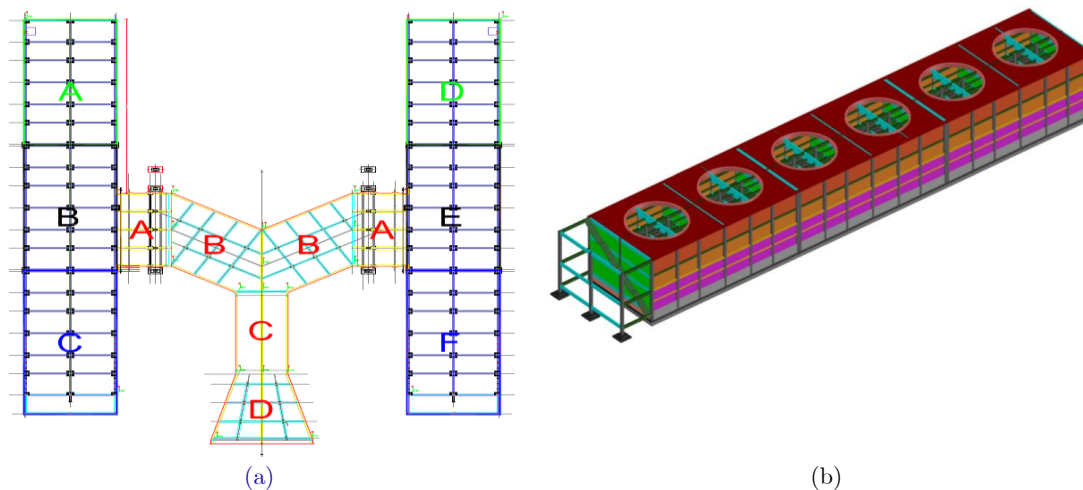


Figura 4.31 – (a) Modelo 2D em planta para as torres de arrefecimento e Culvert da CCC do Soyo; (b) Modelo em 3D da torre de arrefecimento da CCC do Soyo.

Nas Figura 4.32, Figura 4.33, Figura 4.34 e Figura 4.35 apresentam-se os vários níveis da estrutura segundo as peças desenhadas do projeto para melhor percepção do processo construtivo que se descreverá a seguir. Saliente-se que à traço e ponto correspondem as vigas e à negrito as paredes a construir.

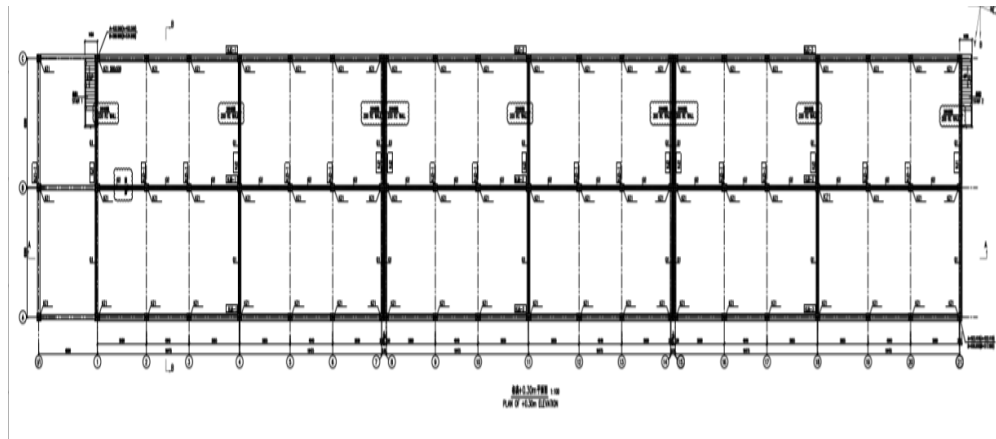


Figura 4.32 – Planta dos níveis -2,30 e 0,30 m da torre de arrefecimento da CCC do Soyo.

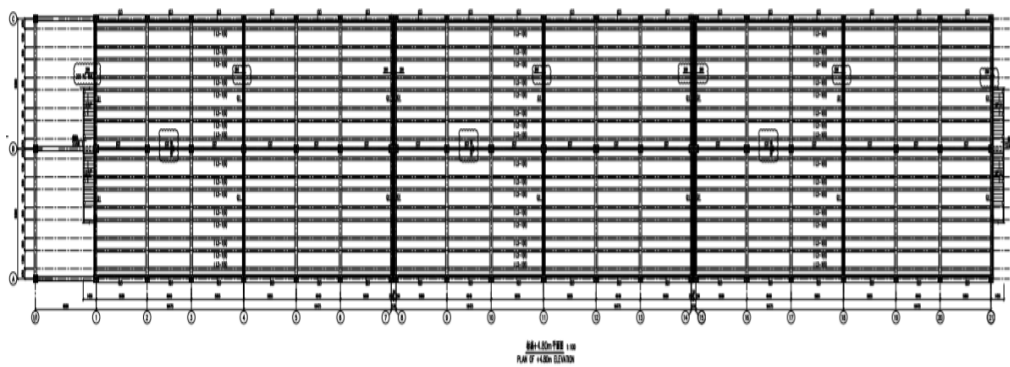


Figura 4.33 – Planta do nível 4,80 m da torre de arrefecimento da CCC do Soyo.

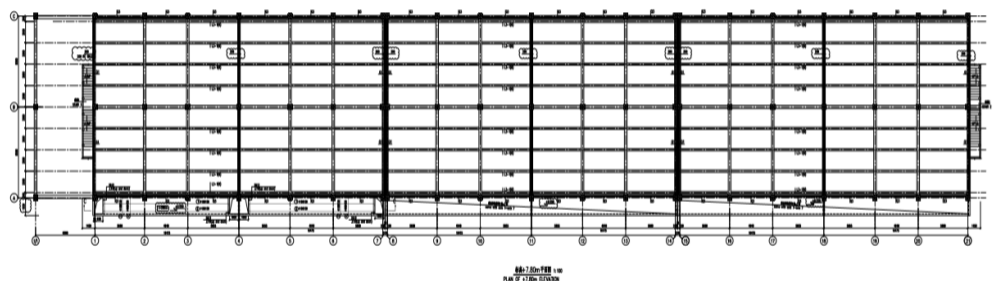


Figura 4.34 – Planta do nível 7,80 m da torre de arrefecimento da CCC do Soyo.

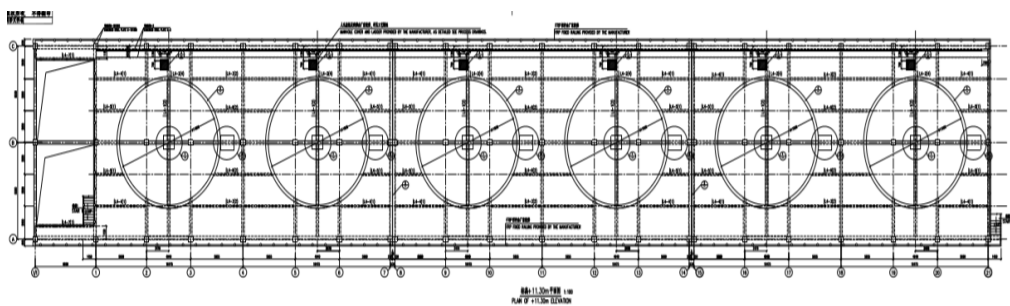


Figura 4.35 – Planta do nível 11,80 m da torre de arrefecimento da CCC do Soyo.

4.5.1 Fase 1 – Implantação Topográfica

À semelhança do descrito para os depósitos de gasóleo, bacia de retenção e tanques de água, a construção das torres de arrefecimento inicia com a marcação dos limites exteriores que indicam o correto posicionamento da superestrutura a construir. Estes pontos marcados são entregues à Fiscalização para verificação da conformidade ou não. Caso estejam conforme, são então marcados os pontos topográficos para escavação. Os mesmos também são submetidos à aprovação.

Após inspecção e aprovação dos pontos topográficos, inicia-se a escavação.

4.5.2 Fase 2 – Escavação do terreno e compactação

A escavação é feita por áreas independentes e em sequência, tal como se ilustra na Figura 4.36 . A terra de escavação é depositada e espalhada (sem compactação) em local proposto em obra pelo dono de obra. O caminho será feito por fora da obra, numa abertura junto da zona de escavação a definir em obra. É executada segundo o perfil de projecto cumprindo a distância mínima ao talude. Durante a sua execução, mantém-se um acesso ao fundo da escavação em rampa para os camiões basculantes. A drenagem de águas pluviais é feita através duma vala em todo o pé de escavação, a desaguar num poço rebaixado (ambos em betão). No poço será colocada uma bomba submersível de modo a retirar as águas para fora da área de escavação.



Figura 4.36 – Escavação para uma das torres de arrefecimento da CCC do Soyo.

Após conclusão da escavação, o cilindro irá compactar a base da escavação, de forma a receber o aterro previsto em projecto. Para o aterro, foi usado «*tout-venant*», com uma espessura determinada pela Fiscalização, conforme se vê na Figura 4.37.



Figura 4.37 – Colocação e compactação de aterro em *tout-venant* para uma das torres de arrefecimento da CCC do Soyo.

4.5.3 Fase 3 – Colocação do betão de limpeza

Em seguida, é colocado o betão de limpeza, que servirá de base firme para a cofragem da laje de fundo e paredes dos tanques. Utilizou-se um betão do tipo C15 e uma espessura entre 10 a 15 cm (conforme ilustrado na Figura 4.38).



Figura 4.38 – Colocação do betão de limpeza para uma das torres de arrefecimento da CCC do Soyo.

4.5.4 Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo, paredes e pilares

Colocado e curado que está o betão de limpeza, é possível armar-se a laje de fundo assim como as paredes das torres de arrefecimento. É feita uma solicitação de vistoria e inspeção da armadura à Fiscalização para que seja dada luz verde para a conseqüente cofragem. Saliente-se que a cofragem para as paredes das torres de arrefecimento é do mesmo tipo da usada para a construção das paredes da bacia de retenção e paredes dos tanques de água, ou seja, do tipo *Trio* da *Peri*. Para os pilares, é feito o arranque da armadura, em que é dada continuidade depois da betonagem da laje de fundo.

Na Figura 4.39, é possível ver-se a armação da laje de fundo, das paredes e a armadura de “arranque dos pilares” para um dos blocos de uma das torres de

arrefecimento, o que permite uma vistoria mais detalhada e também, devido a necessidade de se preverem juntas entre os blocos.



Figura 4.39 – Colocação de armadura para a laje do fundo para o bloco A da torre de arrefecimento #1 da CCC do Soyo.

4.5.5 Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo, pilares e paredes

Aprovada a armadura e cofragem, é possível realizar-se a betonagem da laje de fundo, com betão do tipo C30. Deverão ser garantidas boas condições de espalhamento e vibração para este betão por forma a evitar a segregação dos inertes e existência de vazios na laje betonada. Devem ser colocadas as mantas geotêxtis por forma a manter a higroscopicidade do betão, regando o betão periodicamente.

Posteriormente a betonagem e cura da laje de fundo, armam-se os pilares conforme exigido pelo projeto e solicita-se aprovação à Fiscalização. Assim que aprovadas as armaduras, procede-se com a cofragem destes pilares (cofragem do tipo *Lycó*) e consequente betonagem.

Na Figura 4.40, é possível observar-se a cura da laje de fundo com a colocação de mantas geotêxtis.



Figura 4.40 – Pormenor de cura para a laje do fundo, paredes e pilares para o bloco A da torre de arrefecimento #1 da CCC do Soyo.

4.5.6 Fase 6 – Armação e cofragem para as vigas do nível seguinte

Em seguida, procede-se a cofragem para as vigas do nível seguinte. Para o efeito, foi usada a cofragem do tipo *Multiflex*. Procede-se a armação das vigas e solicita-se a vistoria das mesmas.

Uma vez aprovadas, avança-se para a etapa seguinte.

4.5.7 Fase 7 – Betonagem e cura das vigas do nível em questão

Antes da betonagem das vigas, por forma a garantir uma homogeneidade e total aderência no betão, deve-se picar ligeiramente o topo da superfície do pilar anteriormente betonado. Os resíduos então acumulados no interior da cofragem, são retirados com auxílio de um compressor de ar que os empurra para um ponto para sua fácil remoção.

É feita a betonagem das vigas e procede-se a cura das mesmas, usando-se as mantas geotêxtis. Conforme a necessidade, estas vigas são regadas enquanto durar o seu período de cura.

4.5.8 Fase 8 – Armação e cofragem das paredes e pilares do nível em questão

Em seguida, é feita a armação das paredes e pilares do nível em que foram betonadas as vigas anteriores. Estas paredes e pilares irão prolongar-se ao nível

imediatamente a seguir. Conforme para os outros casos, é feita a solicitação para vistoria da armadura. Caso seja aprovada, é então, primeiramente picada ligeiramente a superfície superior das vigas que ficarão em contacto com as paredes e pilares, em seguida, são limpas estas zonas com um compressor de ar e finalmente, é fechada a cofragem para que se proceda a betonagem, conforme se pode verificar na Figura 4.41.



Figura 4.41 – Pormenor da armação e cofragem das paredes e pilares ao nível 0,30 → 4,80m para o bloco A da torre de arrefecimento #1 da CCC do Soyo.

4.5.9 Fase 9 – Betonagem e cura das paredes e pilares do nível em questão

Aprovadas a armadura e cofragem para os pilares e paredes, procede-se a sua betonagem com betão do tipo C30 e sequente cura. O betão deve ser colocado e compactado de modo a assegurar que todas as armaduras e elementos a integrar no betão ficam adequadamente embebidas de acordo com as tolerâncias do recobrimento e que se obtém a resistência e durabilidade pretendidas. Deve-se procurar minimizar a segregação, descarregando o betão na vertical a uma altura baixa e começar a betonagem pelas zonas mais baixas. A vibração do betão também é fundamental, não devendo continuar a aparecer bolhas de ar à superfície após a vibração.

4.5.10 Fase 10 – Repetição das fases 6 à 9 até atingir-se o último nível

A progressão no processo construtivo da superestrutura, passa pela repetição das fases 6 à 9, anteriormente descritas, até chegar-se ao último nível, ilustrado na Figura 4.42.

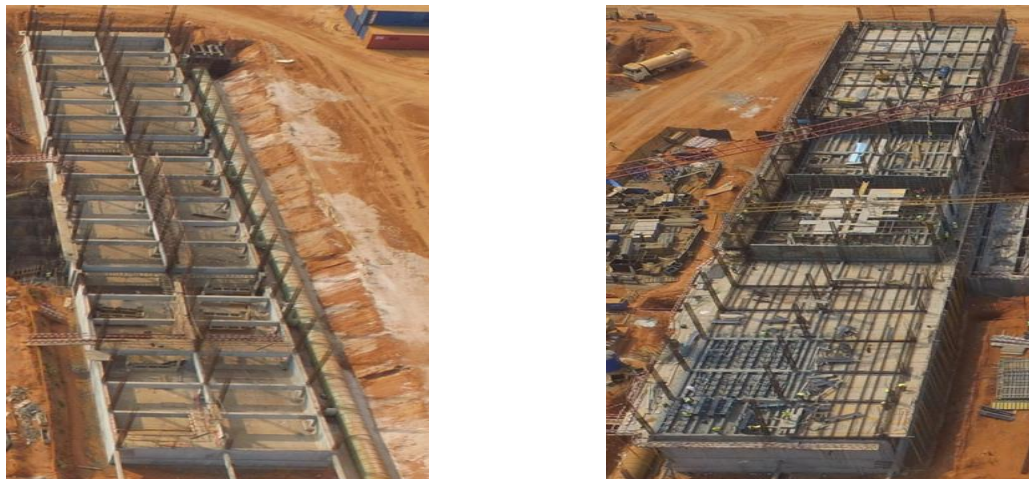


Figura 4.42 – Repetição do processo construtivo até atingir-se o último nível da superestrutura.

4.5.11 Fase 11 – Cofragem e armação para laje do topo e vigas circulares

Chegado ao último nível da superestrutura, fica por se fazer a laje de topo e vigas circulares. São colocadas as cofragens para a laje de topo (sistema *Multiflex*) e para as vigas circulares (Sistema *Rundflex*). Em seguida, procede-se a armação da laje de topo e vigas circulares, cuja vistoria é solicitada para aprovação. É também nesta fase que se colocam as armaduras para os carris da grua móvel, deve-se ter atenção a cota em que as mesmas ficam colocadas, por isso, o uso de topografia para ajudar no seu posicionamento é importante. Uma técnica para o efeito, é o uso de uma chapinha metálica no topo desta armadura o que facilita na leitura topográfica, tal como se pode observar na Figura 4.43.



Figura 4.43 – Pormenor da armação e cofragem da laje do topo e vigas circulares ao nível 11,80m para o bloco E da torre de arrefecimento #2 da CCC do Soyo.

4.5.12 Fase 12 – Betonagem e cura da laje do topo e vigas circulares

Aprovadas a cofragem e armaduras, passa-se para a última fase de construção da superestrutura. É então feita a betonagem da laje do topo, com betão do tipo C30 e em seguida das vigas circulares, com o mesmo tipo de betão. Por formas a evitar a retração do betão, deve-se usar um produto capaz de evitar a ocorrência de tal fenómeno, como o *Antisol* da *Sika*.



Figura 4.44 – Pormenor da cura da laje do topo e vigas circulares ao nível 11,80m para o bloco E da torre de arrefecimento #2 da CCC do Soyo.

4.5.13 Fase 13 – Impermeabilização, aterro e compactação

Após conclusão da construção da superestrutura, realiza-se um teste de água às Torres de Arrefecimento, com acompanhamento da Fiscalização, ou seja, os tanques são cheios com água e deixa-se assim durante algumas semanas, para que se avalie se existe um abaixamento do nível de água nos mesmos devido a possíveis pontos de fissuras ou roturas, os quais devem ser imediatamente reparados. Caso haja necessidade de reparação, deve-se ‘‘picar’’ a zona à volta da fissura com uma profundidade que atinja à mesma, preenchê-la com uma argamassa tixotrópica que garanta aderência à estrutura criada e resistência e dar-se o acabamento devido, com reboco.

Com os tanques de água das Torres de Arrefecimento inspecionados, e sem pontos de fissuras ou roturas, uma vez que os mesmos estarão enterrados, como boa prática, deve-se pintar as paredes exteriores destes tanques com uma tinta betuminosa com duas camadas cruzadas, até à cota enterrada.

Finalmente, procede-se ao aterro de camadas de terreno com altura de 0,30 m definidas pelo dono de obra/Fiscalização, para que sejam compactadas com um grau de compactidade mínimo de 95% (conforme ilustra a Figura 4.45).



Figura 4.45 – Pormenor da compactação da penúltima camada de aterro para o bloco A da torre de arrefecimento #1 da CCC do Soyo.

4.6 CONSTRUÇÃO DA *CULVERT*

A *Culvert*, também designada por túnel de água ou galeria, é o caminho que a água já arrefecida percorre até reentrar no sistema de aquecimento através do seu bombeamento para as caldeiras.

A construção da mesma compõe-se de 4 troços, tal como se mostra na Figura 4.46, designados por:

- Troço-A (onde são instaladas as comportas, à meio das torres de arrefecimento, que quando abertas permitem a saída da grande massa de água acumulada no fundo das torres de arrefecimento);
- Troço-B (é o troço em ramificação que encaminha a água para o troço recto);
- Troço-C (é o troço recto que faz a ligação ao ultimo troço da *Culvert*);
- Troço-D (é o ultimo troço da galeria que faz a ligação à sala das bombas).

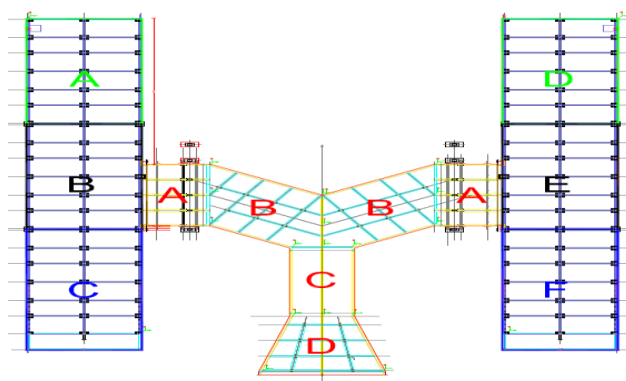


Figura 4.46 – Modelo em 2D para as torres de arrefecimento e Culvert da CCC do Soyo.

O Troço-A apresenta as seguintes dimensões, conforme ilustrado na Figura 4.47:

- Largura: 19,50 m;
- Comprimento: 8,50 m;

- Altura: 3,75 m.

Composto por 4 caixas em betao armado separadas por juntas *waterstop* em borracha. Na parte superior destas paredes tambem e usada a junta *waterstop*, conforme ilustrado na Figura 4.48.

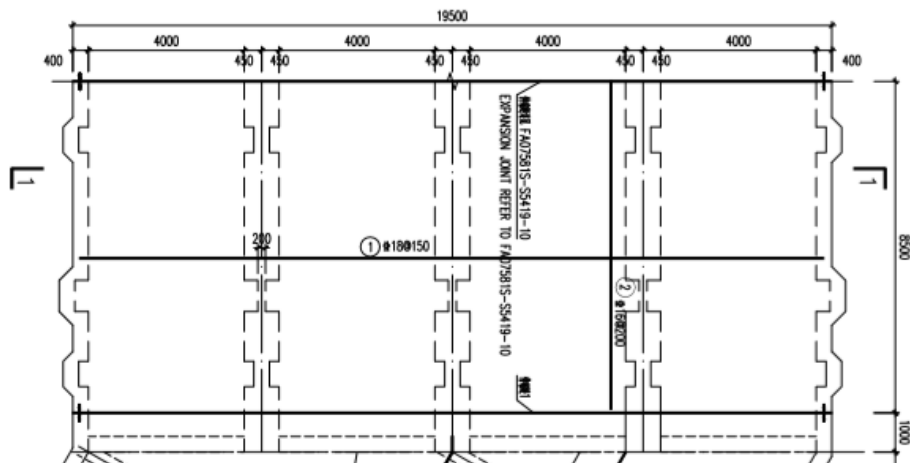


Figura 4.47 - Planta do Troço-A da CCC do Soyo.

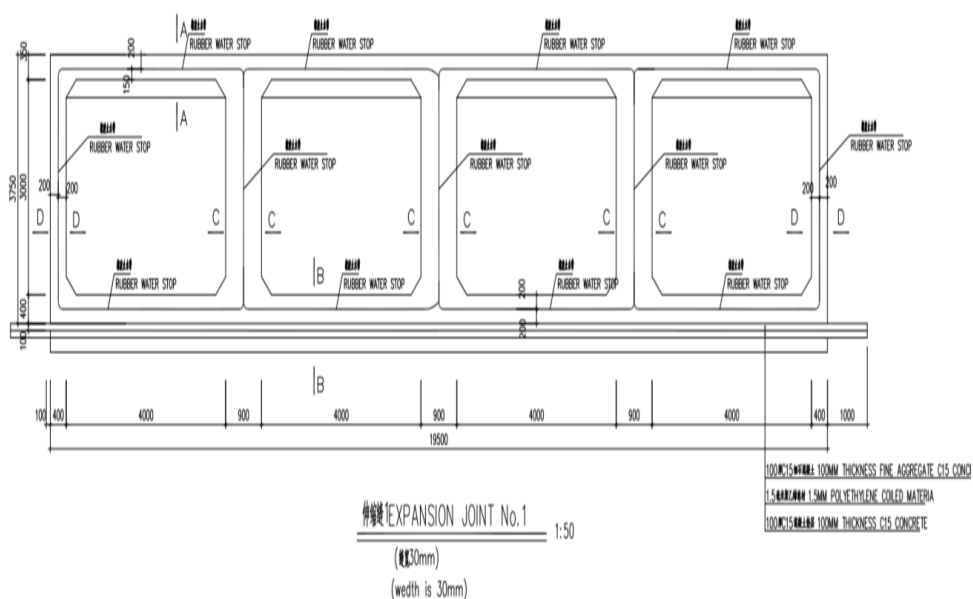


Figura 4.48 - Corte do Troço-A da CCC do Soyo.

O Troço-B tem o formato de um poligono de 5 lados com um perimetro de aproximadamente 68 m, uma altura de 3,00 m e inclinacao de fundo de 0,76%, conforme se mostra na Figura 4.49. A sua bifurcacao apresenta um angulo de 120° em relacao ao eixo vertical. Uma parede armada divide os lados da *Culvert* que passa por este eixo.

Apresenta cerca de 7 pilares-guia dentro da sua área com uma dimensão de 0,80 x 0,50 m. A sua parte superior é constituída por vigas de 0,50 x 0,25 m que suportam a laje de topo com 0,35 m de espessura.

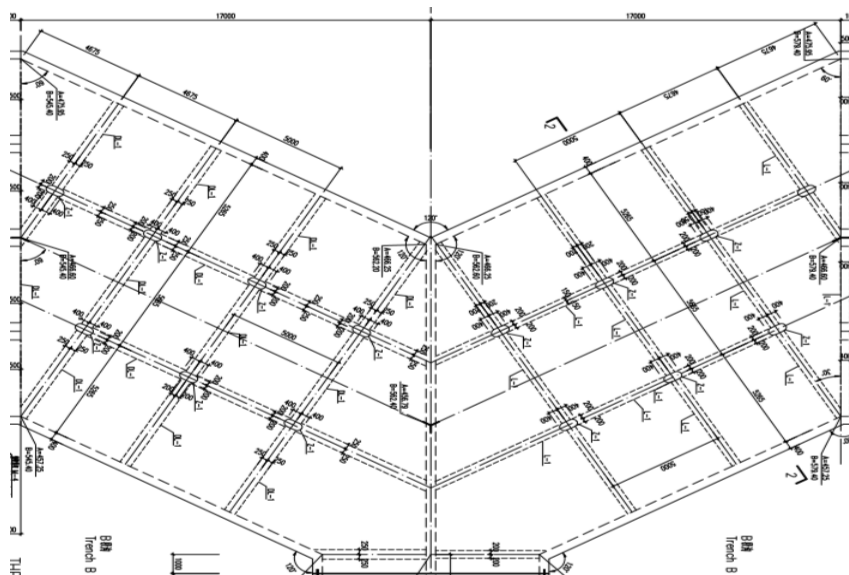


Figura 4.49 – Planta do Troço-B da CCC do Soyo.

O Troço-C apresenta uma geometria retangular com 20,0 x 9,0 m. A parede em betão armado separa os 2 lados do troço (4,50 m para cada lado), em que na sua parte superior as vigas com dimensão 0,50 x 0,25 m suportam a laje de topo com 0,35 m de espessura, tal como se vê na Figura 4.50.

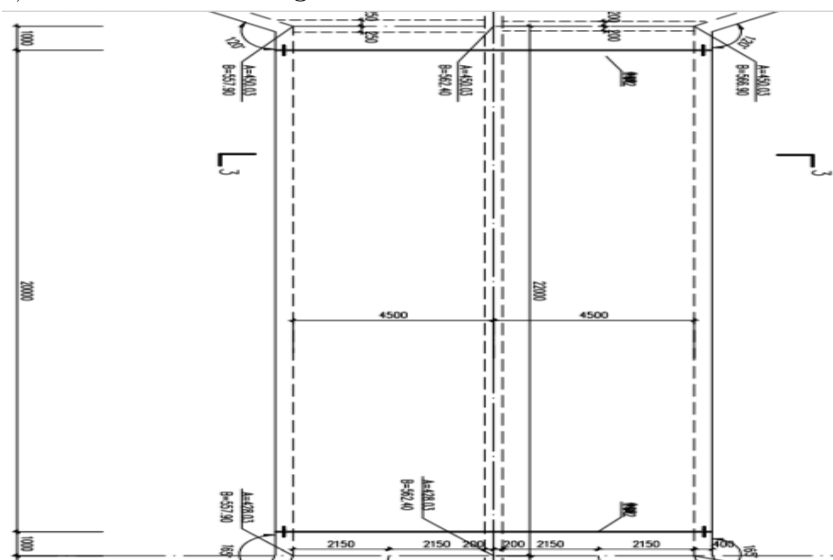


Figura 4.50 – Planta do Troço-C da CCC do Soyo.

Finalmente, no Troço-D, a *Culvert* volta a ter uma abertura de 165° no sentido anti-horário em relação ao alinhamento da parede lateral do Troço-C. A sua geometria é de um polígono de 4 lados, com um perímetro de aproximadamente 47,8 m, uma altura

de 3,00 m e inclinação de fundo de 0,76%, conforme se mostra na Figura 4.51. Apresenta 3 pilares-guia dentro de cada área dividida pela parede ao meio, com uma dimensão de 0,50 x 0,50 m. A sua parte superior é constituída por vigas de 0,50 x 0,25 m que suportam a laje de topo com 0,35 m de espessura.

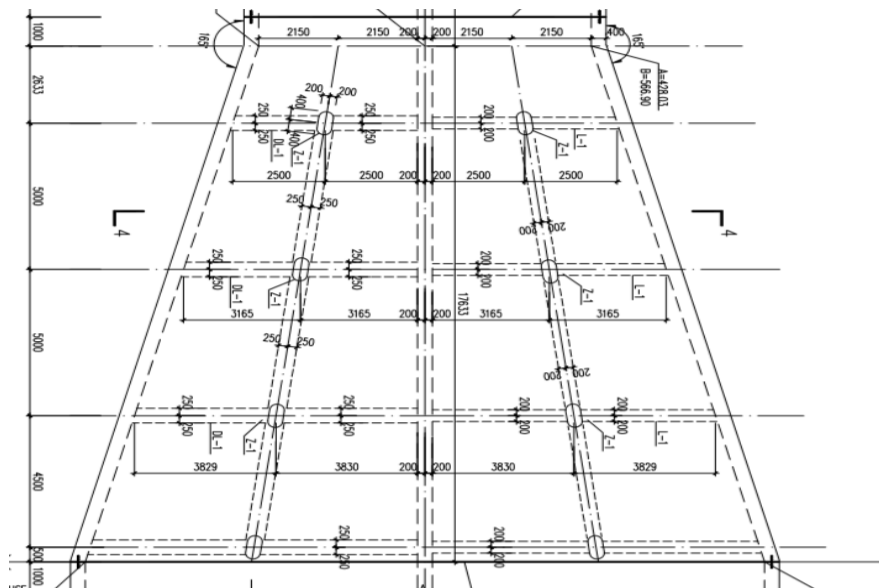


Figura 4.51 – Planta do Troço-D da CCC do Soyo.

Em seguida, enumeram-se as várias fases para a construção de cada um dos troços que compõem a *Culvert*.

4.6.1 Fase 1 – Implantação Topográfica

Nesta fase, são feitos os levantamentos topográficos por forma a implantar o Troço da *Culvert* que se vai construir – são levantados os limites exteriores do troço a executar e referenciados para melhor identificação; no caso dos troços que apresentam pilares-guia, também são levantados os pontos topográficos para estes pilares. Os resultados destes levantamentos são então submetidos à Fiscalização para verificação e aprovação. Caso estejam conforme o projeto ou solicitação do dono de obra, são então marcados os pontos para escavação dos tanques, conforme melhor prática ou solicitado pelo projeto ou dono de obra.

4.6.2 Fase 2 – Escavação do terreno e compactação

Inicia-se então a escavação para o troço da *Culvert* com meios mecânicos apropriados para o tipo de solos a encontrar. O terreno é escavado à uma cota abaixo da cota estipulada pelo projeto/dono de obra para que se processe a compactação de 3 a 4

camadas de «*tout-venant*» com altura de 30 cm ao grau de compactação definido como mínimo, de 97%. É também construída uma rampa de acesso que irá facilitar a entrada e saída de máquinas para a escavação, remoção de terras e compactação.

4.6.3 Fase 3 – Colocação do betão de limpeza

Em seguida, é colocado o betão de limpeza, que servirá de base firme para a cofragem da laje de fundo, paredes dos troços a construir e pilares-guia, caso o troço em questão os inclua no seu projeto. Utilizou-se um betão do tipo C15 e uma espessura entre 10 a 15 cm.

4.6.4 Fase 4 – Armação e cofragem para laje do fundo e paredes

Uma vez curado o betão de limpeza, já é possível armar-se a laje de fundo assim como as paredes do troço da *Culvert* em questão. É feita uma solicitação de vistoria e inspeção da armadura à Fiscalização para que seja dada luz verde para a consequente cofragem. Saliente-se que a cofragem para as paredes dos troços da *Culvert* é do mesmo tipo da usada para a construção de todas as paredes já mencionadas até ao momento, ou seja, do tipo *Trio* da *Peri*. Para os pilares, é feito o arranque da armadura, em que é dada continuidade depois da betonagem e cura da laje de fundo.

Na Figura 4.52 é possível ver-se a armação da laje de fundo, das paredes e o arranque dos pilares para o Troço-A, enquanto no Troço-B já se preparava a armadura para as vigas que suportam a laje do topo, o que permite uma vistoria mais detalhada.



Figura 4.52 – Armação do Troço-A da Culvert da CCC do Soyo.

4.6.5 Fase 5 – Betonagem e cura da laje do fundo e paredes

Aprovadas a armadura e cofragem, é possível realizar-se a betonagem da laje de fundo, com betão do tipo C30. Deverão ser garantidas boas condições de espalhamento e

vibração para este betão por forma a evitar a segregação dos inertes e existência de vazios na laje betonada. Devem ser colocadas as mantas geotêxtis por forma a manter a higroscopicidade do betão, regando o betão periodicamente.

4.6.6 Fase 6 – Armação e cofragem para os pilares-guia

Posteriormente a betonagem e cura da laje de fundo, armam-se os pilares-guia conforme exigido pelo projeto e solicita-se aprovação à Fiscalização. Assim que aprovadas as armaduras, procede-se com a cofragem destes pilares (cofragem do tipo *Lycor*) e consequente betonagem.

Na Figura 4.53, pode-se ver a armadura colocada para as paredes e pilares-guia para o Troço-D da *Culvert*.



Figura 4.53 – Armação e cofragem dos pilares-guia do Troço-D da *Culvert* da CCC do Soyo.

4.6.7 Fase 7 – Betonagem e cura dos pilares-guia

Aprovadas a armadura e cofragem para os pilares-guia, procede-se a sua betonagem com betão do tipo C30 e sequente cura. O betão deve ser colocado e compactado de modo a assegurar que todas as armaduras e elementos a integrar no betão ficam adequadamente embebidas de acordo com as tolerâncias do recobrimento e que se obtém a resistência e durabilidade pretendidas. Deve-se procurar minimizar a segregação, descarregando o betão na vertical a uma altura baixa e começar a betonagem pelas zonas mais baixas. A vibração do betão também é fundamental, não devendo continuar a aparecer bolhas de ar à superfície após a vibração.

4.6.8 Fase 8 – Cofragem e armação para as vigas e laje do topo

Ficando por se fazer as vigas e laje de topo, são então colocadas as cofragens para as vigas e laje de topo (sistema *Multifex*). Em seguida, procede-se a armação destes elementos, cuja vistoria é solicitada para aprovação.

Na Figura 4.54 a), é possível ver-se o início da montagem da cofragem para a laje do topo e para as vigas enquanto na Figura 4.54 b), pode-se ver a armadura já colocada, preparando-se para a verificação e inspeção. Devido às altas temperaturas, deve-se regar a base da cofragem antes de receber o betão por forma a evitar a sua secagem prematura e originar zonas com fissuras ou com menos resistência mecânica. De igual modo, deve-se limpar a superfície da cofragem com um compressor por forma a evitar que resíduos, como pontas de ferro, se acumulem no fundo da laje e possam ocasionar oxidação da superfície do betão, uma vez que estes túneis estarão em contacto permanente com água.



Figura 4.54 – (a) Fase inicial da cofragem e armação do Troço-D da Culvert da CCC do Soyo; (b) Armação do Troço-D da Culvert da CCC do Soyo.

4.6.9 Fase 9 – Betonagem e cura das vigas e laje do topo

Aprovadas a cofragem e armaduras, passa-se para a última fase de construção desta infraestrutura. É então feita a betonagem das vigas e laje do topo, com betão do tipo C30. Por formas a evitar a retração do betão, deve-se usar um produto capaz de evitar a ocorrência de tal fenómeno, como o *Antisol* da *Sika*, como se pode verificar na Figura 4.55.



Figura 4.55 – Armação e cofragem dos pilares-guia do Troço-D da Culvert da CCC do Soyo.

4.6.10 Fase 10 – Impermeabilização, aterro e compactação

Nesta fase é feito um teste de água à *Culvert*; na verdade, este teste coincide com o teste de água às torres de arrefecimento pois estas estruturas funcionam em conjunto, ou seja, os tanques são cheios com água e deixa-se assim durante algumas semanas, para que se avalie se existe um abaixamento do nível de água nos mesmos devido a possíveis pontos de fissuras ou roturas, os quais devem ser imediatamente reparados.

Com os troços da *Culvert* inspecionados, e sem pontos de fissuras ou roturas, uma vez que os mesmos estarão enterrados, como boa prática, deve-se pintar as paredes exteriores destes troços (que estarão em contacto com o terreno) com uma tinta betuminosa com duas camadas cruzadas, conforme ilustrado na Figura 4.56.

Finalmente, procede-se ao aterro de camadas de terreno com altura de 0,30 m definidas pelo dono de obra/Fiscalização, para que sejam compactadas com um grau de compacidade mínimo de 95%.



Figura 4.56 – Impermeabilização da parede exterior do Troço-B da Culvert da CCC do Soyo.

4.7 CONSTRUÇÃO DOS ELEMENTOS SECUNDÁRIOS

Os principais elementos secundários a destacar para construção são: escadas em betão armado de acesso ao nível 11,80 m das torres de arrefecimento (cada uma das torres, de acordo com o projeto, tem 2 escadas, uma em cada extremidade da torre, perfazendo assim um total de 4), maciços de suporte para os motores e eixos das hélices localizadas nas vigas circulares das torres de arrefecimento (cada viga circular, de acordo com o projeto, tem 2 maciços, perfazendo assim um total de 24), pilares e vigas que suportam as comportas nos Troços-A da *Culvert* (total de 12 pilares e 2x2 níveis de vigas), carris para a grua móvel no topo das torres de arrefecimento (total de 4 trilhos a construir).

Em seguida, descreve-se resumidamente, o processo construtivo usado para cada um dos elementos secundários enumerados acima.

4.7.1 Escadas em betão armado de acesso ao nível 11,80 m

Constituídas por 4 lanços de 3,20 m de comprimento, 1,20 m de largura e 2,825 m de altura, 3 patamares de 0,95 m de comprimento, o patamar no nível mais elevado tem 1,10 m de comprimento. Cada lanço é constituído por 15 degraus, de 0,183 m de espelho e 0,228 m de cobertor.

A construção da escada inicia com marcação das suas coordenadas topográficas em relação ao solo para o arranque da escada. Verificada a sua perfeita localização, monta-se então a cofragem e armaduras, conforme Figura 4.57 a), devendo respeitar-se as condições de segurança para trabalhos em altura, como a colocação de arnês. Realiza-se a vistoria das armaduras com a Fiscalização. Uma vez aprovada pela Fiscalização, realiza-se a betonagem e cura das escadas, ilustrada na Figura 4.57 b). As escadas devem ser betonadas de uma única vez.



(a)



(b)

Figura 4.57 – (a) Cofragem e armação de uma das escadas da CCC do Soyo; (b) Cura de uma das escadas da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Grua Torre;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Cofragem para escadas (vigas, barrotes, tábuas, taipais, prumos metálicos e escoras);
- Equipa de carpinteiros de cofragens;
- Equipa de armadores de ferro;
- Compressor de ar para ajudar na limpeza;
- Camião betoneira com bomba;
- Agulha Vibradora;
- Réguas de alumínio;
- Pás ou outras ferramentas capazes de espalhar o betão;
- Equipa de betonagem.

4.7.2 Maciços de suporte para os motores e eixos das hélices

Os maciços são blocos em betão armado, capazes de suportar o peso e vibrações dos motores e eixos das hélices, com 0,80 m de largura e 1,20 m de altura para os maciços colocados no centro das vigas circulares (que vão suportar os eixos das hélices) e 1,00 x 1,00 m para os maciços colocados fora das vigas circulares (que vão suportar os motores). Para o seu correto posicionamento, requer-se a equipa de topografia a sua marcação, devendo esta ser aprovada pela Fiscalização. A sua construção é feita em duas fases distintas: a primeira caracteriza-se pela betonagem de parte do maciço com a armadura aos esforços, betonagem realizada aquando da betonagem da laje de topo e vigas circulares da torre de arrefecimento; a segunda, consiste na colocação de «groute» anti encolhimento sobre a superfície já anteriormente betonada (deve-se picar ligeiramente esta superfície, por forma a garantir uma perfeita homogeneização com a nova camada que será betonada).



(a)



(b)

Figura 4.58 – (a) Armação de uma das lajes de topo, vigas circulares e maciços de suporte da CCC do Soyo; (b) Um dos maciços de suporte com as duas fases de betonagem da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Grua Torre;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- *Kit* de Topografia;
- Topógrafo e ajudante;
- Cofragem para maciços (tábuas, taipais e escoras);
- Equipa de carpinteiros de cofragens;
- Equipa de armadores de ferro;
- Camião betoneira com bomba para a 1ª fase e balde para a 2ª;
- Agulha Vibradora para a 1ª fase;
- Réguas de alumínio;
- Martelo elétrico para picagem da superfície da 1ª fase antes da betonagem da 2ª fase;
- Equipa de betonagem.

4.7.3 Pilares e vigas das comportas

Os pilares e vigas das comportas formam pórticos que irão sustentar o peso das comportas quando abertas. A sua execução é feita em 2 níveis: o primeiro à uma cota de 5,20 m e o segundo, à cota final de 9,57 m. Os pilares assentam sobre fundações diretas enterradas à 1,20 m de profundidade. Os pilares apresentam secção retangular de 0,80 x 0,50 m e as vigas, 0,25 x 0,40 m, conforme se observa na Figura 4.59. Para o correto posicionamento dos pilares, a equipe de Topografia, começa por retirar os pontos dos seus eixos que vão para aprovação da Fiscalização.



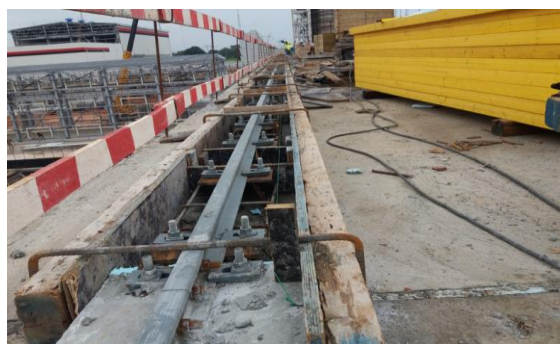
Figura 4.59 – (a) Execução dos pórticos da comporta ao 1º nível da CCC do Soyo; (b) Execução dos pórticos da comporta ao 2º nível da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Grua Torre;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- *Kit* de Topografia;
- Topógrafo e ajudante;
- Cofragem para pilares (cofragem do tipo *Lyco*);
- Cofragem para vigas (vigas, barrotes, tábuas, taipais, prumos metálicos e escoras);
- Equipe de carpinteiros de cofragens;
- Equipe de armadores de ferro;
- Camião betoneira com bomba;
- Agulha Vibradora;
- Réguas de alumínio para as vigas;
- Equipe de betonagem.

4.7.4 Bases para os Carris da grua móvel

Os carris localizam-se nas lajes de topo das Torres de Arrefecimento, permitindo assim a movimentação da grua móvel. Têm a extensão do comprimento das Torres, cerca de 98 m. Recorde-se que a armadura para as Bases dos Carris já fora colocada aquando da armação da laje de topo da Torre de arrefecimento, ficando simplesmente a possibilidade de corrigir, se necessário, a altura da chapa metálica antes de se apoiar e fixar o carril, como se observa na Figura 4.60 a). Estas alturas são verificadas e corrigidas com recurso à Topografia e entregues à Fiscalização para verificação e validação. Se aprovadas, coloca-se então a cofragem e realiza-se a betonagem e respetiva cura.



(a)



(b)

Figura 4.60 – (a) Troço de um carril com armadura e cofragem da CCC do Soyo; (b) Troço de um carril já betonado da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Grua Torre;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- *Kit* de Topografia;
- Topógrafo e ajudante;
- Cofragem para carris (taipais, travamento dos taipais);
- Equipe de carpinteiros de cofragens;
- Camião betoneira com bomba;
- Agulha Vibradora;
- Réguas de alumínio;
- Equipe de betonagem.

4.8 REBOCO EXTERIOR DAS TORRES DE ARREFECIMENTO

O Reboco tem como principal finalidade a regularização da superfície, proporcionando assim um aspecto plano e verticalidade. É responsável pela estanquidade à água e gases, ajudando no combate a infiltrações e permite receber o acabamento final em pintura.

A seguir enumeram-se as fases para aplicação do Reboco:

4.8.1 Fase 1 – Colocação do andaime

O andaime deve ser montado proporcionando assim condições de trabalho em segurança à equipe que vai aplicar o reboco (constituída por pedreiros e ajudantes).

Principais meios e equipes envolvidas:

- Grua Torre;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Andaimas;
- Equipe de montagem e desmontagem de andaimes;

4.8.2 Fase 2 – Preparação da superfície

Depois de estarem as condições de segurança criadas para o início dos trabalhos, a equipe responsável pela aplicação do reboco, começa por preparar a superfície com lavagem a alta pressão, removendo assim eventuais pontas de superfícies irregulares e

limpeza de resíduos do óleo descofrante que tenha aderido à superfície de betão. De seguida, são marcados os pontos de reboco, ou seja, é marcada a referência de espessura a dar ao reboco (para o caso da Central de Ciclo Combinado do Soyo, foram 20 mm); na sequência é aplicado um promotor de aderência e rede de fibra de vidro, para controlar a fissuração, tração e alguma resistência ao choque.

Principais meios e equipas envolvidas:

- Máquina de lavar à pressão;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Andaimos;
- Equipa de aplicação de reboco.

4.8.3 Fase 3 – Aplicação da primeira camada de 12 mm

É então aplicada a primeira camada de reboco, denominada por emboço, ilustrada na Figura 4.61. Esta camada será responsável pela estanquicidade e integridade mecânica proporcionando um aspeto plano e vertical para que possa receber a segunda camada.



Figura 4.61 – Aplicação da primeira camada de reboco à uma das Torres de Arrefecimento da CCC do Soyo.

Principais meios e equipas envolvidas:

- Pistola de projecção de reboco;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Andaimos;
- Equipa de aplicação de reboco.

4.8.4 Fase 4 – Aplicação da segunda camada de 8 mm

É aplicada uma camada fina por forma a proporcionar o melhor acabamento final. No final, por forma a regularizar a superfície são usadas as régua de alumínio, dando-se início ao processo de cura para garantir a hidratação do cimento.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Pistola de projecção de reboco;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Andaimas;
- Régua de alumínio;
- Equipa de aplicação de reboco.

4.9 IMPERMEABILIZAÇÃO INTERIOR DAS TORRES DE ARREFECIMENTO E CULVERT

Os interiores das Torres de Arrefecimento e *Culvert* estarão sujeitos ao embate constante da água contra as paredes, vigas e laje do fundo. Por outro lado, esta água apresentará uma certa temperatura antes de estar completamente arrefecida. Deste modo, urge a necessidade de se preparar estes interiores com algum tipo de revestimento capaz de garantir resistência e durabilidade durante o periodo de uso destes empreendimentos. Por aqui já se pode verificar o grau de importância e atenção que se deve ter para a escolha do produto ou solução a aplicar.

Existirão no Mercado, variadas soluções para o efeito, umas melhores que outras, em função do enquadramento técnico-económico e geográfico do empreendimento. Para o caso da Central de Ciclo Combinado do Soyo, seleccionou-se a solução de aplicação de «*Mapelastic*», um produto da «*Mapei*».

O emprego desta solução de «*Mapelastic*» é feito por diferentes fases, as quais se descrevem resumidamente a seguir:

4.9.1 Fase 1 – Limpeza e reparação da superfície a aplicar

A superfície deverá estar limpa, sólida e compacta. Eventualmente poderão ter ficado alguns resíduos do óleo descofrante impregnados às superfícies que deverão ser removidos, assim como, superfícies irregulares que precisam de ser compactadas ou ainda pontas de estribo ou armadura que tenham ficado salientes devido à cofragem ou falta

de espaçadores, que têm de ser arrancadas e reparar-se a superfície, tornando-a sólida e compacta.

A limpeza de toda a superfície é feita com jato de água, com uma pressão de cerca de 400 a 500 bar, conforme se observa na Figura 4.62 a). Esta pressão será capaz de remover todas as partes destacadas e eliminar as eventuais irregularidades; de seguida é feita a reparação da superfície, tornando-a mais uniforme, mediante aplicação de uma argamassa tixotrópica fibrorreforçada de retração controlada conforme se ilustra na Figura 4.62 b).



Figura 4.62 – (a) Limpeza à 500 bar em uma das Torres da CCC do Soyo; (b) Regularização de uma das vigas da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- Máquina de lavagem de 500 bar;
- Mangueiras de pressão;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Raspadores metálicos de 35 cm de largura e com cabo;
- Equipa de aplicação de «Mapelastic»;
- Andaimos;
- Espátulas;
- Rebarbadoras;
- Talochas;
- Equipa de pedreiros e ajudantes.

4.9.2 Fase 2 – Impermeabilização de pavimentos e paredes

O «Mapelastic» é uma argamassa cimentícia bicomponente elástica aplicada em duas camadas, em que a segunda camada poderá ser aplicada num intervalo entre 4 a 24

horas após aplicação da primeira, com tempo seco, mas nunca antes da camada aplicada estar completamente seca. A sua aplicação é feita por projeção, com posteriores retoques de brocha ou pincel, caso seja necessário. Para pavimentos e paredes o «Mapelastic» é aplicado com rede. A rede deverá então ser colocada entre a primeira e a segunda camada de «Mapelastic». Esta rede é em fibra de vidro resistente aos álcalis, «Mapenet P», aumentando assim a capacidade do efeito ‘‘*crack-bridging*’’. A sobreposição entre troços adjacentes de «Mapenet P» deverá ser de pelo menos 10 cm e pressionando a rede contra a superfície a aplicar com brocha para paredes e vassoura para os pavimentos, até ao total envolvimento da rede na primeira camada do «Mapelastic». Note-se que para os pavimentos, é construída em primeiro lugar uma camada de forma em betonilha com certa pendente que irá receber então a projeção de «Mapelastic».

Saliente-se que a primeira camada do «Mapelastic» deve ser aplicada com uma largura superior a 1,20 m ou múltiplos, para que quando aplicado o «Mapenet P», que apresenta uma largura de 1,00 m, hajam pelo menos 10 cm de cada lado do «Mapelastic» que garantam a continuidade de aplicação do produto na superfície adjacente. A aplicação da segunda camada de «Mapelastic» cobrirá completamente a rede, como se observa na Figura 4.63 b).



Figura 4.63 – (a) Aplicação da 2ª camada em paredes em uma das Torres da CCC do Soyo; (b) Aplicação da 2ª camada sobre a rede em pavimento numa das Torres da CCC do Soyo.

Principais meios e equipes envolvidas:

- «Mapelastic»;
- Máquina completa de projetar argamassa;
- Mangueira de abastecimento de ar comprimido para máquina de projetar argamassa;
- Misturadores;
- Ventiladores;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Baldes grandes de 50 litros e baldes de 10 litros;
- Pistola de projeção de argamassa;

- Vassouras de varrer estrada de 30 mm;
- Brochas de aplicacao de argamassa;
- Equipa de aplicacao de «Mapelastic»;
- Andaimes.

4.9.3 Fase 3 – Impermeabilizacao de vigas, pilares e tetos

Aplica-se o «Mapelastic» em duas camadas em que a segunda camada podera ser aplicada num intervalo entre 4 a 24 horas apos aplicacao da primeira, com tempo seco, mas nunca antes da camada aplicada estar completamente seca. A sua aplicacao e feita por projecao, com posteriores retoques de brocha ou pincel, caso seja necessario.

Saliente-se que para vigas, pilares e tetos, o «Mapelastic» e aplicado sem rede.

Principais meios e equipas envolvidas:

- «Mapelastic»;
- Maquina completa de projetar argamassa;
- Mangueira de abastecimento de ar comprimido para maquina de projetar argamassa;
- Misturadores;
- Ventiladores;
- Fonte de Energia Eletrica (Gerador);
- Baldes grandes de 50 litros e baldes de 10 litros;
- Pistola de projecao de argamassa;
- Brochas de aplicacao de argamassa;
- Equipa de aplicacao de «Mapelastic»;
- Andaimes.

Terminada a Impermeabilizacao no interior das Torres de Arrefecimento e *Culvert*, sao entao realizados os testes de aderencia ao «Mapelastic», tambem denominados por testes de arrancamento, onde sao medidas as tensoes de arrancamento das superficies aplicadas com esta solucao. Segundo os testes laboratoriais (em perfeitas condicoes de cura, temperatura e humidade, ao fim de 28 dias), para superficies armadas com rede, seria expectavel um valor de tensao de 1,2 MPa, sendo a rotura coesiva pela rede. Para superficies sem rede, seria expectavel um valor de tensao de 1,3 MPa, sendo a rotura coesiva pelo «Mapelastic». A posterior, estes pontos onde se deu o arrancamento, devem ser tapados com um produto com caracteristicas semelhantes ao «Mapelastic».

No entanto, uma vez que as condições em obra são muito diferentes das laboratoriais, será preciso saber interpretar alguma diferença que possa surgir nos resultados destes testes de arrancamento.

4.10 PINTURA EXTERIOR DAS TORRES DE ARREFECIMENTO

Tal como em qualquer obra de Construção Civil, a pintura exterior confere não somente uma função de conforto visual mas também de proteção contra chuva, vento, calor/frio, infiltrações ou ataques de cloretos. Por isso, a escolha do tipo de tinta exterior para empreendimentos deste tipo deve obedecer a critérios rigorosos pois uma escolha inapropriada poderá levar a manutenções mais periódicas ou ter que antecipá-las do que fora inicialmente planeado, o que poderá resultar em custos desnecessários ou até mesmo avultados.

Normalmente aplicam-se duas demão da tinta selecionada, com aplicação ou não de primário. Devido aos grandes panos a pintar, usam-se pistolas de projeção de tinta e rolos/pincéis para repassar em alguns cantos ou extremidades, tal como se observa na Figura 4.64 b).



Figura 4.64 – (a) Aspetto final da CCC do Soyo; (b) Utilização de pincel para os cantos numa das Torres da CCC do Soyo.

Principais meios e equipas envolvidas:

- Tintas;
- Baldes grandes de 50 litros e baldes de 10 litros;
- Pistolas de projeção;
- Fonte de Energia Elétrica (Gerador);
- Rolos e pincéis para cantos ou extremidades;
- Equipa de pintores;
- Andaimos.

4.11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo abordou-se a construção de vários componentes da Central de Ciclo Combinado do Soyo, destacando as várias etapas do processo construtivo adotado para esta Central em particular.

Os componentes principais desta Central retratados neste capítulo foram: Tanques Reservatórios de Gasóleo (mais propriamente, os anéis de fundação), Tanques de Água (Bruta, de Combate à Incêndio e Água Reutilizada), Torres de Arrefecimento e *Culvert*. De igual modo, abordaram-se os componentes secundários da Central, como, as escadas em betão-armado de acesso às Torres de Arrefecimento, os maciços de suporte dos motores e eixos das hélices, pilares e vigas das comportas e as bases em betão armado para os carris da grua móvel.

Finalmente, abordou-se ainda, o Reboco Exterior das Torres de Arrefecimento, a Impermeabilização no Interior das Torres de Arrefecimento e *Culvert* e a Pintura Exterior das Torres.

O conhecimento de cada uma das fases do processo construtivo para cada um dos componentes acima referenciados, permite um melhor planeamento das atividades e deste modo estimar os melhores prazos, equipas e meios e conseqüentemente controlar os seus custos associados, o que se reverte de enorme importância na Gestão deste tipo de empreendimentos. De igual modo, conhecendo cada uma das fases do processo construtivo, vai permitir identificar o tipo de manutenção que se poderá revelar mais adequada para cada um dos componentes.

5 GESTÃO E MANUTENÇÃO DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma vez concluída a fase de construção de uma Central Termoeletrica, existe agora a árdua tarefa de geri-la e mantê-la de uma forma sustentável e economicamente ‘‘saúdavel’’, ou seja, proporcionar um funcionamento pleno de qualidade desde o ponto de vista técnico como organizacional, com processos bem definidos e orientados, de fácil percepção, respeitando o meio ambiente envolvente e com preocupações contínuas com a saúde e segurança dos seus trabalhadores. É com base nestes 3 princípios fundamentais em que se rege a Gestão das Centrais Termoeletricas: Gestão do Ambiente, Gestão da Qualidade e Gestão da Saúde e Segurança dos seus Trabalhadores.

Neste capítulo, abordar-se-á a forma de gerir de forma sustentável uma Central Termoeletrica recorrendo a um Sistema Integrado de Gestão (SIG), o qual engloba a Gestão Ambiental, a Gestão da Qualidade e a Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho. Serão apresentadas as normas em que se regem tais sistemas, produzidas pela *International Organization for Standardization* (ISO) ou, Organização Internacional para Padronização, em português. A ISO é uma entidade de padronização e normatização que foi criada em Genebra, na Suíça, em 1947.

Cada um dos componentes do SIG, obedece a padrões e metodologias de estudos/observações e de verificações da sua implementação, mais concretamente, análises de riscos e auditorias, que também são abordados neste capítulo.

A manutenção de Centrais Termoeletricas deve ser contínua e periódica, por forma a evitar paragens acentuadas no seu funcionamento. Tratar-se-á de apresentar os 2 principais tipos de manutenção a que estes empreendimentos estão sujeitos.

5.2 GESTÃO DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS

As obras desta natureza requerem elevados padrões de controlo e por conseguinte, de Gestão, por forma a garantirem a máxima fiabilidade do seu produto ao utente. A Gestão destes empreendimentos abrange a Gestão Ambiental, Gestão da Qualidade dos seus processos e Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho para o seu funcionamento. Deste modo, surge o Sistema Integrado de Gestão (SIG) que abarca as 3 áreas anteriormente enumeradas.

Apresentam-se de seguida alguns beneficios da utilizacao do SIG (Moraes, Vale, & Araujo, 2013):

- Otimizacao e reducao do tempo com atividades de conscientizacao e treinamento (treinamentos integrados);
- Economia de tempo e custos;
- Melhorias na gestao de processos;
- Maior controle dos riscos com acidentes;
- Análises criticas, por parte da Direcao, mais eficazes;
- Maior comprometimento da Direcao;
- Reducao e controle de custos ambientais;
- Reducao de documentos;
- Utilizacao mais eficaz de recursos internos e infra-estrutura;
- Melhor comunicacao com as partes interessadas;
- Reducao de custos de manutencao do sistema;
- Simplificacao das normas e das exigencias dos sistemas de gestao;
- Menor tempo total de paralizacao das atividades durante a realizacao das auditorias;
- Possibilidade da realizacao de uma implementacao progressiva e modular dos sistemas;
- Alinhamento dos objetivos, processos e recursos para diferentes areas funcionais (seguranca, qualidade e ambiental);
- Reducao da burocracia;
- Reducao do nivel de complexidade dos sistemas;
- Eliminacao de esforcos duplicados e de redundancias;
- Sinergia gerada pelos diferentes sistemas implementados;
- Aumento da eficacia e melhoria da eficiencia do sistema;
- Reducao de custos de desenvolvimento e implementacao (menor numero de elementos a serem implementados);
- Reducao dos custos com auditorias internas e de certificacao;
- Satisfacao de clientes, funcionarios e acionistas;
- Satisfacao dos criterios dos investidores e melhoria do acesso ao capital;
- Aumento de competitividade;
- Controle preventivo do processo.

A Gestao Ambiental de uma Central Termoeletrica procura garantir a saude e bem-estar das populacoes obrigando as instituicoes que gerem tais empreendimentos, a

adotarem medidas de desenvolvimento sustentavel que passam pela aplicacao de instrumentos de Gestao Ambiental, emanados na NP EN ISO 14001 (IPQ, 2016).

A implementacao de um Sistema de Gestao Ambiental (SGA) tem como objetivo principal, ajudar a entidade Gestora a definir, implementar, manter e melhorar estrategias pro-ativas para identificar e resolver os impactes ambientais negativos (tais como, lancamento da agua aquecida nas caldeiras para o ambiente circundante, fugas de gas nos *pipe-lines*, emissoes atmosfericas do gas queimado, derrame de gasoleo acumulado nos tanques, derrame de agua dos tanques, incendios provocados por curto-circuitos no Gerador e Transformadores). Por outro lado, o Sistema de Gestao Ambiental procura tambem potenciar os impactes positivos, decorrentes das atividades da entidade Gestora, passando por uma publicacao adequada da sua imagem face as exigencias dos clientes e investidores (Moraes et al., 2013).

Pode-se entao concluir que a implementacao de um SGA para uma Central Termoeletrica implica a introducao de medidas que ajudam a minimizar consumos, a aumentar a eficiencia dos processos e procedimentos existentes, por outro lado, estimulam o desenvolvimento de novas medidas e novos procedimentos sempre que se torne necessario.

A Gestao da Qualidade assenta em normas emanadas na NP EN ISO 9001 onde se especificam os requisitos para um Sistema de Gestao da Qualidade (SGQ), no qual a entidade Gestora da Central Termoeletrica necessita de demonstrar a sua capacidade para, ao mesmo tempo, fornecer produtos – servicos que satisfaçam os requisitos dos clientes e que cumpra as leis e regulamentacao em vigor. Esta norma tambem tem como objetivo melhorar a satisfacao do cliente atraves de uma aplicacao eficiente do Sistema (Fonseca, 2015).

O projeto e a implementacao de um Sistema de Gestao da Qualidade para uma Central Termoeletrica e influenciado por varias necessidades, objetivos especificos, produto fornecido (no caso, energia eletrica), os processos empregados, o tamanho e a estrutura da Central.

A norma ISO 9001 baseia-se em oito principios de Gestao (Fonseca, 2015):

- foco no cliente – entender e satisfazer suas necessidades;
- lideranca – promover a unidade de objetivos e direcao;
- envolvimento das pessoas – proporcionar cooperacao, envolvimento e motivacao das pessoas;
- abordagem por processos – tratar os recursos e as atividades como processos;
- abordagem sistemica para a gestao – abordar os processos por forma a constituirem sistemas;

- melhoria contínua – buscar, a partir de ações de correção e de prevenção, a excelência nos produtos e processos;
- abordagem factual para a tomada de decisões – realizar decisões eficazes com base na análise dedutiva de dados e informações;
- benefícios mútuos nas relações com os fornecedores – estabelecer uma relação mutuamente proveitosa para aumentar a habilidade de agregar valores.

A Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho assenta em normas emanadas na NP EN ISO 45001 que permitem ajudar a atenuar os riscos e a melhorar o rendimento de produção através de condições de trabalho mais seguras e com equipas de colaboradores mais saudáveis. Publicada a 12 de Março de 2018, a ISO 45001 tem como principal objetivo, ajudar as organizações a demonstrar o seu compromisso para com a segurança no local de trabalho e reforçar a reputação das entidades Gestoras junto dos clientes e colaboradores (Bôas, 2018).

Apresentam-se de seguida alguns benefícios da implementação da ISO 45001:

- Proporcionar um local de trabalho mais saudável e seguro – incentivando o envolvimento dos colaboradores para que se evitem acidentes de trabalho e problemas de saúde e melhorar o bem-estar;
- Maximizar a produtividade – mediante o emprego de um processo sistemático para manter os seus colaboradores saudáveis, minimizando deste modo, o tempo de inatividade e permitindo o rendimento diário ideal;
- Reconhecimento global – a ISO 45001 eleva a fasquia para a Saúde e Segurança no Trabalho, o que permite estabelecer um novo padrão, proporcionando aos Gestores uma vantagem competitiva ao concorrer a novos contratos globais.

Apresentam-se de seguida alguns requisitos do Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho (SGSST), acabando por alguns destes, constituírem o cumprimento de obrigações legais:

- Fichas de aptidão de todos os trabalhadores;
- Ficha de notificação da modalidade adoptada para a organização dos serviços de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho (SHST);
- Relatório Anual da actividade dos serviços de SHST;
- Participação das doenças profissionais detectadas pelo médico do trabalho;
- Registos da informação/consulta aos trabalhadores em matéria de SHST;
- Registos de formação ministrada aos trabalhadores em matérias de SHST;
- Participação à Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) dos acidentes graves ou mortais;

- Participação à Seguradora dos acidentes de trabalho;
- Declarações CE de conformidade e equipamentos;
- Manuais de instruções de máquinas e equipamentos;
- Fichas de segurança de produto relativas as substâncias e preparações perigosas;
- Resultados da avaliação dos riscos e os grupos de trabalhadores a eles expostos;
- Lista de baixas por doença, com referência às causas e dias de ausência;
- Listagem das medidas propostas pelos serviços de SHST.

Note-se que as normas ISO são revistas a cada cinco anos pela comissão técnica responsável, a fim de se manterem adequadas e eficazes.

5.2.1 Análise dos Riscos

Os Sistemas de Gestão devem ser orientados para a gestão dos riscos, onde deve assegurar-se a identificação de perigos, avaliação e controlo de riscos. Por forma a identificar tais perigos/riscos, utiliza-se a matriz de risco, que consiste numa tabela, com linhas e colunas, onde se pode identificar a probabilidade e a gravidade das consequências, tal como se pode verificar na Figura 5.1. A principal função da matriz de risco é permitir graduar o nível de risco a partir da probabilidade e da gravidade das consequências (Ferreira, 2008).

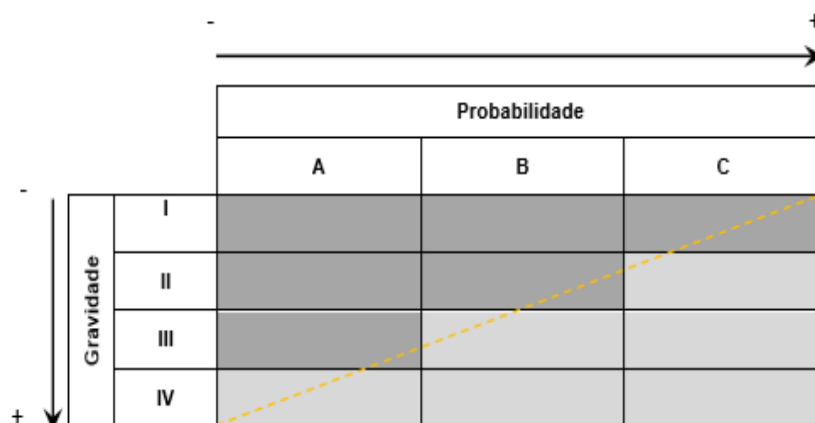


Figura 5.1 – Exemplo de construção de uma Matriz de Risco.

O número de colunas e linhas é variável consoante o número de classes que se adota. As escalas a utilizar para a probabilidade e para a gravidade não têm de ser iguais, alertando-se para o facto de que ao trabalhar-se com escalas diferentes vai trabalhar-se com matrizes assimétricas.

A linha a tracejado representa a isolinha de risco presente na figura anterior. As células a cinzento claro representam o risco não admissível e as células a cinzento-escuro o risco admissível.

Para o risco admissível, não sendo possível alcançar um nível de risco igual a zero, procura-se então fazer um esforço de maneira contínua para que se alcance a máxima segurança possível, e deste modo possa ser aceite pela entidade Gestora do Empreendimento e pela Sociedade que pode eventualmente ser afetada pela atividade.

Uma das formas de se definir os critérios de admissibilidade do risco é o princípio ALARP (*As Low As Reasonably Practicable – Tão baixo quão razoavelmente praticável*). O princípio ALARP consiste em definir dois níveis de risco: o primeiro consiste num nível de risco absoluto “não admissível”, que não pode ser ultrapassado independentemente do custo das medidas. O outro representa o nível abaixo do qual o risco é considerado insignificante e, por isso, não necessita de medidas mitigadoras, para além das já existentes.

A região entre estes dois níveis é denominada por zona ALARP, na qual o risco apenas é tolerado enquanto o prejuízo causado for menor que o custo da implementação de medidas mitigadoras (Ferreira, 2008).

Na Figura 5.2 é possível observar-se a representação das 3 zonas de aceitação do risco, segundo o princípio ALARP.

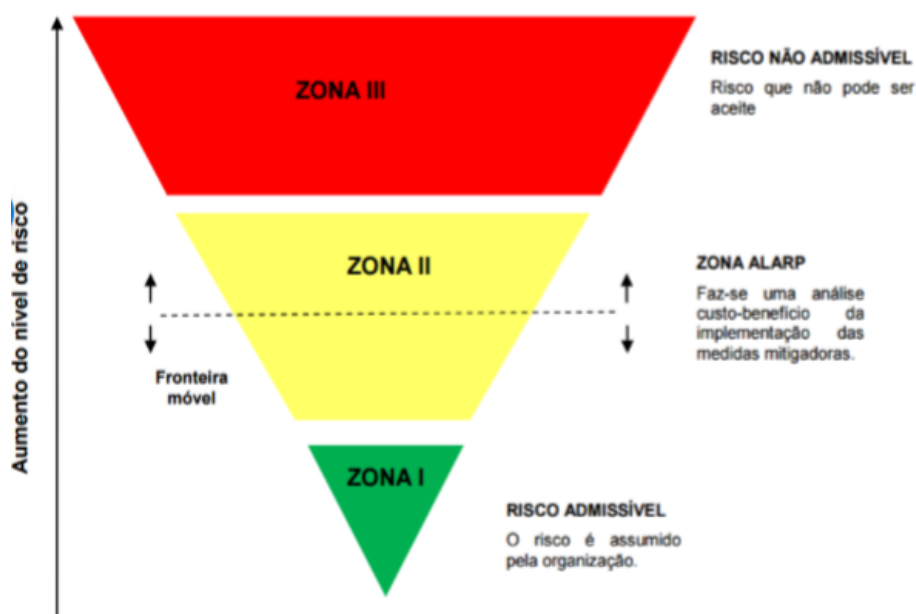


Figura 5.2 – Exemplo de construção de uma Matriz de Risco(Ferreira, 2008).

5.2.2 Auditorias aos Sistemas de Gestao

Para que se mantenham os Sistemas de Gestao acima referidos, adequados a realidade da entidade Gestora e conforme os padroes das normas ISO, e imprescindivel que sejam efetuadas regularmente, auditorias a estes Sistemas para que se garanta a busca constante pela melhoria contnua. Estas auditorias sao efetuadas por equipas qualificadas para o efeito (Oliveira, 2016).

As auditorias podem ser divididas em auditorias internas e auditorias externas. As auditorias internas sao tambem denominadas por *Auditorias de primeira parte*. Estas auditorias de primeira parte, sao realizadas pela propria entidade Gestora do Empreendimento ou por outra entidade em representacao da entidade Gestora. Com a sua realizacao sera possivel realizar uma revisao dos procedimentos em pratica pela entidade Gestora, o que permitira constituir o suporte para uma declaracao de conformidade a elaborar por esta entidade Gestora (Oliveira, 2016).

As auditorias externas podem ser *Auditorias de segunda parte* e *Auditorias de Terceira parte*. As auditorias de segunda parte sao realizadas por entidades com algum interesse na Organizacao, tais como Clientes ou Acionistas. As auditorias de terceira parte sao realizadas por organizacoes externas independentes, que irao proporcionar certificacoes ou registos de conformidade para as normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001.

A norma NP EN ISO 19011 estabelece as linhas de orientacao para a realizacao das auditorias de Sistemas de Gestao de Qualidade e de Ambiente e qualificacao dos auditores.

De seguida, apresentam-se as 6 classificacoes para as auditorias de 3ª parte, realizadas pelas entidades certificadoras:

- Auditoria de Concessao: e uma auditoria realizada para efeitos de certificacao na sequencia da analise do processo de candidatura, que pode ser dividida em 2 fases:
 - Concessao 1ª fase – e uma auditoria para se fazer uma analise preliminar ao estado de implementacao do Sistema de Gestao. Consiste na primeira auditoria externa.
 - Concessao 2ª fase – e uma auditoria realizada para efeitos de concessao da certificacao propriamente dita. Esta auditoria e realizada no primeiro ano da certificacao.
- Auditoria de Acompanhamento: e uma auditoria realizada para efeitos de manutencao da certificacao. Esta auditoria e realizada nos 2 anos seguintes as auditorias de concessao 2ª fase, renovacao ou extensao.

- Auditoria de Renovação: é uma auditoria realizada para efeitos de renovação da certificação. É realizada de 3 em 3 anos.
- Auditoria de Extensão: é uma auditoria realizada para poder tornar a certificação extensível a outras áreas ou processos, não abrangidos pela certificação anterior.
- Auditoria de Transição: é uma auditoria realizada quando é editada uma nova versão da norma e a entidade Gestora do Empreendimento tem que se adaptar a esta nova versão.
- Auditoria de Seguimento: é uma auditoria destinada a avaliar os resultados de medidas corretivas decorrentes de não conformidades graves verificadas numa auditoria anterior (Oliveira, 2016).

5.3 MANUTENÇÃO DE CENTRAIS TERMOELÉTRICAS

As Centrais Termoeletricas, por desempenharem um papel de elevada importância para determinada população (qualidade de vida para habitantes de certa área, indústria e Economia), não podem estar constantemente paradas para manutenção ou reparações. Do ponto de vista da Engenharia Civil, a sua manutenção assume um cariz bastante relevante, pelo que não deve ser descurada ou negligenciada, pois pode comprometer o funcionamento das máquinas.

Existem essencialmente 2 tipos de manutenção (Reis, 2013):

- Manutenção preventiva: onde as intervenções podem ser programadas originando uma certa rotina de intervenções. As manutenções preventivas englobam:
 - Vistoria – inspeção suficientemente pormenorizada que se leva a cabo para detectar eventuais anomalias e problemas de manutenção;
 - Limpeza – com certa periodicidade (sobretudo das superfícies, e em particular, dos elementos drenantes);
 - Pequenas reparações – eventual substituição de elementos de pouca importância;
 - Grandes reparações ou renovações – normalmente associadas à reposição dos materiais de acabamento e revestimento;
- Manutenção curativa: onde as intervenções têm o intuito de responderem a solicitações pontuais que ocorreram sem estarem planeadas.

Para que a manutenção da Central Termoeletrica seja levada adiante sem problemas de maior, é necessário que a entidade que estará responsável por esta tarefa,

tenha ao seu dispor a documentacao que serviu de base a construcao do empreendimento, tais como, Projetos de Estrutura e Fundacoes e Projetos das Instalacoes e Sistemas (Reis, 2013).

Eventualmente, existirao em Pais com certo grau de desenvolvimento, empresas que se dediquem a manutencao deste tipo de empreendimentos, devendo ter nos seus quadros, especialistas com conhecimentos em variadas areas. Para o caso da Central de Ciclo Combinado do Soyo, esta manutencao fica a cargo da empresa responsavel pelo projeto durante o seu periodo de concessao.

5.3.1 Manutencao preventiva da CCC do Soyo

Para a Central de Ciclo Combinado do Soyo, a entidade Gestora programa com certa periodicidade, a limpeza das Torres de Arrefecimento, deste modo, evitando tambem que residuos possam acumular-se e obstruir as bombas que voltam a injetar a agua nas caldeiras.

Continuamente e feita uma inspecao visual de sistemas, maquinas e estrutura da Central, onde sao avaliadas eventuais fissuras estruturais e/ou nos acabamentos exteriores, desprendimentos das camadas de revestimento nos interiores das Torres de Arrefecimento, comportamento das juntas de dilatacao, eventuais assentamentos dos aterros, fissuracao dos pavimentos da bacia de retencao para os tanques de deposito de gasoleo, fugas nos tanques de agua provocadas por roturas dos mesmos ou por fissuras. Tudo isto so sera possivel com uma rotina de inspecoes e com pessoal treinado para o efeito. Quanto mais cedo se identificarem pontos que necessitem de intervencao preventiva, mais breve podera ser a manutencao preventiva, evitando transtornos para todos os intervenientes nesta cadeia.

5.3.2 Manutencao curativa da CCC do Soyo

Por formas a evitar uma manutencao curativa, deve-se dar particular atencao a fase construtiva, nao deixando escapar eventuais pormenores que mais adiante poderao trazer dificuldades a quem gere ou intervem na manutencao. Para tal concorrem situacoes como pontas de armadura e/ou de estribos, ou ainda inadequado recobrimento, levando ao contacto destas pontas de ferro com a agua, que originara a corrosao e penetracao do oxido de ferro pela estrutura, originando o desgaste da camada de protecao de *Mapelastic*; alguma impureza que nao foi devidamente limpa antes da passagem do barramento de 2^a fase ou mesmo pela qualidade da camada de protecao naquela zona sujeita a

temperaturas mais altas de água e a fenómenos de evaporação constantes, conforme se ilustra na Figura 5.3.

Para este tipo de manutenção, uma vez que a mesma é mais demorada, será necessário a elaboração de um planeamento que esteja de acordo com o período de paragem de uma das Torres em concordância com a entidade Gestora do empreendimento.



Figura 5.3 – (a) Dois pontos com pontas de armadura à vista numa parede à cota 11,30m da CCC do Soyo; (b) Dois pontos com pontas de estribo à vista num pilar à cota 0m da CCC do Soyo.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo abordou-se a Gestão e Manutenção de Centrais Termoelétricas, de um ponto de vista mais teórico visto não existirem muitas publicações sobre este tema e para o caso particular da Central de Ciclo Combinado do Soyo, por se tratar da primeira deste género em Angola, pouca informação existe sobre esta matéria.

Para a Gestão de uma Central Termoelétrica, começou-se por introduzir o Sistema Integrado de Gestão (SIG) que compreende a Gestão Ambiental, Gestão da Qualidade e Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho, identificando-se as principais vantagens. Para a Sistema de Gestão do Ambiente (SGA), abordou-se a ISO 14001, enquanto para o Sistema de Gestão da Qualidade, abordou-se a ISO 9001 e finalmente para o Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho (SGSST) abordou-se a ISO 45001.

De seguida, identificou-se a Análise de Riscos como orientação para a Gestão dos Riscos para qualquer dos Sistemas de Gestão acima citados. Como critério de admissibilidade de risco, referiu-se o princípio ALARP (*As Low As Reasonably*

Practicable – Tão baixo quão razoavelmente praticável) que consiste em definir dois níveis de risco: um nível de risco absoluto “não admissível”, que não pode ser ultrapassado independentemente do custo das medidas, e outro que representa o nível abaixo do qual o risco é considerado insignificante e, por isso, não necessita de medidas mitigadoras, para além das já existentes.

Neste subcapítulo da Gestão de Centrais Termoelétricas, concluiu-se com a referência aos vários tipos e fases de auditorias a que os Sistemas estão sujeitos desde a sua validação, acompanhamento e continuidade no processo de certificação.

No subcapítulo da Manutenção de Centrais Termoelétricas, identificaram-se os 2 tipos de manutenção a que estes empreendimentos estão sujeitos: a manutenção preventiva e a curativa, identificando-se algumas características para cada tipo.

Finalmente, apresentaram-se alguns elementos de manutenção preventiva e curativa para a CCC do Soyo, visto que apenas decorreram pouco mais de 12 meses desde a sua receção provisória e pouca informação ainda existe sobre este assunto.

6 CONCLUSOES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 PRINCIPAIS CONCLUSOES

Este trabalho consistiu em retratar alguns dos processos e métodos utilizados durante a construção da Central de Ciclo Combinado do Soyo, por forma a atingir-se o máximo de rendimento deste empreendimento. Visto tratar-se do primeiro empreendimento desta natureza em Angola, e existir pouca informação sobre este tema, procurou-se coligir um conjunto de práticas que conduzam ao mínimo de perdas de tempo associadas a reparações de índole de qualidade de construção, poderá ser bastante útil para futuras construções desta natureza. Com a realização deste trabalho, procurou-se também compilar um conjunto de informação que futuramente possa servir de referência para identificação de algumas atividades e elaboração de programas de trabalhos para obras desta natureza, nomeadamente para quem nunca tenha tido qualquer contato com projetos desta natureza.

No entanto, numa fase inicial houve a necessidade de se apresentarem e discutirem determinados conceitos relacionados com a produção de energia, os quais constituem valências importantes para os engenheiros civis, que no âmbito da construção destas obras têm de interagir com engenheiros e entidades de outras especialidades envolvidos na montagem de instalações e/ou componentes de elevada importância para o bom funcionamento de Centrais Termoeletricas.

Deste modo, para o capítulo 2, apresentou-se uma revisão de alguns conceitos básicos de Energia, nomeadamente os 4 tipos fundamentais de Energia na Natureza (Energia Mecânica, Energia Térmica, Energia Elétrica e Energia Química) e suas principais propriedades. No seguimento, constatou-se que as fontes que originam a Energia permitem agrupá-las em Renováveis ou Não-Renováveis, tendo-se apresentado para cada uma das fontes as vantagens e desvantagens da sua utilização, assim como os principais empreendimentos energéticos que as transformam para ‘‘consumo humano’’.

No capítulo 3, procurou-se apresentar uma perspectiva sobre a compreensão do grau de importância e da complexidade de uma Central Termoeletrica, relacionando com o contexto das necessidades estimadas de consumo e do valor de investimento financeiro. Para o efeito, apresentou-se as principais características (como o arranjo físico e componentes mecânico-elétricos) e classificações para as Centrais Termoeletricas (em função de 6 critérios: Produto Final, Potência Total produzida, Tipo e natureza do combustível usado, Tipo de caldeira, Tipo de esforço e Tipo de máquina térmica). Como resultado destas caracterizações, foi possível aferir o valor do investimento financeiro,

apresentar as vantagens e desvantagens no emprego de uma Central Termoeletrica. Finalmente, destacou-se o papel das fases de projeto (concecao, planeamento e execucao) e de exploracao para as Centrais Termoeletricas, o que permitiu estimar os custos da Energia Eletrica fornecida aos utentes e propor medidas que viabilizem um custo de Energia Eletrica baixo, mas com qualidade.

No capitulo 4, apresentou-se uma abordagem pratica das varias etapas do processo construtivo da Central de Ciclo Combinado do Soyo, em virtude da experiencia vivida. Deste modo, comecou-se por se descrever as fases de construcao para os Tanques Reservatorios de gasoleo e bacia de retencao, os Reservatorios de Agua (Agua Bruta, Agua de combate a incendio e Agua Reutilizada), as Torres de Arrefecimento, a *Culvert* e tambem dos elementos secundarios constituintes da Central. Destacou-se a importancia do revestimento interior (impermeabilizacao) que deve ser dado as torres de arrefecimento e *Culvert*, visto que estarao em permanente contato com agua.

No capitulo 5, perspectivou-se uma abordagem sobre a capacidade de prever e evitar a ocorrencia de situacoes derivadas de solucoes pouco recomendaveis, garantindo-se deste modo, a Qualidade da Construcao. Para o efeito, descreveu-se o mecanismo de Gestao das Centrais Termoeletricas que se baseia no Sistema Integrado de Gestao (SIG), composto pelo Sistema de Gestao Ambiental (ISO 14001), Sistema de Gestao da Qualidade (ISO 9001) e Sistema de Gestao da Saude e Seguranca no Trabalho (ISO 45001), onde foram apresentadas as vantagens de cada um dos Sistemas de Gestao. Foi tambem referido o conceito de analise dos riscos como linha orientadora para os 3 Sistemas de Gestao que compoem o SIG, assim como a importancia e caracteristicas das varias etapas das auditorias, por forma a garantir-se a continuidade dos processos. Finalmente, descreveu-se os tipos de manutencao (preventiva e curativa), a que a Central Termoeletrica esta sujeita na fase de exploracao e, face ao relativo pouco tempo de vida da CCC do Soyo, apresentaram-se algumas situacoes para a manutencao preventiva e curativa desta Central Termoeletrica.

6.2 PERSPETIVAS FUTURAS

No que respeita às perspetivas futuras para o desenvolvimento deste trabalho, existe um vasto conjunto de temas que se podem desenvolver, entre estes alguns que poderão ter outras soluções e alternativas no âmbito deste trabalho.

Do ponto de vista da análise estrutural, seria importante e interessante simular-se o efeito do contínuo movimento da água no interior das Torres de Arrefecimento e *Culvert*, desde a entrada, a sua queda e movimentação para as bombas de reaproveitamento para as caldeiras. Este contínuo movimento das águas sobre as paredes e pórticos, para além de desenvolver tensões em determinadas secções, podem levar ao desgaste do material impermeabilizante, o que também poderá constituir um bom motivo para trabalhos futuros.

Do ponto de vista da construção, seria interessante desenvolver-se trabalhos com soluções alternativas à impermeabilização das Torres de Arrefecimento e *Culvert*, que garantissem a sua durabilidade e longevidade, com um custo relativamente baixo e com uma programação de trabalhos que não comprometessem os prazos finais.

Já do ponto de vista da Gestão e Manutenção de uma Central Termoelétrica, seria interessante e até pioneiro, apresentar-se um estudo prático de Gestão e Manutenção de uma Central Termoelétrica que pudesse servir como guia para outros empreendimentos.

Referências Bibliográficas

- Ambiental, G. (2013). Energia Elétrica das Ondas do Mar. Retrieved June 30, 2019, from <https://meioambiente.culturamix.com/gestao-ambiental/energia-eletrica-das-ondas-do-mar>
- Bõas, M. V. (2018). ISO 45001. Retrieved September 26, 2019, from <https://certificacaoiso.com.br/iso-45001/>
- Bonito, G. (2019). USINAS TERMELETRICAS / PETRÓLEO E GÁS NATURAL BIODIGESTORES / BIOGÁS. Retrieved July 10, 2019, from USINAS TERMELETRICAS / PETRÓLEO E GÁS NATURAL BIODIGESTORES / BIOGÁS website: <https://slideplayer.com.br/slide/290522/>
- Castro, R., & Sousa, D. M. (2014). *O Sistema de Energia Elétrica*.
- Espacios, R. (2017). Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no Mundo: Aspectos ambientais e econômicos. Retrieved July 1, 2019, from <https://www.revistaespacios.com/a17v38n01/a17v38n01p08.pdf>
- Évora, D., & Morais, R. (2011). Como funciona uma Central Eólica? Retrieved June 30, 2019, from <https://rd9centralelectrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais-eolicas/como-funciona-uma-central-eolica/>
- Ferreira, I. H. F. (2008). *Gestão do Risco Industrial numa Central Termoeletrica de Ciclo Combinado*.
- Fonseca, L. (2015). A ISO 9001:2015. Retrieved September 23, 2019, from http://apolo.dps.uminho.pt/eventos/sem_qual2015/sem_qualidade_luis_fonseca.pdf
- Fragmac. (2015). Conheça as vantagens e desvantagens da usina termoeletrica. Retrieved July 13, 2019, from <https://www.fragmaq.com.br/blog/conheca-vantagens-desvantagens-usina-termoeletrica/>
- IPQ. (2016). ISO 14001. Retrieved September 17, 2019, from Espaço Q website: <http://www1.ipq.pt/PT/Site/EspacoQ/novoespacoQ/espacoq117/pdf/117espacoQ012016.pdf>
- Maia, C. (2013). O gerenciamento de projetos. Retrieved July 23, 2019, from 04-05-2013 website: <https://sites.google.com/site/ogerenciamentodeprojetos/a-concepcao-do-projeto>
- Martins, M. de C. O. (2018). Usina Termoeletrica. Retrieved July 15, 2019, from <https://www.coladaweb.com/geografia/fontes-de-energia/usina-termoeletrica>
- Matos, H. C. S. (2015). *Central Termoeletrica de Setúbal a Património Industrial por Reutilização Adaptativa*. Universidade de Lisboa.
- MINEA, R. de A. (2016). ANGOLA ENERGIA 2025 VISÃO DE LONGO PRAZO

- PARA O SECTOR ELÉCTRICO. Retrieved August 14, 2019, from Ministério da Energia e Águas da República de Angola website: www.angolaenergia2025.com
- Moraes, C., Vale, N., & Araújo, J. (2013). *SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO (SGI) E OS BENEFÍCIOS PARA O SETOR SIDERÚRGICO*.
- Oliveira, R. (2016). *Implementação de Um Sistema de Gestão Integrado de Qualidade e Ambiente – estudo de caso*. 86.
- Reis, A. C. dos. (2013). *Organização e Gestão de Obras*.
- Savi, A. A., & Colucci, C. C. (2010). *Termodinâmica*.
- Solutions, M. E. (2019). MAN Energy Solutions (2019). Retrieved August 23, 2019, from brazil.man-es.com/produtos/usinas-termeletricas
- Sousa, R., & Pena, R. A. (2019). Fontes de energia. Retrieved June 22, 2019, from <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-energia.htm>
- Stuchi, G. A. D., Taconelli, M., & Langhi, V. A. B. (2015). *Geração Termelétrica: Principais Componentes e Tipos de Centrais Termelétricas*. Universidade de São Paulo.
- Wikipedia. (2019). Energia. Retrieved June 20, 2019, from <https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia>