



PLANEAMENTO E EXECUÇÃO DE NOVO LAYOUT PRODUTIVO PARA RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA

HENRIQUE COSTA BARROS MAIA

novembro de 2019

PLANEAMENTO E EXECUÇÃO DE NOVO LAYOUT PRODUTIVO PARA RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA

Henrique Costa Barros Maia



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2019

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Henrique Costa Barros Maia, Nº 1121331, 1121331@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Empresa: Continental - Indústria Têxtil do Ave, S.A.

Supervisão: Joaquim Rocha, joaquim.rocha@conti.de



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

Agradecimentos

A realização desta dissertação apenas foi possível graças ao apoio e incentivo de várias pessoas. Assim quero deixar escrito a minha gratidão para com todos os que contribuíram para a realização desta dissertação.

Agradeço à Eng^a Teresa Nogueira pelas condições geradas para que este estágio fosse possível.

Ao Eng^o Joaquim Rocha pela orientação e disponibilidade demonstrada ao longo de todo o período de estágio, seja no acompanhamento da dissertação como na introdução de novos temas e desafios que levaram ao meu crescimento nesta área tão abrangente que é a Engenharia Eletrotécnica.

Aos membros do Departamento de Engenharia, Eng^o Rafael Castro, Eng^o José Ricardo e Eng^o Diogo Nunes pelos ensinamentos, chamadas de atenção e apoio incondicional.

Finalmente, um agradecimento especial aos meus pais e à minha namorada pela confiança depositada em mim e apoio incansável durante todo este percurso académico.

Resumo

As instalações da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A. datam de 1948 pelo que a sua instalação tem vindo a sofrer constantes evoluções ao longo do tempo. O aumento da competitividade do mercado leva à necessidade de constantes ajustes e ao aumento da capacidade de produção.

Com o aumento constante das instalações, a unidade fabril encontra-se neste momento numa situação limite em termos de espaço para a produção, sendo necessário olhar para a forma como estão distribuídos os equipamentos com vista a um ganho de espaços. Através de um estudo de viabilidade entre vários cenários possíveis, escolheu-se fazer a realocização de um posto de transformação para a zona de um outro posto de transformação. Sendo necessário perceber que intervenções eram necessárias fazer e que implicações traria para a instalação. Por fim, para esta intervenção foi feita uma ordem de trabalhos com todas as intervenções necessárias. A ordem de trabalho tem alguns requisitos especiais devido à laboração continua da empresa.

A definição dos requisitos necessários bem como a ordem de trabalho necessária para efetuar uma ação que poderá pôr em causa o funcionamento da totalidade da fábrica são um importante passo para que seja possível o avanço das operações.

Em simultâneo, para colmatar o excesso de carga térmica resultante da contante compactação de máquinas produtivas, foi estudada uma forma de diminuir este efeito. Como tal, foi avaliada a possibilidade de aumento de tensão dos equipamentos produtores de energia térmica, de forma a baixar as correntes causadoras de perdas por efeito de Joule. Os resultados foram satisfatórios, devido à descida de temperatura dos motores, e ao decréscimo da potencia. O estudo foi efetuado utilizando dois equipamentos com a perspetiva de replicar para os restantes quarenta e um equipamentos com características semelhantes.

Este procedimento poderá trazer inúmeras vantagens como: melhoria da qualidade de trabalho dos operadores, melhoria no prolongamento da vida útil dos equipamentos, e diminuição dos custos de produção.

Palavras-Chave

Instalações elétricas, subestação, porto de transformação, rede de média tensão, torcedores, motores de indução trifásico, efeito de Joule.

Abstract

The Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A facilities date from 1948 and they have been subject of constant evolution. The increase of the market's competitiveness makes continual adjustments and the increase of production capacity constant necessities.

With the continual increase of the facilities, the industrial unit has reached a limit situation regarding the space for production. Thus, it is important to understand the way the equipments are distributed in order to obtain some free space. Through a viability study between several possible scenarios, the relocation of a substation to the place of another transformation substation was chosen. Hence, it was necessary to understand which interventions were needed and which implications they would bring. Finally, the intervention was performed according to a work order with all the needed interventions. This work order had some special requirements because of the continuous working flow of the company.

The definition of the necessary requirements as well as the definition of the work order, needed to perform an action that may threaten the functioning of the entire factory, are important steps for the development of the operations.

Simultaneously, to make up for the excess of the thermal charge that resulted from the constant compaction of the production machines, a way of decreasing this effect was studied. Thus, the possibility of increasing the tension of the equipments that produce thermal energy was studied in order to decrease the currents that caused Joule Effect's losses. The study was performed using two equipments to further replicate it in the other forty-one that have similar characteristics.

This procedure may bring several advantages such as: improvement of the work quality of the workers, increase of the life span of the equipment and decrease in the production costs.

Keywords

Electrical installation, substation, transformer substation, medium voltage grid, twisters, three-phase cage induction motors, Joule effect

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2.OBJETIVOS	3
1.3.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	4
2. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS	5
2.1.CONCEITOS GERAIS DE SUBESTAÇÕES	5
2.2.MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	5
2.2.1. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO E CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS.....	6
2.2.2. PERDAS ELÉTRICAS.....	9
2.2.3. PERDAS NO FERRO.....	9
2.2.4. PERDAS MECÂNICAS (DE ATRITO E VENTILAÇÃO).....	11
2.2.5. AVARIAS ELÉTRICAS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS (CURTO-CIRCUITO NOS ENROLAMENTOS).....	11
2.3.DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO.....	12
2.3.1. CORRENTE DE SERVIÇO E CORRENTE ADMISSÍVEL.....	12
2.3.2. PROTEÇÃO CONTRA AS SOBREINTENSIDADES.....	15
2.3.2.1. PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGAS.....	15
2.3.2.2. PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS.....	16
2.3.3. CONDIÇÃO DE QUEDA DE TENSÃO.....	17
2.4.REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE SUBESTAÇÕES E POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E DE SECCIONAMENTO.....	18
3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	20
3.1.REDE DE MÉDIA TENSÃO	20
3.2.POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 1 (PT1).....	21
3.3.POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 2 (PT2).....	22
3.4.POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 3 (PT3).....	23

3.5. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 4 (PT4)	24
3.6. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS DA C-ITA	25
4. METODOLOGIA APLICADA AO NOVO LAYOUT PRODUTIVO	28
4.1. SUBESTAÇÃO	29
4.2. ALTERAÇÕES À REDE DE MÉDIA	31
4.2.1. ESTUDO DE RELOCALIZAÇÃO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 3 PARA A ZONA DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 4	33
4.2.2. ESTUDO DE RELOCALIZAÇÃO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 3 PARA A ZONA DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 4	36
4.2.3.1. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO A PARTIR DO PT4 REFORMULADO	38
4.2.3.2. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO Q8	40
4.2.3.3. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO Q. ZELL	43
4.2.3.4. RESUMO DO QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 3.1	44
4.2.3.5. PERDAS POR EFEITO DE JOULE PARA O QGBT 3.1	44
4.2.3.6. PERDAS POR EFEITO DE JOULE PARA O QGBT 3.1	46
4.2.3.7. PERDAS POR EFEITO DE JOULE PARA O QGBT 4.1	47
4.2.4. ESTUDO DAS FASES DO PROJETO / ORDEM DE TRABALHOS	48
4.2.4.1. FASE 1	49
4.2.4.2. FASE 2	50
4.2.4.3. FASE 3	52
4.2.4.4. FASE 4	56
4.2.4.5. FASE 5	57
4.3. INTERVENÇÃO NAS MÁQUINAS PRODUTIVAS	58
4.3.1. TORCEDORES ICBT'S	59
4.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ICBT'S	60
4.3.3. AUMENTO DE TENSÃO NO ICBT 11 E 12	63
4.3.3.1. ENSAIOS DE AUMENTO DE TENSÃO NO ICBT 11	64
4.3.3.2. ENSAIOS DE AUMENTO DE VELOCIDADE NO ICBT 11	67
5. CONCLUSÕES	73
5.1. ANÁLISE CONCLUSIVA	52
5.2. TRABALHOS FUTUROS	74
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	75

Índice de Figuras

Figura 1 - Máquina de empregar tela Beninger Zell	2
Figura 2 - Imagem em corte de um motor de indução com rotor em gaiola de esquilo	8
Figura 3 - Diagrama energético do motor de indução trifásico	8
Figura 4 - Curva de magnetização e ciclo histerético (Soares, 2018)	10
Figura 5 - Interpretação da Norma IEC 60364-5-52 para instalações com produção de harmónicos	15
Figura 6 - Esquema do anel de Média Tensão	20
Figura 7 - Celas de média tensão do posto de transformação 1	21
Figura 8 - Transformadores do posto de transformação 1	22
Figura 9 - Vista geral do PT2	23
Figura 10 - a) Zona de MT e transformador a óleo 3.1; b) Quadro geral de baixa tensão 3.1	23
Figura 11 - a) Edifício de posto de transformação 4; b) Zona dos quadros de MT e transformador 4.1	24
Figura 12 - Quadro geral de baixa tensão 4.1	24
Figura 13 - Subestação 60/15kV da Continental - Indústria Têxtil do Ave S.A.	29
Figura 14 - Planta do piso -1, salão 2	35
Figura 15 - Edifício do posto de transformação 4 depois da intervenção feita em 2018	36
Figura 16 - Cella seccionamento em alvenaria do PT3	37

Figura 17 - Comparação dos <i>Layouts</i> da rede de MT antes da intervenção e depois da intervenção	38
Figura 18 - Esquema unifilar de distribuição do QGBT 3.1	40
Figura 19 -a) Quadro Q8; b) Chapa de características do Q8	41
Figura 20 - Alteração do Q8 para o Mezanino	43
Figura 21 -a) Mezanino do salão 2, b) Espaço para o Q8 no mezanino	43
Figura 22 - Parte do quadro da máquina de impregnar Zell	44
Figura 23 - Imagem geral do posto de transformação 4 antes e depois da intervenção	50
Figura 24 - PT4 atualmente (destaque para o caleiro usado para passagem de cabos)	54
Figura 25 - desenho do projeto (destaque para o caleiro usado para passagem de cabos)	54
Figura 26 - Vista frontal do PT4 antes da alteração (destaque para uma só pota, e grelha simples na lateral)	55
Figura 27 - Vista frontal do PT4 depois da alteração (destaque para o surgimento de duas portas, e sem a grelha simples na lateral)	55
Figura 28 - Ventilação e desenfumagem atualmente	56
Figura 29 - Ventilação e desenfumagem desejada	56
Figura 30 - Torcedor ICBT	60
Figura 31- a) Esquema da torção, b) Imagem do fuso em funcionamento	60
Figura 32 – a) Transformador 380/460V, b) Chapa de características do transformador	61
Figura 33 - Quadro do torcedor ICBT 9	62
Figura 34 – a) Variador de velocidade KAB, b) Chapa de características do variador de velocidade KAB	64

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quedas de tensão máximas admissíveis	17
Tabela 2 - Aumento da carga solicitada à subestação por intervalos de tempo de 10 anos	30
Tabela 3 – Corrente máximas dos equipamentos	31
Tabela 4- Descrição do cenário 2 para a realocação do PT1 para a zona do PT4 e realocar o PT3 para a zona do PT2	32
Tabela 5- Descrição do cenário 2 para a realocação do PT1 para a zona do PT2 e realocar o PT3 para a zona do PT4	33
Tabela 6 - Potência dos equipamentos alimentados pelo Quadro Q8	41
Tabela 7 – Comparação da corrente Ib, In e Iz	42
Tabela 8 - Tabela resumo do QGBT 3.1	45
Tabela 9 - Comparação das perdas em energia por efeito de Joule na canalização do QGBT 3.1	46
Tabela 10 - Comparação dos custos com perdas por efeito de Joule na canalização do QGBT 3.1	46
Tabela 11 - Resumo do QGBT 4.1	47
Tabela 12 - Comparação das perdas em energia por efeito de Joule na canalização do QGBT 4.1	48
Tabela 13 - Comparação dos custos com perdas por efeito de Joule na canalização do QGBT 4.1	49
Tabela 14 - " <i>Time-Line</i> " da primeira fase de implementação do projeto de realocação do PT3	51
Tabela 15 - " <i>Time-Line</i> " da segunda fase de implementação do projeto de realocação do PT3	51

Tabela 16 - " <i>Time-Line</i> " da terceira fase de implementação do projeto de realocação do PT3	53
Tabela 17 - " <i>Time-Line</i> " da quarta fase de implementação do projeto de realocação do PT3	57
Tabela 18 - " <i>Time-Line</i> " da quinta fase de implementação e custo aproximado do projeto de realocação PT3	58
Tabela 19 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11	66
Tabela 20 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11	66
Tabela 21 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11	67
Tabela 22 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11 (*diferença baseada na média ponderada)	67
Tabela 23 - Simulação dos encargos caso a redução de 2% do consumo se verificasse em todos os torcedores	68
Tabela 24 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11	69
Tabela 25 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11	70
Tabela 26 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11	70
Tabela 27 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11 (*diferença baseada na média ponderada)	71
Tabela 28 - Comparação das temperaturas com todos os ensaios	72

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Distribuição de consumos da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.	26
Gráfico 2 - Evolução da potência solicitada à Subestação	30

Lista de Acrónimos

BT	Baixa Tensão
CFP	Correção de fator de potência
C-ITA	Continental – Indústria Têxtil do Ave
IEC	International Electrotechnical Commission
MT	Média tensão
PT	Posto de transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RTIEBT	Regras técnicas de instalações elétricas de baixa tensão
THD	Distorção harmónica total
TN-C	Neutro do transformador ligado à terra e massas ligadas ao neutro desempenhando esta função de proteção elétrica
TN-S	Neutro do transformador ligado à terra e massas ligadas ao neutro existindo condutor de proteção distribuído

1. INTRODUÇÃO

Com vista ao desenvolvimento de uma dissertação para o término do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia, foi proposta a realização de um estágio curricular em ambiente industrial. Para tal foram utilizadas as instalações da Unidade Industrial da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A..

As instalações da Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. datam de 1948 tendo a sua instalação eléctrica evoluído ao longo do tempo através de constantes alterações. A crescente competitividade do mercado leva à necessidade de aumentar o volume de produção da unidade fabril pelo que a aquisição de novas máquinas e a remodelação do *layout* produtivo tem sido frequente no decorrer dos últimos anos. Este crescimento é refletido de forma bastante acentuada no consumo de energia eléctrica. Assim, o presente trabalho visa o melhoramento do *layout* da produção e melhoramento das condições de trabalho, com racionamento de energia.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia, ministrado pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Desenvolveu-se tendo como base as instalações da Continental-Indústria Têxtil do Ave, S.A.

A Indústria Têxtil do Ave (ITA), inicialmente designada por INTEX, foi fundada por Henrique Malheiro a 16 de dezembro de 1948, sendo que este projeto foi pensado para produção de telas que serviam para reforçar a estrutura do pneu fabricado na Mabor.

Na história da Indústria Têxtil do Ave (ITA) são várias as datas fulcrais para o seu desenvolvimento.

Em 1988, o Banco Borges & Irmão vendeu ao grupo Amorim a sua participação na INTEX passando a empresa, a partir dessa data, a designar-se ITA. Em 1992 foi adquirida a máquina mais importante do processo produtivo da ITA, a máquina de impregnar tela para pneus. A figura 1 mostra uma vista exterior da máquina de impregnar tela para pneus.



Figura 1 - Máquina de empregnar tela Beninger Zell

A ITA foi considerada umas das primeiras empresas a conseguir o certificado do Sistema de Gestão da Qualidade (norma ISO9002), em 1993 e mais tarde, em 1998, o certificado do Sistema de Gestão Ambiental (norma ISO14001).

Atualmente a Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A. (C-ITA) tem uma área total de 52 329 m², dos quais 30153m² em área coberta. Tem uma produção anual de 14 mil toneladas de tecidos e cordas para pneus, sendo que na produção destes são utilizadas as seguintes matérias primas: rayon, nylon, poliéster e aramida.

Em instalações como estas, a expansão e a introdução de máquinas novas, bem como a constante evolução dos processos de fabrico, são uma realidade. No entanto, todas estas expansões levam a que haja um défice de espaço disponível e a uma restrição de capacidade instalada para abastecer todos os equipamentos da empresa. Tendo isto em conta, surgiu a necessidade de adaptar a instalação ao aumento do consumo, bem como de relocalizar alguns equipamentos, com vista a uma melhor distribuição da energia e à criação de espaços livres para espaço fabril. Para este efeito foi estudada a melhor solução para mudança do posto de transformação bem como de alguns quadros elétricos e consequente adaptação dos mesmos às novas necessidades de energia.

A C-ITA é uma empresa que tende a ter inúmeros cuidados na projeção de alterações e, apesar de todos os projetos do departamento de engenharia serem realizados com vista a minimizar as perdas energéticas, constatou-se que parte das máquinas produtivas estariam a afetar gravemente a eficiência da instalação. Os equipamentos em questão sempre foram equipamentos que, devido às suas características, libertam uma quantidade considerável de calor, pondo em causa o conforto e a segurança dos operadores.

Ao longo dos anos foram tomadas medidas para minimizar os problemas causados pelo aquecimento das máquinas. As medidas passaram pela introdução de sistemas adiabáticos de climatização e a colocação das máquinas num regime de produção mais baixo para que libertassem menos calor. Por outro lado, foram sendo introduzidos mais equipamentos e, por falta de espaço, as máquinas em questão foram sendo compactadas. Esta compactação dificulta o trabalho das centrais de climatização que acabam por não ter capacidade para cumprir os requisitos para o conforto dos operadores.

1.2. OBJETIVOS

Para um trabalho desta envergadura e com o grau de complexidade imposto, não é esperada a implementação total dos projetos, mas sim a validação e o planeamento dos passos necessários para o sucesso das intervenções. Assim, inicialmente é necessário tomar conhecimento de todas as partes essenciais da instalação, bem como de todos os seus consumos energéticos.

Tendo em conta o contexto do projeto foi necessário compreender a rede de alta e média tensão de forma a perceber de que forma se poderá intervir. Um dos objetivos foi a criação de espaços livres para que, posteriormente, fossem utilizados no processo produtivo da

empresa. Para a libertação de espaço tiveram de ser estudadas todas as opções possíveis para realocação do posto de transformação 1 e 3. Com este estudo será determinado qual o posto de transformação a ser realocado bem como toda a estrutura necessária para acolher esta empreitada e todo o estudo da intervenção. Com esta alteração também será feita a modificação de alguns quadros de distribuição de energia elétrica e alterações ao anel de media tensão.

Com vista à racionalização da energia foi estudada a melhor forma de diminuir as perdas energéticas nos equipamentos de maior consumo do parque de máquinas da C-ITA e aumentar a capacidade de produção das mesmas.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Esta dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos. O primeiro capítulo, “Introdução”, é dedicado à contextualização do trabalho e da empresa na qual foi realizado o projeto.

No segundo capítulo, “Instalações Elétricas Industriais”, são abordados os temas teóricos que fundamentam o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação, começando por uma abordagem geral ao Regulamento de Segurança de Subestações e Posto de Transformação e de Seccionamento, passando pelo tema dos motores de indução trifásicos, e termina fazendo uma breve explicação da forma de dimensionamento da canalização que foi usada no quarto capítulo.

O terceiro capítulo, “Caracterização do caso de estudo”, serão apresentados algumas das características e alguns dos equipamentos relevantes para a instalação industrial da C-ITA, com esta caracterização será mais fácil compreender os estudos e intervenções feitos ao longo de todo o capítulo 4

O quarto capítulo, “Trabalho Prático Desenvolvido”, são apresentadas as características gerais da instalação elétrica, as várias propostas para aproveitamento do espaço fabril e para a alteração do *layout*. São também expostos testes para a racionalização da energia elétrica e melhorias de qualidade de trabalho para os operadores.

No quinto e último capítulo, “Conclusões”, são apresentadas as conclusões retiradas durante a elaboração desta dissertação.

2. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

2.1. CONCEITOS GERAIS DE SUBESTAÇÕES

Uma subestação é uma instalação que faz a ligação entre elementos do sistema elétrico, estes elementos podem incluir geradores, linhas de distribuição ou transporte, e até consumidores finais de energia.

Em termos de classificação quanto à função, as subestações podem ser de um dos três tipos: subestação elevadora, subestação de transmissão, subestação de distribuição.

Sendo a subestação elevadora localizada perto das centrais de produção de energia elétrica e elevam a tensão para o nível de transporte. As subestações de transmissão são alimentadas pelas linhas de muito alta tensão e alta tensão, fazem a interligação entre as linhas e por vezes alimentam outras subestações. Ao nível das subestações de distribuição tendem a estar mais perto dos centros populacionais, estas diminuem a tensão para níveis de distribuição primária podendo pertencer a empresa concessionária da rede ou a grandes consumidores, como é o caso da subestação da C-ITA apresentada na secção 294.1, deste documento (Nogueira, 2013).

Dependendo do objetivo da instalação, esta tomar níveis de tensão distintos. No caso da rede elétrica nacional a distribuição e transporte de energia elétrica em alta tensão é feita a 60 kV, e em média tensão a 30kV, 15 kV e 10kV. Havendo ainda redes de pequena dimensão com o nível de tensão de 132kV na zona norte do país e a 6kV, na zona sul (ERSE, 2017)

2.2. MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Numa análise à escala global, é estimado pela Agência Internacional de Energia (AEI) que os sistemas que utilizam motores elétricos são responsáveis por 46 % da utilização de energia elétrica, aproximadamente dez vezes mais do que o segundo maior consumidor, a iluminação

(H. Falkner, 2011). A grande maioria das aplicações industriais de força-motriz assenta em Motores de Indução Trifásicos (MIT), pelo que o seu rendimento tem um impacto determinante no consumo global de energia. Considerando todo o ciclo de vida do motor, os valores típicos de consumos de energia elétrica rondam os 95 % do total de custos, ou seja, o valor de consumo de energia elétrica superioriza em 20 vezes o custo de investimento e, por esse motivo, é providencial implementar uma estratégia para encorajar o aproveitamento do potencial de redução de consumo dos motores elétricos. A publicação da norma IEC 60034-30 em 2014 é disso exemplo. Nesta é definido um sistema universal de classificação do rendimento nominal, com a atribuição do Índice de Eficiência. Esta classificação está diretamente associada ao rendimento estipulado da máquina, o qual pode ser determinado por um dos métodos expostos na recente norma IEC2, também publicada no ano de 2014, fazendo retificações à 1ª edição de 2007. Com efeito, a determinação do rendimento não está submetida a uma única metodologia e este é um assunto onde o consenso não tem sido reunido, devido à dificuldade na classificação e quantificação das perdas suplementares. Esta dificuldade influencia diretamente a determinação do rendimento dos MIT, a máquina de conversão eletromecânica rotativa mais utilizada na indústria, à escala global.

2.2.1. MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO E CARACTERIZAÇÃO DAS PERDAS

Na indústria têxtil, as máquinas de maior consumo são os motores de indução com rotor em gaiola de esquilo, por comparação às restantes tipologias de máquinas rotativas. Este alto consumo aliado à sua multiplicidade de aplicações e grande robustez, representaram fatores significativos na escolha de tipologia de motor a ser alvo de estudo e caracterização ao longo deste trabalho.

O motor de indução foi desenvolvido por Nikola Tesla e a sua patente ficou registada no ano de 1888 (McCormick, 2009). O MIT é uma máquina elétrica rotativa que transforma energia elétrica em energia mecânica através do fenómeno de indução eletromagnética. As bobinas correspondentes a cada fase são deslocadas entre si 120° elétricos e distribuídas ao longo das ranhuras do estator. Esta distribuição proporciona a formação de três campos magnéticos pulsantes centrados no eixo de cada fase, cuja distribuição no espaço apresenta a forma de onda sinusoidal. Pelo teorema de *Ferraris*, é demonstrado que a soma dos três campos magnéticos, origina um campo rotacional ao longo do entreferro de amplitude máxima

constante, denominado de campo girante (B. Carvalho & Instituto, 2014). Por consequência da variação do fluxo magnético criado pelo campo girante, e segundo a lei de Faraday, são induzidas forças eletromotrizes nos circuitos elétricos. Assim, são originadas correntes a circular no rotor com as barras curto-circuitadas a partir de anéis nas extremidades, o qual é chamado de rotor em gaiola de esquilo. De acordo com a lei de Laplace, um condutor, neste caso as barras do rotor, percorrido por uma corrente no seio de um campo magnético é submetido a uma força que o fará descolar, originando assim binário motor. Pela lei de Lenz, a força eletromotriz induzida fará com que a corrente que circula nos condutores elétricos apresente sempre um sentido, e o efeito magnético tende sempre a opor-se á causa que lhe deu origem (B. Carvalho & Instituto, Circuitos Magnéticos e Electromagnetismo, 2013). Em normal funcionamento, no MIT, a velocidade do rotor nunca atingirá a velocidade de sincronismo, e se estas se igualassem, não seria induzida nenhuma força eletromotriz no rotor.

Todos os MIT com rotor em gaiola de esquilo poderão ter algumas variações na sua construção, no entanto, para que seja possível o seu bom funcionamento é usual serem constituídos tal como se apresenta na Figura 2, por:

- Estator:
 - Circuito magnético;
 - Bobinagem estatórica;
- Rotor:
 - Circuito magnético;
 - Barras e anéis que constituem a gaiola de esquilo;
 - Veio;
- Rolamentos;
- Tampas;
- Ventiladores;
- Carcaça e caixa de ligações;



Figura 2 - Imagem em corte de um motor de indução com rotor em gaiola de esquilo

Devido às perdas que se manifestam no funcionamento das máquinas elétricas rotativas, a energia elétrica fornecida não é igual à potência mecânica que chega ao veio da máquina. Isto acontece devido às perdas que se manifestam no funcionamento do motor, tal como é explícito no diagrama da Figura 3.

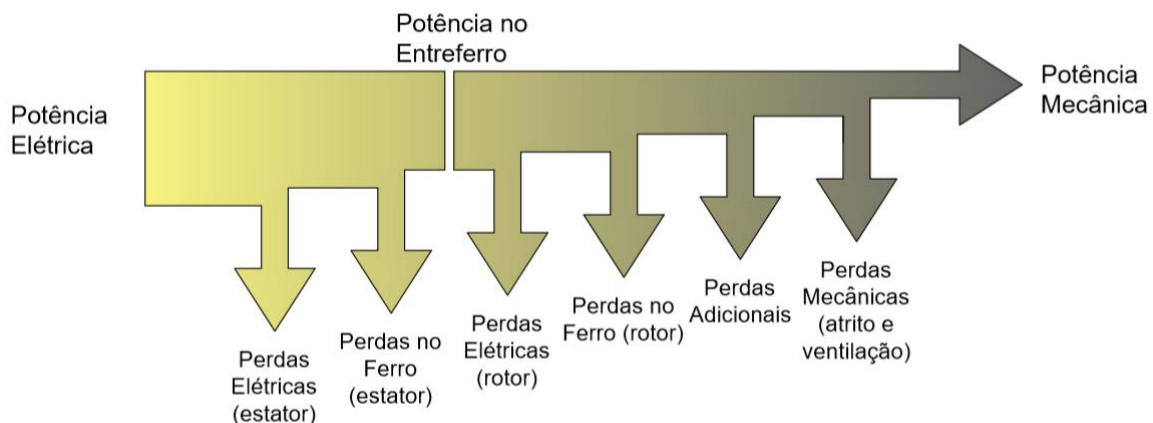


Figura 3 - Diagrama energético do motor de indução trifásico

Ao serem conhecidos os vários tipos de perdas que fazem parte do fluxo energético do motor elétrico e as suas causas, podem ser feitas melhorias de uma forma mais eficiente do motor, possibilitando a avaliação de materiais, suas características, melhorias no projeto e das técnicas de fabrico. De seguida, serão descritas as diversas componentes de perdas, inclusive as perdas convencionais, em que não existe um consenso quanto às causas que o originam, e as perdas suplementares, verificando-se que existem autores que sustentam diferentes origens para o seu aparecimento.

2.2.2. PERDAS ELÉTRICAS

As perdas elétricas, também denominadas como perdas no cobre, ou perdas por efeito de Joule, são manifestadas pela dissipação de calor originado pela circulação de corrente elétrica nos condutores do motor. Conseguimos fazer uma correlação com as perdas que se verificam nas canalizações elétricas onde a resistência dos diferentes materiais e a corrente influenciam notoriamente o aquecimento do cabo.

A corrente elétrica flui desde a chegada da alimentação nos terminais da caixa de ligação, cabos e ligações, e percorre todos os fios condutores dos enrolamentos que preenchem as ranhuras do estator. Também no rotor em gaiola de esquilo, estas se manifestam nas barras de cobre e nos anéis de curto circuito. Fatores como o enchimento das ranhuras, o número de espiras, a secção dos fios condutores, a secção dos cabos de ligação entre a bobina e a caixa de ligações, os terminais e as ligações executadas, influenciam de forma quantitativa as perdas elétricas, devido à resistência, que depende do comprimento, da secção e da resistividade do condutor elétrico. As perdas elétricas (p_{el}), são proporcionais à resistência, R , e ao quadrado da corrente elétrica, I .

2.2.3. PERDAS NO FERRO

A formação de um circuito magnético é essencial no funcionamento da máquina elétrica, utilizando-se material ferromagnético, como o ferro, que assegura uma boa permeabilidade magnética. A permeabilidade do material, juntamente com a geometria do rotor e do estator, assume um papel preponderante no funcionamento da máquina (B. Carvalho & Instituto, Circuitos Magnéticos e Electromagnetismo, 2013). No entanto, devido às propriedades destes materiais, estes não apresentam características ideais, o que é evidente através da curva de magnetização de materiais ferromagnéticos, tal como é exposta na curva tracejada da Figura 4, deste o ponto 0 até ao ponto 1.

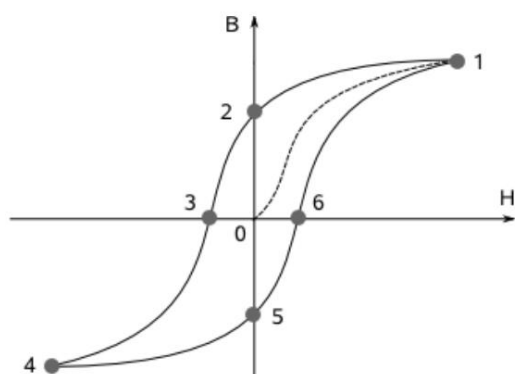


Figura 4 - Curva de magnetização e ciclo histerético (Soares, 2018)

O aumento gradual da densidade de fluxo magnética, B , num material ferromagnético, originado pela excitação magnética, H , não apresenta uma variação linear, tal como ilustra a curva de magnetização Figura 4. A par disso, o material ferromagnético pode ser sujeito ao fenómeno de saturação para valores de excitação magnética elevados, em que a relutância do material passa a ser elevada, tal fenómeno evidencia-se a partir do ponto 1 da Figura 4. Considerando uma variação lenta da excitação magnética, de forma de onda sinusoidal e a desmagnetização do material ferromagnético num estado inicial, a densidade de fluxo desse mesmo material apresentaria a evolução desde o ponto 0 até 6 e tornava a voltar para um valor muito próximo da densidade verificada no ponto 1. Este ciclo é denominado ciclo histerético. No fenómeno de histerese verifica-se que a densidade de fluxo se apresenta em atraso em relação à excitação magnética e que quanto maior for a área do ciclo histerético maiores serão as perdas devido à histerese (B. Carvalho & Instituto, Circuitos Magnéticos e Electromagnetismo, 2013). Outra das causas que origina perdas no material ferromagnético é a variação rápida de densidade de fluxo no mesmo, que provoca o aparecimento de uma força eletromotriz induzida, e consequentemente correntes induzidas, as quais são designadas de correntes de Foucault. A circulação de correntes de Foucault causa aquecimento no ferro, e por esse motivo, o estator e o rotor apresentam chapas magnéticas de espessura reduzida e isoladas entre si, de forma a reduzir a secção, o que leva ao aumento da resistência eléctrica e à atenuação das perdas de corrente de Foucault (B. Carvalho & Instituto, Circuitos Magnéticos e Electromagnetismo, 2013). As perdas no ferro, pfe, são então obtidas pelo somatório das perdas de histerese, p_H , e das perdas de correntes de Foucault, p_{cF} , tal como indica a expressão 2.

$$p_{fe} = p_H + p_{cF} \quad [1]$$

2.2.4. PERDAS MECÂNICAS (DE ATRITO E VENTILAÇÃO)

O motor de indução é uma máquina de conversão eletromecânica rotativa, constituído pelo estator (parte fixa) e pelo rotor (parte móvel). O rotor é assente sobre rolamentos montados nas duas tampas nas extremidades. Devido ao movimento rotacional do rotor nos rolamentos, é causada fricção entre os anéis e as esferas dos rolamentos, originando perdas e aquecimento devido ao atrito mecânico.

Os motores normalmente são equipados com ventiladores no seu veio, que têm como função a refrigeração, auxiliando a dissipação do calor do interior do motor para o exterior, mas aumentando as perdas mecânicas. As perdas mecânicas, p_m , dependem essencialmente da velocidade de funcionamento, e são o conjunto das perdas de atrito, p_a , e das perdas de ventilação, p_v .

$$p_m = p_a + p_v \quad [2]$$

2.2.5. AVARIAS ELÉTRICAS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS (CURTO-CIRCUITO NOS ENROLAMENTOS)

Um dos fatores preponderantes para o bom funcionamento dos MIT está contido na criação do capo magnético girante, no estator. O Estator é constituído por enrolamentos e pelas cavas, onde são encaixados os enrolamentos. Estima-se que grande parte das avarias nos MIT se deva a problemas nesta parte do motor (A. Siddique, 2005).

Todas estas avarias partilham a mesma causa, a deterioração do isolamento. As grandes variação de temperatura a que o isolamento está sujeito é considerada a principal causa responsável pela deterioração deste material. Estima-se que, para um aumento de cada 10°C acima da temperatura normal de funcionamento da máquina, a vida útil do isolamento poderá ser reduzida para metade. É importante realçar que, um motor é projetado para trabalhar a uma determinada temperatura, e que um aumento da mesma é por si só, um indicador de avaria. Este aumento, pode ser provocado pelos seguintes fatores (A. H. Bonnett and G. C. Soukup, 1992) (Gnacinski, 2008).

2.3. DIMENSIONAMENTO E PROTEÇÃO DE CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

O dimensionamento e proteção de canalizações elétricas baseia-se em pressupostos legais definidos pelas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT).

O objetivo fundamental do dimensionamento é determinar a secção do cabo ou condutor a instalar e a corrente estipulada do respetivo dispositivo de proteção de forma a cumprir com as condições técnicas aplicáveis pelas RTIEBT.

Os cabos e dispositivos de proteção devem garantir uma série de condições em toda a sua extensão, de modo a garantir a segurança e fiabilidade da instalação. Estes devem estar preparados para suportar a corrente que irá circular em condições normais, assim como as sobreintensidades que possam ocorrer por curtos períodos. As condições de queda de tensão devem também ser cumpridas de modo a garantir a tensão necessária nos circuitos finais para um bom funcionamento das mesmas.

Por vezes existe a ideia de que se deve considerar o valor mínimo possível para a secção da canalização, desde que sejam garantidas as condições de dimensionamento, de forma a diminuir o valor do investimento inicial. Contudo, esta ideia é errada uma vez que uma secção menor irá ter maiores perdas por efeito de Joule. A longo prazo, isto pode significar um maior custo de exploração devido ao custo da energia elétrica.

Por tudo isto, e tendo em conta as condições de dimensionamento definidas pelas RTIEBT, é aconselhável realizar um estudo económico ao nível das perdas por aquecimento da canalização.

2.3.1. CORRENTE DE SERVIÇO E CORRENTE ADMISSÍVEL

Para o dimensionamento de uma instalação elétrica é utilizado o valor da intensidade de corrente de serviço como valor base de partida. Esta intensidade de corrente corresponde à corrente máxima que irá percorrer no circuito em condições normais bem como à potência nominal das cargas em simultâneo. O valor da intensidade de corrente de serviço é determinado estimando as potências de carga ou, mais concretamente, a potência aparente de carga da instalação. A intensidade de corrente nos condutores de fase de uma rede monofásica denominada também intensidade de corrente de serviço é dada por:

$$I_b = \frac{S}{U_{ns}} \quad [3]$$

No caso de necessidade de calcular uma rede trifásica equilibradas, o valor da corrente de serviço é dada pela expressão:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_{nc}} \quad [4]$$

Se aplicável poderão ser utilizados fatores de simultaneidade e de utilização. A possibilidade de utilização destes valores deve-se ao facto de se considerar que a utilização das cargas existentes a jusante de um dado ponto de uma instalação elétrica não é, regra geral, simultânea. Assim, não fará sentido dimensionar a instalação para uma intensidade de corrente de serviço associada à soma das potências de carga. Não só o investimento seria muito mais elevado como também os períodos em que todas as cargas estivessem ligadas em simultâneo seriam muito curtos ou mesmo inexistentes.

No caso de instalações industriais o valor da corrente de serviço surge da sensibilidade e da experiência dos projetistas/instaladores, pois cada área da indústria tem características diferentes.

No que respeita à corrente admissível (I_z) o seu valor obtém-se a partir de tabelas fornecidas pelos fabricantes de cabos elétricos sendo eventualmente afetado por um ou mais fatores de correção para a situação de montagem e condições locais. Os fatores usualmente fornecidos pelos fabricantes referem-se às correções seguintes:

- Características do condutor e do isolamento;
- Cabos enterrados, em grupos;
- Cabos instalados ao ar, em grupos;
- Temperatura ambiente;
- Resistividade térmica do terreno.

A corrente admissível (I_z) pode ser afetada por um ou mais fatores de correção tendo em conta a situação de instalação ou características do ambiente onde se insere. Geralmente os fatores de correção aplicam-se devido:

- Agrupamento de cabos;
- Temperatura ambiente ou do solo;
- Presença de distorção harmónica na instalação elétrica.

Os fatores a aplicar são multiplicativos, ou seja, a referência toma o valor 1, podendo-se aplicar por exemplo um fator de correção de 0,9 que reduz a corrente admissível da canalização para 90%. O valor a considerar aquando a verificação das condições de dimensionamento será sempre o valor de I_z após correções. Os valores de correntes admissíveis, assim como fatores de simultaneidade e fatores de correção podem ser consultados nas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

Para o caso da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A. que é uma empresa cuja suas máquinas produtivas geram muitos harmónicos, é feita uma interpretação do que é descrito na norma IEC 60364-5-52. Esta indica os fatores de depreciação a considerar no dimensionamento de canalizações elétricas com presença de distorção harmónica em função da percentagem de distorção harmónica da corrente presente ou expectável para a canalização em questão, tal como se pode verificar na Figura 5.

	THDI <= 15%	15% < THDI <= 33%	33% < THDI <= 45%	THDI >= 45%
Circuitos monofásicos	Sneutre <= Sphase	Sneutre <= Sphase	Sneutre = Sphase	Sneutre = Sphase
Circuitos trifásicos + neutro			Sneutre = Sphase	
■ Cabos multipolares	Sneutre = Sphase	Sneutre = Sphase	Sneutre déterminante	Sneutre = Sphase
■ Sphase <=		Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase	Sneutre déterminante
○ 16mm ² Cu ou			Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase
○ 25mm ² Al				
Circuitos trifásicos + neutro			Sneutre = Sphase	
■ Cabos multipolares	Sneutre = Sphase/2 admis	Sneutre = Sphase	Sneutre déterminante	Sneutre = Sphase
■ Sphase >	Neutro protegido	Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase	Sneutre déterminante
○ 16mm ² Cu ou			Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase
○ 25mm ² Al				
Circuitos trifásicos + neutro			Sneutre > Sphase	
■ Cabos unipolares	Sneutre = Sphase/2 admis	Sneutre = Sphase	Sneutre déterminante	Sneutre > Sphase
■ Sphase >	Neutro protegido	Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase	Sneutre déterminante
○ 16mm ² Cu ou			Facteur 0.86	Ibneutre=3xTHDIxIbphase
○ 25mm ² Al				

Figura 5 - Interpretação da Norma IEC 60364-5-52 para instalações com produção de harmónicos

2.3.2. PROTEÇÃO CONTRA AS SOBREINTENSIDADES

A previsão de situações de defeito (curto-circuito) ou de utilização excessiva dos circuitos (sobrecarga), leva à necessidade da proteção contra sobreintensidades, através da instalação de fusíveis ou disjuntores magneto-térmicos.

Segundo o documento “Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, os dispositivos ativos devem ser protegidos contra as sobrecargas e contra os curtos-circuitos por um ou mais dispositivos de corte automático, devendo a proteção contra as sobrecargas ser coordenada com a proteção contra os curtos-circuitos.

2.3.2.1. PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGAS

Este tipo de sobre corrente surge quando estamos perante uma corrente ligeiramente acima do normal, normalmente devido a algum equipamento em mau estado, ou a funcionar em valores de carga acima do nominal. Se estas correntes persistirem por mais que determinado período, o circuito será interrompido.

De forma a garantir o bom funcionamento devem ser simultaneamente satisfeitas as seguintes condições:

Condição de aquecimento

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad [5]$$

Condição de sobrecarga

$$I_2 \leq 1.45 \times I_z \quad [6]$$

Segundo a norma EN60269, temos $I_2 = 1,6 I_n$ nos fusíveis de calibre superior a 16 A, e nos disjuntores, é $I_2 = 1,45 I_n$ para os modulares e $I_2 = 1,30 I_n$ para os restantes, pelo que a condição de sobrecarga está sempre verificada se a condição de aquecimento estiver.

2.3.2.2. PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS

O Curto-circuito acontece quando estamos perante uma corrente muito superior à normal, resultante de uma falha de isolamento entre condutores carregados, ou entre um condutor carregado e a massa.

O dispositivo de proteção deve estar situado na origem do circuito que visa proteger. Este atuará como limitador da corrente que passa no circuito, abrindo o circuito num tempo inferior ao que caracteriza a I^2t do cabo em questão. Contudo permitirá que circule no circuito um valor de corrente igual a I_b por tempo indeterminado.

As características dos condutores isolados que conduzem correntes de curto circuito podem, para períodos de até 5 segundos a partir do momento em que se deu o curto circuito, ser determinadas de forma aproximada pela fórmula:

$$I^2t = k^2 S^2 \quad [7]$$

t - tempo de fadiga térmica (segundos)

S – secção do cabo (mm^2)

I – corrente de curto circuito (A)

k – constante do condutor isolado (Quadros 54B,54C,54D e 54E)

2.3.3. CONDIÇÃO DE QUEDA DE TENSÃO

A impedância dos condutores dos circuitos é baixa, mas quando se trata de canalizações muito extensas não pode ser ignorada. Quando se transporta energia há sempre uma diferença de potencial entre a origem do circuito e os terminais da carga que alimenta.

Para o correto funcionamento de uma carga, por exemplo um motor ou um circuito de iluminação, é necessário que a tensão dos seus terminais seja mantida em valores constantes e próximos dos seus valores nominais. É, portanto, necessário dimensionar os condutores de modo a que, em condições de funcionamento à plena carga, a tensão possa ser mantida de forma constante nos seus valores nominais necessários ao correto funcionamento das cargas.

Os valores máximos permissíveis de queda de tensão referem-se a condições de funcionamento estáveis e não se aplicam, por exemplo, ao momento em que há arranque de motores, ou momentos em que se ligam ou desligam cargas. Estes valores estão sumariados na Tabela 1

Quando a queda de tensão excede os valores apresentados na Tabela 1, devem ser usados cabos de maior secção para corrigir e cumprir a condição.

Tabela 1 - Quedas de tensão máximas admissíveis

Tipos de Instalações	Iluminação	Outros usos
A-Instalações alimentadas diretamente a partir de uma rede de distribuição (publica) em baixa tensão	3%	5%
B-Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT	6%	8%

Tipos de Instalações	Iluminação	Outros usos
A-Instalações alimentadas diretamente a partir de uma rede de distribuição (publica) em baixa tensão	3%	5%
B-Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT	6%	8%

Sempre que possível as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A, uma vez que, apesar de permitido, o valor de 8% pode levar a problemas em motores (como sobreaquecimento por não conseguir vencer o binário

estacionário) e, por isso, manter-se parado ou ter arranques muito lentos com corrente de arranque elevada por um período mais longo do que o normal.

2.4. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE SUBESTAÇÕES E POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E DE SECCIONAMENTO

Em infraestruturas como é o caso das subestações e postos de transformação e de seccionamento, a segurança é o fator primordial. Regulamentos como o apresentado neste capítulo, são documentos essenciais para uma conciliação entre as exigências de segurança de exploração e dos utilizadores e o interesse de reduzir dentro do possível o custo das instalações, com reflexo direto no preço da energia elétrica e nas facilidades da sua utilização.

Com base no conhecimento das instalações existentes até à data da elaboração do regulamento, e com base na experiência adquirida pela fiscalização do governo e pelas empresas concessionárias do Estado, foi possível a construção de um documento aprovado em 1960 mas que se encontra totalmente atual.

O regulamento pretende definir as condições técnicas a que deve obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações através da definição dos tipos de instalações, sistemas e terras, tensões admissíveis e equipamentos de corte e seccionamento, bem como outros pontos tais como acessibilidade, estruturas e sinalização.

No caso das instalações interiores, existem requisitos superiores em termos de proteção contra contactos acidentais devido à maior proximidade com os utilizadores. Como tal, só são permitido equipamentos nus sob alta tensão se estiverem a uma altura acima do piso de mais de 2,20m com um acréscimo de mais 0,01m por cada kilovolt da tensão de serviço, sendo que se forem locais de trabalho ou de passagem terão de estar no mínimo a 2,50m acima do piso. Caso os condutores a nu estiverem protegidas por celas ou resguardos terão de estar a 2m acima do piso, sendo que os resguardos terão de ter uma altura mínima de 1,60m e estar com uma distância ao solo no máximo de 0,80m.

Para instalações interiores é muito importante a distância mínima das partes metálicas sob alta tensão para as paredes tetos pavimentos ou peças metálicas ligadas à terra ou a outra fase (mínimo de 0,16m para 15kV), bem como portas ou vedações (mínimo de 0,26m para 15kV).

3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentados algumas das características e alguns dos equipamentos relevantes para a instalação industrial da C-ITA, com esta caracterização será mais fácil compreender os estudos e intervenções feitos ao longo de todo o capítulo 4.

3.1. REDE DE MÉDIA TENSÃO

Atualmente, a ligação à rede de Média Tensão (MT) é feita única e exclusivamente por uma ligação à subestação descrita no ponto anterior e com a tensão de 15kV.

No caso da C-ITA, a distribuição é feita em anel aberto para que seja o mais fiável e versátil possível. O Anel de MT é atualmente constituído por 4 Postos de Transformação distribuídos pela unidade fabril, totalizando 6 transformadores (15kV/0,4kV) em funcionamento simultâneo e um transformador de reserva, como mostra a Figura 6.

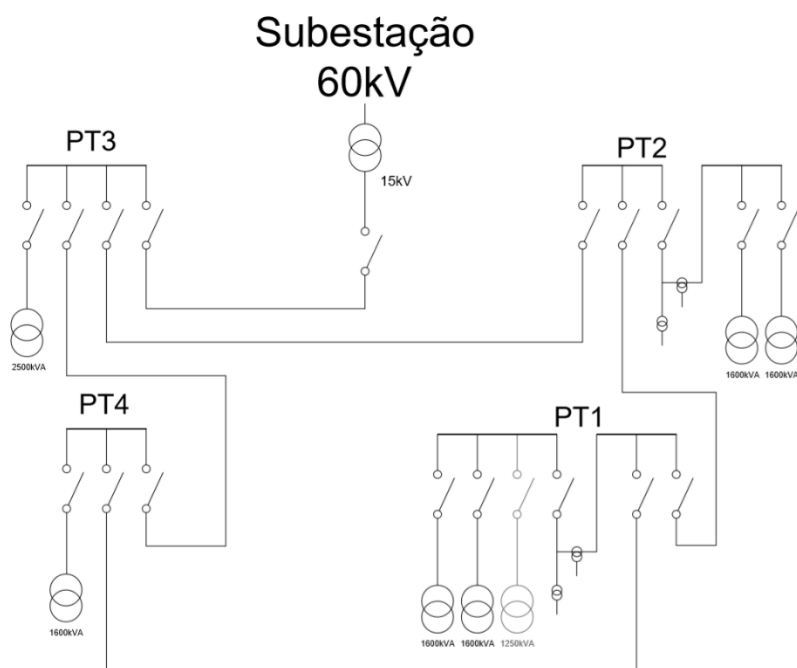


Figura 6 - Esquema do anel de Média Tensão

3.2. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 1 (PT1)

O posto de transformação 1 é composto por celas em alvenaria para o equipamento de média tensão e para cada um dos três transformadores que o equipam, sendo constituído por nove celas no total.

A primeira cela é a de entrada em média tensão da Energias de Portugal (EDP), onde era feita a alimentação da unidade fabril antes de construção da subestação, estando atualmente desativada. No seguimento temos duas celas para interligação com o PT2 e PT4 e três celas para o equipamento de seccionamento e proteção dos três transformadores. Entre as celas do anel de média tensão e as celas de seccionamento e proteção existe um seccionador. Por fim, existem três celas para albergar os três transformadores que constituem o PT1.

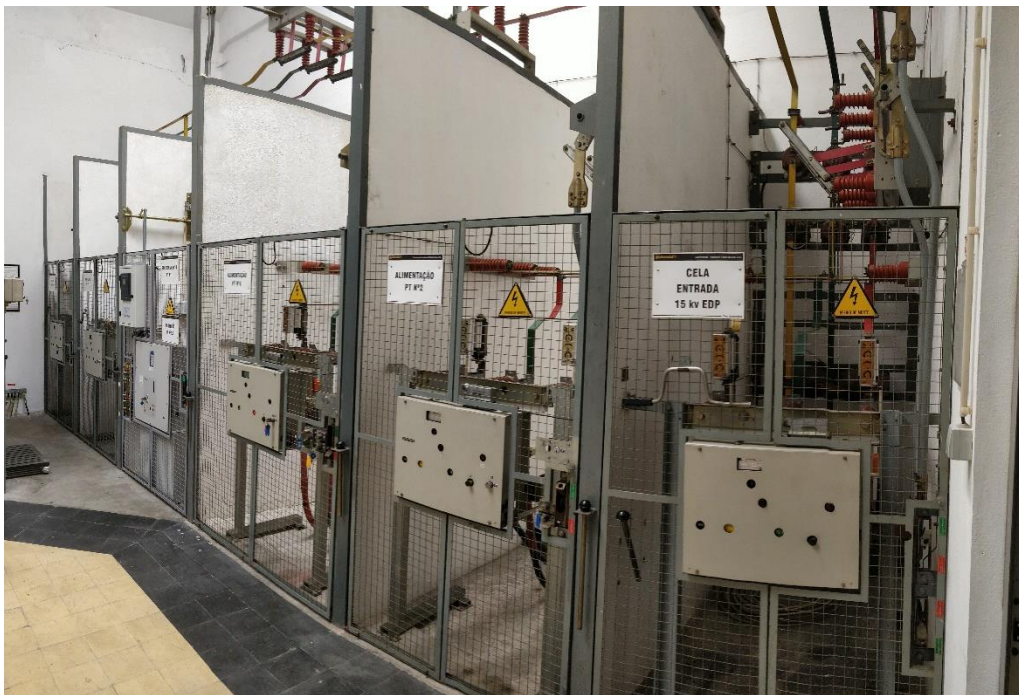


Figura 7 - Celas de média tensão do posto de transformação 1



Figura 8 - Transformadores do posto de transformação 1

Apesar de possuir três transformadores, o PT apenas possui dois quadros gerais de baixa tensão (QGBT). O QGBT 1.1 é alimentado por dois transformadores a óleo, sendo que em situação normal de funcionamento apenas um transformador se encontra em funcionamento, permanecendo o outro em reserva. O terceiro transformador a seco alimenta o QGBT 1.2 sendo totalmente independente do QGBT 1.1.

3.3. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 2 (PT2)

O PT2 é constituído por dois transformadores secos que alimentam um QGBT cada um, QGBT 2.1 e QGBT 2.2. As celas de média tensão são do tipo compacto isoladas a Hexafluoreto de enxofre (SF6) e a proteção é garantida através de disjuntores.

A Figura 9 mostra uma visão geral do posto de transformação, onde se situam as celas de média tensão, os transformadores e os QGBT do PT2.



Figura 9 -Vista geral do PT2

3.4. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 3 (PT3)

O PT3 é onde é feita a chegada de Média Tensão da subestação. É composto por celas de alvenaria para o equipamento de Média Tensão e para um transformador a óleo. Em termos de MT possui uma cela de chegada da subestação, duas celas de saída e uma cela de proteção para o transformador, como indica a Figura 10.



Figura 10 - a) Zona de MT e transformador a óleo 3.1; b) Quadro geral de baixa tensão 3.1

3.5. POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 4 (PT4)

O PT4 é composto por um transformador seco que alimenta o QGBT 4.1. As celas de média tensão são do tipo compacto isoladas a SF6 com proteção por disjuntor. Este posto de transformação é alimentado em Média Tensão a partir do PT3 que por sua vez efetua ligação com o PT1.



Figura 11 - a) Edifício de posto de transformação 4; b) Zona dos quadros de MT e transformador 4.1



Figura 12 - Quadro geral de baixa tensão 4.1

3.6. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS DA C-ITA

As instalações fabris da C-ITA têm 71 anos de existência e ao longo deste período foram efetuadas diversas modificações nas suas instalações elétricas de média e baixa tensão, bem como da alteração da ligação com a rede pública. Devido aos constantes ajustes da atividade produtiva da empresa, nas últimas décadas têm-se verificado alterações frequentes de *layout* produtivo e renovação do parque de máquinas, obrigando a um constante ajuste na rede de distribuição tanto em média, como em baixa tensão.

Assim, um dos objetivos deste trabalho foi aprofundar o conhecimento de uma das partes da instalação elétrica da unidade fabril e verificar a capacidade de a tornar mais eficiente, mais flexível, mais fiável e com melhores condições para os operadores. Contudo, é de referenciar que no âmbito do presente projeto a compra de novos motores de alto rendimento, a substituição de lâmpadas e a colocação de equipamentos fora de serviço não poderiam constar. No caso da aquisição de novos motores, esta não seria possível uma vez que se tratam de equipamentos especiais que exigem um fabrico personalizado. A substituição das lâmpadas iria traduzir-se em benefícios diminutos pelo que não compensaria o investimento. Por fim, parar a produção também não seria viável já que as necessidades de produção exigem que as máquinas estejam sempre em funcionamento.

Desta forma, a primeira premissa foi perceber onde poderá ser mais relevante o estudo de eficiência da instalação. Antes de ser tomada qualquer decisão, foi importante iniciar o levantamento detalhado do consumo de energia elétrica de cada setor produtivo. Esta análise passou por perceber de que forma se podem baixar os custos e aumentar a vida útil dos equipamentos.

Atualmente a C-ITA contem inúmeros géneros de máquinas e fabrica têxteis de vários tipos. Através de uma análise de consumo de energia elétrica por itens podemos concluir com rigor qual a área da fábrica que deve ser estudada, para uma maior influência no contexto geral.

Com recurso aos *reportings* dos consumos do presente ano (2019) é possível rastrear a tipologia de consumo.

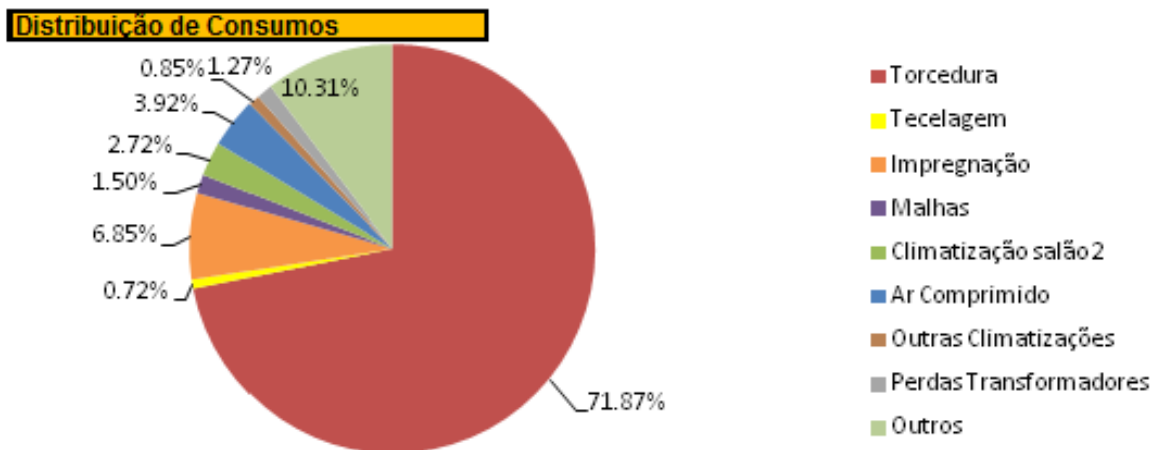


Gráfico 1 - Distribuição de consumos da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.

No Gráfico 1 apresenta-se a distribuição de consumos da C-ITA. Através da sua análise é possível perceber quais as áreas da empresa que apresentam uma necessidade energética superior. De notar que no item “Outros” estão contabilizados os consumos de toda a iluminação, de laboratórios, de equipamentos menos significativos e também o consumo de equipamentos que durante um período consideravelmente longo não tinham instalados analisadores de energia elétrica, como é o caso de dois torcedores instalados em 2019.

A energia consumida pela C-ITA perfaz um total de 26 933MW.h. Deste total, o que apresenta maior percentagem é o item torcedura com um valor de 19 357MW.h.

Neste sentido, decidiu fazer-se um estudo da possibilidade de rentabilização das máquinas torcedoras e da diminuição das perdas da alimentação. Esta decisão advém do facto de mais de 70% do consumo de energia elétrica da instalação da C-ITA ser utilizada para alimentar as máquinas de torcer fio. Estas, para além de se encontrarem em maior número, são em termos unitários o segundo tipo de máquinas de maior potência na fábrica.

Para o presente estudo foi feito um levantamento de todo o percurso da instalação a partir do abastecimento da rede pública de energia até às máquinas de torcer fio. No caso da C-ITA o abastecimento é feito através de uma subestação de 60kV. Este procedimento foi realizado uma vez que não faria sentido avançar para o estudo de um equipamento final sem perceber as condições dos equipamentos a montante.

Como os *savings* previstos para este trabalho também contam com o aumento de disponibilidade de área fabril e conforto dos trabalhadores, será apresentada uma proposta

de alteração de *layout* para rede de média tensão, contando com algumas alterações nos postos de transformação de média tensão (4.2 4.2 Alterações à rede de média)

4. METODOLOGIA APLICADA AO NOVO LAYOUT PRODUTIVO

O conhecimento geral das instalações elétricas é o primeiro passo no estudo de melhoramentos técnico económicos. Um conhecimento total da instalação elétrica existente e das suas características é imperativo para uma correta análise do seu verdadeiro estudo de rentabilidade e melhorias das condições existentes. Para este processo ser mais imediato foram consultados esquemas elétricos, esquemas de distribuição de quadros e plantas. Contudo, como uma indústria como a C-ITA se encontra em constante evolução, muitas vezes os esquemas não estão fiéis à realidade devido à impossibilidade de uma atualização constante. Assim, deparamo-nos com a dificuldade de não existir correspondência entre os esquemas existentes e a instalação bem como de não haver identificação (ou esta estar errada) e etiquetagem.

Neste trabalho foi efetuado um levantamento das instalações dando primazia aos circuitos de maior carga e circuitos que alimentam os equipamentos fundamentais da instalação (como é o caso da subestação, da rede de média, alguns quadros parciais, e alguns equipamentos finais).

Este estudo representou uma tarefa de extrema responsabilidade e foi um processo moroso uma vez que estamos perante uma instalação de grande complexidade devido à sua enorme extensão, à diversidade de equipamentos e de conter todos os seus equipamentos em carga devido à laboração contínua. Este funcionamento contínuo foi um fator limitativo uma vez que se torna impossível desligar disjuntores para identificar as cargas que os mesmos alimentam. A estratégia adotada para contornar este problema passou por seguir a cabelagem ao longo das esteiras ou efetuar medições de corrente de modo a determinar se o circuito corresponde à carga que se pressupõe que alimenta.

4.1. SUBESTAÇÃO

A C-ITA sempre se destacou por ser um grande consumidor de energia elétrica, no entanto, foi devido ao seu crescimento contante na produção, e consequente aumento de consumo, que em 2006 se viu obrigada a alterar a ligação à rede. Com vista a colmatar o problema de economia resultante da tarifa aplicável e a conseguir uma maior eficiência e segurança de exploração, a C-ITA passou a ser abastecida por uma única linha em alta tensão. Esta solução passou pela construção de uma subestação abaixadora de tensão de 60/15kV com uma capacidade instalada de 5MVA utilizando um único transformador. Posteriormente, com a aplicação de ventilação forçada no transformador, conseguiu-se fazer a passagem da capacidade instalada de 5MVA para 6MVA, garantindo o bom funcionamento de forma contínua da instalação.

A subestação encontra-se equipada apenas com uma linha de saída de 15kV, que alimenta a rede de quatro postos de transformação existentes na unidade industrial (Figura 13).



Figura 13 - Subestação 60/15kV da Continental - Indústria Têxtil do Ave S.A.

A instalação possui um contrato de fornecimento de energia elétrica em alta tensão, sendo a respetiva contagem de energia realizada em alta tensão na subestação. Consequentemente, deixa espaço para que se consiga analisar toda a rede a partir do quadro de contagem da subestação, para efeitos de eficiência da rede interna e desta forma reduzir os gastos com a energia elétrica.

Por outro lado, fazendo uma análise da potência máxima solicitada à rede, a partir da entrada em funcionamento da subestação até julho de 2019, é facilmente verificável um aumento da carga superior a 70%. Surge assim uma média de 50% de aumento da carga solicitada à subestação a cada 10 anos como se consegue verificar na Tabela 2.

Tabela 2 - Aumento da carga solicitada à subestação por intervalos de tempo de 10 anos

Aumento percentual em 10 anos			
Ano	2006	2016	61,5%
Potência (kW)	3 010	4 860	
Ano	2007	2017	59,7%
Potência (kW)	3 100	4 950	
Ano	2008	2018	47,8%
Potência (kW)	3 350	4 950	
Ano	2009	2019	48,8%
Potência (kW)	3 460	5 150	

Caso se verifique um crescimento contante na introdução de novos equipamentos ligados à rede, é espectável que num horizonte temporal de 5 anos se atinja a potência nominal estipulada para o transformador, como se consegue comprovar no Gráfico 2.

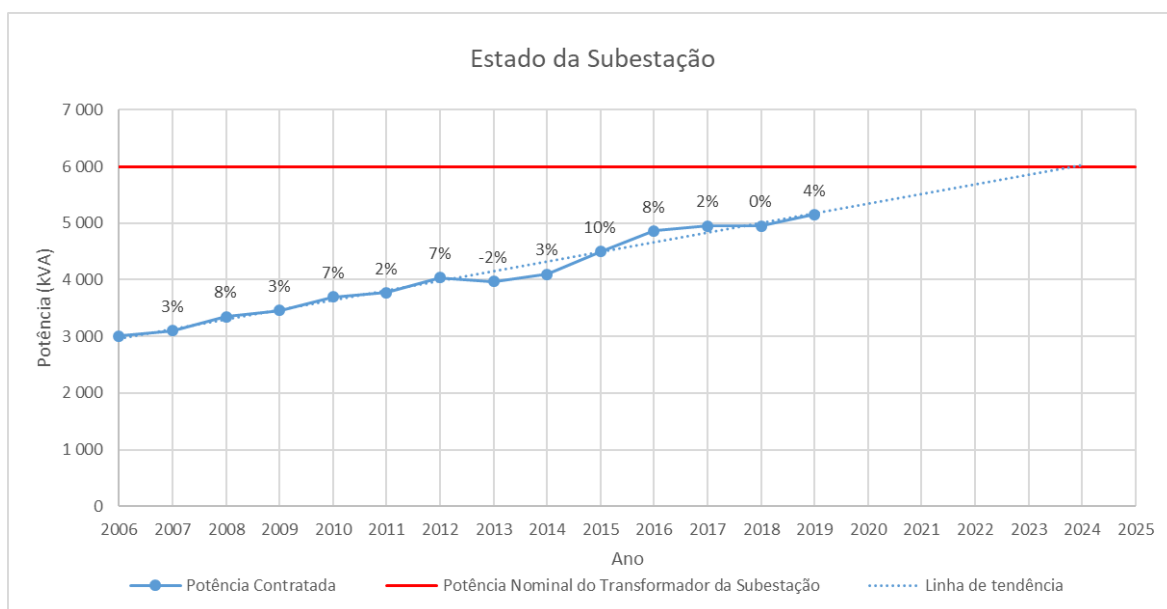


Gráfico 2 - Evolução da potência solicitada à Subestação

Equipamentos como é o caso deste transformador de potência são preparados e testados para que trabalhem em permanência com a plena carga. Contudo, o tempo de vida útil deste tipo de equipamentos está sempre associado ao regime de funcionamento do mesmo pois os isolamentos e o óleo acabam por se degradar com o aquecimento dos mesmos. Posto isto é

aconselhável que caso seja atingida a potência nominal do transformador, haja um abrandamento na introdução de novos equipamentos, ou a substituição do transformador. Por outro lado, podem ser feitas inspeções com uma periodicidade mais reduzida para não pôr em causa a única forma de abastecimentos de toda a unidade fabril.

Quanto aos outros equipamentos está garantido o seu funcionamento como se pode comprovar na Tabela 3.

Tabela 3 – Corrente máximas dos equipamentos

Equipamentos da subestação		Corrente (A)
Transformadores de medida de intensidade		600
Seccionador tripolar de 60kV com facas de terra		1250
Disjuntor SF6 de 60kV		2000
Ligação entre o secundário do transformador e a cela de entrada do posto de seccionamentos	XHIOV 120mm ²	420
Ligação entre o posto de seccionamento e os Pt's	LXHIOV 240mm ²	340
posto de seccionamento normalizado, NORMAFIX		630

4.2. ALTERAÇÕES À REDE DE MÉDIA

Quando se fala de uma empresa como a C-ITA existe a ideia de que o único objetivo da mesma é o aumento dos ganhos, muitas vezes baixando a despesa ou até aumentando a produção. No entanto, a C-ITA tem outro tipo de preocupações, dos quais, a melhoria de alguns equipamentos preponderantes para a instalação e o aumento de espaço de produção, pondo em primeiro lugar a segurança e o bem-estar dos colaboradores.

Por tudo isto, olhando para a rede de MT e em conjunto com a administração da empresa, foi avançada a ideia de mudança de *layout*. Como tal foi feito um primeiro estudo de investimento baseado no histórico de outras obras e em cotações disponibilizadas por alguns fornecedores para averiguar qual seria a solução mais viável.

O estudo baseou-se na avaliação da solução técnica mais favorável em termos operacionais e em termos económicos. Foram feitas simulações para dois cenários não considerando o custo relacionados com a alimentação das máquinas produtivas durante o período de

intervenção nos postos de transformação, nem os custos relacionados com paragens extra da unidade fabril para efetuar trabalhos na rede de MT.

Tabela 4- Descrição do cenário 2 para a realocação do PT1 para a zona do PT4 e realocar o PT3 para a zona do PT2

	Descrição - Cenário 1	Preço total
1.0	Mover PT1 para PT4	
	Cablagens	117 295,00 €
	Caminhos de cabos	67 295,00 €
	Deslocação de transformadores, quadros e trabalhos diversos	236 854,00 €
Total PT1		421 444,00 €
2.0	Mover PT3 para PT2	
	Cablagens PT3	84 980,00 €
	Caminhos de cabos pt3	17 195,00 €
	Deslocação de transformadores, quadros e trabalhos diversos	70 741,50 €
Total PT3		172 916,50 €
Total Cenário 1		594 360,50 €

A Tabela 4 apresenta a descrição e custos de um primeiro cenário no qual se realocaria o PT1 para a zona do PT4 e o PT3 para a zona do PT2. Para este seria necessário criar galeria técnica no exterior para passagem de cabos do piso inferior (zona do PT4) para o piso superior (junto ao posto médico). Para além disto, traria maior custo na remodelação do PT4 relativamente ao cenário 2 (descrito abaixo) devido à necessidade de aumentar o comprimento do edifício do posto de transformação, de adaptar o piso superior para os quadros de baixa tensão (QGBT 1.1, QGBT 1.2, QGBT 4.1, quadro de ventilação e três quadros de correção de fator de potência - CFP), de adquirir celas modulares de MT (corte geral e três de proteção dos transformadores), e por último quatro celas para albergar os transformadores (três transformadores do PT1 e o transformador já existente no PT4).

Tabela 5- Descrição do cenário 2 para a realocação do PT1 para a zona do PT2 e realocar o PT3 para a zona do PT4

		Descrição - Cenário 2	Preço total
1.0	-	Mover PT1 para PT2	
		Cablagens	122 385,00 €
		Caminhos de cabos	39 185,00 €
		Deslocação de transformadores, quadros e trabalhos diversos	166 354,00 €
Total PT1			327 924,00 €
2.0	-	Mover PT3 para PT4	
		Cablagens PT3	59 260,00 €
		Caminhos de cabos pt3	18 185,00 €
		Deslocação de transformadores, quadros e trabalhos diversos	126 991,50 €
Total PT3			204 436,50 €
Total Cenário 2			532 360,50 €

Por sua vez, o cenário 2 consistiria numa realocação do PT1 para a zona do PT2 e do PT3 para a zona do PT4, estando a respetiva descrição e custos na Tabela 5. Com este cenário, os custos associados a caminhos de cabos seriam menores e não haveria a necessidade de criação de galerias técnicas no exterior. Relativamente à remodelação do PT4, este representaria um menor custo uma vez que não existiria necessidade de aumentar o comprimento do edifício. Para além disto, os requisitos relativos à adaptação do piso superior para o albergue dos quadros de baixa tensão seriam menores e teria menos um transformador que resultaria em menos uma cela de proteção.

Para os dois cenários apresentados acima não são considerados os investimentos em novos transformadores, apenas a realocação dos existentes. Assim é importante referir que este tipo de transformadores requerem uma cuba para drenagem de óleo. Com isto prende-se o facto de que o destino final de dois dos transformadores do PT1 e um do PT3 terá de estar preparada para receber transformadores a óleo.

Associado a estas realocações estão a alteração de algumas secções de canalização e a alteração do comprimento de algumas alimentações. Estas alterações farão uma diferença nas perdas por efeito de Joule, que para esta abordagem inicial também não foram calculadas.

Com este estudo foram notórias as vantagens apresentadas pelo cenário 2, sendo que é uma solução com um nível de complexidade e investimento menor. Consequentemente trará

menos constrangimentos ao normal funcionamento da unidade fabril durante as intervenções. Desta forma, foi esta a intervenção aprovada pela administração da C-ITA. Contudo, dada a sua complexidade foi solicitado que se dividisse o cenário 2 em duas partes. Esta divisão consiste em apenas uma realocação de um PT, isto é, na primeira parte realocaliza-se o PT1 para a zona do PT2 e na segunda realocaliza-se o PT3 para a zona do PT4. O presente documento prende-se apenas com o estudo minucioso de uma das realocações.

4.2.1. ESTUDO DE RELOCALIZAÇÃO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 3 PARA A ZONA DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO 4

O PT3 está situado no “coração” da fábrica e é a partir deste posto de transformação que é alimentada uma das máquinas mais importantes da unidade fabril, a máquina de impregnar tela *Beninger Zell*. Para além disto alimenta vários torcedores bem como outros tipos de consumidores variados.

Através do primeiro estudo aproximado dos vários cenários, e com a necessidade clara de disponibilização do espaço ocupado pelo posto de transformação 3, somando ao facto da zona onde está instalado o PT4 ter sofrido algumas obras de melhoramento num passado muito recente, havia a confiança de que a primeira intervenção ao nível dos postos de transformação seria a união do PT3 com o PT4. Com esta realocação disponibilizou-se um espaço de 38 m² para a área de produção (Figura 14).

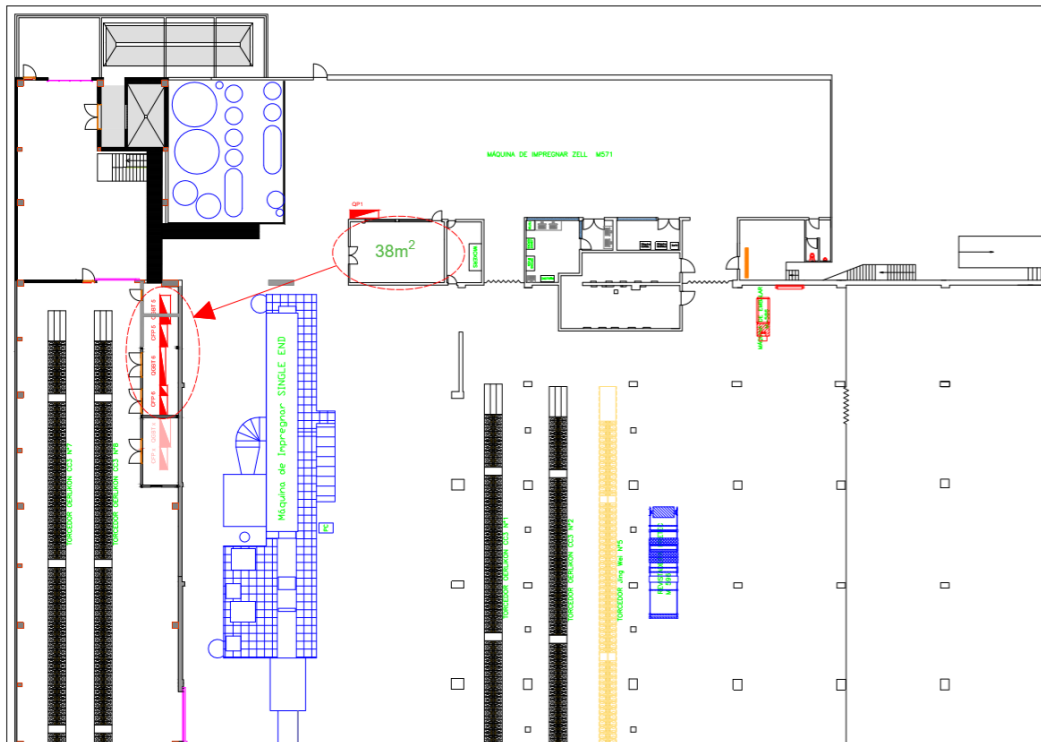


Figura 14 - Planta do piso -1, salão 2

Nesta fase ainda seria necessário garantir e validar todos os cálculos feitos anteriormente. Tratou-se de uma obra com um grau de investimento elevado e um pequeno desvio nos requisitos técnicos poderia inviabilizar todo o projeto ou deixar fragilidades que se revelariam ao longo tempo.

A área onde se encontra instalado o PT4 foi intervencionada durante o ano de 2018, ano esse, onde já existia a ideia de se poder aumentar a potencia do mesmo e desta forma existir a necessidade colocar mais equipamentos dentro do posto de transformação. Como tal, foi construído pela C-ITA um segundo andar, onde poderiam ser colocados alguns Quadros Gerais de Baixa Tensão ou pequenos quadros de distribuição. A Figura 15 mostra o edifício do posto de transformação no final da intervenção feita pela C-ITA em 2018. Os equipamentos do PT encontram-se colocados todos no andar inferior do edifício, deixando a parte superior do edifício totalmente livre.

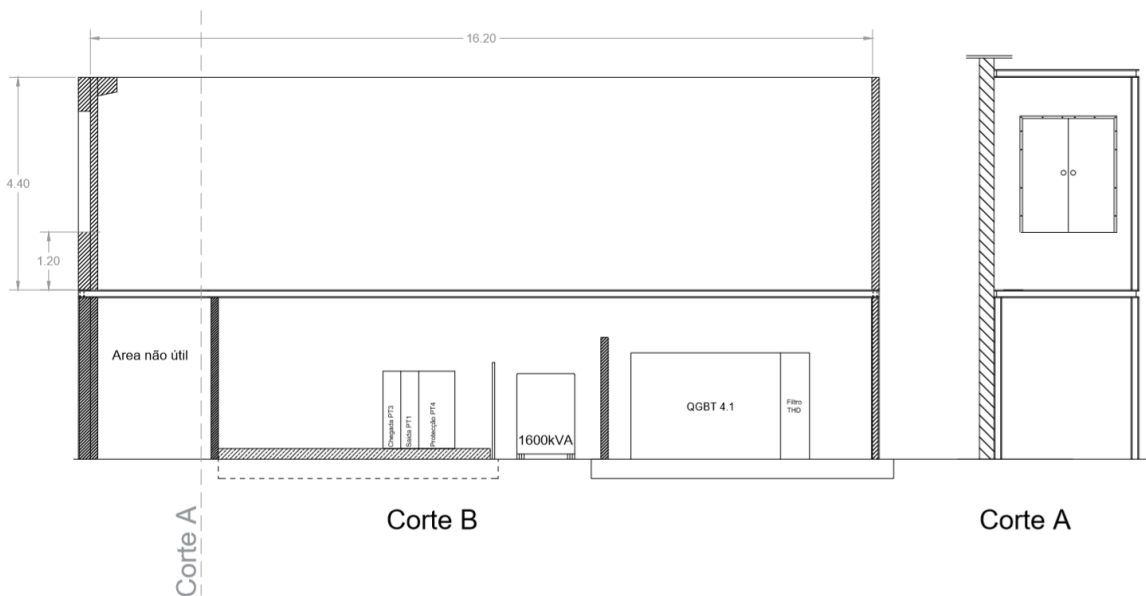


Figura 15 - Edifício do posto de transformação 4 depois da intervenção feita em 2018

Atualmente, o posto de transformação 4 encontra-se equipado com:

- Dois interruptores - seccionadores compactos da *Merlin Gerin SM6 24kV*, para ligação ao PT3;
- Uma Cella disjuntor DM1-C da *Merlin Gerin SM6 24kV*, para proteção do transformador;
- Um transformador seco da *France transfo* de 1600kVA com ligação Dyn11;
- Um QGBT com corrente nominal de 2500A da *Prisma por* equipado com *Scheider Electric*
- Um Quadro de correção de fator de potência de 300kVAr

O PT sobre o qual se refere o presente projeto será para instalação num espaço interior, de exploração interior e composto por celas pré-fabricadas em invólucro metálico para diminuir a área de ocupação dos mesmos. Prevê-se que a chegada será subterrânea, alimentada da subestação de 15kV, e com frequência de 50Hz.

4.2.2. MÉDIA TENSÃO

Este projeto tem como finalidade a sistematização das condições técnicas de construção/exploração do posto de transformação, que devido ao espaço disponibilizado para o efeito terá características distintas dos postos de transformação comuns. Terá, contudo, de estar em concordância com todas as normas e requisitos técnicos.

Para este tipo de intervenções é necessário perceber como fica toda a instalação no que diz respeito à média tensão. O facto de a chegada da subestação ser feita no PT3 provoca uma preocupação redobrada no que diz respeito à intervenção no anel de média tensão.

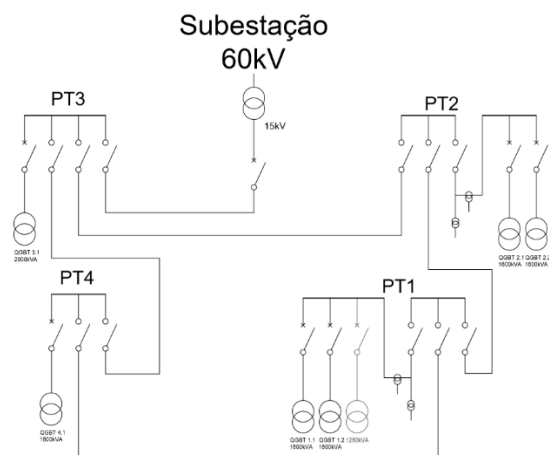
Atualmente o equipamento que acolhe a chegada de MT é uma cela seccionável em alvenaria (Figura 16), e faz a ligação com o PT4 e com o PT2 com duas celas seccionáveis do mesmo tipo. Com a realocação do PT3 para o edifício do PT4 terá de ser feita uma transição da chegada da subestação para um novo quadro de MT, que irá ser instalado no PT4.



Figura 16 - Cella seccionamento em alvenaria do PT3

Na Figura 17 podemos ter uma noção das diferenças apresentadas no anel de MT depois da implementação do projeto, bem como as alterações provocadas ao nível de alimentação do respetivo circuito.

Antes



Depois

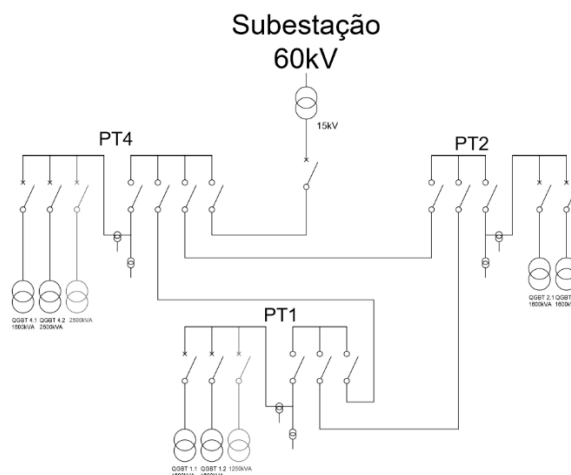


Figura 17 - Comparação dos *Layouts* da rede de MT antes da intervenção e depois da intervenção

Como é visível na figura acima, foram feitas alterações na ligação à subestação e na ligação do PT2, que deixa de ser feita com o PT3 e passa a ser feita ao PT4.

A C-ITA, tem como requisitos para o caso da necessidade de substituição de algum transformador instalado no interior da área fabril, que essa seja feita por um transformador do tipo seco. Esta substituição do transformador a óleo por um transformador seco surge por dois motivos. Em primeiro lugar por se especular o investimento em novos equipamentos e isso levar à necessidade de se recorrer a uma capacidade de transformação superior. Em segundo lugar pela necessidade de colocação de uma cuba de recolha de óleo. Como tal foi pensado a colocação de um transformador seco de 2500kVA.

Apesar das análises feitas ao transformador a óleo presente no PT3 demonstrarem que este estava em perfeito estado de conservação, preferiu-se fazer a substituição do mesmo por um de maior potência. Para a fase de projeto do edifício, houve o cuidado de reservar espaço e preparar a estrutura para o acolhimento de um transformador de reserva, que não será instalado.

4.2.3. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO A PARTIR DO PT4 REFORMULADO

O tipo de indústria, o ambiente, e as características da necessidade energética onde está inserida a instalação, são informações muito importantes para o projeto de alteração de qualquer quadro de distribuição de energia elétrica. Neste tipo de indústria torna-se mais fácil a percepção das necessidades pois as instalações estão maioritariamente monitorizadas a nível de consumos energéticos.

A rede elétrica de baixa tensão é alimentada a partir dos vários postos de transformação existentes seguindo o esquema de ligação à terra do tipo TN-C e em alguns casos TN-S, onde a utilização de dispositivos de proteção diferencial não é obrigatória. Em alguns circuitos finais de baixa potência, como por exemplo circuitos de iluminação e escritórios, possuem proteção diferencial.

A qualidade de energia é um dos fatores que dificulta o uso de diferenciais, pois aumenta a probabilidade de disparo intempestivo colocando em risco a continuidade de serviço que, em alguns casos, pode ter graves consequências para o processo produtivo. Para além disto a aquisição deste tipo de dispositivos acarretar um esforço financeiro bastante superior.

No caso de não existir proteção diferencial é necessário garantir a proteção das pessoas e das instalações, garantindo as condições de funcionamento dos dispositivos contra sobre intensidades, seguindo as regras inerentes ao esquema de ligação à terra TN.

4.2.3.1. QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 3.1

Com a necessidade de realocização do QGBT 3.1 para o segundo andar do PT4 foi necessário fazer o levantamento e verificação das condições de dimensionamento. O objetivo foi recalcular as condições para as novas distâncias e fazer alguns ajustes das proteções ao nível da potência necessária para cada quadro ou máquina.

O esquema de ligação à terra deste QGBT é do tipo TN-C-S.

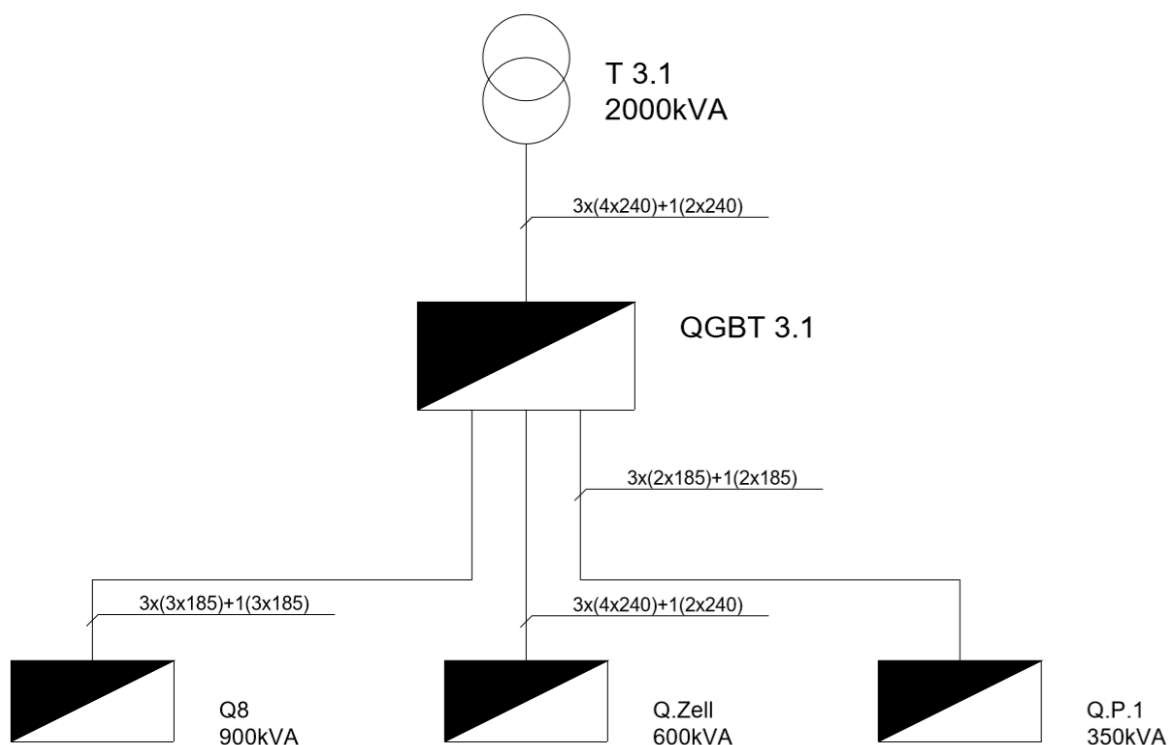


Figura 18 - Esquema unifilar de distribuição do QGBT 3.1

O QGBT 3.1 é um quadro bastante recente podendo a sua infraestrutura ser resumida a três quadros principais, tal como indicado na Figura 18. Também presentes nesta figura estão o Q8, quadro de distribuição que alimenta máquinas de grande potência; o quadro da *Zell* (Q.Zell) que alimenta a máquina de impregnar tela *Beninger Zell* e o quadro parcial 1 (Q.P.1) que faz a distribuição de um grande número de circuitos de baixa potência. Todos eles são alimentados pelo QGBT 3.1.

É importante realçar que as potências indicadas na Figura 18 já estão com valores atualizados de acordo com as cargas recentemente introduzidas na instalação, mais concretamente a introdução de máquinas denominadas torcedores de corda.

4.2.3.2. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO Q8

O quadro de distribuição Q8 está dimensionado para uma corrente nominal de 1600A (Figura 19). No entanto, à data do presente estudo o quadro apresentava uma potência instalada de 1000kVA. Visto que este quadro alimenta sete máquinas torcedoras de corda (Tabela 6), é normal apresentar um fator de simultaneidade muito próximo dos 0.9.

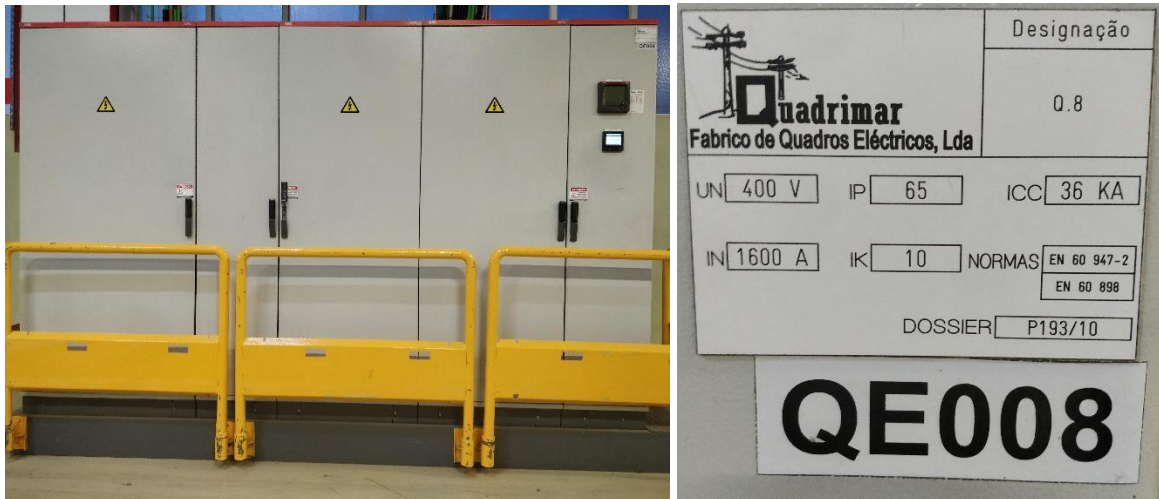


Figura 19 -a) Quadro Q8; b) Chapa de características do Q8

Tabela 6 - Potência dos equipamentos alimentados pelo Quadro Q8

Origem	Destino	S_{total} (kVA)
Q8	ICBT nº11	150
	ICBT nº16	120
	ICBT nº17	120
	ICBT nº18	150
	CC3 nº3	160
	CC3 nº5	150
	CC3 nº6	150
Total		1000
$S_{total} \times 0,9$		900

Através da multiplicação das somas das potências pelo fator de correção de 0.9 apresentado, podemos utilizar com alguma segurança o valor de 900kVA para aferir as condições de dimensionamento. Este facto serve para perceber se o disjuntor de proteção da canalização que alimenta o Q8 está bem dimensionado.

$$I_b (A) = \frac{P(VA)}{\sqrt{3} \times 400} = 1299.04 A \quad [8]$$

A primeira condição a satisfazer será a “condição de aquecimento”. Para cumprir os requisitos impostos por esta condição, a corrente de funcionamento terá de ser inferior à corrente nominal do disjuntor e, por sua vez, inferior à corrente máxima admissível para canalização.

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad [9]$$

Durante o levantamento da instalação foi detetada uma não conformidade. O disjuntor instalado no QGBT 3.1 a proteger a canalização do quadro Q8 é de 1250A. Isto alerta para a necessidade de substituição do mesmo, pois pode dar origem a disparos e pôr em causa o funcionamento contínuo das máquinas. Atualmente o Q8 é alimentado com três condutores de 185 mm² de cobre monocondutores por fase, e três monocondutores para o neutro de igual secção [xv 3x(3x185)+1(3x185)].

Tabela 7 – Comparação da corrente Ib, In e Iz

	Atualidade	Depois da intervenção
Ib	1299,04	1299,04
In	1250	1440,00
Iz	1316	1548,40

A proposta apresentada com o presente trabalho é a substituição do disjuntor atual por um de 2000A e regulá-lo para uma corrente de 1440A. Com esta alteração será necessário aproveitar a troca do local do QGBT 3.1 e fazer a substituição da canalização para um sistema de quatro cabos monocondutores de 185 mm² por fase [RZ1-K (AS) 3x(4x185)+1(4x185)].

Com a necessidade de reajuste na alimentação do quadro de distribuição Q8, seria oportuno pensar na possibilidade de realocização do mesmo para uma zona técnica onde não ocupasse área de produção. Como tal, foi introduzido no mesmo projeto a realocização do Q8 para um mezanino como se pode ver na Figura 20. Como o mezanino está numa zona com uma cota superior não afeta o espaço reservado à produção e origina um ganho de espaço de 6m².

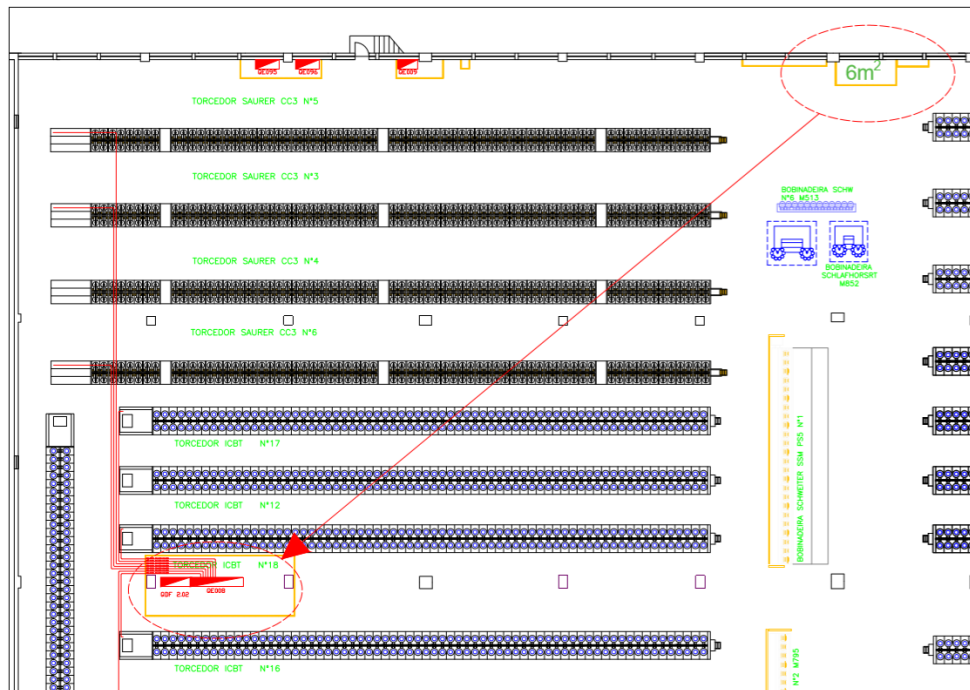


Figura 20 - Alteração do Q8 para o Mezanino

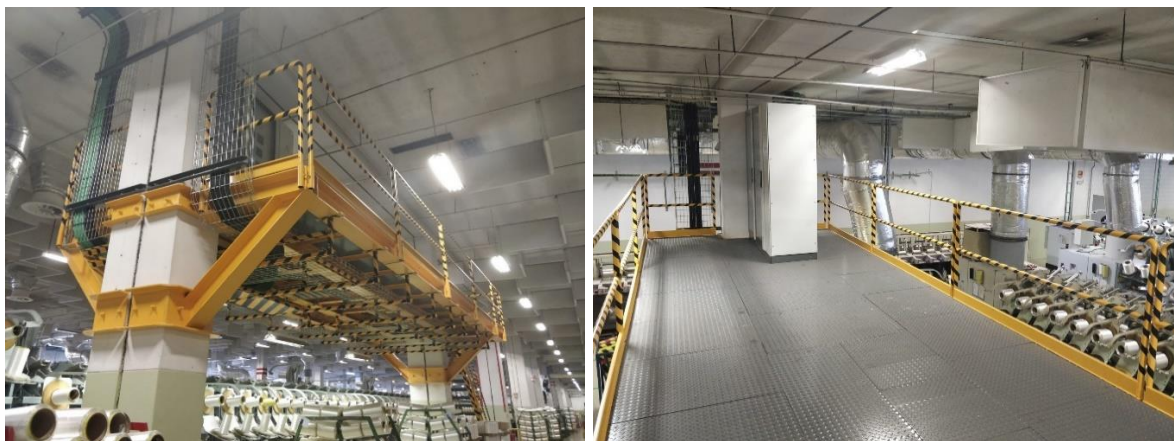


Figura 21 -a) Mezanino do salão 2, b) Espaço para o Q8 no mezanino

Estas alterações irão trazer benefícios em termos de centralização dos quadros de distribuição do salão onde está inserido o Q8, trarão ganhos a nível de espaço e irão reduzir as perdas na alimentação das máquinas produtivas. É espectável que a alimentação das máquinas ligadas ao Q8 não tragam gastos muito avultados devido ao aproveitamento das canalizações que se encontram em bom estado de conservação ou corretamente dimensionadas.

4.2.3.3. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO Q. ZELL

O quadro de distribuição Q.Zell está inserido numa máquina de cerca de 30 metros de altura, ocupando um edifício de 8 pisos. A máquina *Zell* foi pensada para trabalhar a 40 m/min, no entanto depois de muitas alterações está preparada para trabalhar a uma velocidade de 105 m/min. Apesar da análise de potência instalada na máquina não ser muito fácil de perceber, devido aos inúmeros sistemas que tem instalados, foi feita uma análise dos consumos dos últimos anos para se conseguir perceber qual a sua potência de serviço.

Através desta análise feita conclui-se que a potência de serviço da máquina de impregnar Zell é de 600kVA, e a partir disto foi possível construir o seguinte:

- Com a corrente de serviço solicitada pelo quadro da máquina de impregnar *Zell* não há necessidade de cablagem com uma secção tão elevada (Figura 22). Por essa razão, com a realocização do QGBT 3.1 deverá ser utilizado para alimentar o quadro da máquina de impregnar cabos do tipo RZ1-K (AS) 3x(3x240)+1(3x240) ou similares.
- Com a redução da secção da canalização é necessário substituir o disjuntor que está colocado no QGBT 3.1 para o troço de ligação ao Q. Zell. Para tal, uma das soluções apresentadas no presente trabalho é a substituição do disjuntor do Q8 pelo disjuntor que atualmente protege a canalização da máquina de impregnar *Zell*.



Figura 22 - Parte do quadro da máquina de impregnar Zell

4.2.3.4. RESUMO DO QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 3.1

Através dos cálculos de dimensionamento de proteção de canalização elétrica de baixa tensão, chegou-se à canalização que será instalada, bem como quais as proteções necessárias para o bom funcionamento. Como os disjuntores utilizados pela C-ITA tem a capacidade de ajuste do I_n é apresentado na Tabela 8 o resultado do dimensionamento.

Tabela 8 - Tabela resumo do QGBT 3.1

QGBT 3.1					
Saída	Descrição	Disjuntor	Cabo	lz	Regulação I_n
C1	Q.8	2000A	RZ1-K(AS)3x(4x185)+1(4x185)	1548	$I_n[0,4+(0,32)]=1440A$
C2	QFP	630A	RZ1-K(AS)3x(2x240)	920	máximo $I_n=630A$
C3	Reserva	630A	-	-	-
C4	Q.P.1	630A	RZ1-K(AS)3x(2x185)+1(2x185)	774	máximo $I_n=630A$
C5	Q.Zell	1250A	RZ1-K(AS)3x(3x240)+1(3x240)	1380	máximo $I_n=1250A$

4.2.3.5. PERDAS POR EFEITO DE JOULE PARA O QGBT 3.1

Como todas as grandes intervenções feitas na C-ITA, a validação económica é de total obrigatoriedade. O retorno económico neste tipo de intervenções não é o fator mais importante na hora de avançar com o projeto, no entanto terá de existir uma viabilidade económica a longo prazo.

Para este estudo foi feito um compromisso muito claro entre o investimento que a C-ITA estava disposta a suportar e entre o que as perdas por aquecimento na canalização podem custar anualmente.

$$R_f = \frac{1}{\sigma} \times \frac{l}{S} \quad [10]$$

$$P(W) = R_f \times I^2 \quad [11]$$

$$E(kWh.ano) = \frac{P}{1000} \times 24horas \times 365dias \quad [12]$$

Tabela 9 - Comparação das perdas em energia por efeito de Joule na canalização do QGBT 3.1

	Q.Zell		Q8		QP1	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
RF(Ω)	0,0009	0,0020	0,0029	0,0031	0,0003	0,0024
P(W)	697,55	1488,11	4886,60	5293,81	82,11	615,85
E(kWh.ano)	6110,56	13035,85	42806,59	46373,81	719,31	5394,82

Através dos cálculos efetuados conseguimos perceber um aumento claro das perdas em termos energéticos, derivadas do aumento substancial dos comprimentos das canalizações e da diminuição das secções das alimentações do quadro da máquina de impregnar Zell e do quadro parcial 1.

Na Tabela 10 é feita uma comparação entre a instalação atual e a instalação depois das alterações, considerando um custo médio de energia elétrica de 0.092€/kWh.

Tabela 10 - Comparação dos custos com perdas por efeito de Joule na canalização do QGBT 3.1

Perdas por Efeito de Joule				ANTES			DEPOIS		
	Descrição	Origem	Destino	L (m)	kWh/ano	€/ano	L (m)	kWh/ano	€/ano
1.01	Q.Zell	QGBT 3.1	Zell	50	6111	562,17 €	80	13036	1 199,30 €
1.02	Q8	QGBT 3.1	Q8	90	42807	3 938,21 €	130	46374	4 266,39 €
1.03	QP1	QGBT 3.1	QP1	10	719	66,18 €	50	5395	496,32 €
Total				4 566,55 €			5 962,01 €		

Custo médio do kWh = 0,092 €/kWh

Diferença €/ano 1 395,46 €

4.2.3.6. QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 4.1

Com a necessidade de realocação do QGBT 4.1 para criação de espaço foi necessário fazer o levantamento e verificação das condições de dimensionamento. O objetivo foi perceber se existia necessidade de aquisição de equipamentos ou cabelagem nova.

Tabela 11 - Resumo do QGBT 4.1

QGBT6					
Saída	Descrição	In Disjuntor	Cabo	Iz	Regulação In
C1	CC3 nº7	400A	RZ1-K (AS) 3x(1x185)+1(1x185)	387A	In x (0,8) = 320A
C2	Single end	630A	XV 3x(2x95)+1(2x95)	564A	In x (0,5) = 315A
C3	Sahm	400A	3x50+2G25	165A	In x (0,5) = 200A
C4	Single end 2	630A	RZ1-K (AS) 3x(1x185)+1(1x185)	387A	In x (0,5) = 315A
C5	Sahm 2	100A	RZ1-K (AS) 5G50	142A	In x (0,7) = 70A
C6	Q.AVAC	100A	RZ1-K (AS) 3x(1x50)+1(1x50)	142A	In x (0,5) = 50A
C7	UPS	100A	SZ1-K (AS+) 5G16	86A	In x (0,63) = 63A
C8	Q. Area sec	100A	RZ1-K (AS) 5G25	109A	máximo In = 100A
C9	JW nº10	630A	XV 3x(1x120)+1(1x120)	329A	In x (0,5) = 315A
C10	CC3 nº8	630A	RZ1-K (AS) 3x(1x185)+1(1x185)	387A	In x (0,5) = 315A
C11	CC3 nº2	630A	XV 3x(1x120)+1(1x120)	329A	In x (0,5) = 315A
C12	CC4 nº1	630A	RZ1-k (AS) 3x(1x185)+1(1x185)	387A	In x (0,5) = 315A
C13	QFP	630A	RZ1-K (AS) 3x(1x240)	920A	máximo In = 630A

O QGBT 4.1 é um quadro com bastantes circuitos em que a sua infraestrutura pode ser resumida como indicado na Tabela 11. Este irá passar para o andar superior do PT4 sendo que a maioria da canalização poderá ser a mesma uma vez que os traçados já passam nos trajetos previstos para a remodelação. Contudo a canalização da ligação entre o QGBT 4.1 ao quadro da Single end terá de ser substituída por não ter comprimento suficiente para chegar ao novo local do QGBT 4.1.

4.2.3.7. PERDAS POR EFEITO DE JOULE PARA O QGBT 4.1

Devido ao encurtamento dos cabos que alimentam os equipamentos alimentados diretamente do QGBT 4.1 conseguimos ter um ganho em termos de perdas.

Tabela 12 - Comparação das perdas em energia por efeito de Joule na canalização do QGBT 4.1

	CC3 nº7		Single End 1		Sahm 1		Single End 2	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
RF(Ω)	0,0068	0,0063	0,0008	0,0038	0,0214	0,0214	0,0058	0,0043
P(W)	202,71	188,23	35,25	176,23	10,04	10,04	271,49	203,05
E(kWh.ano)	1775,78	1648,94	308,75	1543,76	87,99	87,99	2378,22	1778,72

	Sahm 2		Q.AVAC		Q.Area sec		JW nº10	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
RF(Ω)	0,0408	0,0408	0,0071	0,0071	0,0143	0,0143	0,0119	0,0097
P(W)	79,67	79,67	13,39	13,39	6,70	6,70	357,16	290,20
E(kWh.ano)	697,89	697,89	117,31	117,31	58,66	58,66	3128,75	2542,11

	CC3 nº8		CC4 nº1		CC3 nº2		UPS	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
RF(Ω)	0,0062	0,0062	0,0068	0,0048	0,0112	0,0089	0,0335	0,0223
P(W)	185,58	185,58	316,73	226,24	523,18	418,54	62,78	41,85
E(kWh.ano)	1625,70	1625,70	2774,59	1981,85	4583,02	3666,42	549,91	366,61

Tabela 13 - Comparação dos custos com perdas por efeito de Joule na canalização do QGBT 4.1

Perdas por Efeito de Joule			ANTES			DEPOIS Cenário 1		
Descrição	Origem	Destino	L (m)	kWh/ano	€/ano	L (m)	kWh/ano	€/ano
CC3 nº7 4 cabos 185 mm3	QGBT 6	CC3 nº7	70,00	203	18,65 €	65,00	188	17,32 €
Q. Single end 4 cabos 120 mm2	QGBT 6	Single End 1	4,00	309	28,41 €	20,00	1544	142,03 €
Sahm#1 5G35 mm2	QGBT 6	Sahm 1	60,00	88	8,09 €	60,00	88	8,09 €
Q. Single end 2 4 cabos 120 mm3	QGBT 6	Single End 2	60,00	2378	218,80 €	45,00	1779	163,64 €
Sahm#2 5G35 mm3	QGBT 6	Sahm 2	80,00	698	64,21 €	80,00	698	64,21 €
Q.AVAC	QGBT 6	Q.AVAC	20,00	117	10,79 €	20,00	117	10,79 €
Q. Area sec	QGBT 6	Q. Area sec	20,00	59	5,40 €	20,00	59	5,40 €
Jing Wei nº10 4 cabos 120 mm5	QGBT 6	JW nº10	80,00	3129	287,84 €	65,00	2542	233,87 €
CC3 nº8 4 cabos 185 mm4	QGBT 6	CC3 nº8	60,00	1626	149,56 €	60,00	1626	149,56 €
CC4 nº1 4 cabos 185 mm3	QGBT 6	CC4 nº1	70,00	2775	255,26 €	50,00	1982	182,33 €
CC3 nº2 4 cabos 120 mm4	QGBT 6	CC3 nº2	75,00	4583	421,64 €	60,00	3666	337,31 €
UPS	QGBT 6	CC3 nº2	30,00	550	50,59 €	20,00	367	33,73 €
Total			1 519,24 €			1 348,28 €		
Custo médio do kWh = 0,092 €/kWh						Diferença €/ano -170,96 €		

4.2.4. ESTUDO DAS FASES DO PROJETO / ORDEM DE TRABALHOS

De forma a perceber os *timings* impostos para a fase de implementação, será apresentado uma *time-line* com os custos de mão de obra dissolvidos no preço de cada artigo. Estas fases só poderão ser iniciadas após a validação de um projetista qualificado e após o licenciamento do projeto.

Como já referido anteriormente a C-ITA tem algumas características no que toca à forma de implementação de cada projeto. No caso do projeto de realocação do posto de transformação será necessário parar alguns equipamentos. Assim, todas as intervenções terão de ser feitas num período muito concreto de tempo de com um rigor temporal muito restrito. No que toca à possibilidade de corte de energia só podem ser aproveitadas as paragens já calendarizadas, tais como a paragens de aproximadamente 10 dias na altura do Natal, dois dias na Páscoa, e outros dois nos dias 12 e 13 de junho.

A ordem de trabalhos apresentada abaixo só poderá iniciar quando estiver garantida a instalação de um piso técnico no piso superior do PT4, bem como ventilação e desenfumagem do espaço reservado para os Quadros Gerais de Baixa Tensão.

Antes do início do planejamento, foi realizado o *layout* desejado para o posto de transformação 4 (Figura 23).

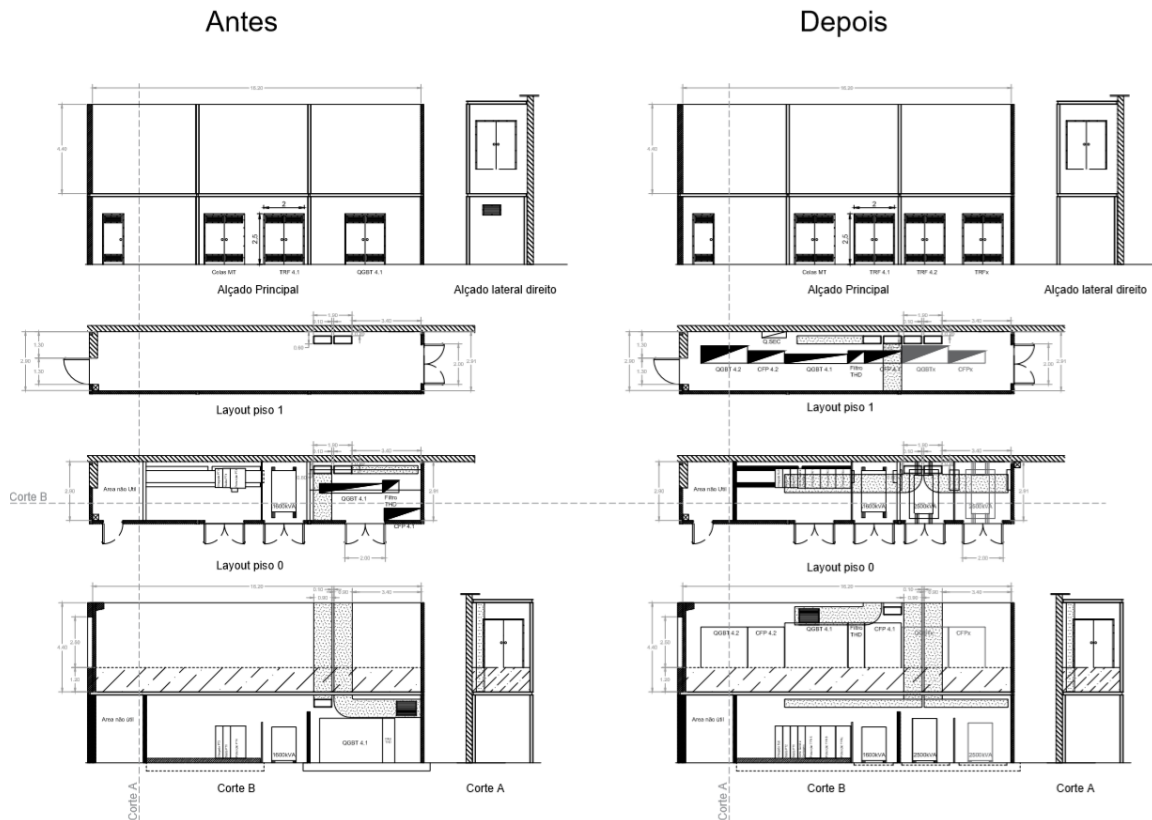


Figura 23 - Imagem geral do posto de transformação 4 antes e depois da intervenção

Assim, foi dividida toda a intervenção em cinco fases que iniciam com as intervenções em que não é necessário retirar equipamentos de funcionamento e terminam com aquelas que necessitam de deslastrar alguma carga.

4.2.4.1. FASE 1

A Tabela 14 apresenta a passagem do QGBT 4.1 para o piso superior e todas as intervenções previamente feitas para diminuir o tempo de paragem.

Apenas o ponto 5 e 6 têm precedências, necessitando o término do ponto 2 para iniciar o ponto 5 e o término do ponto 1 para iniciar o 6. Os restantes podem ser feitos em paralelo consoante a disponibilidade operacional e financeira.

Esta intervenção poderá ser implementada com o objetivo de iniciar o ponto 6 na paragem da páscoa de 2020. No entanto o ponto 6 poderá exigir quatro dias de trabalho que terão de ser geridos de forma a não afetar de forma muito drástica a produção.

Tabela 14 - "Time-Line" da primeira fase de implementação do projeto de realocação do PT3

Deslocação do PT3 para a zona do PT4						
	Descrição	Corte de Energia		Prazo de entrega	Duração do Trabalho (dias úteis)	Custo Total
1	Passagem de novos cabos para alimentação da Single End e caminho de cabos	Não necessário	1ª Fase	-	2 dias	1 818,97 €
2	Montagem de caminho de cabos do PT4 até à plataforma do salão 2, a passar pelo PT3 (do PT4 ao PT3 preparar para o caminho de cabos albergar a alimentação da Zell e do QP1)	Não necessário	1ª Fase	-	2 dias	7 466,00 €
3	Adquirir celas MT modulares Schneider (1 de seccionamento para saída do PT2 e outra de proteção e corte para o novo transformador)	Não necessário	1ª Fase	10 semanas	-	16 000,00 €
4	Adquirir celas MT modulares Schneider (Corte Geral e contagem)	Não necessário	1ª Fase	11 semanas	-	10 000,00 €
5	Passagem de novos cabos para o Q8 do PT3 até à plataforma do salão 2 (não ligar) com dimensão para chegar ao PT4	Não necessário	1ª Fase	-	6 dias	68 353,82 €
6	Deslocar QGBT 4.1 e CFP para piso superior do PT4 e efetuar novas ligações aproveitando os cabos existentes (ligar tudo)	Apenas nos circuitos do PT4 (SingleEnd e torcedores salão 2 piso-1 e salão novo)	1ª Fase	-	4 dias	6 000,00 €

4.2.4.2. FASE 2

A fase 2 tem previsto o aproveitamento da paragem de dois dias em junho, só haverá tempo para implementar o ponto 7 e 8, sendo o ponto 8 precedido do ponto 7. Para este passo será criada uma caixa de passagem na zona da chegada da subestação junto do PT3. Este procedimento serve para unir o cabo já existente ao quadro de MT do PT4, por intermédio de três cabos de 120mm² (12/20kV).

Tabela 15 - "Time-Line" da segunda fase de implementação do projeto de realocação do PT3

Deslocação do PT3 para a zona do PT4						
	Descrição	Corte de Energia		Prazo de entrega	Duração do Trabalho (dias úteis)	Custo Total
7	Passagem caminho de cabos e de novo ramal MT entre subestação e o PT4 (união do existente com caixa de passagem)	Não necessário	2ª Fase	3 semanas	5 dias	5 611,20 €
8	Ligação elétrica do ramal MT entre subestação e o PT4	GERAL - Subestação	2ª Fase		2 dias	354,00 €

Na Tabela 15 é apresentada uma passagem de uma extensão do ramal que acolhe a chegada da subestação. A tubagem que faz a ligação da subestação ao PT3 encontra-se sem espaço para colocação de cabos novos. Como existe uma única ligação do anel de média tensão à subestação, é inviável a extração da canalização existente e colocação de nova. Por este motivo, terá de ser aproveitada a canalização já existente. Como tal, é apresentado a união da canalização antiga com nova para fazer chegar a ligação da subestação ao PT4.

Visto que o procedimento descrito acima envolve alguns riscos, foi pensado numa forma de minimizar os mesmos por intermédio de uma caixa de ligação. Esta caixa tem como objetivo dar a possibilidade de realização de análises termográficas para despiste de anomalias.

No passo 8 são apresentadas as ligações de média tensão. O objetivo deste passo é fazer a intervenção no anel e as ligações no quadro de MT. Neste passo são feitas as ligações dos quadros adquiridos nos passos 3 e 4.

A instalação ficará nesta fase com a seguinte configuração:

- A chegada da subestação passa a ser feita no PT4;
- É aproveitada a ligação feita do PT3 para o PT4, para ser alimentado no sentido inverso. Passando o PT3 a ser alimentado do PT4;
- A ligação do PT4 ao PT1 mantém-se inalterada;
- É instalada a cela de corte e contagem bem como a cela que irá proteger o novo transformador.

4.2.4.3. FASE 3

Na fase 3 é aproveitado o tempo para pequenas obras de construção civil de forma a ser colocado o espaço em conformidade com o Decreto nº 42 895 – Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento. Nesta fase estão previstos os pontos 9-16 que estão descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - "Time-Line" da terceira fase de implementação do projeto de realocização do PT3

Deslocação do PT3 para a zona do PT4						
	Descrição	Corte de Energia		Prazo de entrega	Duração do Trabalho (dias úteis)	Custo Total
9	Preparar o PT4 para albergar o transformador a seco de 2500KVA	<i>Não necessário</i>	3ª Fase	-	4 dias	10 000,00 €
10	Passagem de novos cabos para a Zell e para o QP1 a partir do PT4 (não ligar)	<i>Não necessário</i>	3ª Fase	-	8 dias	54 224,55 €
11	Adquirir e instalar novo transformador seco - 2500kVA, passar os cabos para o piso superior e ligação á cela	<i>Não necessário</i>	3ª Fase	10 semanas	3 dias	35 000,00 €
13	Deslocar o Q8 para a plataforma do salão 2 e efetuar a ligação ao QGBT 3.1 (colocar o Q8 em funcionamento com os novos cabos)	Apenas nos torcedores salão 2 piso 0 (circuitos do PT3 caso necessário)	3ª Fase	-	2 dias	64 157,42 €
14	Fazer a alteração da alimentação das cargas ligadas ao Q8 (colocar em funcionamento)	Corte nos circuitos do Q8	3ª Fase	-	5 dias	32 660,38 €
15	Deslocar QGBT 3.1 e CFP para piso superior do PT4 e efetuar novas ligações aos cabos previamente passados	Corte nos circuitos do PT3 (Zell, Q8 e QP1) / Cela de corte do novo transformador)	3ª Fase	-	2 dias	10 000,00 €
16	Ligação elétrica do transformador, ligação das celas MT e ligação dos cabos MT entre o PT2 e o PT4	GERAL - PT2	3ª Fase	-	1 dia	1 975,00 €

Para o acolhimento do transformador seco terão de ser cumpridas algumas regras no espaço previsto para o efeito. Como tal em termos de construção civil terão de ser alteradas os seguintes pontos:

- Alargamento do rasgo/caleiro por baixo do transformador 4.1;
- Colocação de calhas (tipo carril) ou de plataforma cimentada por cima da caleira já existente, de forma a poder suportar o peso do transformador 4.2;

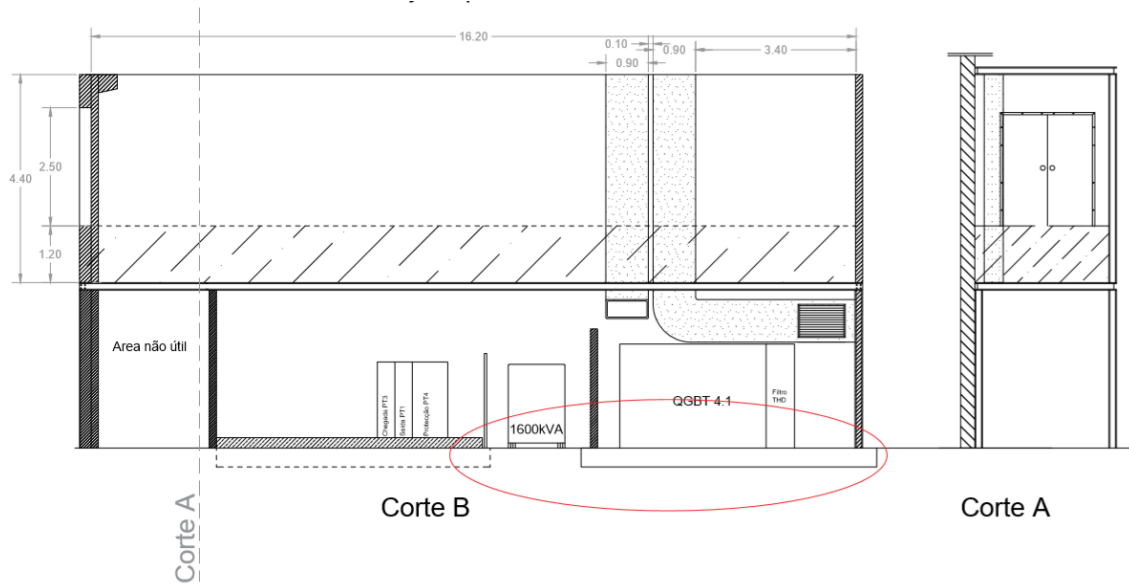


Figura 24 - PT4 atualmente (destaque para o calceiro usado para passagem de cabos)

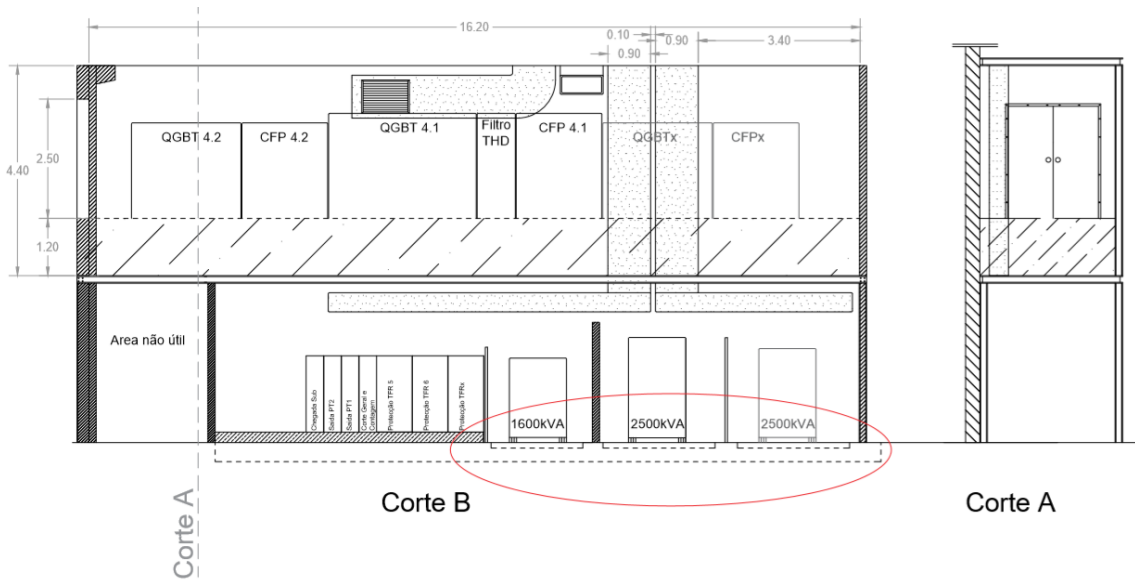


Figura 25 - desenho do projeto (destaque para o calceiro usado para passagem de cabos)

- Desviar a porta dupla não propagadora de fogo de forma a deixar espaço de reserva para um futuro transformador;
- Retira uma grelha simples existente no local por não ter características de corte de fogo; (Art. 76.º DL 42 895);

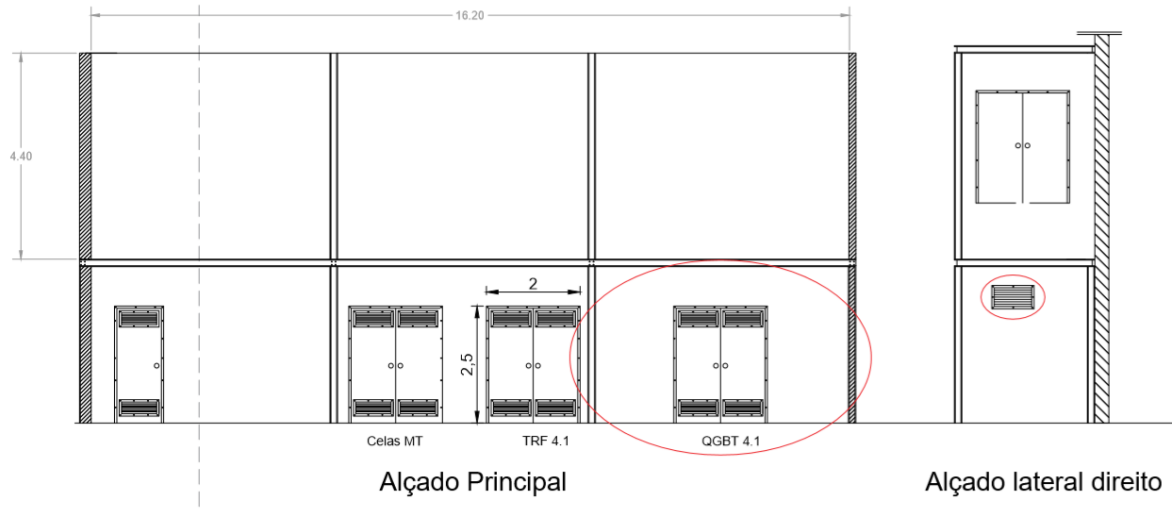


Figura 26 - Vista frontal do PT4 antes da alteração (destaque para uma só porta, e grelha simples na lateral)

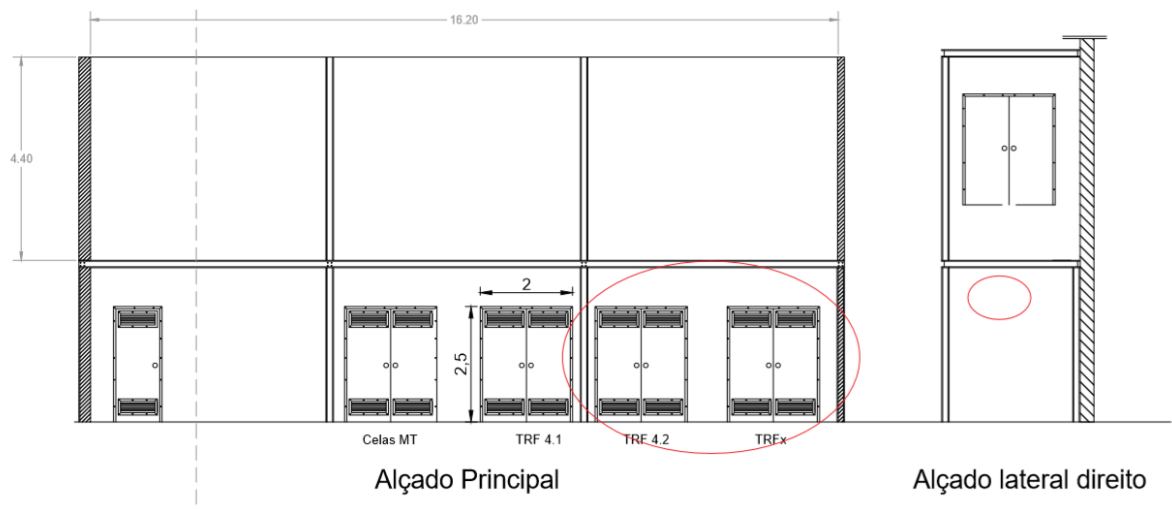


Figura 27 - Vista frontal do PT4 depois da alteração (destaque para o surgimento de duas portas, e sem a grelha simples na lateral)

- Colocação de uma vedação e porta com abertura para o exterior para acesso ao transformador 4.2 igual à existente do transformador 4.1, a menos de 0.80m de distância entre a vedação/porta do pavimento e como mais de 1.60m de altura ao pavimento segundo o Art. 73.º do DL42 895;
- Intervenção nas condutas de ventilação de forma a fazer o varrimento periódico do ar dentro do PT e de forma a ter uma distância mínima de 16 cm de qualquer parte metálica sob alta tensão não protegida por isolamento.

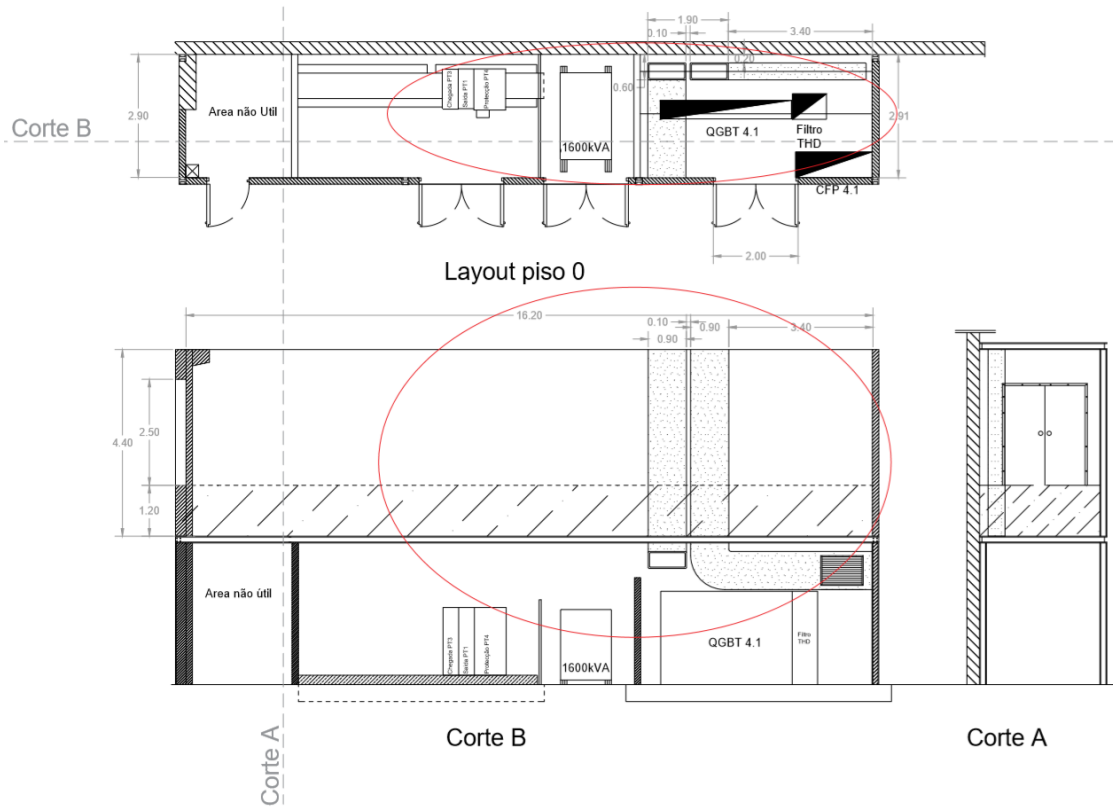


Figura 28 - Ventilação e desenfumagem atualmente

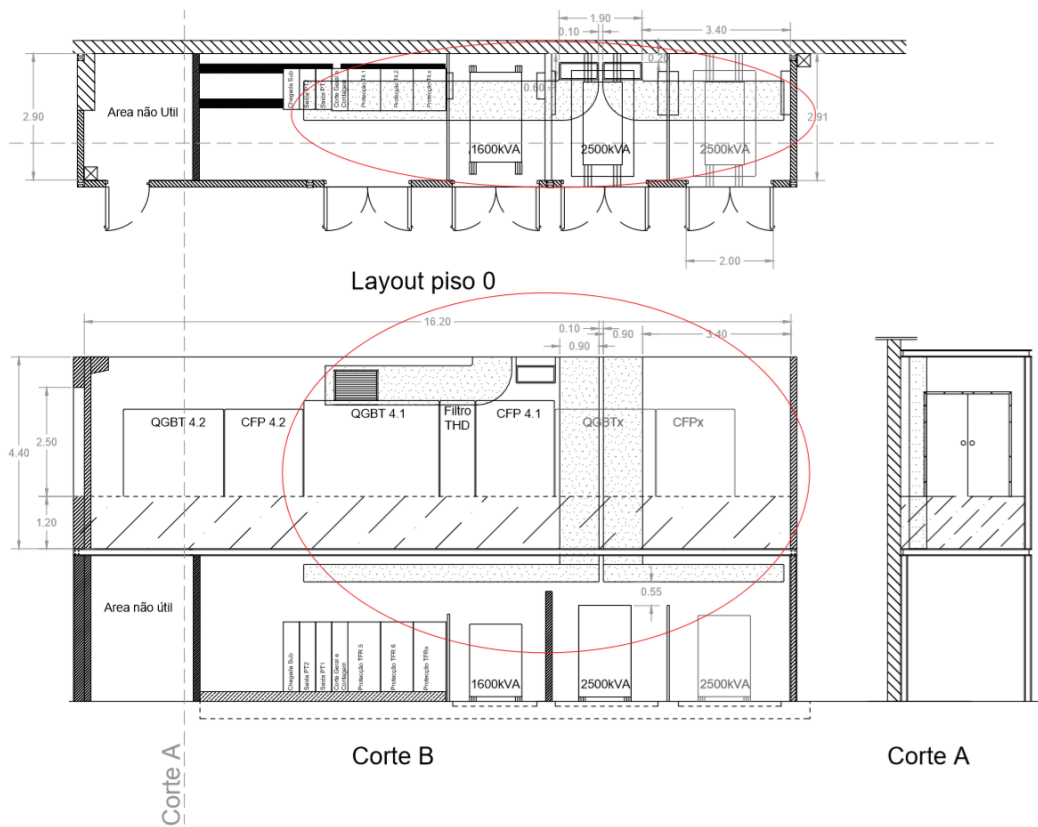


Figura 29 - Ventilação e desenfumagem desejada

Para esta fase poderão ser feitas intervenções com necessidade de retirada de equipamentos de serviço, por um período de 10 dias. Como tal é aconselhável os passos 13 e 15 começarem em simultâneo de forma a que os passos 14 e 16 que precedem os 13 e 15 respetivamente terminem em tempo útil.

Nesta altura o PT3 deixa de existir com a realocização do QGBT 3.1 e com a união dos cabos de MT existentes nas ligações PT4 para PT3 e PT3 para PT2. Assim sendo é fechado o anel de MT (Figura 17).

4.2.4.4. FASE 4

No final da fase 3, faltam apenas pequenas intervenções, entre as quais, a alteração do quadro parcial 1.

Tabela 17 - "Time-Line" da quarta fase de implementação do projeto de realocização do PT3

Deslocação do PT3 para a zona do PT4						
	Descrição	Corte de Energia		Prazo de entrega	Duração do Trabalho (dias úteis)	Custo Total
17	Criação de uma caixa de passagem (caixa de bornes) para os circuitos do QP1 de modo a aproveitar os cabos existentes destes circuitos, e passagem de cabos novos desde a caixa de passagem e o novo local do QP1 ou Passagem de novos cabos para os circuitos completos do QP1	<i>Não necessário</i>	4ª Fase	4 semanas	4 dias	11 000,00 €
18	Deslocar QP1 e restantes quadros de pequena potência para o "piso 2" da Zell e efetuar ligações aos cabos previamente passados	Cortes faseados nos circuitos do QP1 (circuitos auxiliares da Zell) - corte da Zell	4ª Fase	-	2 dias	8 837,62 €

Para o quadro QP1 foi pensado aproveitar um espaço morto no interior da máquina de impregnar Zell. Para além de ser uma área relativamente perto do espaço atual é uma área que nunca será usada para outro fim.

Visto que é uma parte final de projeto poderá ser olhada de duas perspetivas:

- Perspetiva de melhor solução técnica: colocando cabos novos para todos os equipamentos que são alimentados através do QP1;
- Perspetiva de solução mais económica (para compensar algumas derrapagens orçamentais nos passos anteriores): colocando uma caixa de passagem perto do local onde se encontra atualmente o QP1 e fazer uniões até ou novo local a instalar.

Desta forma surge na Tabela 17 o custo associado à solução mais dispendiosa.

4.2.4.5. FASE 5

Nesta fase serão concluídas as intervenções deste projeto. Visto que o ganho esperado com este projeto era o aproveitamento de espaço para área de produção, só à data do término do ponto 19 é que é possível observar o retorno de investimento.

Tabela 18 - “Time-Line” da quinta fase de implementação e custo aproximado do projeto de realocação PT3

Deslocação do PT3 para a zona do PT4						
	Descrição	Corte de Energia		Prazo de entrega	Duração do Trabalho (dias úteis)	Custo Total
19	Trabalhos de construção civil para demolição do PT3 e construção de piso fabril	<i>Não necessário</i>	5ª Fase	2 semanas	10 dias	7 600,00 €
Total						351 058,96 €

Desta forma também conseguimos perceber os custos associados à fase de implementação. Será necessário realçar que os custos com o projetos e licenciamentos estão fora deste estudo.

4.3. INTERVENÇÃO NAS MÁQUINAS PRODUTIVAS

Os equipamentos abordados neste capítulo são os torcedores de fio. Há data do presente documento estão instalados 41 torcedores de cinco fabricantes diferentes. Sendo que dezoito são modelos do fabricante ICBT, dez do fabricante *Jing Wei*, oito do fabricante *Oerlikon*, quatro do fabricante *Volkman* e um do fabricante *Verdol*. Nesta abordagem avaliaram-se as possibilidades de melhorias nos torcedores dos modelos da ICBT. No entanto, é importante referir que apesar das inúmeras diferenças entre cada torcedor, a génese das máquinas é a mesma.

O presente capítulo foi iniciado com a premissa de que o estudo destas máquinas torcedoras de fio poderia trazer benefícios ao nível de poupanças energéticas. No entanto com a análise feita, foi notório que a maior problemática para a secção de torção de fio era a falta de

disponibilidade de produção devido ao aquecimento dos motores constituintes dos torcedores. Na verdade, este aquecimento acaba por ser um problema a vários níveis:

- Ao nível da falta de disponibilidade produtiva: com os torcedores a trabalharem à velocidade de 10 000rpm os sistemas de proteção acabam por ativar por excesso de temperatura nos motores dos torcedores. Atualmente, para colmatar este problema, é necessário colocar os equipamentos a uma velocidade inferior o que se traduz numa substancial diminuição da produção por hora;
- Ao nível do desgaste nos equipamentos: como é natural todos os equipamentos que contenham motores elétricos carecem de maior desgaste quanto maior for a temperatura dos motores. Os desgastes dos mesmos requerem revisões e substituições com uma periodicidade muito reduzida. Este facto leva a uma quebra de produção por haver muitos motores parados para substituição, e consequente aumento de custos de manutenção;
- Ao nível da necessidade de aumento da potência dos sistemas de extração de ar e de arrefecimento por ventilação dos próprios torcedores e do salão onde estão inseridos, originando um grande consumo de energia elétrica. Atualmente este representa mais de 3,5% do consumo total da C-ITA (Gráfico 1 - Distribuição de consumos da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.);
- Ao nível de desperdício de energia elétrica por efeito de Joule;
- Por último e presumivelmente mais importante de todos os malefícios causados pelo aquecimento das máquinas é o desconforto sentido pelos operadores que intervêm diretamente nos torcedores.

Efetivamente, todos os problemas apresentados acima representam uma preocupação muito séria. Como tal, é imperativo intervir de forma a atenuar este efeito.

4.3.1. TORCEDORES ICBT'S

Os torcedores ICBT são equipamentos de origem francesa, muito usados na indústria de têxtil técnico. Este tipo de equipamentos servem sobretudo para torcer dois ou mais fios, tonando-os mais resistentes, altamente flexíveis e duradouros. Desta forma é produzida uma corda com uma estrutura coesa, com elevada resistividade à tração, abrasão, fadiga e à desintegração por forças laterais.

Segundo o fabricante, estas máquinas têm a capacidade de trabalhar na sua carga máxima a 10 000 rpm. Esta velocidade está diretamente ligada à velocidade de produção da própria máquina.



Figura 30 - Torcedor ICBT

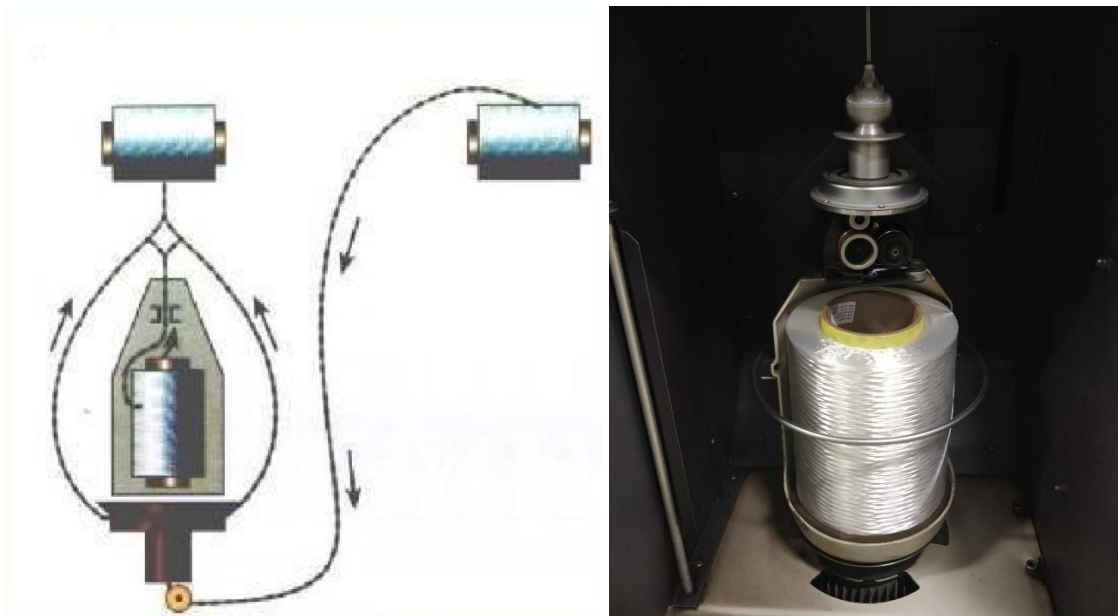


Figura 31- a) Esquema da torção, b) Imagem do fuso em funcionamento

Estes equipamentos são na generalidade constituídos por um total de 136 fusos, em que cada fuso tem um motor em gaiola de esquilo, com características especiais, uma vez que têm um único ponto de suporte do rotor por via de rolamentos cerâmicos de alta rotação.

4.3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ICBT'S

A C-ITA. começou a investir no fabricante de máquinas ICBT a partir do ano de 1998, sendo que, ao longo das várias versões das máquinas poucas foram as características que se alteraram.

Estes equipamentos são divididos simetricamente em dois lados, sendo que a do interruptor à entrada da máquina trabalham dois circuitos completamente independentes.

De uma forma geral, a alimentação é feita a uma tensão ligeiramente superior à tensão normal da rede (410V). No entanto por se tratar de uma máquina vendida para todo o mundo, o fabricante colocou um transformador de 380/460 a montante dos restantes equipamentos de modo a subir a tensão para os 460V e desta forma conseguia uniformizar para todos os níveis de tensão os restantes equipamentos da máquina.



Figura 32 – a) Transformador 380/460V, b) Chapa de características do transformador

Todos os ICBT's foram instalados de origem, para cada lado do torcedor, variadores de velocidade da marca KEB de 55kW para 460V, que alimentam os 68 motores trifásicos de 700W.

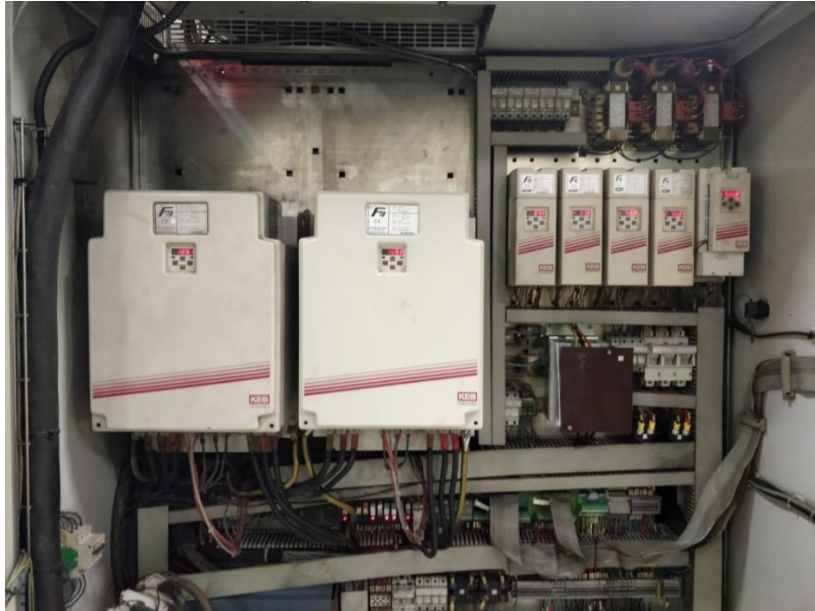


Figura 33 - Quadro do torcedor ICBT 9

Os 68 fusos trabalham à sua velocidade máxima (10 000rpm) com uma frequência de 170Hz. No entanto, devido ao calor que produzem acaba por não ser possível a permanência no regime de velocidade máxima.

O objetivo dos ensaios apresentados de seguida foi preparar as máquinas para trabalhar à velocidade máxima admissível (10 000rpm). Sabe-se *a priori* que os ICBT's não têm a capacidade de trabalhar a este regime durante os meses de maior calor devido ao aumento excessivo da temperatura e à radiação emitida pelo enorme número de perdas por efeito de Joule.

Sabe-se também que o aumento do número de rotações dos motores irá solicitar pelos mesmos uma corrente proporcionalmente superior. Como podemos comprovar de forma analítica:

$$P_2 = P_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad [13]$$

P1- Potência de referência (W)

P2- Potência atualizada (W)

N1- Velocidade inicial dos motores (rpm)

N2- Velocidade atualizada dos motores (rpm)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad [14]$$

I- Intensidade de corrente circulante (A)

U- Tensão do circuito (V)

φ - Desfasamento (V)

Desta forma podemos verificar que com o aumento do número de rotações, vamos ter um aumento claro na corrente do circuito. Sendo que esta corrente é a responsável pelo aquecimento excessivo, foi necessário tomar medida para a diminuição da mesma.

A quantidade de energia térmica produzida por uma corrente elétrica é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente quando esta flui através do condutor e à resistência que este condutor se opõe à passagem da corrente.

Esta definição pode ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad [15]$$

Q- Energia térmica produzida pela corrente (J)

I- Intensidade de corrente circulante (A)

R- Resistência elétrica do condutor (Ω)

t- Tempo (s)

A melhor forma para reduzir esta intensidade de corrente prejudicial para o sistema passa por colocar o sistema a trabalhar a uma tensão superior ao definido anteriormente. Este processo é facilmente justificado pelo cálculo da potência ativa $P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$, se for aumentada a tensão e for considerado que o $\cos\varphi$ e a potência ativa se mantêm constante, a corrente baixa em proporção.

$$\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \quad [16]$$

Desta forma consegue-se comprovar que a corrente em I_2 é U_1/U_2 vezes inferior que I_1 .

4.3.3. AUMENTO DE TENSÃO NO ICBT 11 E 12

Como forma de minimizar o aquecimento dos motores foi estudada a possibilidade de os colocar em funcionamento a um regime de tensão superior, de forma a diminuir as perdas por efeito de Joule. Posto isto, teria de ser garantida a capacidade de os equipamentos suportarem esta subida para aproximadamente 500V.

Uns dos equipamentos que demonstrava incapacidade de suportar uma tensão de 500V, foram os variadores de velocidade. Em contacto com o representante do fabricante foi inequívoca a incapacidade de os variadores de velocidade trabalharem em permanência a este regime, mesmo que a chapa de características refira que pode atingir tensões de 500V.



Figura 34 – a) Variador de velocidade KAB, b) Chapa de características do variador de velocidade KAB

Por este motivo com a aprovação dos responsáveis da C-ITA foi colocado em dois dos dezoito torcedores da marca ICBT inversores da marca ABB (Figura 35) de tensão nominal de 500V, de forma a serem feitos testes. Caso se obtenham resultados favoráveis estas alterações poderão ser replicadas para os restantes torcedores. Desta forma estaríamos em condições de começar a fazer os testes com uma tensão superior a partir do transformador de entrada da máquina.

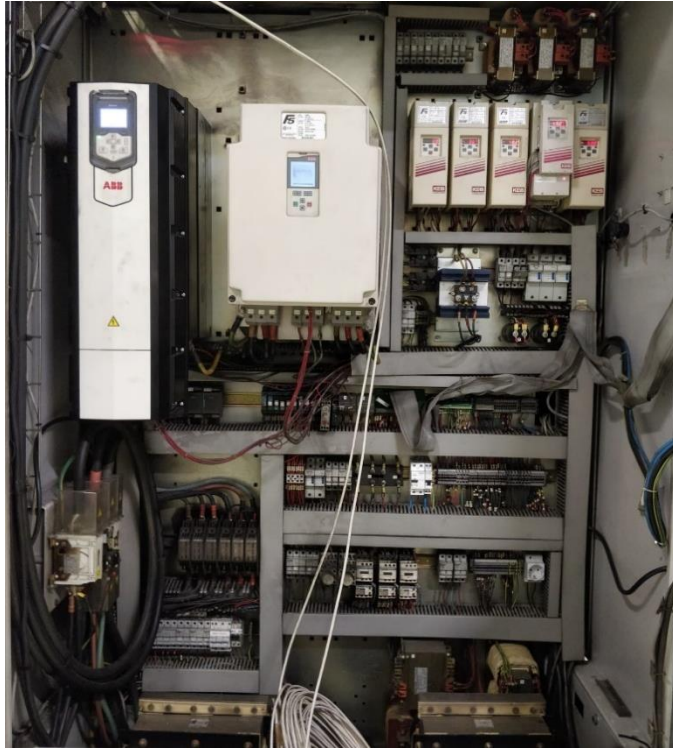


Figura 35 - Quadro elétrico do torcedor ICBT 11

4.3.3.1. ENSAIOS DE AUMENTO DE TENSÃO NO ICBT 11

Os testes baseavam-se no aumento da tensão no transformador de alimentação do torcedor ICBT 11A a produzir um artigo 1440×2 a com a velocidade de torção a 9700rpm, equipado com conversor de frequência ABB ACS 880 de 75kW.

O pretendido com este teste era confirmar o impacto positivo no consumo de energia elétrica e no calor dissipado pelos motores dos fusos, diminuindo as perdas por efeito de Joule.

Nesta fase os torcedores encontrava-se a um regime de funcionamento de 461,15V (valor teórico), resultante de uma razão de transformação de $(380+5\%)/460$. Com vista a um aumento de tensão o transformador do ICBT foi colocado ao seu regime normal de funcionamento de 380/460, passando a apresentar de uma forma teórica 484,21 (tendo como referência a tensão da rede de 400V).

Os resultados obtidos antes e depois da alteração do regime de funcionamento estão representados ao longo da Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 19 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11

Caso de estudo:								
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (380+5%/460)</i>			<i>Estudo (380/460)</i>				η_{total}
Números de fusos	58	63	66	57	58	64	66	
Potência à entrada (kW)	51,8	55,6	58,7	49,1	50,5	56,2	57,7	
Potência por fuso (W)	893,1	882,5	889,4	861,4	870,7	878,1	874,2	-2,0%

Com o aumento da tensão à entrada do variador, é notório um decréscimo na potência. A diminuição da potência solicitada demonstrada na Tabela 19 é resultado da diminuição das perdas por efeito de Joule visto que a potência total é igual à soma da potência útil com a dissipada, melhorando desta forma o rendimento da máquina.

$$\eta_{P_{Total}} = 1 - \frac{\text{Média Potência Estudo}}{\text{Média Potência Referência}} \quad [17]$$

Tabela 20 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11

Caso de estudo:								
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (380+5%/460)</i>			<i>Estudo (380/460)</i>				<i>diferença da média ponderada</i>
Números de fusos	58	63	66	57	58	64	66	
Tensão simples entrada (V)	266,5	271,1	272	282,4	287,1	282,9	288,6	5,4%
Tensão composta entrada (V)	460,6	470,3	470,5	489,0	497,2	489,8	499,3	5,4%
Corrente à entrada (A)	70,3	73,7	77,7	62,3	63,7	71,3	71,7	-8,1%
Corrente à entrada por fuso (A)	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	-8,1%

Como era espectável confirma-se uma subida de 5% na tensão de entrada no variador, que corresponde à alteração na razão de transformação.

Podemos verificar uma descida clara na corrente devido a duas componentes. A primeira componente verificada corresponde ao decréscimo proporcional em relação à subida da tensão. Ao manter-se a potência útil inalterável, a corrente terá de compensar o aumento da tensão.

$$P_{\text{útil}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad [18]$$

A segunda componente deve-se ao facto de as perdas por efeito de Joule serem proporcionais ao quadrado da corrente vezes a resistência dos condutores.

$$P_{\text{dissipada}} = R \cdot I_2^2 \quad [19]$$

Tabela 21 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11

Caso de estudo:								
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (380+5%/460)</i>			<i>Estudo (380/460)</i>				<i>diferença da média</i>
Números de fusos	58	63	66	57	58	64	66	
Temperatura do variador de frequência (°C)	76,4	82,8	83,0	73,31	74,4	78,7	83,7	-4,1%

Relativamente ao variador de frequência é difícil admitir uma melhoria clara, pois a temperatura depende de muitos fatores externos (número de fusos em funcionamento, temperatura ambiente, frequência de comutação, ventilação do quadro elétrico da máquina, tempo de funcionamento, inércia térmica de outros estados de funcionamento). No entanto, fazendo uma análise em grosso modo para o mesmo número de fusos em funcionamento existe um decréscimo na temperatura, excetuando o caso de estarem em funcionamento 66 fusos.

Tabela 22 - Resultado dos ensaios de aumento de tensão do ICBT 11 (*diferença baseada na média ponderada)

Caso de estudo:								
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (380+5%/460)</i>			<i>Estudo (380/460)</i>				<i>diferença na média</i>
Números de fusos	58	63	66	57	58	64	66	
Tensão em CC (V)	597,0	604,5	601,0	630,1	643,3	630,0	641,9	
Potência à saída do variador (kW)	49,9	53,8	56,4	47,4	48,8	54,3	55,7	*-1,8%
Tensão à saída do variador (V)	423	430	429	450	457	449	458	5,8%
Corrente à saída do variador (A)	73,7	79,7	84,0	65,8	66,4	76,2	76,6	*-9,2%
Corrente por fuso à saída do variado	1,27	1,27	1,27	1,15	1,14	1,19	1,16	-9,2%
Frequência à saída do variador (Hz)	167,0	166,8	166,8	166,0	165,8	166,1	166,0	
Tensão para os motores (V)	414	420	420	444	450	439	446	6,0%
Temperatura dos motores (°C)	54,0	54,4	52,3	48,2	48,1	50,1	50,9	-8,6%
Temperatura do motor dos rolos (°C)	59,7	63,2	59,3	59,9	54,5	60,1	61,3	
Temperatura do motor dos guia-fios	47,3	48,5	45,5	47,3	46,5	45,8	47,6	
Temperatura do filtro (°C)	124	126	126	125	128	128	130	
Temperatura do transformador (°C)	75,7	77,5	74,3	81,3	82,7	82	84,6	
Temperatura ambiente (°C)	27,6	27,8	27,5	25,7	24,7	27	27,6	

Como esperado, a temperatura dos motores diminui consideravelmente e foram conhecidas as melhorias em termos de consumo das máquinas. Numa empresa como a C-ITA uma melhoria de 2% (Tabela 19) no consumo de energia elétrica pode ser considerada bastante significativa se for considerado que, com as características desta máquina, existem mais 39

e que na totalidade representam mais de 70% do consumo da empresa (Gráfico 1 - Distribuição de consumos da Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A.).

Tabela 23 - Simulação dos encargos caso a redução de 2% do consumo se verificasse em todos os torcedores

Consumo total da C-ITA relativo a 2018	36 308 600	kW.h
Consumo total da torcedura relativo a 2018	26 097 200	kW.h
Preço médio pago pela energia elétrica	0,092	€/kW.h
Poupança com a diminuição do consumo de 2%	521 944	kW.h
	48 018,85	€

Através da simulação representada na Tabela 23, compreendem-se os impactos positivos que esta medida pode trazer para os encargos com energia elétrica. Anualmente, a implementação desta medida poderia poupar à C-ITA, aproximadamente quarenta e oito mil euros por ano.

4.3.3.2. ENSAIOS DE AUMENTO DE VELOCIDADE NO ICBT 11

Depois dos testes feitos com o aumento de tensão se revelarem positivos no sentido de haver melhorias concretas tanto na temperatura dos motores como no consumo da própria máquina, seria necessário ainda dar o último passo para o sucesso completo do aumento da tensão.

O aumento da velocidade dos torcedores é o culminar de toda a experiência. Este irá garantir a disponibilidade de produção. Como tal, foram realizados testes baseados no aumento da velocidade de torção de 9300rpm para 10000rpm com o torcedor ICBT 11A a produzir um artigo 1440×2.

Sabendo que a velocidade tem um impacto gigantesco na impedância dos motores, foi pretendido com este teste verificar o impacto positivo do aumento da tensão de alimentação dos motores. Como a reatância dos motores é indutiva (X_L), o seu valor em ohms é dado por:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [20]$$

L – indutância (Henrys)

f – frequência (Hz)

w – frequência

$$Z = R + jX_L \quad [21]$$

Z – impedância (Ω)

R – resistência (Ω)

X – reatância (Ω)

j – unidade imaginária

Os resultados obtidos antes e depois da alteração do regime de funcionamento estão representados nas Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27.

Tabela 24 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11

Caso de estudo:							
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (9300 rpm)</i>			<i>Estudo (10 000 rpm)</i>			<i>η_{total}</i>
Números de fusos	64	65	65	65	67	67	
Potência à entrada (kW)	49,2	48,5	48,64	61,1	62,8	62,9	
Potência por fuso (W)	768,8	746,2	748,3	940,0	937,3	938,8	19,6%
Potência média por fuso (W)	754,4			938,7			

Com o aumento de velocidade dos fusos era espectável, tal como se verificou, um aumento significativo da potência, visto que a potência está diretamente relacionada com a velocidade, como descrito na equação seguinte.

$$P_2 = 754.4 \times \left(\frac{10000}{9300}\right)^3 = 937.9 W \quad [22]$$

Tabela 25 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11

Caso de estudo:							
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (9300 rpm)</i>			<i>Estudo (10 000 rpm)</i>			<i>diferença da média ponderada</i>
Números de fusos	64	65	65	65	67	67	
Tensão simples entrada (V)	280,5	284,1	282,3	282,0	288,0	285,4	1,0%
Tensão composta entrada (V)	485,9	492,5	488,9	487,6	498,3	494,2	0,9%
Corrente à entrada (A)	62,6	61	61,3	77,6	77,5	78,3	18,7%
Corrente à entrada por fuso (A)	1,0	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2	18,7%

Através destas leituras feitas à corrente e à tensão não se conseguem tirar muitas conclusões sobre a diminuição das perdas. No entanto, a alteração pouco expressiva da tensão, poderá indicar que a corrente aumenta em proporção com a potência.

Tabela 26 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11

Caso de estudo:							
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (9300 rpm)</i>			<i>Estudo (10 000 rpm)</i>			<i>diferença da média</i>
Números de fusos	64	65	65	65	67	67	
Temperatura do variador de frequência (°C)	74,2	74,6	70,5	66,60	73,0	76,8	-1,3%

O variador de frequência mantém-se com uma temperatura estável. Isto demonstra que a mudança de regime não altera muito o esforço solicitado com o aumento da frequência.

Tabela 27 - Resultado dos ensaios de aumento de velocidade do ICBT 11 (*diferença baseada na média ponderada)

Caso de estudo:							
<i>Parâmetros</i>	<i>Referência (9300 rpm)</i>			<i>Estudo (10 000 rpm)</i>			<i>diferença na média</i>
Números de fusos	64	65	65	65	67	67	
Tensão em CC (V)	631,7	638,4	635,3	627,5	641,5	632,0	
Potência à saída do variador (kW)	46,1	45,4	45,6	57,2	58,7	58,7	*19,4%
Tensão à saída do variador (V)	454	454	454	452	462	456	0,6%
Corrente à saída do variador (A)	60,8	60,2	60,2	76,1	76,4	77,7	*19,2%
Corrente por fuso à saída do variador (A)	0,95	0,93	0,93	1,17	1,14	1,16	19,2%
Frequência à saída do variador (Hz)	158,0	158,1	158,1	171,3	171,0	171,1	
Tensão para os motores (V)	453	453	453	450	460	454	0,3%
Temperatura dos motores (°C)	48,4	49,7	48,7	52,5	52,2	50,9	5,7%
Temperatura do motor dos rolos (°C)	68	66,8	60,9	66	68	57,6	
Temperatura do motor dos guia-fios (°C)	50,2	49,8	48,3	48,4	51,2	46	
Temperatura do filtro (°C)	109	89,9	73,1	110	111	108	
Temperatura do transformador (°C)	86,5	80,6	74,9	89,2	89,3	78,4	
Temperatura ambiente (°C)	27,5	28,2	28	26,5	27,8	30,6	

Através da Tabela 27 é notória a conformidade dos resultados, demonstrado que nenhum dos equipamentos se encontra acima das suas capacidades nominais de trabalho. Pode-se ainda retirar desta amostra que as temperaturas dos equipamentos se encontram com um valor normal para funcionamento.

Tabela 28 - Comparação das temperaturas com todos os ensaios

Caso de estudo:		
<i>Tensão (V)</i>	<i>Frequência (rpm)</i>	<i>Temperatura média dos motores (°C)</i>
461,15 V (380+5%/460)	9700	53,6
484,21 V (380/460)	9300	48,9
484,21 V (380/460)	9700	49,3
484,21 V (380/460)	10000	51,9

Com a conclusão de todos os ensaios, e através dos resultados obtidos, consegue-se perceber que a temperatura dos motores com o aumento da tensão e a trabalhar ao regime de velocidade mais desfavorável, fica substancialmente abaixo do regime de funcionamento inicial. Existem, portanto, factos claros do sucesso da experiência.

5. CONCLUSÕES

5.1. ANÁLISE CONCLUSIVA

Num projeto totalmente revolucionário como este, tanto da realocização do posto de transformação como do aumento da tensão para reduzir o aquecimento das máquinas produtivas, os resultados obtidos não são, por vezes muito conclusivos. No entanto, para um projeto de estudo de viabilidade e posterior plano de exceção, como é o caso da realocização do posto de transformação, os resultados vão ao encontro das expectativas da empresa. Com este estudo é possível perceber o percurso escolhido para toda a canalização, qual o tipo de canalização escolhida, que equipamentos terão de ser substituídos e que requisitos terão de ser cumpridos na fase de execução da obra.

Deste tipo de abordagem advêm grandes vantagens. Através do presente estudo ganhou-se uma capacidade de antecipação das necessidades uma vez que permitiu, por exemplo, prever a mudança de *layout* da ventilação. As alterações ao PT tornaram possível perceber que quadros elétricos ligados aos QGBT's intervencionados seriam necessários realocar bem como todo o *layout* pretendido. Para além disto permitiu-nos compreender que alterações deveria sofrer a estrutura de maneira a acolher o PT3. O planeamento para a realização e conclusão da obra apresentou também benefícios no sentido em que permitiu uma estruturação do trabalho para que não interferisse no funcionamento normal da fábrica. Por fim tem-se também como vantagem a previsão do investimento a ter para a concretização do projeto bem como das perdas estimadas para os equipamentos.

Através do histórico das várias obras feitas pela C-ITA foi realizada uma análise dos custos previstos para a intervenção, com a quantia de 351 058, 96€. Para além da escolha de todos os requisitos para a realocização é importante referir que esta obra trará como principal ganho a disponibilização de 44m² em área de fábrica para a utilização da produção.

Relativamente ao aumento da tensão para decréscimo do aquecimento das máquinas é definido por alguns elementos da estrutura interna da C-ITA como uma “ideia fora da caixa”.

Sendo que qualquer melhoria, mesmo que se tratasse de uma melhoria que não cumprisse o objetivo principal mas que tivesse impacto na temperatura dos equipamentos, já seria uma vitória para o estudo. No entanto foi notório o impacto positivo da intervenção feita nos torcedores, podendo com o estudo afirmar que, neste momento, os torcedores intervencionados poderão trabalhar em permanência à sua velocidade máxima. Por outro lado, mesmo não estando a trabalhar à velocidade máxima devido à não necessidade de produção, os torcedores estarão a libertar menos calor. A diminuição do calor libertado pelos torcedores terá impacto direto no consumo da climatização e no bem-estar dos operadores.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Apesar do presente projeto trazer enumeras mais-valias em termos de melhoria da continuidade de serviço, a C-ITA continua a ter um único ponto de ligação com a rede de distribuição pública. Como tal para trabalhos futuros, é importante estudar possíveis planos de contingência para casos de defeitos na subestação ou até no ramal de ligação da subestação ao anel de média tensão

A análise dos consumos dos torcedores é bastante conclusiva em relação às diferenças encontradas com a intervenção feita. No entanto será bastante positivo em trabalhos futuros realizar-se um estudo termodinâmico aos próprios motores dos torcedores, ou até um estudo do impacto na climatização. Todo este trabalho abriu portas para que possa ser replicada a mesma ideologia às diferentes máquinas do grupo Continental.

Referências Documentais

- A. H. Bonnett and G. C. Soukup. (1992). "Cause and Analysis of Stator and Rotor Failures in Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors". *vol. 28, no. 4*, pp. 921–937.
- A. Siddique, G. Y. (2005). A review of stator fault monitoring techniques of induction motors. *IEEE Trans. Energy Convers*, pp. 106-114.
- B. Carvalho, J. A., & Instituto, S. d. (2013). Circuitos Magnéticos e Electromagnetismo.
- B. Carvalho, J. A., & Instituto, S. d. (2014). Máquinas Assíncronas de Indução.
- Direcção-Geral dos Serviços Eléctricos. (31 de Março de 1960). Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento. *Decreto nº. 42 895, 1ª Série(75)*.
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). Regulamento de Qualidade de Serviços do Setor Eléctrico.
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2017). Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço do Setor Eléctrico.
- Gnacinski, P. (2008). "Windings temperature and loss of life of an induction machine under voltage unbalance combined with over- or undervoltages", *IEEE Trans. Energy Convers. vol. 23, no. 2*, pp. 363–371.
- H. Falkner, a. S. (2011). Walking the torque.
- IEC 60364-5-52. (Agosto de 2001). *Electrical installations of building - Selection and erection of electrical equipment, 5-52, second edition*, 117.
- Lusby, J. R. (1993). "Fundamental Concepts in Substation Design". IEEE.
- McCormick, M. (2009). *Nikola Tesla - The world's sorcerer*.
- Nogueira, T. A. (maio de 2013). "Subestações e Postos de Transformação". *SELE 2 - Sistemas Eléctricos de Energia II*.

P. Waide, a. C. (2011). Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. Internacional Energy Agency.

Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT). (s.d.). *Decreto-Lei 226/2005, 28 de Dezembro e Portaria N° 949-A/2006, de 11 de Setembro;*

Soares, M. (março de 2018). "Eletromagnetismo 2-VI". Obtido de https://www.mspc.eng.br/dir10/em_2-6.php

